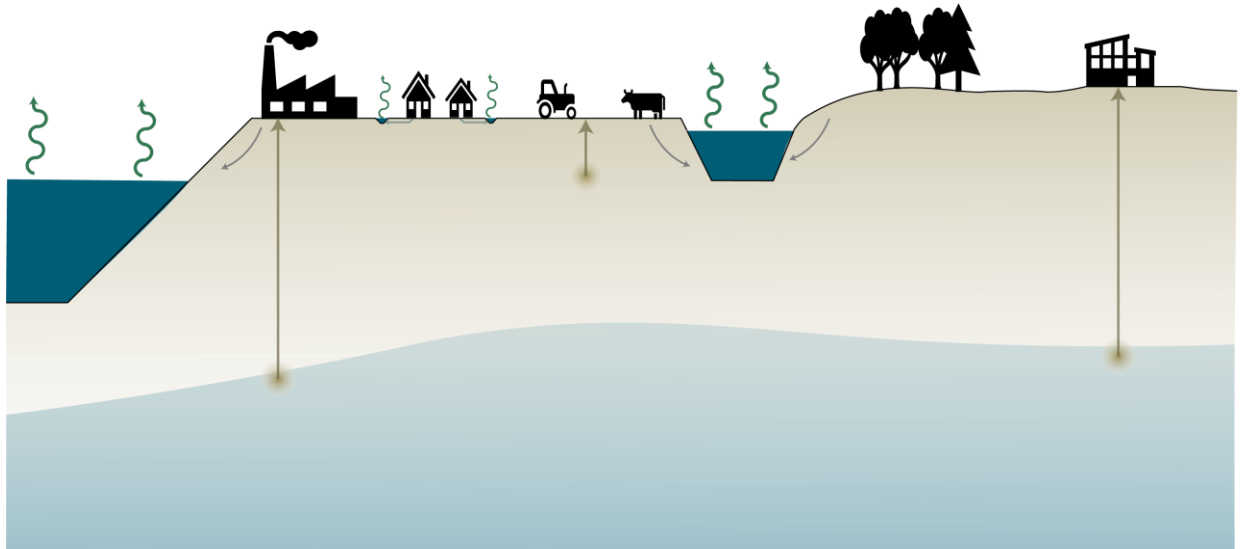


Studiegroep Grondwater



Bijlage I Eindadvies Studiegroep Grondwater:

Feitenrelaas Grondwater

Verdroging Hoog Nederland

Grondwater Laag Nederland

Grondwaterkwaliteit

Maatschappelijke en economische waarde van grondwater Grondwater en energietransitie

16 februari 2022

VOORWOORD

Grondwater is van groot belang voor diverse functies zoals drinkwater, industrie, natuur en landbouw. Nederland beschikt van oudsher over grote voorraden grondwater van goede kwaliteit. De beschikbaarheid van voldoende en kwalitatief goed grondwater staat steeds meer onder druk. De Stuurgroep Water ziet dat grondwater een belangrijk thema is waarvoor steeds meer inhoudelijke, maatschappelijke en politieke belangstelling is.

De Stuurgroep Grondwater heeft de Studiegroep Grondwater ingesteld, bestaande uit een vertegenwoordiging van IPO, UvW, VNG, Vewin, Ministerie LNV, Ministerie I&W, Ministerie EZK en de staf Deltacommissaris. De Studiegroep heeft als opdracht om gezamenlijk in kaart te brengen welke opgaven er 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 een feitenrelaas opgesteld voor een vijftal thema's rondom grondwater. Feiten worden hierbij gezien als de feitelijke situatie ten aanzien van de kwaliteit en kwantiteit van het grondwater, gebaseerd op wetenschappelijke publicaties, rapporten en beleidsdocumenten. Ook zijn experts van verschillende kennisinstituten geconsulteerd ter bevestiging van de feiten. Er zijn geen aanvullende analyses of onderzoeken uitgevoerd. Het feitenrelaas geeft dus geen waardeoordeel, het dient als bouwsteen voor het proces om tot gedegen adviezen en aanbevelingen te komen voor duurzaam grondwaterbeheer.

Het feitenrelaas is opgesteld in samenwerking met het Kernteam van de Studiegroep Grondwater. Per thema zijn werkgroepen geformuleerd die het opstellen van de factsheets per thema begeleid hebben. De werkgroepen hebben hierbij de scope bepaald, (wetenschappelijke) rapporten en literatuur aangedragen, experts voor de review ingezet en in diverse rondes commentaar geleverd op het feitenrelaas. Het feitenrelaas is ook besproken met het Kernteam van de Studiegroep Grondwater.

Dit document is een bundeling van 5 factsheets over de volgende thema's:

- Verdroging Hoog Nederland (bladzijde 3-33);
- Grondwater Laag Nederland (bladzijde 34-49);
- Grondwaterkwaliteit (bladzijde 50-77);
- Maatschappelijke en economische waarde van grondwater (bladzijde 78-90);
- Grondwater en energietransitie (bladzijde 91-111).

VERDROGING HOOG NEDERLAND

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

Nederland beschikt van oudsher over grote voorraden grondwater van goede kwaliteit. Daarnaast heeft Nederland gemiddeld over het jaar een neerslagoverschot. De laatste jaren is echter steeds duidelijker geworden dat de kwaliteit en kwantiteit van grondwater onder druk staat. De droge zomers in 2018, 2019 en 2020 hebben ons laten zien dat ook in Nederland, met name in Hoog Nederland, er watertekorten op kunnen treden, met droogteschade aan de grondwaterafhankelijke functies, zoals natuur, landbouw en het bebouwd gebied, tot gevolg. De klimaatverandering zal de waterbeschikbaarheid - onder andere door hogere temperaturen en drogere zomers - verder onder druk zetten.

In 2018, 2019 en 2020 werd de droogte versterkt door de verdroging (zie paragraaf 1.2). Verdroging (van natuur) is een probleem van de afgelopen decennia. Factoren die van invloed zijn op de structurele verdroging van de afgelopen decennia zijn onder meer het oppervlakte waterbeheer (ontwatering, de inrichting van het watersysteem en peilbeheer), afname van de grondwateraanvulling door veranderend landgebruik (verhard oppervlak, extra verstedelijking en toename van de (gewas)verdamping door verhoogde gewasproductie) en de grondwateronttrekkingen voor drinkwater, industrie en landbouw.

1.2 Droogte en verdroging

Voor de processen rondom droogte en verdroging worden de volgende termen gehanteerd [21]:

- **droog weer** is een periode met weinig of geen regenval. Droog weer leidt niet altijd tot droogte;
- **droogte** ontstaat als het langer dan gemiddeld niet of minder regent en/of de verdamping zo intens is dat normale hydrologische patronen verstoord raken. De bodem droogt uit, grondwater daalt en beken en rivieren komen laag of droog te staan. Droogte is dus een situatie die sterk afwijkt van de normale situatie;
- **verdroging** is een door menselijk handelen veroorzaakte structurele daling van de grondwaterstand in combinatie met de structurele vermindering van kwel-hoeveelheden in grondwaterafhankelijke natuur. Verdroging leidt tot structurele schade aan de natuurgebieden, natuur, en die dan ook slechter tegen schade wordt versterkt droogte kunnen. In sommige gevallen is aanvoer van gebiedsvreemd water noodzakelijk en mogelijk, vanwege de chemische samenstelling van dit water kan ook deze aanvoer tot schade leiden aan de natuur.

Dit document richt zich op verdroging, waarbij gekeken wordt naar effecten van weersomstandigheden, klimaat, waterbeheer, landgebruik, onttrekkingen en infiltratie op de grondwatervoorraden.

1.3 Doel en afbakening van dit document

Het doel van deze factsheet is het geven van een feitenoverzicht over de verdroging van Hoog Nederland, zie afbeelding 1.1, waarbij wordt ingegaan op de (grond)waterafhankelijke functies (hoofdstuk 2), waterbalans (hoofdstuk 3) en handelingsperspectieven om verdroging en droogte tegen te gaan (hoofdstuk 4). Hoog Nederland bevat zandgronden en enkele hoogveengebieden in Noord-Brabant, Limburg en Drenthe en heeft gedeeltelijk water aanvoer mogelijkheden, andere delen zijn alleen regenwater gevoed. Voor dit feitenrelaas zijn documenten geraadpleegd en hieruit zijn de relevante feiten gedestilleerd. Er zijn geen aanvullende analyses uitgevoerd.

Gebruikte documenten

Deze factsheet geeft een overzicht van de relevante feiten voor de droogte problematiek in Hoog Nederland. Hiervoor zijn tal van documenten gebruikt, zie hoofdstuk 6. In de tekst zijn de benodigde referenties

aangegeven. Het kan zijn dat enkele zinnen/passages letterlijk zijn overgenomen, in de meeste gevallen is de oorspronkelijk tekst iets gewijzigd. Ten behoeve van de leesbaarheid is in de tekst niet aangegeven dat het een letterlijke citatie is, maar is alleen de referentie naar het brondocument in de tekst aangegeven.

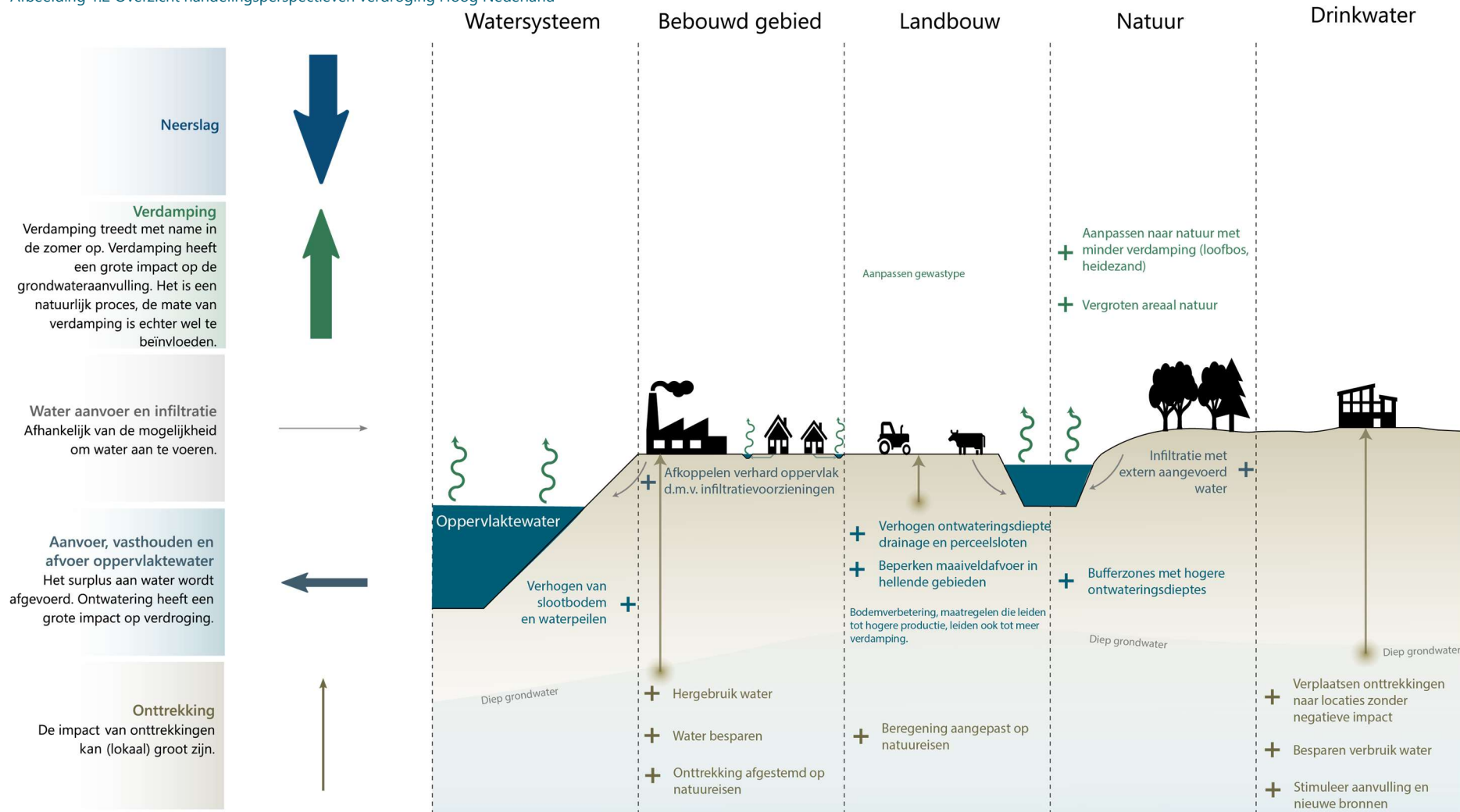
Afbeelding 1.1 Hoog Nederland



1.4 Overzicht handelingsperspectieven verdroging

Een overzicht van de handelingsperspectieven tegen verdroging is weergegeven in afbeelding 1.2 op de volgende bladzijde. In deze afbeelding is tevens de bijdrage aan de waterbalans kwalitatief opgenomen. De waterbalans en de handelingsperspectieven zijn uitgebreid beschreven in hoofdstuk 3 en 4.

Afbeelding 1.2 Overzicht handelingsperspectieven verdroging Hoog Nederland



Historie van het waterbeheer en verdrogingsbestrijding [26]

De afgelopen decennia is er veel veranderd op het gebied van waterbeheer. Na de tweede wereldoorlog werd het beleid gericht op voedselvoorziening; de consequentie hiervan was dat de intensieve landbouw en veeteelt een vlucht nam. Na de VS is Nederland nu de grootste exporteur van landbouwproducten. Om dit te realiseren zijn de watersystemen grootschalig aangepast: natte gebieden zijn veranderd in goed gedraineerde landbouwgronden. In 1990 werden de negatieve effecten van deze ontwikkeling erkend door de overheid. In de Tweede Nota Waterhuishouding uit 1985 stelt de regering vast dat er op landelijke schaal sprake is van een aanzienlijke daling van de grondwaterstand ten opzichte van de situatie in de jaren vijftig, en dat die daling nadelig is geweest. Begin jaren 90 wordt een Stuurgroep Onderzoeksprogramma Verdroging ingesteld. Eind jaren 90 formuleert het Ministerie van VROM de doelstelling om het verdroogde oppervlak natuur voor 2010 met 40 % te verkleinen ten opzichte van 1985.

De commissie Waterbeheer 21ste Eeuw adviseert meer rekening te houden met klimaatverandering. Naast technische oplossingen dient er in het landschap meer ruimte te komen om problemen met wateroverlast en droogte op te kunnen vangen. Een drietrapsstrategie wordt voorgesteld: vasthouden, bergen en afvoeren. In 2005 wordt een 'Taskforce Verdroging' ingesteld. Die ziet mogelijkheden om de aanpak van verdroging te verbeteren, onder meer door de aandacht te richten op een selectie van verdroogde gebieden: de TOP-gebieden. In de periode rond 2010 wordt echter het EHS verkleind en is er weinig aandacht voor de TOP-gebieden. In de loop van 2008-2010 zijn 161 gebieden aangewezen voor de Habitatrichtlijn, die dus deel uitmaken van Natura-2000, het Europese netwerk van internationaal beschermde natuurgebieden. Een klein deel van het netwerk is grondwaterafhankelijk, en daarvoor is verdrogingsbestrijding noodzakelijk om aan onze Europese verplichting te voldoen de natuur in een goede staat van instandhouding te houden.

Rijk en provincies werken van 2021-2030 aan het natuurpact 2.0 als onderdeel van de stikstof aanpak. Het gaat hierbij om verbetering van de abiotische en biotische omstandigheden in Natura 2000 gebieden en in de zogenaamde overgangszones buiten de Natura2000 gebieden. Hiervoor is 3 miljard uitgetrokken. Voor de zomer van 2022 moeten de opgaven voor de overgangsgebieden in beeld worden gebracht. Hydrologisch herstel is hierbij een belangrijke opgave. Tussen 2009 en 2015 is de basis gelegd voor het programma Deltaplan Hoge Zandgronden in Zuid Nederland en Zoetwater Oost-Nederland in Oost en aanpak hoge zandgronden in Noord. In 2015 zijn is het onderdeel geworden van het Deltaprogramma Zoetwater. Dit Deltaplan richt zich onder andere op het vergroten van de beschikbaarheid van zoetwater. Na de beleidstafel droogte van 2019 is grondwatervoorraadbeheer in deze gebieden ook belangrijk thema geworden.

2 (GROND)WATERAFHANKELIJKE FUNCTIES

2.1 Grondwaterafhankelijke natuur

Water is een essentieel element voor de natuur en nodig om de bodem, planten en dieren in een ecosysteem gezond te houden. Zowel de waterkwantiteit als de waterkwaliteit zijn voor natuurgebieden van belang. Met name de kwelafhankelijke natuur is gebonden aan hoge grondwaterstanden en grondwater met een specifieke chemische samenstelling [19]. Daarnaast is grondwater van invloed op de watervoerendheid van beeksystemen en daarmee op de aquatische ecosystemen in de beken. De beken worden immers voornamelijk gevoed door grondwater.

In tijden van droogte is de verdringingsreeks van toepassing voor de waterverdeling van oppervlaktewater¹, waar kwetsbare natuur in categorie 1 (hoogste prioriteit) valt, om onomkeerbare schade aan natuur te

¹ Een landelijke verdringingsreeks voor grondwater is niet zinvol en niet werkbaar, maar lokaal kunnen onttrekkingen wel een significant effect op de grondwaterstand hebben. Het grondwaterbeheer kan wel meegenomen worden in de regionale uitwerkingen van de verdringingsreeks. [1].

voorkomen. Vooral natuurgebieden met veen in de ondergrond zijn zeer kwetsbaar omdat dit veen na uitdroging onherstelbaar beschadigd kan worden. Ook dunne slecht doorlatende veenlaagjes in de bodem die zorgen voor natte natuurwaarden zijn kwetsbaar [23]. In Hoog Nederland gaat het hierbij voornamelijk om de hoogveen gebieden in Noord-Brabant, Limburg en Drenthe.

De meteorologische droogte van 2018 had tot gevolg dat het bodem-water-systeem in grote delen van het projectgebied het droogst was van de laatste 30 jaar (1988-2018). Ook de jaren erna (2019 en 2020) waren droog, dit leidde tot de volgende gevolgen voor de natuur [20]:

- de natuur had flink te lijden van de opeenvolgende droge jaren. Oppervlaktewateren (vennen, beken, sloten) vielen (deels) droog; een deel van de ondiep-wortelende vegetatie stierf af. De biodiversiteit van beken, vennen, hoogvenen, trilvenen en schraallanden werd aangetast, maar ook droge heide en productiebossen kregen klappen. Een deel van de schade zal volgens terreindeskundigen niet binnen vijf jaar zijn hersteld; Met name de onomkeerbare schade door (structurele) verdroging is een knelpunt voor de zandgronden;
- niet alleen in gebieden zonder wateraanvoer trad deze schade op, eigenlijk gebeurde dit overal in het zandgebied van Nederland;
- door combinatie van droogte en de toename van grondwateronttrekkingen (voor beregening en drinkwater) zakten de grondwaterstanden en stijghoogten nog verder weg en namen kwelstromen en afvoeren verder af. De berekende laagste grondwaterstand zakte in 2018 voor het gehele zandgebied gemiddeld bijna 0,3 m dieper weg dan gemiddeld; in 2019 was dit ongeveer 0,2 m.

2.2 Landbouw

De landbouwsector maakt op verschillende manieren gebruik van grondwater (naast de opname van grondwater door gewassen). Grondwater wordt onttrokken ten behoeve van beregening in perioden met een neerslagtekort. Daarnaast wordt beregening ook toegepast in de fruitteelt om vorstschade aan bloesem in het vroege voorjaar te voorkomen. Naast grondwater wordt ook oppervlaktewater en leidingwater (vanuit de drinkwatervoorziening) toegepast.

De landbouw heeft (grond)water van voldoende kwantiteit en kwaliteit nodig voor de beregening van gewassen. Eisen die aan de kwaliteit worden gesteld zijn onder andere het chloridegehalte (zoutschade), ijzergehaltes (in relatie tot putverstoppingen en belemmeringen gewasgroei) en ontbreken van schadelijke bacteriën (het voorkomen van bruinrotbacterie in oppervlaktewater kan leiden tot meer onttrekking van grondwater) [19].

Tot slot is de grondwaterstand van invloed op de landbouw, een lagere grondwaterstand zorgt voor meer draagkracht en daarmee de mogelijkheid om met (zwaar) materieel het land op te gaan. Daarnaast zorgt een lagere grondwaterstand voor hogere temperaturen in de winter/lente en daarmee een eerdere start van het groeiseizoen. Ook zorgt het (tijdelijk) voor meer bergingscapaciteit en daarmee minder kans op wateroverlast. Een hogere grondwaterstand zorgt voor voldoende waterbeschikbaarheid voor de gewassen. Terwijl de landbouwsector dus veelal een lagere grondwaterstand wenst aan het begin van het groeiseizoen, kan dit dus nadelige gevolgen hebben later in het seizoen (doordat er dan juist te droge omstandigheden kunnen ontstaan die vervolgens weer met beregening worden gecompenseerd).

De droge jaren 2018-2020 leidden tot de volgende gevolgen voor de landbouw:

- landbouwgewassen liepen droogteschade op: de berekende transpiratiereductie (als maat voor de directe gewasschade) bedroeg in 2018 bijna 20 % meer dan normaal, gemiddeld voor het gehele zandgebied. In 2019 was dit ruim 10 % gemiddeld, maar vooral in het oosten van het land beduidend hoger [20];
- de economische schade die de landbouwsector in heel Nederland in 2018 heeft geleden is met 820 tot 1.400 miljoen euro de grootste gekwantificeerde kostenpost [1]. Er zijn wel verschillen tussen de gebieden en gewassen. Ook is de economische schade afhankelijk van de prijzen van de gewassen;
- niet alleen in gebieden zonder wateraanvoer trad deze schade op, eigenlijk gebeurde dit overal in het zandgebied van Nederland.

De onttrekking van grond- en oppervlaktewater was in heel Nederland 2018 en 2019 hoger dan gemiddeld. Op basis van data van Agrimatie is de onttrekking in 2018 verdubbeld ten opzichte van het jaar 2017 [18], zie ook tabel 3.2. Op de zandgronden wordt voornamelijk beregend met grondwater. In droge jaren wordt het aandeel grondwater veel hoger omdat er in droge perioden snel beregeningsverboden uit oppervlaktewater worden uitgevaardigd om de watervoerendheid van deze oppervlaktewateren te beschermen. In het droogteonderzoek [20] is ingeschat dat er in 2018 4 á 5 keer meer beregend is dan in de periode ervoor (2003-2017).

2.3 Drinkwater

Grondwater wordt meer dan 100 jaar gebruikt als bron voor drinkwater. Circa 60 % van het drinkwater in Nederland wordt gewonnen uit grondwater [19], dit percentage ligt in Hoog Nederland nog veel hoger. Grondwater wordt beschouwd als aantrekkelijke bron voor drinkwater omdat het constanter is van kwaliteit en minder beïnvloed is door menselijk handelen. Hierdoor zijn de zuiveringskosten lager. Daarnaast is grondwater een robuuste bron (minder fluctuaties dan oppervlaktewater). Ook heeft grondwater een constante en relatief lage temperatuur, waardoor nagroei van micro-organismen in het leidingnet beperkt is [19].

In 2018 werd er jaarrond 5 % meer water onttrokken voor drinkwater ten opzichte van het langjarig gemiddelde [20]. Op 21 van de 186 locaties is sprake geweest van een overschrijding van de jaarlimiet. Landelijk gezien is dit beeld niet verontrustend. Op regionale schaal zijn er wel verschillen in overschrijdingen geconstateerd [1].

2.4 Overig gebruik

De overige grondwaterafhankelijke functies, gebruikers en processen waarvoor grondwater van belang is, betreffen:

- industrie: gebruik van grondwater voor de industriële processen. Grondwater uit eigen bron, maar ook leidingwater van waterbedrijf, wordt omgezet tot eindproduct, zoals de bierbrouwerijen en frisdrankenindustrie [16];
- draagkracht van de bodem. De (fluctuaties van de) grondwaterstand zijn van invloed op de draagkracht van de bodem en daarmee op bebouwing en fundering ervan. Hoewel dit in Hoog Nederland minder speelt, zijn ook hier schades aan gebouwen voorgekomen als gevolg van de droge zomer van 2018;
- grondwater wordt gebruikt als energiebron als systemen en is onderdeel van de Energietransitie, zie hiervoor de factsheet Grondwater en Energietransitie;
- cultuurhistorie en archeologie. De draagkracht van de bodem (en de invloed daarop van het grondwater is van belang voor het cultureel erfgoed [23], waarop voor onder andere Rijksmonumenten de erfgoedwet van toepassing is. De grondwaterstand, net als bij houten paalfundering, is van invloed op het behoud van historische resten van met name organisch materiaal. Ook dit is voor Hoog Nederland minder van toepassing, maar kan lokaal wel optreden.

3 WATERBALANS

3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de waterbalans voor drie representatieve gebieden, aangevuld met onder andere inzichten vanuit de waterbalans van Gelderland. De volumes van de waterbalansen geven inzicht in de draagkracht van het grondwatersysteem, mogelijke maatregelen om droogte en verdroging tegen te gaan en de regionale verschillen. Voor dit hoofdstuk is voornamelijk gebruik gemaakt van de waterbalans van het

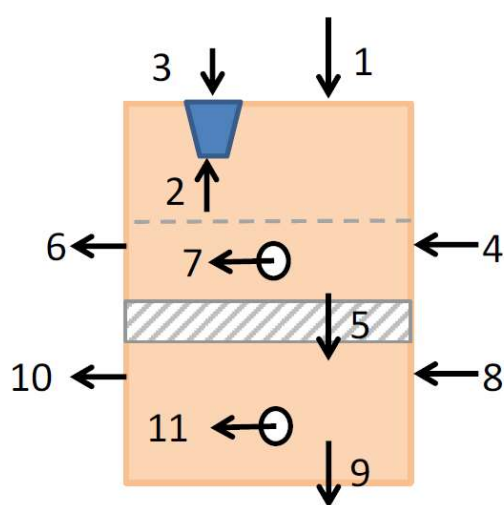
grondwatersysteem van Noord-Brabant [11] en van Gelderland [15]. In beide onderzoeken is slechts beperkt inzicht gegeven in de seizoen fluctuaties.

3.2 Waterbalans

3.2.1 Beschrijving systeem en terminologie

De waterbalansposten zijn in onderstaande afbeelding toegelicht. Opgemerkt wordt dat de drainage van grondwater naar oppervlaktewater bestaat uit zowel de drains (veelal in particulier eigendom) als de ontwatering als gevolg van watergangen (van waterschap of particulieren). In de regionale grondwatermodellen wordt dit onderscheid doorgaans niet gemaakt.

Afbeelding 3.1. Waterbalansposten [11]



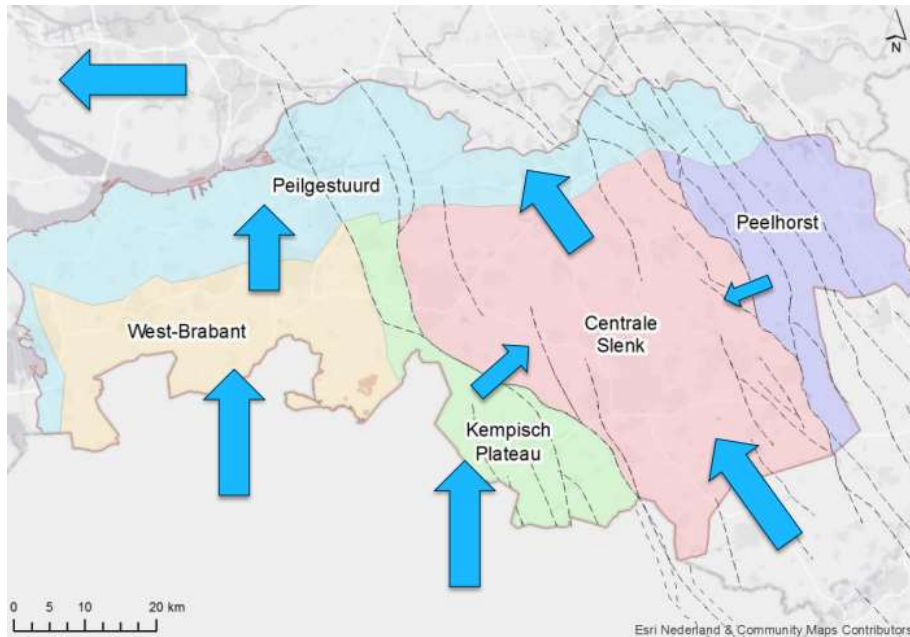
1. Grondwateraanvulling (neerslag minus actuele verdamping).
2. Drainage van grondwater naar het oppervlaktewater.
3. Infiltratie van oppervlaktewater naar het grondwater. Dit is alleen van toepassing op waterlopen die water kunnen aanvoeren. Daarom is dit als een aparte post beschouwd.
4. Horizontale instroom uit andere deelgebieden of van buiten de provincie.
5. Verticale uitstroom naar het volgende watervoerende pakket. Een negatieve flux hier betekent dat er sprake is van netto opwaartse stroming.
6. Horizontale uitstroom naar andere deelgebieden of de provincie uit.
7. Grondwateronttrekking gesommeerd voor alle onttrekkingen ten behoeve van de drinkwatervoorziening, industrie en beregening
8. De posten 8 tot en met 11 zijn in overeenstemming met het eerste watervoerende pakket uitgewerkt.

3.2.2 Representatieve gebieden

Op basis van de waterbalans van Brabant [11] zijn 3 representatieve gebieden geformuleerd:

- veel wegzijging en horizontale uitstroom grondwater. Watervoerend pakket gescheiden door slecht doorlatende laag met watervoerende pakketten waaruit grondwater gewonnen wordt. Relatief grote verticale stroming naar de diepere watervoerende pakketten en een netto uitstroom van grondwater naar andere deelgebieden (West Brabant);
- freatisch pakket. Er is alleen een freatisch grondwaterpakket aanwezig. Er zijn geen dieper liggende watervoerende pakketten aanwezig (Peelhorst);
- freatisch pakket en goed beschermde diepere watervoerende pakketten. De diepere watervoerende pakketten zijn goed beschermd, er vindt relatief weinig verticale grondwaterstroming plaats. Zowel in het freatisch pakket als in de watervoerende pakketten vinden onttrekkingen plaats. Horizontaal vindt er in de verschillende lagen zowel netto aanvoer als uitstroming plaats (Centrale Slenk).

Afbeelding 3.2 Locaties deelgebieden waterbalans Brabant en richting grondwaterstroming [11]

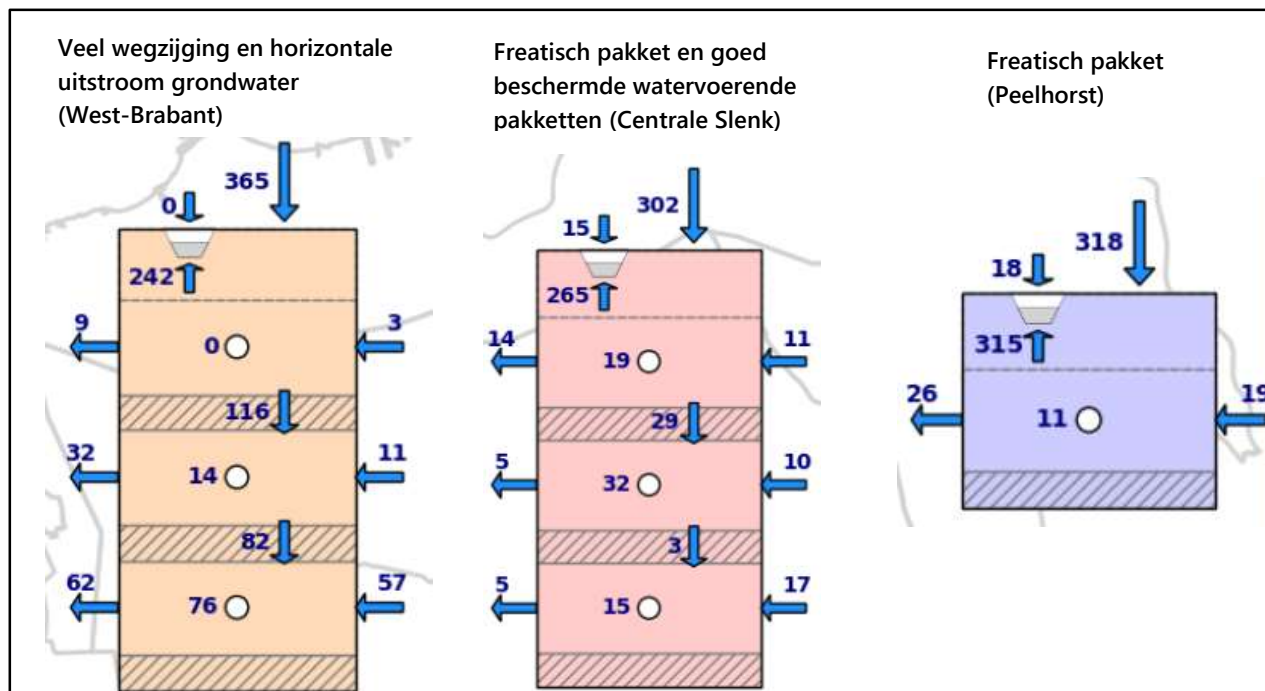


3.2.3 Waterbalans

De waterbalans is in afbeelding 3.2 voor de drie representatieve gebieden weergegeven. In de volgende paragrafen wordt op de onderdelen van de waterbalans ingegaan. Benadrukt wordt dat de waterbalans locatie specifiek is: de deelgebieden kunnen niet los van elkaar worden gezien. De referentiegebieden zijn gekozen om de specifieke kenmerken van een gebied met bijbehorende problematiek te illustreren. Uiteraard is de waterbalans een versimpeling van de daadwerkelijke situatie, waarbij veel andere kenmerken een rol spelen.

De waterbalans zegt overigens niets over hoge of lage grondwaterstanden of over verdroging. Ook in verdroogde gebieden zijn de grondwaterstromen in balans. Ook is er altijd voldoende aanvulling van grondwater naar de diepere watervoerende pakketten en zijn de watervoerende pakketten ook bij onttrekkingen in balans. Deze grondwateraanvulling heeft echter wel effect op het freatische grondwatersysteem en daarmee op de natuur.

Afbeelding 3.3. Waterbalans voor de huidige situatie voor 3 representatieve gebieden in mm/jaar [11]

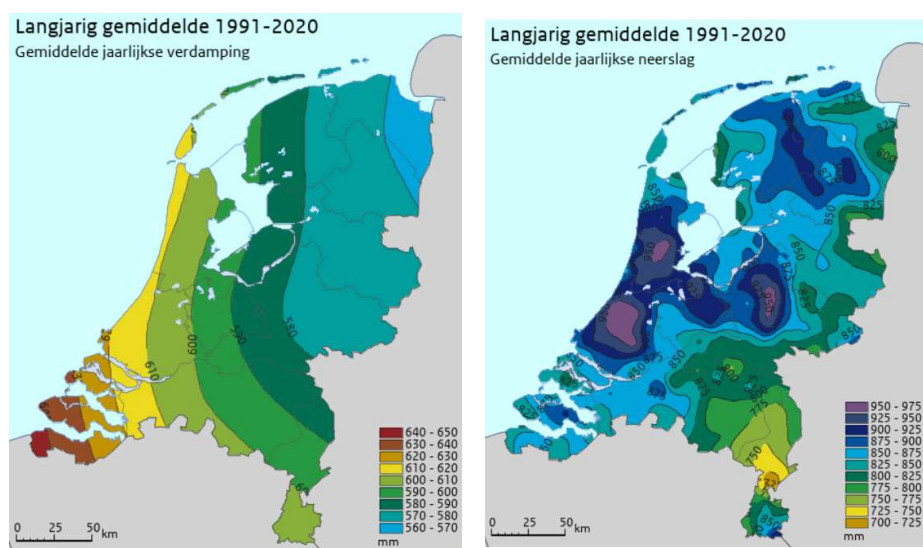


3.2.4 Grondwateraanvulling

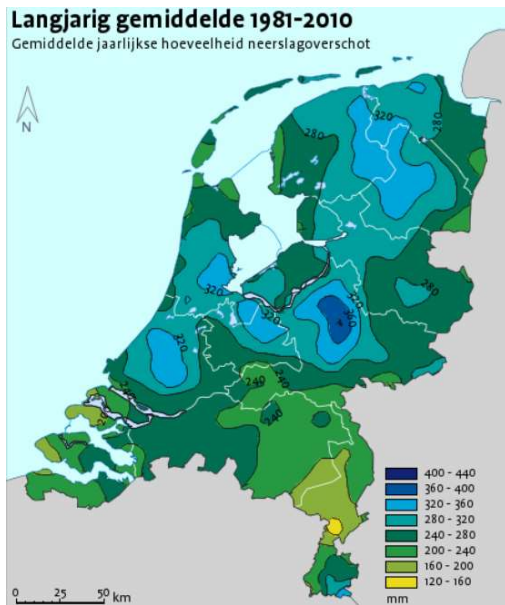
Grondwateraanvulling is de waterflux van de onverzadigde zone naar de verzadigde zone, die grotendeels wordt bepaald door neerslag en werkelijke verdamping. De grondwateraanvulling is gemiddeld ongeveer 330 mm per jaar. Er zijn echter regionale verschillen in de grondwateraanvulling als gevolg van neerslag en referentieverdamping, zie afbeelding 3.4, die resulteren in regionale verschillen in neerslagoverschot (afbeelding 3.5). Daarnaast bepaalt het landgebruik de potentiële verdamping (zie ook paragraaf 4.1) en de vochtbeschikbaarheid bepaalt de verdamping die daadwerkelijk optreedt. Het effect van klimaatverandering op de grondwateraanvulling is in paragraaf 3.4 beschreven.

Voor West-Brabant is de relatief grote grondwateraanvulling in West-Brabant dus deels te verklaren door het relatief grote neerslagoverschot.

Afbeelding 3.4 Langjarige gemiddelde neerslag (rechts), referentieverdamping (links) in de periode 1991-2010 [22]



Afbeelding 3.5 Neerslagoverschot (neerslag – referentieverdamping) 1981-2020 [22]



3.2.5 Infiltratie en drainage

Onder infiltratie wordt de infiltratie vanuit oppervlaktewater verstaan. Dit is alleen van toepassing op waterlopen in gebieden waar wateraanvoer mogelijk is, zoals de Centrale Slenk en de Peelhorst.

Drainage, het geheel van drains, sloten en beken, voert het neerslagoverschot af waardoor dit water niet kan infiltreren. Dit gebeurt in gebieden met een hoge grondwaterstand. In (infiltratie) gebieden met een lagere grondwaterstand is drainage (ontwatering) niet of beperkt aanwezig en kan het neerslagoverschot naar de diepte infiltreren.

In de waterbalans is te zien dat tussen de 66 tot 93 % van het neerslagoverschot (en het extern aangevoerde water dat infiltreert) via drainage en het oppervlaktewatersysteem afgevoerd wordt. Deze getallen zijn erg locatie specifiek en hangen samen met de dynamiek van een gebied (als gevolg van aanwezige onttrekkingen, regionale grondwaterstroming, etc.). De percentages laten wel zien dat veel neerslag direct of via het ondiepe grondwater afgevoerd wordt uit het gebied.

3.2.6 Verticale en horizontale grondwaterstroming

De voeding van het grondwatersysteem vindt vooral van boven (verticaal) plaats. De netto horizontale in- of uitstroming per deelgebied is beperkt in vergelijking met de verticale voeding.

De verticale stroming (zie paragraaf 3.2.7) en horizontale stroming wordt beïnvloed door de onttrekkingen die in de watervoerende pakketten plaatsvindt. De onttrekkingen leiden tot een toename van ongeveer 20 % van de horizontale toevoer (West-Brabant en Centrale Slenk).

3.2.7 Grondwateronttrekkingen

De onttrekkingen vormen 3 % (Peelhorst) tot 21 % (West-Brabant) van de totale waterbalans. Op de waterbalans kan het aandeel beperkt zijn, lokaal kunnen onttrekkingen wel een groot effect sorteren. Voor de vergunde onttrekkingen zijn de effecten beoordeeld en afgewogen en kunnen mitigerende maatregelen opgelegd worden om effecten te verminderen.

Voor de waterbalans van Brabant zijn de verschillende typen onttrekkingen gekwantificeerd en zijn de trends in beeld gebracht. Voor Nederland zijn de onttrekkingen in tabel 3.2 samengevat voor een gemiddeld jaar en een droog jaar (2018). Hieruit blijkt dat de onttrekkingen ten behoeve van de landbouw in droge jaren verdubbelen.

Tabel 3.1. Grondwateronttrekkingen Brabant [11]

	Aandeel gemiddeld jaar (%)	Dynamiek over de jaren	Jaarlijkse dynamiek	Trend (2050)
drinkwater	70 %	redelijk constant afgelopen 20 jaar	meer verbruik in de zomer	afhankelijk van economische groei; +14 %/-11 ¹
industrie	8 %	afnemende trend	beperkt	afhankelijk van economische groei; verwachting +/-5 %
beregening	13 %	sterkte fluctuatie; afhankelijk van droogte ²	alleen in voorjaar en zomer,	toename in beregening met factor twee voor het droge klimaatscenario (WH) ³
niet geregistreerd ⁴	10 % ⁵	sterkte fluctuatie; afhankelijk van droogte	in de zomer,	onbekend. (waarschijnlijk vergelijkbaar met trend 'beregening')

Tabel 3.2 Grondwatergebruik Nederland (M = miljoen)

	Gebruik gemiddeld jaar		Droog jaar (2018)	
Functie	Mm ³ /jaar	%	Mm ³ /jaar	%
drinkwater (t.b.v. consumenten, industrie en landbouw)	880 [3]	78	925 [20]	71
industrie	126 [3]	11	126	10
beregening t.b.v. de landbouw	125 [3, 18]	11	250	19
totaal	1131		1300	

Effecten van onttrekkingen op ontwatering

Het onttrekken van grondwater is van invloed op de ontwatering. Bij toename in onttrekking neemt de verticale stroming (voeding) naar het watervoerend pakket toe en de ontwatering af. Dit is vrijwel een lineair verband (zo lang er nog water gedraineerd en ontwaterd kan worden), zoals weergegeven is in afbeelding 3.6.

¹ Landelijk wordt er uitgegaan van een maximale groei van 30 %.

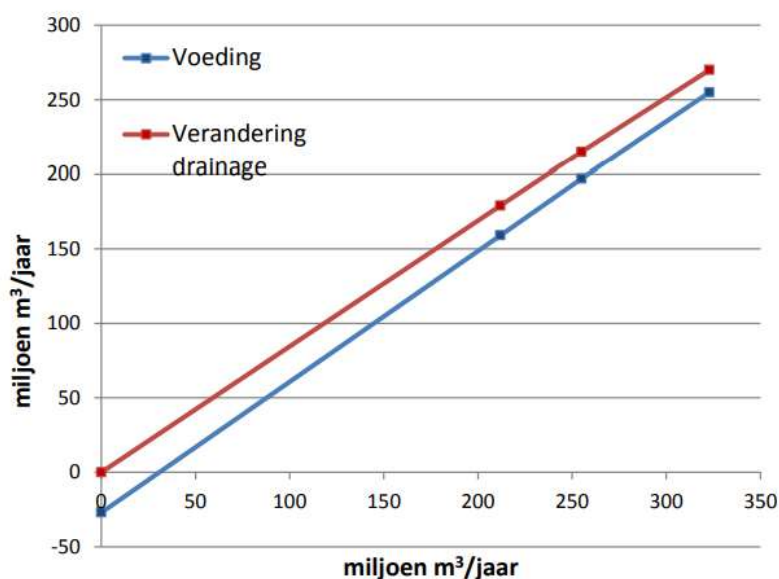
² In 2018 was de onttrekking 100 miljoen m³ t.o.v. 40 miljoen m³ in een gemiddeld jaar. Lit???

³ Als gevolg van grotere neerslagtekorten, verschuiving in beregeningsvraag en uitbreiding van beregend areaal.

⁴ Met name bedrijfsvoering veeteelt en particuliere beregening.

⁵ Geen exacte cijfers bekend. Deze onttrekkingen zijn bedoeld voor veedrenking en particuliere tuinen. Aangezien hiervoor vaak respectievelijk leidingwater en oppervlaktewater gebruikt wordt, is de schatting mogelijk aan de hoge kant

Afbeelding 3.6 Relatie tussen de hoeveelheid onttrokken grondwater in Noord-Brabant, de voeding van het diepe watervoerende pakket en de verandering in drainage en ontwatering door het oppervlaktewater [11]. Bij een toename van de voeding van het watervoerende pakket (als gevolg van bv grondwateronttrekking) neemt de drainage (ontwatering) af (weergegevens als verandering)



3.2.8 Waterbehoefte grondwaterafhankelijke natuur

Specifiek voor Noord-Brabant is de waterbehoefte voor grondwaterafhankelijke natuur (zoals beken, natte bossen, heide, vennen, veengebieden) in beeld gebracht. De beschikbaarheid van kwel tot in de wortelzone is nodig voor de grondwaterafhankelijke natuur. In grote delen van Brabant zakken de grondwaterstanden op deze plaatsen in de zomer te veel uit: er is sprake van verdroging als gevolg van intensieve ontwatering, verstedelijking, toegenomen landbouwproductie en grondwateronttrekkingen [5]. Om dit op te lossen en de kwelbehoefte te herstellen is herstel van het watersysteem noodzakelijk. Hiervoor is naar schatting ongeveer 350 miljoen m³ grondwater per jaar nodig: 'de ruimtelijke watervraag'. Onbekend is hoeveel jaren dit nodig is om de verdroging te herstellen. De 'directe grondwaterbehoefte natuur' - als de verdroging is hersteld - is circa 50-60 miljoen m³ per jaar [2].

3.3 Grondwaterdynamiek

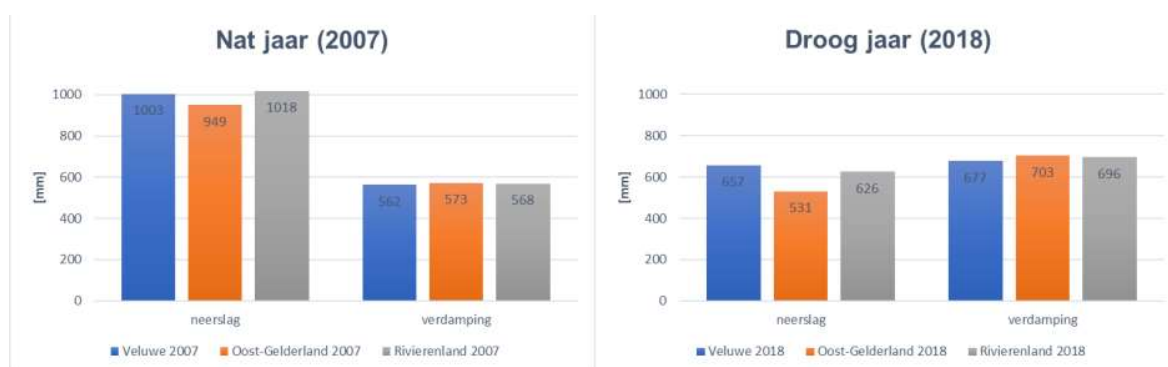
De hoeveelheden die zijn weergegeven in voorgaande paragrafen geven inzicht in de posten van de waterbalans voor een gemiddeld jaar. Ten aanzien van de verdroging zijn de zomers vaak een knelpunt: door verminderd aanbod en toename van de watervraag. De seizoen fluctuaties zijn op hoofdlijnen weergegeven in tabel 3.3. Meer gedetailleerde seizoensfluctuaties voor een (droge) zomer is op dit moment niet beschikbaar.

Naast de seizoensfluctuaties zijn er ook belangrijke verschillen tussen een droog en een nat jaar. Voor de waterbalans van Gelderland zijn ter illustratie voor drie deelgebieden de neerslag en (potentiële) verdamping voor een nat jaar (2007) en een droog jaar (2018) in beeld gebracht, zie afbeelding 3.7. Hieruit blijkt dat in een droog jaar de (potentiële) verdamping groter is dan de neerslag. De piekvraag vanuit berekening vindt plaats in de droge maanden mei, juni en juli.

Tabel 3.3. Grondwaterdynamiek o.b.v. waterbalans Gelderland [15]

Post	Zomer	Winter	Opmerking
neerslag	50 %	50 %	Verschillen in neerslag in een gemiddeld jaar (huidig) vergelijkbaar voor zomer en winter. Grote fluctuaties op dag/maandbasis.
verdamping	80 %	20 %	
landbouw (berekening)	90 %	10 %	Sterk afhankelijk van neerslagtekort. Grote fluctuaties op dag/maandbasis. Berekening in de winter is mogelijk vorstbescherming.
drinkwater	55 %	45 %	
afvoer oppervlaktewater	20 %	80 %	Sterk afhankelijk van regionaal watersysteem.

Afbeelding 3.7 Jaarlijkse neerslag en potentiële verdamping voor een nat en een droog jaar [15]



3.4 Klimaatverandering

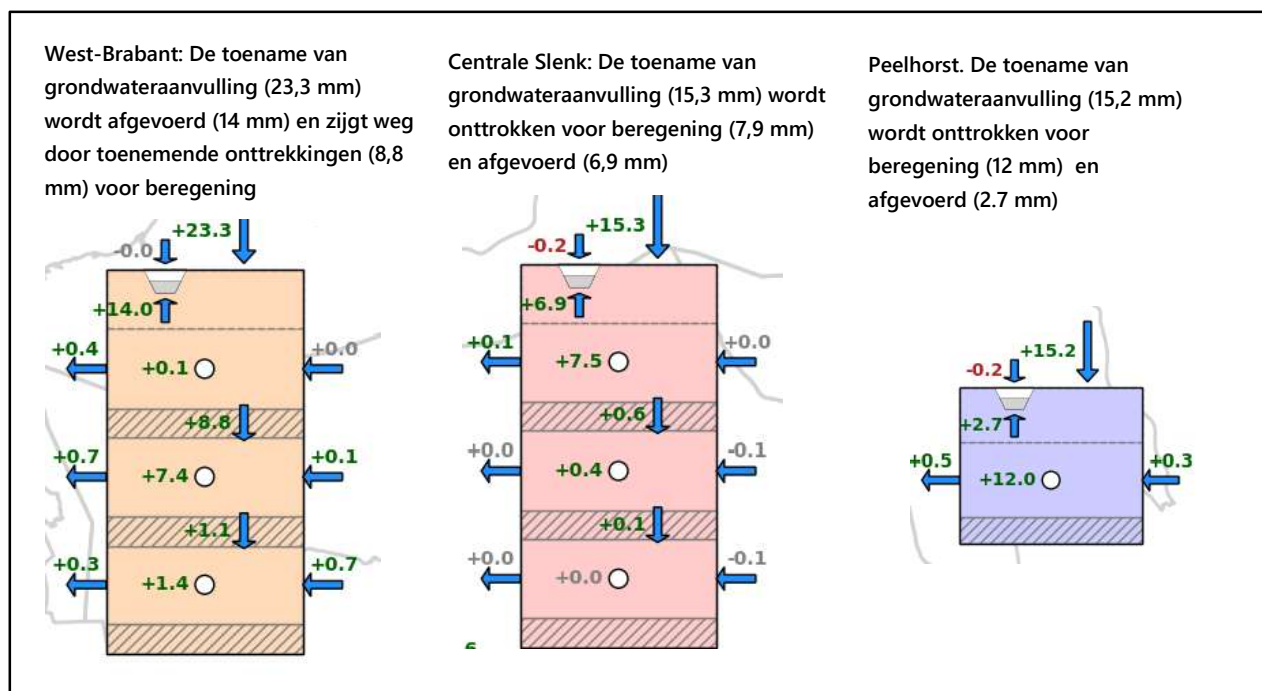
3.4.1 Impact klimaatverandering op de waterbalans

De waterbalans van Noord-Brabant is ook voor klimaatscenario's doorgerekend [11]. Afbeelding 3.8 geeft de verandering op jaarbasis weer voor klimaatscenario W_H (sterke temperatuurstijging en hoge verandering luchtstromen). In dit scenario worden de winters natter met meer neerslag. Dit zorgt in de hogere delen voor meer grondwaternaavulling. In de ontwaterde gebieden wordt de extra neerslag die in de winter valt afgevoerd.

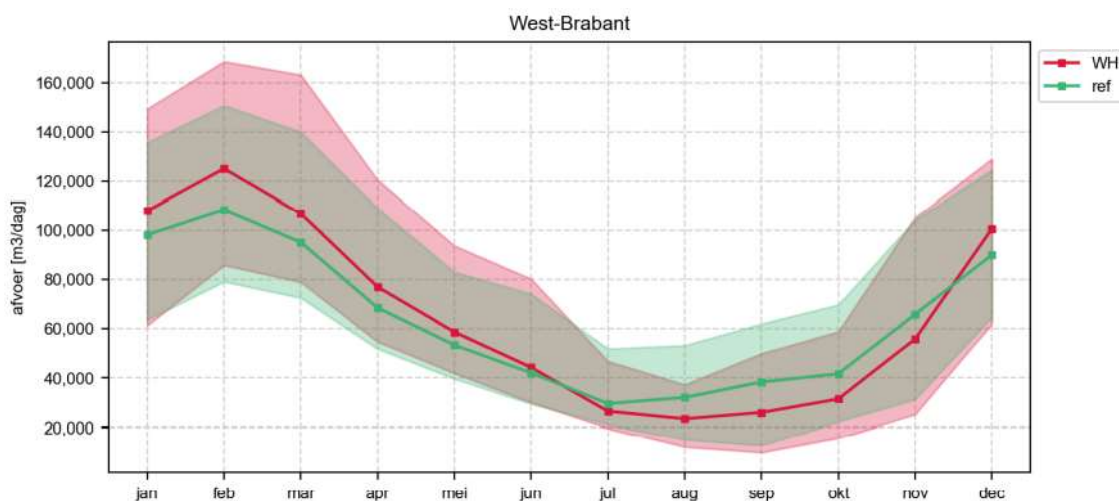
De zomers worden in alle klimaatscenario's juist droger door het gelijk blijven of een afname in neerslag en een toename in potentiële verdamping (3,5 tot 11 %). Daarnaast neemt ook de intensiteit van de neerslag toe, hiervan voert relatief meer oppervlakkig af. Dit leidt, naast een lagere zomergrondwaterstand voor de meeste gebieden, ook tot een toename in grondwateronttrekkingen. Het beregende grondwater wordt grotendeels gebruikt door de planten en verdwijnt als verdamping.

Op jaarbasis is de impact van klimaatverandering relatief beperkt, maar juist in de zomer is het grootste effect te verwachten. De grondwaterstanden nemen in de zomer namelijk af (zie tabel 3.4) en hiermee ook de beekafvoer (zie afbeelding 3.9).

Afbeelding 3.8 Verandering in de jaarlijkse waterbalans als gevolg van de klimaatverandering, scenario WH₂₀₅₀ in mm/jaar [11]



Afbeelding 3.9 Effect klimaatverandering op afvoer beken klimaatscenario Wh 2050 ten opzichte van de huidige situatie (ref), totaal voor deelgebied West-Brabant. De lijn geeft de gemiddelde afvoer per maand weer en het vlak de range tussen de 10 en 90 percentielwaarde [11]



Tabel 3.4 Verandering in de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) per type gebied bij klimaatscenario WH 2050 [11]

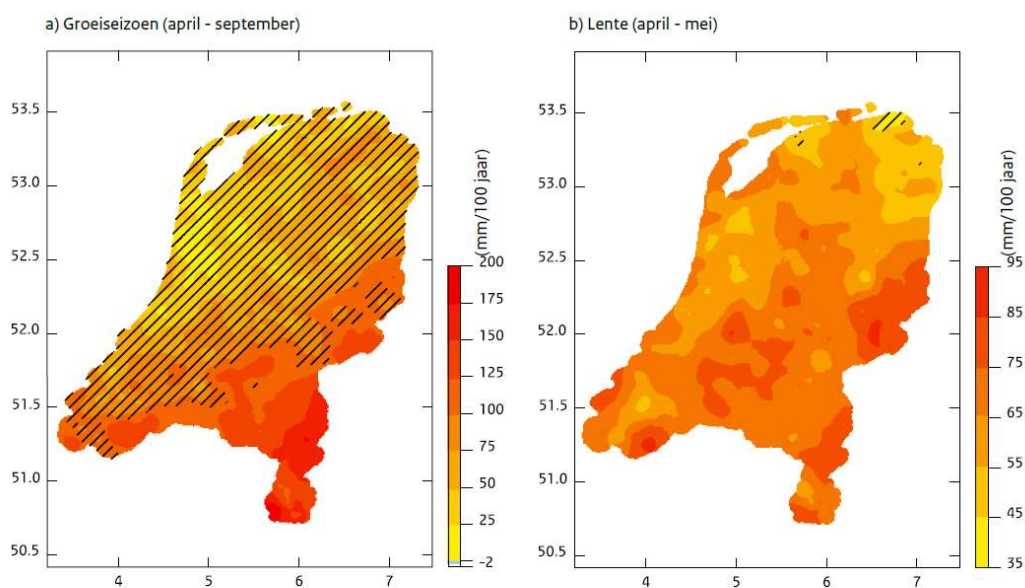
	Landbouw	Natuur	Stedelijk
	[cm]	[cm]	[cm]
Centrale Slenk	-15	-12	-9
Peelhorst	-12	-7	-10
West-Brabant	-11	-9	-3

3.4.2 Impact klimaatverandering op droogte

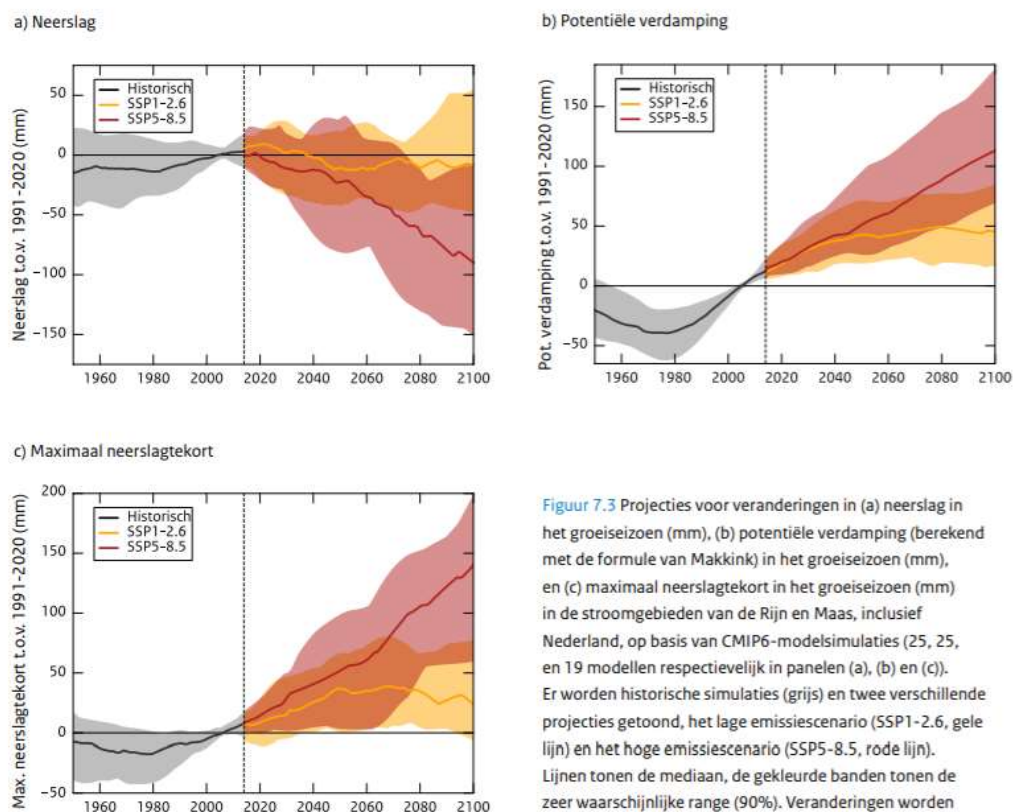
Het maximale neerslagtekort in het groeiseizoen is reeds al toegenomen (afbeelding 3.10, links). Deze trend overstijgt nog niet overal de natuurlijke jaarlijkse variatie. De maanden april en mei laten sinds 1965 in vrijwel het gehele land een significante trend naar hogere waarden van het maximale neerslagtekort zien (afbeelding 3.10, rechts). Voor het binnenland is aangetoond dat de toegenomen potentiële verdamping kan worden toegeschreven aan klimaatverandering, met als oorzaken een oplopende gemiddelde temperatuur en toegenomen zonneshijn. Zonder een duidelijke trend in neerslag lijkt de kans op droogte in het binnenland dus toe te nemen vanwege klimaatverandering. In afbeelding 3.11 zijn projecties voor veranderingen in neerslag in het groeiseizoen, potentiële verdamping en neerslagtekort weergegeven [24].

Op grond van verwachte neerslagveranderingen zullen de kansen op laag water in de Rijn en Maas toenemen.

Afbeelding 3.10. Trend in neerslagtekort in mm/100 jaar [24]



Figuur 7.2 Lineaire trend in de maximale waarde van het neerslagtekort (mm/100 jaar) in het (a) groeiseizoen en (b) in de lente, berekend over de periode 1965-2020. Gebieden waar de trend kleiner is dan de natuurlijke variatie (niet statistisch significant) zijn gearceerd.



Figuur 7.3 Projecties voor veranderingen in (a) neerslag in het groeiseizoen (mm), (b) potentiële verdamping (berekend met de formule van Makkink) in het groeiseizoen (mm), en (c) maximaal neerslagtekort in het groeiseizoen (mm) in de stroomgebieden van de Rijn en Maas, inclusief Nederland, op basis van CMIP6-modelsimulaties (25, 25, en 19 modellen respectievelijk in panelen (a), (b) en (c)). Er worden historische simulaties (grijs) en twee verschillende projecties getoond, het lage emissiescenario (SSP1-2.6, gele lijn) en het hoge emissiescenario (SSP5-8.5, rode lijn). Lijnen tonen de mediaan, de gekleurde banden tonen de zeer waarschijnlijke range (90%). Veranderingen worden getoond ten opzichte van de periode 1991-2020.

4 HANDELINGSPERSPECTIEVEN

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de handelingsperspectieven om verdroging tegen te gaan voor de verschillende posten uit de waterbalans. De waterbalans is weliswaar als uitgangspunt gekozen, maar het gaat om het effect op de grondwaterstanden en de regionale kwelstromen. Deze effecten zijn echter erg locatie specifiek. De verschillende handelingsperspectieven moeten daarnaast in samenhang beschouwd worden, omdat maatregelen elkaar kunnen beïnvloeden.

In dit hoofdstuk is gebruik gemaakt van de handelingsperspectieven zoals onderzocht in Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland [36]. In dit onderzoek wordt gesteld dat om effecten van droogte op landbouw, natuur en het watersysteem te reduceren, structurele maatregelen nodig zijn tot in de haarvaten van het watersysteem. Tevens dient de invloed van grondwateronttrekkingen voor drinkwater en beregening in de landbouw te worden teruggedrongen, en kunnen bufferzones rondom natte natuurgebieden bijdragen aan het herstel van verdroogde habitats. Dat hierbij concessies in tijd en ruimte moeten worden gedaan aan functiebediening, lijkt onoverkomelijk. Belangrijke kansen voor het combineren van opgaven liggen op het vlak van landbouw- en energietransitie (onder andere stikstof en CO₂) en biodiversiteit.

Afbeelding 4.1. Structurele maatregelen verdroging [36]



4.2 Verdamping

Veruit de grootste uit-post in de waterbalans is de verdamping: van de 700 tot 950 mm neerslag verdampt er gemiddeld 570 tot 610 mm, zie afbeelding 3.4. Bovendien is de verdamping het grootst in de zomer. Het beperken van het waterverlies als gevolg van verdamping vergroot kan de grondwateraanvulling fors verhogen. Wijzigingen in de verdamping vereisen aanpassingen in het landgebruik. Er wordt onderscheid gemaakt tussen aanpassingen aan natuur en landbouw. Opgemerkt wordt dat verdamping lastig is om goed te meten en schattingen van de verdamping van verschillende begroeiingstypen en landgebruiksvormen onzeker zijn.

Vergroten van de grondwateraanvulling, door de verdamping te reduceren, dient wel samen te gaan met maatregelen in het ontwateringssysteem (i.e. hogere ontwateringsbasis) want als het aangevulde grondwater direct weer wordt afgevoerd, is de aanvulling netto niet effectief [6]. Dit is met name relevant voor maatregelen die leiden tot vergroting van de grondwateraanvulling in de winter.

4.2.1 Natuur

Door nieuwe natuur te ontwikkelen of het natuurbeheer meer in te richten op het vergroten van de grondwateraanvulling door het reduceren van verdamping, kan natuur een bijdrage leveren aan het vergroten van de grondwateraanvulling. Onderstaande tabel geeft de verschillen weer tussen de potentiële verdamping voor verschillende typen begroeiing. Dit geeft een indicatie voor de effectiviteit van deze maatregel. Gedacht kan worden aan het ontbossen ten behoeve van de ontwikkeling van heidegebied of het omvormen van naaldbos naar loofbos. Dergelijk maatregelen zijn altijd maatwerk en dienen vanuit een brede context beschouwd te worden. Zo geeft het Klimaatakkoord juist aan dat er meer bos bij moet komen om koolstofdioxide (CO₂) op te slaan, maar spelen hiernaast ook biodiversiteit en stikstofdepositie een rol [34]. Een visie op de ontwikkeling van natuur zal dan ook in een bredere context beschouwd moeten worden. Opgemerkt wordt dat de gegeven verdampingscijfers het totaal bevatten van bodemverdamping + gewasverdamping (transpiratie) + verdamping van interceptiewater.

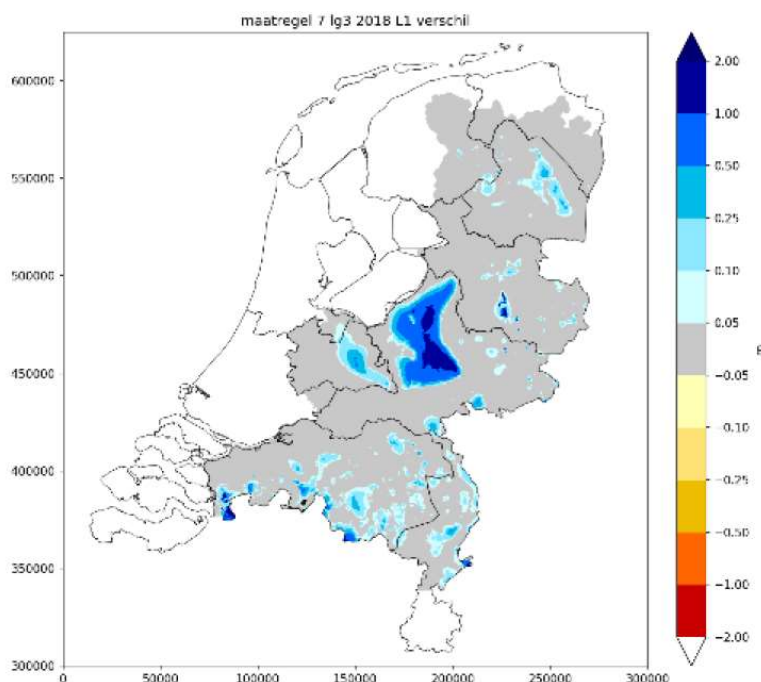
Afbeelding 4.2 Indicatie van het neerslagoverschot (neerslag-potentiële verdamping) voor verschillende begroeiingen, geschat op basis van gewasfactoren en neerslag (847 mm/jaar) en referentieverdamping volgens Makkink in het zandlandschap van Nederland (570 mm/j) voor de periode 1981-2010 [25]

Begroeiing	Gewasfactor ¹⁾ (-)	Potentiële verdamping (mm/j)	Neerslagoverschot ²⁾ (mm/j)
Kaal zand	0,4	228	619
Droog duin	0,7	399	448
Heide	0,8	456	391
Schraalgrasland	1,0	570	277
Laagveen	1,0	570	277
Loofbos	1,1	627	220
Naaldbos	1,2	684	163
Hoogveen	1,2	684	163
Donker naaldbos	1,3	741	106

¹⁾Ontleend aan Runhaar e.a., 1998. ²⁾Omdat gewasfactoren de relatie tussen referentieverdamping en potentiële verdamping beschrijven, is dit een onderschatting van het neerslagoverschot.

In Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland [36], is het effect van de verandering van naaldbos naar heide (dat minder verdampt onderzocht. Uiteraard zijn er alleen effecten te zien voor de gebieden waar nu naaldbos staat. Effecten van de toename van de grondwateraanvulling zijn het grootste in de zogenaamde trage gebieden zonder noemenswaardige ontwateringsmiddelen. De grondwaterstand blijft stijgen totdat er weer een evenwicht wordt bereikt tussen de grondwateraanvulling, grondwaterstand (opbolling tussen drainagemiddelen) en afvoer van het neerslagoverschot.

Afbeelding 4.3 Effect op de freatische grondwaterstand (LG3) 5 jaar naar de omzetting van naaldbos naar heide (2018) [36]



4.2.2 Landbouw

De hoeveelheid verdamping door de landbouw wordt beïnvloed door de gewassen (verschillende soorten gewassen hebben verschillende verdampingsfactor), lengte van het groeiseizoen, waterbeschikbaarheid en de wijze van beregenen. Voor Noord-Brabant is een daling van de grondwaterstand van 15 tot 30 cm over de periode 1950-2010 berekend als gevolg van de toename van de gewasopbrengst en veranderingen in landgebruik [14]. Om verdamping te reduceren zijn er de volgende mogelijkheden:

- gewassen verbouwen die minder water verdampen (gewasfactor) of grassoorten hanteren die beter tegen droogte en hitte kunnen en minder geïrrigeerd hoeven worden (hiervoor is inspiratie uit mediterrane landen te halen zoals druiven- of olijventeelt) [15]. Ook zijn er proeven met sorghum (in plaats van mais). Opgemerkt wordt, dat in sommige gevallen droogtebestendige gewassen dieper wortelen en daardoor langer bij het grondwater kunnen; hierdoor wordt weliswaar minder beregend, maar vindt juist meer verdamping plaats;
- reduceren verliezen van beregening [27]. Bij beregening komt niet al het water ten goede aan de aanvulling van het bodemvocht in de wortelzone van het beregende perceel door verliezen in het irrigatiesysteem. De potentiële impact op het grondwater is beperkt, onder andere omdat de verliezen beperkt zijn, én omdat een verlies (vanuit irrigatie gezien) ook gedeeltelijk een aanvulling aan het grondwater betekent. Het meest effectief is om alleen bij matige wind te beregenen en om alleen te beregenen als het echt nodig is. Zo is mogelijk het beregenen van grasland niet winstgevend. Druppelirrigatie en subirrigatie zijn bovendien niet kosteneffectief. Dit blijkt uit uitgevoerde studies en onderzoeken:
 - de irrigatieverliezen betreffen, uitgaande van een moderne spuihaspel:
 - Bij beregening midden overdag zijn de verdampingsverliezen bij het gebruik van een spuihaspel 3 à 6 % van de beregeningsgift. Lekverlies is 2 % (dit kan wel ten goede komen aan het grondwater);
 - Driftverliezen nemen meer dan lineair toe met de windsnelheid en kunnen aanzienlijk zijn, tot meer dan 10 % bij windsnelheden boven 3 m/s (matige wind), bij een windsnelheid van 3 m/s is het driftverlies 2 à 3 % [28];
 - De verdeling van de beregening over het beregende perceel bij het gebruik van een spuihaspel is gevoelig voor wind. Daardoor kunnen de percolatieverliezen bij windsnelheden van 3 m/s (matige wind) toenemen naar 12 %. Aangezien dit 'verlies' via capillaire opstijging alsnog in de wortelzone terechtkomt of naar het diepere grondwater percoleert is dit voor het regionaal watersysteem geen verlies;
 - in het onderzoek is niet meegenomen dat vaak een groter oppervlak beregend wordt dan het betreffende perceel vanwege de werpbreedte van de haspel.

Het verschil in verdampingsverliezen tussen beregening overdag en 's nachts is 3 procentpunt. Het niet beregenen bij windsnelheden boven 3 m/s (matige wind) is effectief om verliezen te beperken, omdat daarmee zowel de driftverliezen als percolatieverliezen worden gereduceerd. In de praktijk wordt bij voorkeur niet beregend als het 'hard' waait;

- vervangen traditionele beregening door druppelirrigatie (kapitaalintensieve teelt). Dit verhoogt de effectiviteit van irrigatie van 70 % naar 90 %, hiermee kan in een gemiddeld jaar 15 mm bespaard worden (op 75 mm beregening per groeiseizoen) [15]. Uit een uitgevoerde MKBA in het kader van het Deltaprogramma Zoetwater blijkt dat druppelirrigatie niet kosteneffectief is [38];
- subirrigatie (overige akkerbouw) verhoogt de effectiviteit van beregening van 70 % naar 100 %, hiermee kan in een gemiddeld jaar 24 mm (80 mm beregening per groeiseizoen) bespaard worden [15]. Daarnaast is de genoemde 100 % theoretisch, in de praktijk is dit lager. Zo is bij het zaaien van een gewas subirrigatie minder geschikt om groei tot stand te brengen. Daarnaast vraagt subirrigatie relatief veel water, waarvan maar een deel ten goede komt aan het gewas. Bij goed beheer voedt het overschot het grondwater, maar het overschot kan ook naar het oppervlaktewater stromen [37]. Opgemerkt wordt dat de genoemde 70 % effectiviteit ook verhoogd kan worden door alleen bij matige wind te sproeien. Hierbij kan ook bij sproeien een effectiviteit van 90 % behaald worden zoals hierboven beschreven. Uit een uitgevoerde MKBA in het kader van het Deltaprogramma Zoetwater blijkt dat subirrigatie niet kosteneffectief is [38].

4.2.3 Stakeholders

Wijziging van het type natuur ligt met name bij terrein beherende organisaties en de provincie. De provincie maakt het beleid met betrekking tot natuurbeheer en is verantwoordelijke voor de ruimtelijke inrichting, bijvoorbeeld voor wijziging van landbouw naar natuur. Door afspraken te maken met de terreinbeheerders over haar beheerplannen kan de provincie wijzigingen doorvoeren. De mogelijkheid voor het omzetten van natuur naar natuur met een lagere potentiële verdamping wordt beperkt door het areaal natuur, N2000 doelstellingen, maatschappelijk draagvlak en andere opgaven (zo geeft het Klimaatakkoord juist aan dat er meer bos bij moet komen om koolstofdioxide (CO₂) op te slaan).

Gewaskeuze en irrigatietechniek liggen bij de landbouw, ook al is de waterverdeling een collectieve verantwoordelijkheid. Voor de landbouw luistert de waterhuishouding erg nauw. Het waterschap is hierbij 'hofleverancier' van (oppervlakte)water voor de landbouw. Het waterschap en provincie kunnen als bevoegd gezag door aanpassing van beleid en strengere handhaving beregening reduceren.

Andere gewassen of waterbesparende irrigatie sluiten soms beter aan bij de waterbeschikbaarheid, maar de investering moet uit kunnen (is over het algemeen niet kosteneffectief) en er moet een afzetmarkt zijn. Het Rijk kan een rol spelen in deze landbouwtransitie door het landelijk op te pakken met programma's, subsidies, doelen en inrichting van de economie. De provincie is richting landbouw met name toezichthouder vanuit haar taak om voor goed grondwaterbeheer te zorgen. Ze heeft geen directe invloed op verdamping door gewaskeuze. De provincie kan wel ondersteunen met communicatie, financiële steun of zekerheid en, indien nodig, met juridische instrumenten. Voor het verbeteren van de irrigatiesystemen is een investering nodig die economisch niet zo maar rendabel is. Deze waterbesparing kan door provincie en waterschap aangemoedigd worden (communicatie) en mogelijk gesubsidieerd (provincie, Rijk).

4.3 Water aanvoer van elders en extra infiltratie

De infiltratie van water (van buiten aangevoerd) is 0 tot 5 % van de waterbalans (zie paragraaf 3.2.3). Voor andere gebieden kan dit percentage aanzienlijk groter zijn. De infiltratie kan vergroot worden door:

Vergroten van de infiltratiecapaciteit

Door bodemverbetering, waaronder verbeterde en diepere beworteling kan de infiltratiecapaciteit vergroot worden (zie paragraaf 4.3.2) en leidt een groter deel van de grondwateraanvulling tot een aanvulling van het diepere grondwatersysteem, met name in de niet ontwaterde gebieden.

Vergroten waterbeschikbaarheid voor infiltratie

Door het aanleggen van open water (met infiltrerende in plaats van drainerende werking), peilopzet en wateraanvoer kan de infiltratie vergroot worden. In hoger gelegen infiltratiegebieden die ondergronds ruimte hebben om op te vullen met water zijn mogelijkheden om extra water te laten infiltreren. Hogere en drogere gebieden kunnen 's winters gevoed worden met water met gebiedseigen water (bijvoorbeeld beekwater), dan wel (voorgezuiverd) oppervlaktewater [20]. Gebieden die hierbij veel potentie hebben zijn zandgebieden met een diepe grondwaterstand, zoals bijvoorbeeld aan de Veluwe, met een onverzadigde zone van wel 10 tot 20 m.

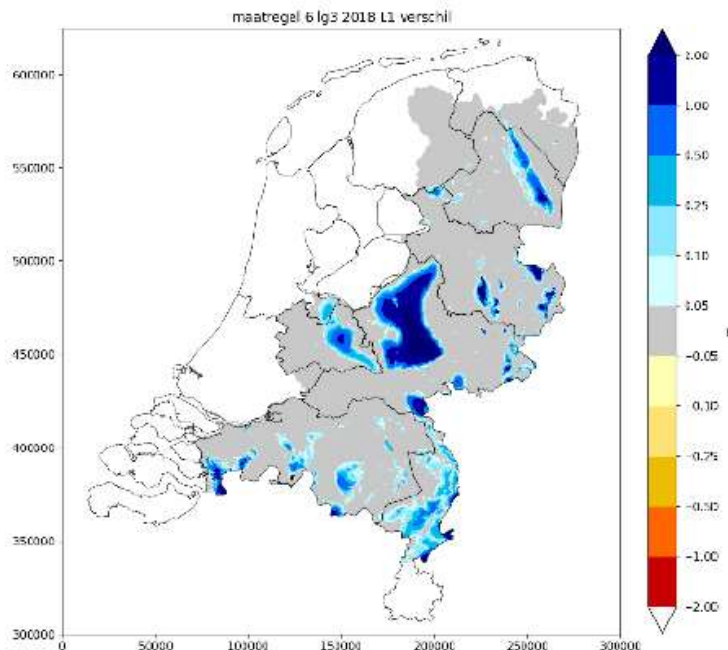
Hiervoor is dan ook het concept 'Wateraccu' Veluwe/Nationale Gieter ontwikkeld. In een modelonderzoek is het effect van infiltratie onderzocht [29]. Hierbij wordt water aangevoerd en via vennen geïnfiltreerd. In het onderzoek is een scenario onderzocht waarbij 336 miljoen m³ per jaar gespreid over de Veluwe infiltreert. Bij scenario 2 wordt 100 miljoen m³ per jaar lokaal geïnfiltreerd. Deze grootschalige infiltratie leidt in beide scenario's tot een zeer sterke stijging van de grondwaterstand van maximaal 15 m (scenario 1) tot 28 m (scenario 2). Het geïnfiltreerde grondwater verspreidt zich in de ondergrond. Het effect dijt uit richting de flanken. Door de infiltratie neemt de grondwatervoorraad fors toe. Die voorraad is in te zetten voor landbouw, drinkwater en industrie. Ook de natuur heeft baat door ontlasting van het grondwatersysteem elders en door de toegenomen kwel en afvoer van beken en sprengen. De grondwaterkwaliteit is hierbij wel een

aandachtspunt. Het grondwater van de Veluwe is voedsel- en ionenarm, wat van belang is voor de ecologie in het gebied [39].

Echter, ook in gebieden met een wat dunnere onverzadigde zone is het vergroten van de grondwateraanvulling kansrijk. Bij gebruik van aanvoerwater dienen waterkwaliteitsaspecten zorgvuldig beschouwd te worden. Een oplossing voor de waterkwantiteit, mag geen problemen voor de (grond)waterkwaliteit veroorzaken. Mogelijk is bij deze maatregel (lokaal) aanpassing van het ontwateringssysteem (i.e. hogere ontwateringsbasis) nodig, om te voorkomen dat het extra geïnfilterde water weer wordt afgevoerd en niet als kwel in de wortelzone van kwelafhankelijke natuur bereikt of leidt tot een grotere basisafvoer in beken.

In Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland [36], is het effect infiltratie onderzocht. Afbeelding 4.4 laat het effect zien op de freatische grondwaterstand (LG3) van extra grondwateraanvulling van 100 mm per winterhalfjaar voor gebieden met een grondwaterstand dieper dan 2,5 m. Voor de meeste gebieden blijft de grondwaterstand na 5,5 jaar nog steeds stijgen. Door de afwezigheid van ontwateringsmiddelen blijft het grondwater lang in het systeem.

Afbeelding 4.4. Effect op de freatische grondwaterstand (LG3) na 5 jaar (2018), als gevolg van extra infiltratie gedurende de winter van 100 mm/jaar voor gebieden met een GHG dieper dan 2,5 m



4.4 Aanvoer, vasthouden en afvoer oppervlaktewater

4.4.1 Aanvoer

De aanvoer van water, die leidt tot infiltratie van water, is specifiek voor Brabant 0 tot 5% van de waterbalans (zie paragraaf 3.2.3). In delen van Hoog Nederland is wateraanvoer niet mogelijk, andere delen hebben wel een wateraanvoervoorziening en kan de aanvoer nog groter zijn. Wateraanvoer kan twee doelen dienen:

- wateraanvoer ten tijde van droogte. Dit wordt gebruikt om het watersysteem op peil te houden en daarmee onttrekkingen en doorspoeling mogelijk te maken. In periode van droogte is echter vaak de oppervlaktewater beschikbaarheid beperkt. Daarnaast hebben delen van Hoog Nederland momenteel geen wateraanvoermogelijkheid. Voor het gehele hoofdwatersysteem wordt gewerkt aan een strategie 'klimaatbestendige zoetwatervoorziening hoofdwatersysteem' waarbij water uit de rivieren beter

- vastgehouden en slimmer verdeeld wordt (Programma Integraal Riviermanagement (IRM) [1]. Als door wateraanvoer grondwater gespaard kan worden, is dat gunstig voor het grondwatersysteem [20];
- Wateraanvoer om de infiltratie te vergroten (zie ook paragraaf 4.2). Hogere en drogere gebieden kunnen gevoed worden met vergelijkbare kwaliteit water dat van elders uit de regio komt, dan wel (voorgezuiverd) oppervlaktewater [20]. Een voorbeeld hiervan is het plan voor de 'wateraccu' op de Veluwe, zoals in voorgaande paragraaf beschreven is.

4.4.2 Vasthouden en afvoer

Een groot deel van de grondwateraanvulling wordt via drainage en het oppervlaktewatersysteem afgevoerd. Voor de 3 representatieve gebieden in Noord-Brabant is dat tussen de 66 en 93 %. Gebieden worden goed gedraineerd, zodat de (grond)wateroverlast wordt geminimaliseerd en de landbouwpercelen optimaal gebruikt kunnen worden (uitgaande van voldoende watervoorziening). Door water vast te houden blijft dit langer beschikbaar in het ondiepe grondwatersysteem (hogere grondwaterstanden). Dit kan weer leiden tot overlast in natte perioden het waterbeheer en landgebruik moet daarvoor zoeken naar een optimum.

Natuur

Doordat de meeste natuurgebieden niet of beperkt gedraineerd worden, blijft het neerslagoverschot veel langer in de bodem als grondwater beschikbaar en kan het vandaaruit langer bijdragen aan waterbeschikbaarheid. Waar 95 % van het neerslagoverschot in gedraineerde percelen binnen enkele dagen tot een maand is afgevoerd als oppervlaktewater, leveren natuurgebieden van enkele vierkante kilometers al snel jaarrond grondwater na, oplopend tot circa 25 jaar voor de Veluwe. Het aandeel van natuurgebieden in de effectieve nalevering aan de grondwatervoorraad, is daardoor veel hoger dan de gemiddelde nalevering [25].

Natuurgebieden kunnen een belangrijke functie vervullen bij het bergen van water door het water vast te houden, zoals in het bodem-watersysteem in beekdalen, vennen, of hoogveengebieden. Door het water vast te houden waar het valt wordt de afvoer van water uit een gebied geremd en blijven de natuurgebieden langer nat. Te denken valt ook aan het aanwijzen van (extensieve) landbouwpercelen als retentiegebied (bijvoorbeeld natuur-inclusief) waar gedurende natte perioden water wordt geborgen om wateroverlast benedenstrooms te voorkomen of reduceren [36].

Landelijk gebied

Vasthouden van water in de haarvaten

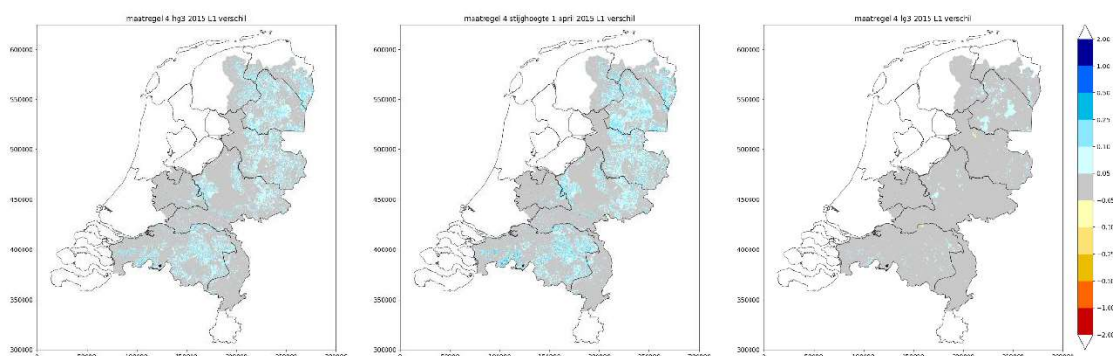
Het vasthouden van water kan door het verminderen van drainage door het dempen (of ondieper maken) van sloten. Dit is een effectieve maatregel om langer water beschikbaar te houden in tijden van droogte. Het verminderen van de drainage (door middel van bufferzones) rond natuurgebieden is daarom een goede vernattingsmaatregel, en draagt ook bij aan het verhogen van de droogterobuustheid van de hoge zandgronden [25].

Een andere mogelijkheid om water vast te houden is een aanpassing in het peilbeheer; bijvoorbeeld door het implementeren van flexibel peilbeheer (op grondwater gestuurd), of het verhogen van stuwpeilen in boerensloten met LOP-stuwen (landbouw ontwikkelingsplan) en SAWAX slimme stuwen (Smart Adaptive WATERlevel eXtender), waarbij de boer zelf de bediening verzorgt. Dit houdt in dat voor gebieden met voldoende bergingsruimte tijdsafhankelijk het peil kan worden opgezet. Bij goed gebruik leiden deze stuwen tot het vasthouden van water in de bodem als de ontwatering en afwatering wordt beperkt en tot meer berging in de particuliere kavelsloten [20].

In het onderzoek Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland [36], is berekend dat een verhoging van de ontwateringsbasis van het tertiair systeem in het gehele gebied met 30 cm een effect heeft op de voorjaars grondwaterstand (afbeelding 4.5, midden), de grondwaterstand is hierbij 10 tot 25 cm hoger. De verhoging van de grondwaterstand kan in het vroege voorjaar leiden tot natschade voor de landbouw. In de zomerperiode is het effect daardoor op de grondwaterstand (LG3) grotendeels verdwenen en is al het

geconserveerde grondwater afgevoerd (afbeelding 4.5 rechts). Dit is een theoretische benadering die uitgaat dat dit in geheel Hoog Nederland wordt toegepast. Het verhogen van de ontwateringsbasis op perceelsniveau heeft maar beperkt effect. Wel laat de berekening zien dat dit een maatregel kan zijn om als bufferzone langs natuurgebieden toe te passen.

Afbeelding 4.5. Het berekende effect van een slootbodempluiging van het tertiair ontwateringsstelsel van 30 cm op de HG37, grondwaterstand op 1 april en de LG32 (jaar 2015) [36]



Regelbare drainage

Tevens kan regelbare drainage worden toegepast. De effectiviteit van regelbare drainage is echter beperkt [30]:

- nieuwe aanleg van regelbare drainage in voorheen ongedraineerde percelen zal in de meeste gevallen verdrogend werken op aangrenzende natuurgebieden. Alleen indien de aanleg van regelbare drainage wordt gecombineerd met het fors verhogen van slootbodems of forse peilverhogingen (50-100 cm) in alle waterlopen zijn positieve effecten voor natuur te verwachten;
- in reeds gedraineerde percelen kan vervanging of ombouwen naar een regelbaar systeem positief uitwerken voor natuur indien hiermee daadwerkelijk een hogere grondwaterstand wordt bereikt en gehandhaafd. Ook hier is een combinatie met slootbodempluiging en peilverhoging in de sloten daarom aan te bevelen. In de meeste geohydrologische situaties zal het tijdelijk verlagen van de lokale drainagebasis, om bijvoorbeeld het land te bewerken of om extreme buien te kunnen opvangen, de positieve effecten grotendeels teniet doen. De opgebouwde grondwatervoorraad verdwijnt hierdoor snel en het vergt vervolgens veel tijd om deze weer op niveau te krijgen. Indien regelbare drainage wordt gecombineerd met wateraanvoer, het stelsel dient dan als subirrigatie, ontstaan er meer sturingsmogelijkheden voor het verhogen van de grondwatervoorraad. Uiteraard dienen hiervoor de bodemkenmerken en hydrologische randvoorwaarden geschikt voor te zijn en dient er een bron voor wateraanvoer te zijn [35];
- regelbare drainage zorgt ook niet automatisch voor een vergroting van de grondwatervoorraad. De mate waarin grondwaterstandstijging en infiltratie naar het eerste watervoerende pakket optreden, is sterk afhankelijk van de mate van verhoging van de drainagebasis ten opzichte van de afname van de drainageweerstand.

Maaiveldafvoer

Maaiveldafvoer kan worden beperkt door het creëren van microreliëf of het bevorderen van de infiltratiecapaciteit via landbewerking. In Zuid-Limburg worden agrariërs gestimuleerd om op deze manier de grondwateraanvulling te bevorderen, een aanpak die kennisoverdracht en bewustwording vereist [36].

¹ Het gemiddelde van de hoogste drie grondwaterstanden op de 14e en 28e van de maand in een winterperiode (1 oktober tot 1 april)

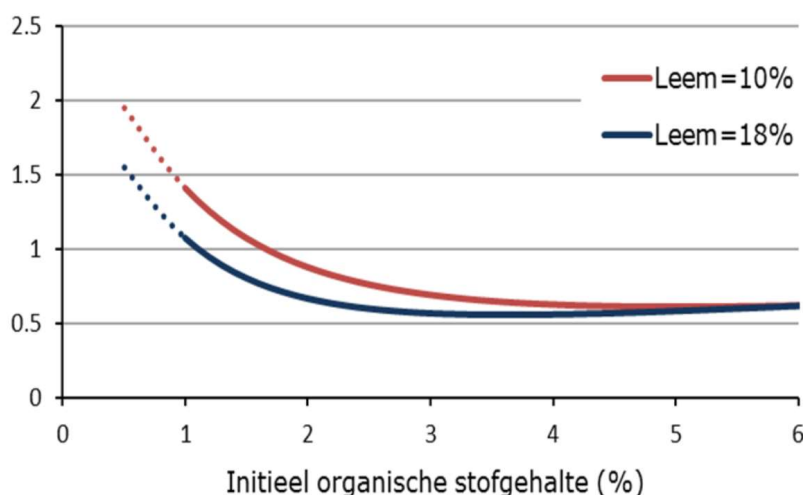
² Het gemiddelde van de laagste drie grondwaterstanden op de 14e en 28e van de maand in een zomerperiode (1 april tot 1 oktober)

Verbetering bodemstructuur

Het vasthouden van water kan ook verbeterd worden door verbetering van de bodemstructuur: het verhogen van het organisch stofgehalte zorgt ervoor dat er meer vocht in de bodem beschikbaar is. In schrale zandgronden met 0,5 tot 1 % organische stof leidt een toename van 1 % organische stof tot een toename van 3 – 4 mm beschikbaar water in een bouwvoor met een dikte van 20 cm. Dit komt ruwweg overeen met een dag extra transpiratie [40]. In een droge zomer waarin het neerslagtekort permanent toeneemt, is het effect van de extra waterbeschikbaarheid gering. Echter in een matig droge zomer met regelmatig een regenbui kan de extra waterbeschikbaarheid meerdere keren benut worden. Opgemerkt wordt dat de verbeterde bodemstructuur tot meer verdamping kan leiden omdat er meer vocht beschikbaar is.

Afbeelding 4.6. Toename van de waterbeschikbaarheid met toename van het organische-stofgehalte [40]

Toename beschikbaar vocht (mm) in een laag van 10 cm bij 1% toename van het organische stofgehalte



Het verbeteren van de gehele bodemstructuur (onverdichte bodem, gunstige condities voor bodemleven, verhoogde organisch stofgehalte en verbeterde beworteling) leidt tot significant minder droogteschade (zowel gemiddeld als in een droog jaar) en tot meer verdamping. De gewasopbrengsten nemen daarbij significant toe, is op perceelsniveau berekend [10]. Dit wordt met name veroorzaakt door de diepte van de beworteling. Opgemerkt wordt dat de diepte van beworteling beperkt wordt door de verdichting van de bodem. Deze verdichting is niet eenvoudig is op te heffen. Overige bodemcondities zijn minder van belang voor het resultaat, maar zijn nodig om de verbeterde bodem in stand te houden. De beregeningsbehoefte neemt af met circa 50 mm/jaar voor veldpodzolgronden en als bodems juist verder verdicht worden neemt de beregeningsbehoefte toe met zo'n 30 mm/jaar. Daar staat tegenover dat de verdamping van deze gewassen als gevolg van de diepere beworteling groter is. Op stroomgebiedsniveau zijn modelberekeningen voor het stroomgebied van de Baakse Beek uitgevoerd. De berekeningen geven aan dat ten opzichte van een verdichte bodem de beregeningsbehoefte bij verbeterde bodems afneemt met circa 8 mm/jaar (0,6 Mm³). In vergelijking tot de modellen op perceelsniveau lijkt dit gering, maar dat komt door de variaties in het stroomgebied (ten opzichte van landgebruik en beregening). Daarnaast leiden de maatregelen tot een significante reductie van de piekafvoeren (met name in de zomer), maar hebben nauwelijks effect hebben op de langjarig gemiddelde grondwaterstanden (dit wordt vooral bepaald door drainagebasis van het oppervlaktewatersysteem) [10].

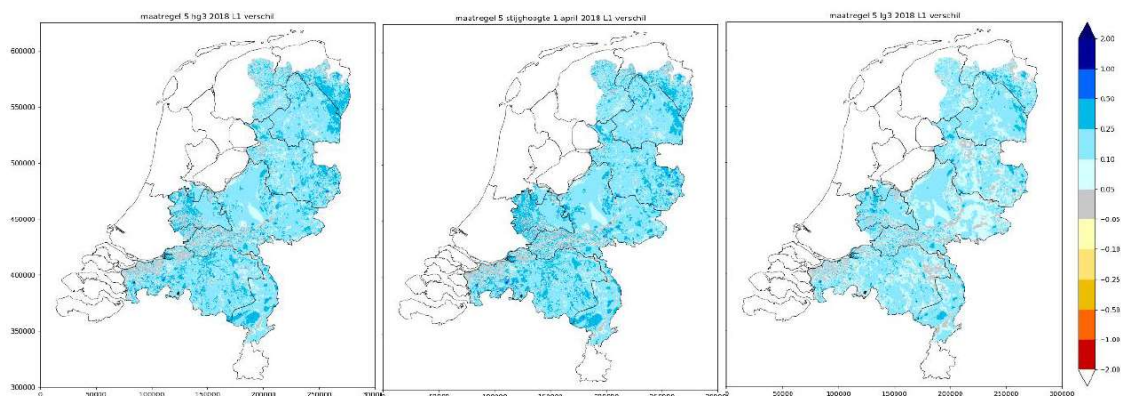
Vasthouden van water in het hoofdsysteem

Daarnaast is het effect van het verondiepen van de slootbodem en verhoging van het waterpeil in het primaire systeem (legger watergangen) onderzocht. Deze waterlopen en beken zijn breder en dieper dan het haarvatensysteem en hebben een zeer belangrijke functie bij de ontwatering (drainage) en afwatering

(transportleiding) van een gebied. Deze maatregelen leidt tot een significante verhoging van de grondwaterstand, zowel in de winter als in de zomer. Hoe groot het effect in de zomer is, hangt sterk af van of het verhoogde peil in de zomer gehandhaafd kan blijven. Dit is gemakkelijker in wateraanvoergebieden.

Afbeelding 4.7 laat het effect op de grondwaterstand zien van een permanente peilverhoging van 30 cm van het tertiair, secundair en primair ontwateringsstelsel in geheel Hoog Nederland. Het effect op de HG3 (winter) en op 1 april is vergelijkbaar, in de zomer neemt het effect iets af maar is voor een groot gebied is de verhoging nog steeds 10 tot 20 cm.

Afbeelding 4.7. Het berekende effect van een permanente peilverhoging van 30 cm van het tertiair, secundair en primair ontwateringsstelsel op de HG3, grondwaterstand op 1 april en de LG3 (jaar 2018) [36]



De grondwaterstandstijging leidt tot een toename van de stijghoogte in de onderliggende watervoerende pakketten. Hoe meer weerstand (door aanwezigheid kleilagen) aanwezig is tussen het freatisch watersysteem en het watervoerend pakket, des te minder groot de absolute effecten naar de diepte zijn, maar des te groter het gebied is waar de effecten optreden. Deze stijghoogte is de drijvende kracht achter kwel en op locaties waar de freatische grondwaterstand minder stijgt (bijvoorbeeld in beekdalen met hoge grondwaterstanden) dan de stijghoogte, treedt een toename van de kwelflux op.

De basisafvoer wordt door deze maatregel niet verhoogd maar juist verlaagd, omdat de drainagebasis van alle ontwateringsmiddelen met 30 cm wordt verhoogd.

Het in zijn totaal verhogen van de ontwateringsbasis van het secundair en primair stelsel leidt daarom naast de winter, ook tot een significante stijging van de grondwaterstand in de zomer. Deze richting ligt dus vooral voor de hand in gebieden waar aanvoer van oppervlaktewater niet of beperkt mogelijk is. De landbouw in haar huidige vorm, vraagt echter om een goede mate van ontwatering, zowel voor de bereikbaarheid (draagkracht) als het verlengen van het groeiseizoen (een lagere grondwaterstand zorgt voor hogere temperaturen in de bodem in de winter/lente en daarmee de start van het groeiseizoen). Beperkingen van de ontwatering zullen zorgen voor hogere grondwaterstanden en zullen dan ook vaak gepaard moeten gaan met een wijziging van het landgebruik (zoals extensivering van de landbouw).

Stedelijk gebied

In het stedelijk gebied wordt een relatief klein deel benut voor grondwateraanvulling, omdat het meeste water direct wordt afgevoerd. Het vasthouden en infiltreren van water levert echter veel voordelen op: piekafvoeren (en wateroverlast) worden gereduceerd, de droogte neemt af en de waterkwaliteit neemt toe doordat er minder oppervlakkige afvoer en overstortingen plaatsvinden. Ook wordt de RWZI minder belast. Uit een grondwaterstudie, met een gekoppeld grondwater-oppervlaktewatermodel voor de Chaamse Beek, Strijbeekse Beek en Boven Donge- Oude Leij (waterschap Brabantse Delta) is gebleken dat het afkoppelen van regenwaterriolering in verhard gebied voor een stijging van de grondwaterstand (maximaal circa 1,8 m) zorgt.

De berekende effecten omvatten een invloedgebied (5 cm stijging) tot wel 2,5 km afstand van het verharde gebied. Dit gebied omvat zowel landbouw, natuur als bebouwde gebieden [31].

4.4.3 Stakeholders

Het Rijk is verantwoordelijk voor de landelijke waterverdeling en rivierkundige ingrepen. Voor wateraanvoer en het vasthouden en bergen van water is het waterschap of het Rijk verantwoordelijk. Dit vraagt afstemming met de provincie, landbouwsector (LTO), terreinbeheerders, en gemeenten.

Voor de landbouw is water afvoeren in het voorjaar van belang, zodat het land begaanbaar wordt. Bij het verminderen van de afvoer in een gebied kan dit betekenen dat een deel van de landbouwgrond een deel van de tijd drassig is of zelfs onder water staat (verschilt lokaal). Andere landbouwtechnieken of -gewassen laten mogelijk hogere waterstanden toe. Om een ingrijpende landbouwtransitie (zie ook paragraaf 4.4) te realiseren is stimulans nodig is vanuit het Rijk. Met het Deltaplan Agrarisch Waterbeheer wordt hier al (gedeeltelijk) invulling aan gegeven. Klimaatadaptieve landbouw is ook aanbevolen door de Beleidstafel Droogte, waarbij wordt aanbevolen om te bevorderen dat de landbouw wordt meegenomen in de regionale gebiedsprocessen voor waterbeschikbaarheid, ruimtelijke adaptatie, DAW en klimaatbestendige natuur en dat acties voor klimaatadaptieve landbouw gezamenlijk en regionaal worden opgepakt, daarbij de kansen voor zuiniger irrigatiesystemen te benutten en de kennis daarover af te stemmen met lopende acties uit DPZW en DAW en te verspreiden [1].

Het waterschap is de waterbeheerder voor het regionale watersysteem inclusief het grondwater en ook de waterkwaliteitsbeheerder. Waterschap stelt het peil vast, zo goed als mogelijk in overleg met stakeholders. De provincie houdt toezicht op de waterschappen. Van oudsher volgt het peil de functie van het gebied, maar er is een tendens voor 'functie volgt peil'.

Kaders voor natuurdoelen in natuurgebieden zijn vastgelegd in het natuurbeheerplan van de provincie; dit plan bepaalt voor welke beheertypen subsidie aangevraagd kan worden. Daarnaast wordt door de Beleidstafel Droogte aanbevolen om klimaatbestendigheid mee te nemen in de gezamenlijke natuurambitie en dit te verbinden met de natuur- en ontwikkelopgave [1].

Maatregelen in stedelijk gebied vinden plaats in de openbare ruimte en bij inwoners. De gemeente staat hiervoor aan de lat, in samenwerking met het waterschap.

4.5 Grondwateronttrekking

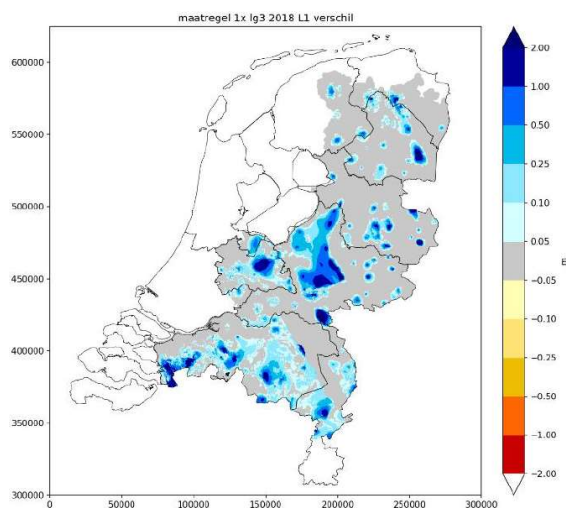
De grondwater onttrekkingen vormen 3 % tot 21 % van de totale waterbalans, zie paragraaf 3.2.8. Deze onttrekkingen kunnen lokaal en periodiek (in voorjaar en zomer) bijdragen aan verdroging en versterken de effecten van droogte.

In Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland [36] is de impact van grondwateronttrekkingen onderzocht. De effecten van de onttrekkingen strekken zich lateraal uit in het watervoerend pakket waaruit wordt onttrokken en vervolgens verticaal richting het ondiepe systeem. In afbeelding 4.8 is het effect van het volledig stopzetten van de drinkwaterwinningen op de freatische grondwaterstand weergegeven. Het duurt jaren voordat dit effect is bereikt. Afbeelding 4.9 geeft het effect weer van het stopzetten van de grondwateronttrekkingen ten behoeve van de landbouw. In de berekening in het LHM-model wordt veel meer berekend in Noord-Brabant en Limburg dan elders in het land waardoor de effecten ook groter zijn.

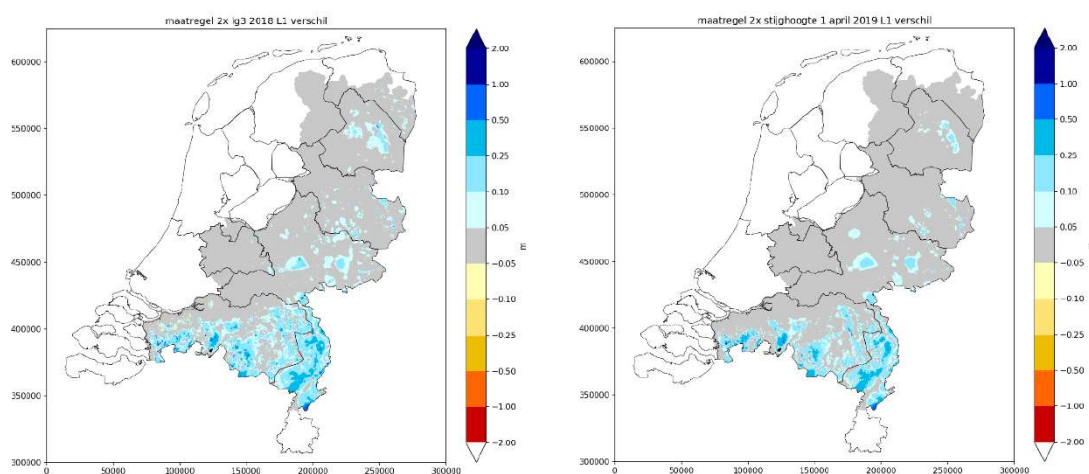
Het hangt af van de hydraulische weerstand tussen de onttrekking en het freatisch systeem hoe groot de effecten op de stijghoogte in het watervoerend pakket zijn waaruit onttrokken wordt en tot op welke afstand deze effecten lateraal uitwerken. In een gebied met veel ontwaterende sloten zal het effect van een onttrekking

op de grondwaterstand minder groot zijn dan voor een gebied zonder sloten, omdat effecten gecompenseerd worden door minder afvoer, er hoeft dus minder uit de freatische berging te komen.

Afbeelding 4.8. Het effect op de zomergrondwaterstand (LG3) 5,5 jaar na het modelmatig stopzetten van de drinkwaterwinningen (2018) [36]



Afbeelding 4.9. Het effect op de freatische grondwaterstand in de zomer van 2018 (LG3) (links) en op 1 april 2019 (rechts) als gevolg van het stopzetten van de berekening uit grondwater [36]



Een mogelijkheid om dit lokaal tegen te gaan is het instellen van een (regionale) verdringingsreeks voor grondwater, zoals benoemd in de Beleidsstafel Droogte [1]. Dit is regionaal maatwerk, een landelijke verdringingsreeks voor grondwater is niet zinvol. Provincies hebben hierbij de regierol en de bevoegdheid om desgewenst een verdringingsreeks voor grondwater in te stellen. Het grondwaterbeheer kan ook meegenomen worden in de regionale uitwerkingen van de verdringingsreeks.

4.5.1 Drinkwater

Drinkwater vormt 71 % tot 78 % van de grondwateronttrekkingen (landelijk), zoals in tabel 3.2 weergegeven. Hiervan wordt 80 % gebruikt voor consumenten [19] en 20 % voor industrie en landbouw. Waterbesparing in

tijden van schaarste kan bijdragen aan een robuuster systeem. Daarnaast kan de locatie van onttrekken van grote invloed zijn op het grondwatersysteem. Het verplaatsen van een winning naar een dieper watervoerend pakket, kan regionaal grote verschillen opleveren (in bijvoorbeeld kwelstroming of lokale grondwaterstanden). Dit is in de praktijk echter nauwelijks mogelijk.

Flexibele winningen die óf gedurende het winterhalfjaar óf gedurende het zomerhalfjaar worden gebruikt, kunnen de effecten van droogte op gebruiksfuncties beperken. Het winnen van grondwater in ontwaterde gebieden leidt namelijk vooral tot een verminderde afvoer als gevolg van lagere grondwaterstanden (NB: let op droogval). In de wintermaanden bij een neerslagoverschot hoeft een verminderde afvoer geen probleem te zijn [1].

Door winningen te verplaatsen naar andere locaties kan schade aan landbouw en natuur verminderd worden. Het schone kwelwater uit de Veluwe dat in de Flevopolders naar boven komt, kan bijvoorbeeld worden afgevangen voor de productie van drinkwater, in plaats van het kwelwater te lozen op het IJsselmeer [20]. Daarnaast zijn er meer polders waar grondwater (als kwel) via het oppervlaktewatersysteem wordt afgevoerd [32]. Anderzijds dient het grondwaterbeschermingsbeleid en de implementatie daarvan versterkt en bestuurlijk geborgd te worden. Dit is nodig omdat het verplaatsen van grondwaterwinning niet of nauwelijks meer mogelijk is: een beleid gericht op 'beschermen om te blijven' [1].

In opdracht van de provincie Gelderland [15] zijn verschillende besparingsmogelijkheden in beeld gebracht :

- gedragsmaatregelen (slimme watermeter, drinkwatercampagne);
- technische maatregelen (waterbesparende douchekop, verlagen waterdruk, water hergebruiken);
- juridische maatregelen (sproeiverbod, hergebruik zwemwater);
- economische maatregelen (drinkwater duurder maken, druppelirrigatie).

Ook het besparingspotentieel van de grootzakelijke gebruikers van drinkwater is recent geïnventariseerd. De totale, mogelijke besparing op het geheel gezien is beperkt (1,3 % van het totale drinkwaterverbruik) maar lokaal kan besparing een grote impact hebben.

4.5.2 Landbouw

Grondwateronttrekking voor landbouw vormt 11 % tot 19 % van de totale grondwateronttrekking, zoals in tabel 3.2 weergegeven; deze onttrekkingen concentreren zich in de (droge) zomerperioden. In droge jaren wordt er 2 keer zoveel grondwater onttrokken als in normale jaren. Niet alle onttrekkingen zijn echter goed in beeld.

Om het inzicht te vergroten en te kunnen monitoren en sturen op de hoeveelheden onttrokken (grond)water, is het instellen van een vergunningsplicht voor beregeningsonttrekking een nuttige verbetering in het systeem. De provincie Limburg doet dit al.

Watervraag hangt samen met landgebruik: het verbouwen van meer droogteresistente gewassen is een effectieve manier om de piekvraag voor irrigatie ten tijde van droogte te reduceren. Dit zorgt dus voor een afname in de beregening, maar de gewasverdamping kan hierdoor toenemen (bijvoorbeeld door diepere beworteling). De transitie naar een robuuster en duurzamer systeem door een dergelijk grote aanpassing in de boerenbedrijven is complex en vergt tijd.

Hergebruik van bijvoorbeeld (gezuiverd) effluent water is een mogelijke maatregel om beregening te reduceren. Dit is een lokale maatregel.

4.5.3 Industrie

10 % tot 11 % van de grondwateronttrekking wordt voor de industrie gebruikt, zie tabel 3.2. Enkele industrieën onttrekken water uit grondwater voor hun activiteiten. Deze onttrekkingen zijn op de gehele waterbalans

gezien weliswaar klein, maar deze kunnen lokaal wel (veel) effect hebben. Om deze onttrekkingen te reduceren kan worden gedacht aan intern water besparen en recycleren (waterhergebruik) door processen te optimaliseren (dit kan zowel binnen een sector als tussen sectoren). Een voorbeeld van een optimalisatie in hergebruik is het gebruik van RWZI effluent voor industriële toepassingen [41].

4.5.4 Stakeholders

Het drinkwaterbedrijf bepaalt samen met de provincie (vergunningverlener) welke bronnen en locaties worden ingezet.

Het gebruik van drinkwater voor laagwaardiger toepassing (proceswater) zou bij voorkeur voorkomen moeten worden waar dat kan. Dit gaat in samenspraak tussen drinkwaterbedrijf en industrie. De provincie bepaalt in structuurplannen waar industriegebieden komen; het drinkwaterbedrijf kan hierbij input geven over de waterbeschikbaarheid in het gebied.

Landbouw onttrekt in droge perioden water voor beregening van gewassen. De mate van onttrekking is afhankelijk van gewas en manier van beregenen. Provincie en waterschap kunnen vergunningen verplicht stellen of gebruik van water in rekening brengen. Ook kan inzicht in het daadwerkelijk verbruik verkregen worden door bemetering te verplichten.

Provincie ziet toe op (grotere) grondwateronttrekkingen. Vergunningen kunnen worden voorzien van voorwaarden met het oog op waterbesparing en/of hergebruik.

5 LEEMTEN IN KENNIS

- In hoofdstuk 3 is de waterbalans beschreven. Er ontbreekt een inzicht in de dynamiek van de waterbalans door het jaar heen.
- Maatregelen zijn apart geanalyseerd en doorgerekend. Een analyse van een gecombineerd maatregelenpakket ontbreekt. Ook ontbreekt de relatieve invloed van de verschillende maatregelen. Een nadere gebiedsuitwerking zal hier meer inzicht in kunnen verschaffen
- Impact van de ontwatering op de verschillende functies;
- Impact van beworteling op gewassen en verdamping en daarmee op verdroging.
- Inzicht in de beregening en de pieken hiervan tijdens droge maanden/jaren voor zowel de vergunde als niet vergunde en illegale onttrekkingen.

6 REFERENTIES

- 1 Ministerie van I&W (2019). Eindrapportage Beleidstafel Droogte.
- 2 RHDHV, Ecogroen, Deltares (2020). Verkenning watervraag Brabantse natuur.
- 3 IPO en Unie (2021). Landelijk beeld grondwateronttrekkingen.
- 4 Bartholomeus, R.P. (2021). Programma Lumbricus. Integrale benadering van een klimaatrobuuste inrichting en beheer van stroomgebieden.
- 5 Bakel, J. van ; Witte, J.P. (2017). Achtergrondverlaging verleden tijd?
- 6 Eertwegh, G. et al. (2020). Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland.
- 7 W+B, FWE, KWR (2021). Effecten van droogte 2018 op natuurlijke vegetatie.
- 8 Raad voor de leefomgeving en infrastructuur (2020). De Bodem Bereikt.
- 9 Waterschap Rijn en IJssel, Koers Voorraadbeheer.
- 10 STOWA (2015). Goede grond voor een duurzaam Waterbeheer.
- 11 RoyalHaskoningDHV en Deltares (2017). Draagkracht grondwater Noord-Brabant.
- 12 KWR (2017). Trendanalyse grondwaterstands- en stijghoogtegegevens Maasstroomgebied (2012-2016).
- 13 Stroomgebied Rijn-Oost (). Grondwateragenda.

- 14 Jan-Philip M. Witte, Willem Jan Zaadnoordijk en Jan Jaap Buyse (2019). Forensic Hydrology Reveals Why Groundwater Tables in The Province of Noord Brabant (The Netherlands) Dropped More Than Expected.
- 15 RoyalHaskoningDHV (2021). Water in Balans.
- 16 CBS (2016). Waterstromen in de Nederlandse economie.
- 17 Ecorys., Economische schade door droogte in 2018, 2019.
- 18 Agrimatie.nl.
- 19 Deltares en RIVM (2014). Afwegingen bij het gebruik van grondwater en de ondergrond.
- 20 KnowH2O, WUR, Deltares, KWR, FWE, Hoefsloot (2020). Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland.
- 21 KnowH2O, WUR, Deltares, KWR, FWE, HSS (2021), Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland Droogte in de zandgebieden van Nederland | Effecten op en oplossingsrichtingen voor natuur, landbouw en bodem- en watersysteem.
- 22 KNMI, klimaatatlas.
- 23 NRC (2020). De droogte besluipt monumenten.
- 24 KNMI (2021). Klimaatsignaal '21.
- 25 KWR (2019). De waarde van natuur voor de watervoorziening.
- 26 J.P.M. WITTE, R. VAN EK, J. RUNHAAR EN G.A.P.H. VAN DEN EERTWEGH. Verdroging van de Nederlandse natuur: bijna een halve eeuw goed onderzoek en falende politiek.
- 27 KnowH2O, WUR, KNMI, de Bakelse stroom (2020), Efficiëntie van berekening.
- 28 Yazar, 1984.
- 29 Deltares, RHDHV (2020), Verkennend rekenen aan grootschalige infiltratie op de Veluwe (H2O).
- 30 Deltares (2012), Effecten van peilgestuurde drainage op natuur.
- 31 Witteveen+Bos (2020), Klimaatrobuuste Bovenlopen Beekstelsysteem Hoge Zandgronden.
- 32 J.W. Kooiman (Kiwa) en K. van den Akker (TU Delft) (2006) Grondwater, de cruciale hulp in het waterbeheer, Stromingen.
- 33 <https://nos.nl/artikel/2375471-droogte-leidt-tot-grote-schade-aan-woningen-in-hele-land>
- 34 BTO (2019). Leve de natuur, weg met het bos?
- 35 KWR (2021). Regelbare drainage met subirrigatie en slimme stuwen. Veldproeven en modelanalyses in het zandgebied van Nederland voor een meer robuuste waterhuishouding op lokale en regionale schaal.
- 36 KnowH2O, WUR, Deltares, KWR, FWE, HSS (2021), Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland | Het verhaal - analyse van droogte 2018 en 2019 en bevindingen.
- 37 KWR (2021) Regelbare drainage met subirrigatie en slimme stuwen.
- 38 Stratelligence (2021), Economische analyse Zoetwater.
- 39 H. van Dam (2020), Veluws grondwater: geen Wateraccu of Nationale Gieter, maar Biodiversiteitsmotor (H2O).
- 40 Stowa, Deltafact: Belang van bodemorganische stof voor het waterbeheer.
- 41 STOWA, KWR (2021), RWZI als waterfabriek voor een robuuste watervoorziening.

7 COLOFON

Auteurs:

- M. Drost (Witteveen+Bos);
- H. Mondeel (Witteveen+Bos).

Klankbordgroep:

- R. Bartholomeus (KWR);
- D. Henkens (UVW);
- S. Hogenbirk (IPO);
- M. van Huijgevoort (KWR);
- D. Kern (staf Deltacommisaris);
- P. de Louw (Deltares);
- T. Spek (provincie Gelderland).

24 december 2021

GRONDWATER LAAG-NEDERLAND

1 INLEIDING

Grondwater speelt een cruciale rol binnen ons ecosysteem en de inrichting van onze leefomgeving. Verschillende processen zetten deze rol onder druk: onder andere klimaatverandering, bodemdaling en verzilting. Als gevolg van klimaatverandering komt (zoet)grondwaterbeschikbaarheid onder druk te staan. Bodemdaling is een continu proces als gevolg van ontwatering en belasting en heeft een grote impact op grondwaterpeilen. Daarnaast leidt bodemdaling tot maatschappelijke opgaven zoals schade aan panden en infrastructuur, broeikasgasemissie en verminderde waterkwaliteit. Ook is de verwachting dat verzilting zal toenemen als gevolg van een stijgende zeespiegel en de autonome toename van brakke kwel in droogmakerijen. Deze problematiek zal zich komende jaren verder ontwikkelen en richt zich voornamelijk op de gebieden in Laag-Nederland.

Deze factsheet gaat dieper in op de grondwatersituatie in Laag-Nederland en geeft een feitelijke beschouwing op de fysische omstandigheden, institutionele en juridische rol- en taakverdeling en actuele beleidslijnen. Hierbij is Laag-Nederland gedefinieerd als het gedeelte van Nederland waar de ondergrond uit klei of veen bestaat (lichtgroen, aquamarijn, paars), zie afbeelding 1.1. Naast een feitelijke beschouwing worden vraagstukken als bodemdaling, verzilting en opbarsting beschreven inclusief handelingsperspectieven. Het feitenrelaas is gebaseerd op bestaande onderzoeken en beleidsdocumenten inclusief onderbouwing, bronnen en het benoemen van kennishiaten. Buiten de bestaande onderzoeken is er dus geen aanvullend onderzoek uitgevoerd.

Afbeelding 1.1 Bodemkaart van Nederland (PDOK)



Voor de grondwatersituatie in Laag-Nederland wordt onderscheid gemaakt in drie onderdelen:

- 1 beleid en taakopvattingen;
- 2 bebouwde omgeving: bestaande bouw & openbare ruimte:
 - oude binnensteden;
 - vooroorlogse wijken;

- naoorlogse wijken;
 - nieuwbouw;
- 3 veenoxidatie, verzilting en opbarsting.

N.B.: het thema veenweide is niet opgenomen, aangezien dit in andere gremia al nadrukkelijk aan de orde komt (Zoals NKB, klimaatakkoord, Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweiden). Uiteraard is er binnen de andere onderwerpen waar nodig wel aandacht voor dit thema.

2 BELEID EN TAAKOPVATTINGEN GRONDWATER LAAG-NEDERLAND

2.1 Fysische kenmerken grondwater Laag-Nederland

In Laag-Nederland is de bodem overwegend opgebouwd uit klei en veen. Vaak wordt het waterpeil kunstmatig beheerd door middel van bijvoorbeeld stuwen en gemalen. Diepe droogmakerijen en hoger gelegen veengebieden liggen naast elkaar en dit beïnvloedt de grondwaterstromen in laag Nederland. Onder grote delen van laag Nederland zit brak grondwater. In kwelgebieden dit zorgt voor verzilting van het oppervlaktewater. Hierdoor komt het ondiepe grondwater en de zoetwaterbeschikbaarheid in deze gebieden onder druk te staan. Naast verzilting hebben grote delen van laag Nederland te maken met bodemdaling als gevolg van de ontwatering van klei- en veengronden (zowel binnen het landelijk gebied als in het stedelijk gebied en infrastructuur) en door belasting (bebouwd gebied). Het peilbeheer volgt traditioneel de bodemdaling. Dit versterkt de verzilting vanuit het grondwater en zorgt in het bebouwd gebied voor schade aan infrastructuur en gebouwen. Bovendien leidt de oxidatie van veenpakketten in het landelijk gebied tot de uitstoot van broeikasgassen en het plaatselijk opbarsten van de bodem, voornamelijk in droogmakerijen. Bij het tegengaan van verzilting en problemen door bodemdaling is inzicht in het grondwatersysteem en de sturingsmogelijkheden daarin dus cruciaal.

Grondwater is een breed begrip, daarom is het belangrijk om de definitiebepaling helder te hebben. In deze factsheet Grondwater Laag-Nederland is grondwater gedefinieerd als het 'water dat zich onder het bodemoppervlak in de verzadigde zone bevindt en dat in direct contact met de bodem of ondergrond staat'. Water boven de grondwaterspiegel is juridisch beschouwd geen grondwater maar is wel een 'vloeibaar bestanddeel' van de bodem. Het grondwater is dus zowel onderdeel van de bodem als van een zogenaamd 'grondwaterlichaam'. [28]

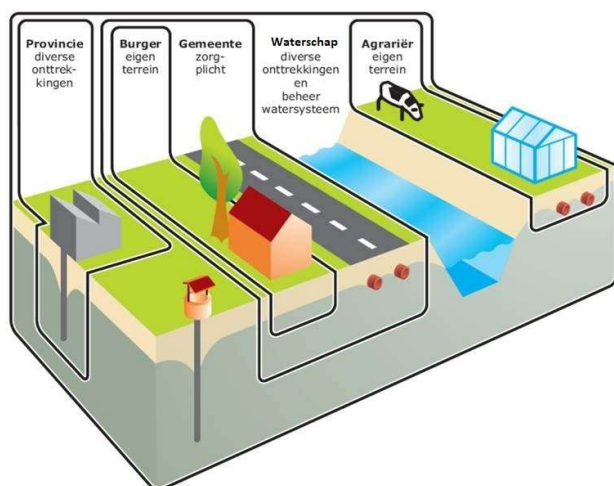
2.2 Juridische kaders en taakopvattingen

Deze paragraaf focust zich op de Juridische kaders en taakopvattingen met betrekking tot grondwater. Wie is er verantwoordelijk voor grondwaterpeilbeheer? Waar liggen de opgaven en wie neemt de regie?

De zorgplicht voor grondwater in bebouwde gebieden ligt in eerste instantie bij gemeenten op basis van de waterwet (artikel 3.6 van de waterwet). Gemeenten zijn verantwoordelijk is voor het nemen van maatregelen in de gemeentelijke openbare ruimte om structureel nadelige gevolgen van de grondwaterstanden te voorkomen. Althans, voor zover de maatregelen doelmatig zijn en niet tot de verantwoordelijkheid van het waterschap of de provincie behoren. [3] Naast gemeenten hebben waterschappen ook een rol in grondwaterbeheer als integraal onderdeel van het watersysteembeheer. In de waterwet zijn waterschappen ook belast met kwantitatief grondwaterbeheer door middel van vergunningverlening voor grondwateronttrekkingen. [5] Hierop zijn een aantal uitzondering waar de provincie bevoegd gezag is voor een aantal specifieke categorieën en de daarmee verband houdende infiltraties (artikel 6.4 van de waterwet). Dit betreft industriële grootverbruikers (>150.000 m³ per jaar) en drinkwatervoorziening of een bodemenergiesysteem. Daarnaast is de provincie verantwoordelijk voor schadeafhandelingen waarbij het vermoeden bestaat dat deze ontstaan zijn door het onttrekken van grondwater of infiltratie van water. Volgens de waterwet is de provincie verplicht om op verzoek van de gedupeerde onderzoek te doen naar het verband tussen de schade en de onttrekking of infiltratie via de AdviesCommissie Schade Grondwater (ACSG). Daarnaast beheren de provincies de registratie van onttrekkingen [9], deze zijn gekoppeld in het Landelijk Grondwater Register (LGR).

De verantwoordelijkheid voor grondwaterbeheer op particulier terrein ligt bij de eigenaar. Enkel wanneer een partij (overheid of particulier) aantoonbaar wateroverlast/-schade veroorzaakt kan een particulier deze partij aansprakelijk stellen. Wanneer particulieren zich met behulp van drainage op eigen terrein willen ontdoen van overtollig grondwater, dan kan de gemeente dit in de openbare ruimte inzamelen en verder transporteren. De gemeente heeft daarbij een ontvangstplicht.

Afbeelding 2.1 Taakverdeling grondwaterpeilbeheer (aangepast van Acacia Water)



Beleid - regie binnen de overheid

Diergeneesmiddelen volgen veelal dezelfde route via mest naar het grondwater. Diergeneesmiddelen Al met al ligt de zowel de verantwoordelijkheid als de opgave van grondwaterbeheer bij veel verschillende partijen. Om de situatie in de ondergrond in relatie tot de bovengrond in beeld te brengen staat in de structuurvisie ondergrond uit 2018 3D-ruimtelijke ordening op de agenda [24]. Doelstelling is dat een zorgvuldige afweging van gebruik en bescherming van bodem en ondergrond in de komende jaren structureel onderdeel kan worden van alle relevante ruimtelijke planprocessen. De Adviescommissie Water (AcW) constateerde al in 2017 dat grondwaterbeheer nu nog te veel wordt gezien als een technisch en sectoraal vraagstuk [33]. Er vindt tussen de overheden die een verantwoordelijkheid hebben voor het grondwaterbeheer te weinig gezamenlijke visievorming plaats. Hierdoor wordt te vaak gekozen voor suboptimale oplossingen voor de korte termijn en ontbreken duurzame handelingsperspectieven en meervoudige oplossingen voor de toekomst. Om dit op te lossen adviseert de commissie dat gemeenten en provincies gebiedsgerichte en integrale visies voor grondwater maken als onderdeel van de omgevingsvisies. In de reactie op het advies van de AcW geeft de minister aan dat hier de eerste stappen voor zijn gezet. [4] Hiervoor is nodig dat structureel overleg plaatsvindt met provincies, waterschappen, gemeenten, drinkwaterbedrijven en de landbouw en industrie. Ook kan de governance van grondwaterbeheer worden vereenvoudigd door waterschappen een meer centrale rol te geven in de uitvoering. De Beleidsstafel Droogte adviseert in 2019 echter dat de verantwoordelijkheden en bevoegdheden voor grondwaterbeheer helder en adequaat zijn belegd, dit advies is dus niet overgenomen. Daarnaast adviseert de AcW dat maatregelen voor het verbeteren van de kwantiteit en kwaliteit van het grondwater gezien moeten worden in de traagheid van het bodem- en rondwatersysteem; maatregelen hebben vaak pas op de langere termijn effect. Deze uitgangspunten zijn in de huidige wetgeving alsook in de Omgevingswet geborgd. [4]

De ruimtedruk in Nederland is groot en zal richting 2050 alleen maar verder toenemen. In een interdepartementaal beleidsonderzoek uit 2021 naar de governance van de ruimtelijke ordening staan een aantal aanbevelingen om het Rijk in staat te stellen om steviger en meer samenhangende regie te voeren op de ruimtelijke ordening en ontwikkeling van doelstellingen van nationaal belang zoals woningbouw, waterbeschikbaarheid en bodemdaling [19]. Een van deze aanbevelingen is om te komen tot een nadere

ruimtelijke vertaling van de Nationale Omgevingsvisie (NOVI). De NOVI benoemt als grondwateropgave het bevorderen van de waterbeschikbaarheid. Dat gebeurt door het in stand houden en bevorderen van een gezond en evenwichtig (grond-)watersysteem, door cruciale gebruiksfuncties te beschermen en het beschikbare water effectief en zuinig te gebruiken. Daarnaast gaat het om bescherming van de huidige drinkwaterbronnen en het aanwijzen van aanvullende strategische voorraden en nationale grondwaterreserves om ook op de lange termijn aan de vraag naar drinkwater te voldoen [6a]. Tot slot komt het onderzoek met een aantal aanbevelingen om de kennis-, data-, beleids-, en uitvoeringscapaciteit van het Rijk en de decentrale overheden te versterken en daarmee ook hun vermogen om inhoudelijk beter samen te werken. Zonder verbetering van deze capaciteit leidt meer regie niet tot goede uitvoering. Dit advies sluit aan bij het advies van de adviescommissie water.

Een van de instrumenten waarbij grondwateropgaven integraal benaderd kunnen worden is de nieuwe Omgevingswet. Bodem en grondwater zijn lange tijd als afzonderlijke domeinen beschouwd. Het gevolg is dat het beleid en de regelgeving min of meer gescheiden zijn ontwikkeld. Onder de Omgevingswet bestaat de uitdaging er nu juist in om opgaven in 'onderlinge samenhang' te beschouwen, de overeenkomsten voor het voetlicht te brengen en hierop de fundamenteën te bouwen voor een meer integraal c.q. afgestemd beleid en regelgeving. [28] Hierbij legt de Omgevingswet de primaire verantwoordelijkheid voor het grondwaterbeleid bij provincies en biedt voor zowel provincies, waterschappen als gemeenten de ruimte om invulling te geven aan bescherming en benutting van het grondwater [4].

3 GRONDWATER BEBOUWDE OMGEVING LAAG-NEDERLAND

3.1 Inleiding

Grondwater heeft een grote impact op bestaande bebouwing en infrastructuur en vice versa. Door bodemdaling en grondwaterpeilfluctuaties kunnen funderingsproblemen en schade aan leidingen, openbare ruimte en tuinen ontstaan in stedelijk gebied in Laag-Nederland. De problematiek geldt voor grote delen van Laag-Nederland maar is vaak ook situatie-specifiek. Er is onderscheid te maken tussen verschillende typologieën wijken zoals oude binnensteden, vooroorlogse wijken, naoorlogse wijken en nieuwbouw. De relatie tot het grondwater, maatschappelijke opgaven en de oplossingen verschillen per typologie. Naast bebouwing heeft ook de openbare ruimte een continue opgave om wijken bereikbaar en leefbaar te houden.

Beleid - Gemeenten staan aan de lat

In de stedelijke bebouwde gebieden zoeken gemeenten, maar ook andere direct belanghebbenden, naar het antwoord op de vragen welke aanpak in de bestaande omgeving uiteindelijk het meest effectief is, hoe de stijging van de lasten voor de burgers en bedrijven kunnen worden beperkt en hoe de hoge kosten voor herstel en onderhoud gefinancierd kunnen worden. Zo zijn zettingsproblemen in historische binnensteden vaak complexe opgaves waar vaak niet zomaar een technische oplossing voorhanden is alsook financiering van de aanpak. Ook speelt de vraag hoe na herstel van verzakte huizen en wegen, en bij nieuwe bebouwing, toekomstige schade en kosten vermeden kunnen worden. Hiervoor is de timing van belang: wat moet nu, om extra schade te vermijden, en wat kan later. Belangrijk is om hierbij te kijken naar koppelkansen binnen de gebouwde omgeving door de aanpak van veenbodemdaling te verbinden met bijvoorbeeld het energiezuiniger maken van de woningvoorraad en de woningbouwopgave. [27] Op het moment bestaat er nog geen uniform beleid voor bodemdaling binnen bebouwd gebied. Het rijk heeft belang bij het afremmen van bodemdaling maar heeft het beleid hiervoor neergelegd bij de decentrale overheden. Gemeentes onderling zoeken de samenwerking op, bijvoorbeeld in het platform Slappe Bodem. Echter wordt de problematiek van bodemdaling wordt slechts beperkt geagendeerd vanuit een samenhangende visie waarin meerdere thema's met elkaar zijn verknoot. Bodemdaling wordt vooral geagendeerd vanuit knelpunten en nog relatief weinig vanuit een breder uitgewerkt toekomstgericht perspectief. Wel lijkt het moment dat dit gaat gebeuren steeds dichterbij te komen. Zo dragen Rijk en regio samen €20 miljoen bij aan de regiodeal Bodemdaling Groene Hart en het Interbestuurlijk Programma Vitaal Platteland [4].

3.2 Bodemdaling

In Laag-Nederland is al eeuwenlang sprake van bodemdaling. Dit is deels een natuurlijk proces maar wordt versterkt door menselijk handelen. Bodemdaling heeft verschillende oorzaken. Het kan een gevolg zijn van oxidatie van veen of van processen in de diepere ondergrond (zie hoofdstuk 4). Daarnaast wordt bodemdaling ook veroorzaakt door klink en zetting van klei of veen. Bodemdaling leidt tot schade aan funderingen, leidingen en infrastructuur. [39] Het is een cumulatief proces waarbij de huidige bodemdaling bovenop een cumulatieve bodemdaling van de afgelopen eeuwen komt. Door een toenemende bevolkingsdichtheid en economische activiteit in gebieden met zwakke bodem nemen kwetsbaarheden en mitigerende kosten toe. Dit maakt het vraagstuk in toenemende mate maatschappelijk urgent. Er is in Nederland al veel bekend over bodemdaling via diverse rapporten, het Nationaal Kennisprogramma Bodemdaling en het KCAF, echter zijn er ook nog onduidelijkheden. Met name de complexe situatie en verschillen tussen verschillende typologieën wijken (zie tabel 3.1) vragen om maatwerk. Het Nationaal Kennisprogramma Bodemdaling onderkent het belang van een 'gebiedsgerichte' aanpak: de optimale aanpak voor bodemdaling zal verschillen per gebied (bijv. landelijk - stedelijk, binnenstad - uitbreidingswijk, sociale opbouw en cohesie) [34].

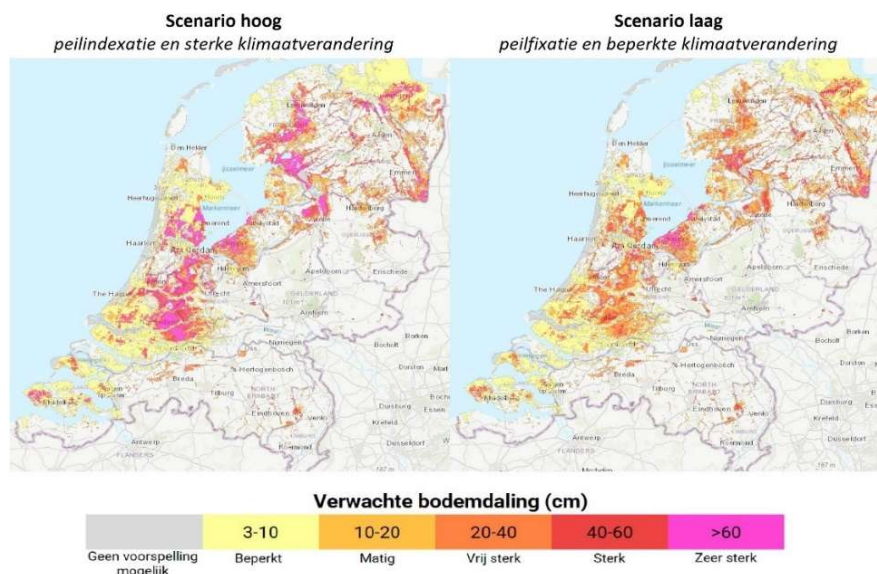
Tabel 3.1 Globale karakteristieken van verschillende typologieën wijken t.a.v. grondwater

	Oude binnensteden	Vooroorlogse wijken	Naoorlogse wijken	Nieuwbouw wijken
Tijdsperiode	< 1850	1850-1940	1945-1990	> 1990
Fundering	Gemengd: combinatie op staal & houten paalfunderingen		Houten- (tot 1970) & betonnen paalfunderingen	Betonnen paalfunderingen
Toepasbaarheid AGWP	+/-	+	+	++
Bodemdaling van de openbare ruimte	Gedeeltelijk samen met bebouwing		Ongelijke zettingen t.o.v. bebouwing	
Strategie overlast a.g.v. grondwaterpeil	Mitigeren ←-----> Voorkomen			

3.2.1 Inklinking / zetting

In het stedelijk gebied speelt naast waterbeheer de belasting van de ondergrond een grote rol. Infrastructuur of bebouwing gesitueerd op slappe veen- of kleigrond drukt deze bodem samen met bodemdaling als gevolg. Dit proces heet inklinking of zetting. De bodem klinkt niet overal op dezelfde snelheid in. Op plekken waar infrastructuur of bebouwing op een fundering is gebouwd op een diepere niet-dalende grondlaag ontstaan er problemen met omliggende, wel-dalende, elementen. Dit zijn ongelijkmatige zettingen welke aanzienlijke effecten laten zien in de openbare ruimte en de publieke en private bebouwing. In bebouwing van voor 1970 treedt er als gevolg van zetting vaak funderingsschade op. De funderingsschade komt meestal door grondwateronderlast en paalrot maar kan ook veroorzaakt worden door negatieve kleeft. In jongere wijken, na 1970, is er vooral sprake van schade aan de openbare ruimte inclusief boven- en ondergrondse infrastructuur, plantsoenen en parken, paden en tuinen.

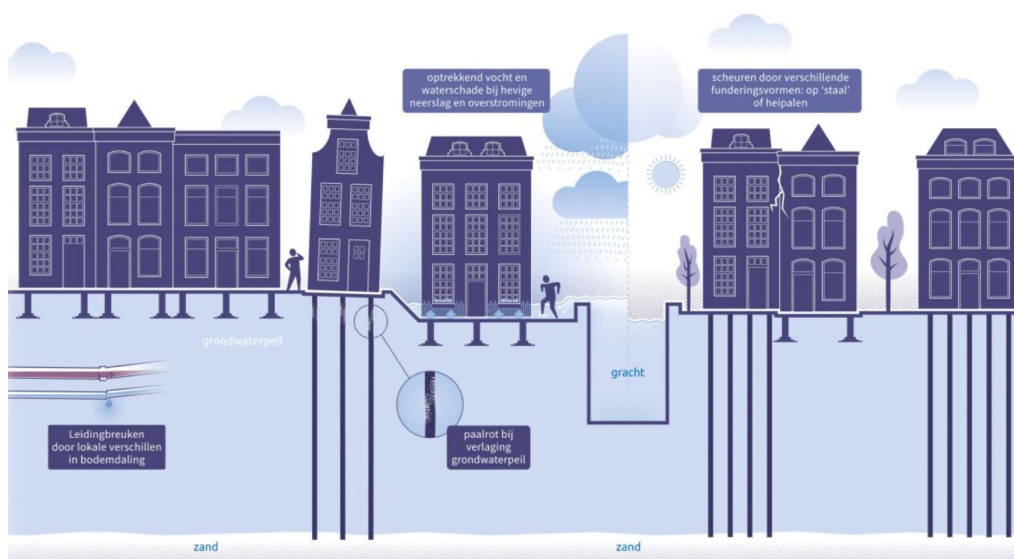
Figuur 3.2 Verwachte bodemdaling in Laag-Nederland 2020-2100 (Klimaat-effectatlas)



3.2.2 Oude binnensteden

Historische binnensteden zijn veelal op gunstige locaties gebouwd (rivierduinen, zandige oeverwallen) en bestaan uit een mix van houten funderingen en funderingen op staal. Dit maakt de grondwater huishouding erg complex en specifiek. Daarnaast kunnen als gevolg van een lage grondwaterstand zettingsgevoelige bodems inklinken waardoor scheuren in de muren, vloeren of buitengevel ontstaan. Op plekken waar de bodem ongelijkmatig zakt kan schade ontstaan aan panden die op staal zijn gefundeerd en aan leidingen. Schade aan panden in de vorm van scheuren leidt doorgaans niet tot gevolgen voor het gebruik van de panden en is overwegend cosmetisch van aard. Herstel ligt gemiddeld in de orde van enkele duizenden euro's per pand voor het vullen van de scheuren en schilderwerk. [1c] De vele schademeldingen in rivierengebied na de droogte in 2018 doet vermoeden dat met name de extreem lage rivierwaterstanden gevolgen hebben voor de grondwaterstanden in de omringende bebouwde gebieden. [1c]

Figuur 3.3 Schematische weergave bodemdaling in oude binnensteden



Schade aan funderingen kan optreden door zowel een te lage als een te hoge grondwaterstand. Schade door een te lage grondwaterstand treedt vooral op bij houten paalfunderingen. Deze funderingen zijn vooral toegepast in de periode voor 1890 in historische steden (Amsterdam, Rotterdam, Gouda, Delft, Leiden, Zaanstad en Haarlem) en in de periode van 1890 tot 1970 in zettingsgevoelig gebied. Het aantal panden in Nederland op houtenpaalfunderingen wordt geschat op 800.000. [1c] Voor panden met een houten paalfundering is een grondwaterstand hoger dan het hoogstgelegen funderingshout wenselijk omdat schimmelaantasting daarmee kan worden voorkomen. Gemiddeld genomen ontstaat funderingsschade bij een cumulatieve droogstand van ongeveer 10 jaar, doordat schimmels of bacteriën het houtwerk aantasten [35] Het risico op droogteschade aan een fundering is daarom veelal een sluipend probleem. Funderingsherstel bij paalrot kost bijvoorbeeld gemiddeld € 64.000,- per object. [1c] De droogte van 2018 heeft op een aantal locaties geleid tot lagere grondwaterstanden en daarmee een versnelling van het optreden van funderingsschade, met name bij houten paalfunderingen.

Een hoge grondwaterstand is voor panden op een fundering op staal weer nadelig inzake optrekkend vocht met gevolgen voor fundering en gezondheid. Voor panden op staal zijn grondwateraanpassingen ook schadelijk om dit kan leiden tot consolidatie van cohesieve veen- en kleigronden. Dit leidt tot zakking wat weer verschilzakking van deze panden kan veroorzaken. [15] Naast funderingsschade kan grondwateroverlast ook tot water in kruipruimtes, wanden of huizen leiden met serieuze schades en gevolgen voor gezondheid (schimmels, ademhalingsklachten). Dat grondwaterpeilbeheer in binnensteden vaak maatwerk is wordt geïllustreerd in de binnenstad van Gouda waar voor het eerst in 50 jaar gekozen is voor peilverlaging waarmee de wateroverlast voor honderden bewoners van panden die mee-zakken met de bodem teruggebracht wordt naar een aanvaardbaar niveau. [2c] Daarnaast is het in wijken met gedifferentieerde bebouwing een ingewikkelde opgave om oplossingen te vinden in de openbare ruimte. Peilverlaging is noodzakelijk om wateroverlast vanuit de openbare ruimte te voorkomen als gevolg van een afwezigheid van waterbergingen. Door het peil alleen daar te verlagen waar het nodig is, blijft mogelijke schade aan houtenpaalfunderingen beperkt.

3.2.3 Vooroorlogse wijken

In laag-Nederland zijn de vooroorlogse, laat 19e eeuwse en vroeg 20e eeuwse uitbreidingswijken het meest kwetsbaar voor bodemdaling. Hierbij is niet enkel de bebouwing kwetsbaar maar ook de openbare ruimte en infrastructuur. Voor vooroorlogse wijken werd er voor het eerst op minder gunstige bodems gebouwd (slechtere klei- of veengronden). Net als bij historische binnensteden komen in deze wijken veel gemeente funderingen voor met voornamelijk hout als materiaal voor paalfunderingen welke onderhevig kan zijn aan paalrot. [25] Daarnaast is de kwaliteit van de bebouwing soms slecht. De dichte bebouwing en beperkte en versteende openbare ruimte maakt de mogelijkheden voor gemeente om maatregelen te nemen beperkt.

3.2.4 Naoorlogse wijken

Samen met de historische binnensteden zijn de naoorlogse wijken de grootste zorg qua omvang inzake bodemdaling. [26] De naoorlogse wijken zijn veelal gebouwd op betonnen palen maar dat geldt niet voor de openbare ruimte, groen en infrastructuur. Door ongelijke zettingen leidt dit tot niveauverschillen en wateroverlast. Hierdoor vallen problemen van tuinen en erfbestreringen des te meer op. Zo is de situatie in de bestaande bebouwde omgeving vaak complex met een verscheidenheid aan objecten en invloeden. Een onderhoudsplan van een wijk is bijvoorbeeld niet alleen afhankelijk van de huidige bodemdaling en wat deze doet in de toekomst maar interacteert ook met het grondwater of aanpassing hiervan door peilverandering, gebiedsgericht grondwaterbeheer of rioolvernieuwing. Oplossingen in de openbare ruimte worden gezocht in actief grondwaterpeilbeheer (onder andere via een drainage-infiltratie-transport-rioleringen (DIT) of horizontale drainage/infiltratie) en licht gewicht ophoogmaterialen. Daarnaast wordt voor infrastructuur met een hoge verkeersbelasting de laatste jaren wordt steeds meer ervaring opgedaan met wegen op een volledig 'matras' van betonnen palen. [27]

3.2.5 Nieuwbouw

De ruimte in Nederland is schaars en gegeven de woningbouwopgave vindt verstedelijking zoveel mogelijk binnenstedelijk plaats. Een consortium van TNO, Deltares, Alterra en TUD voorspelt dat 4-5% van de woningbouwopgave in gebieden terecht gaat komen met 60-100 centimeter bodemdaling in de komende 50 jaar; 10-11 % in gebieden met meer dan 30 centimeter bodemdaling. [25] Er bestaat een spanningsveld tussen enerzijds de druk op de woningmarkt en de behoefte aan goedkope woningen en anderzijds lange-termijn maatregelen die schade als gevolg van bodemdaling tegen gaan[26]. Voor nieuwbouw zijn er steeds meer regels met betrekking tot klimaatadaptief bouwen in relatie tot grondwater maar nog niet generiek voor bouwrijp maken. Zo heeft de provincie Zuid-Holland een plan van eisen opgesteld op basis van het convenant klimaatadaptief bouwen waarin praktische eisen staan die partijen kunnen gebruiken om klimaatbestendig te ontwikkelen. [7] Net als voor de aanpak bodemdaling is er nog geen uniform beleid vanuit het Rijk wat het moeilijk maakt voor gemeentes om een gelijk speelveld voor initiatiefnemers te creëren. Voor nieuwbouw in relatie tot bodemdaling is het advies vanuit levenscyclus te redeneren en te voorkomen dat maatregelen die een besparing opleveren in de aanleg tot hoge beheer en onderhoudskosten leiden. Bouwrijptechnieken die zich in 60 jaar terugverdienen moeten worden toegepast. Ook het nationaal kennisprogramma bodemdaling oppert dat het waardevol zou zijn als negatieve lange-termijn effecten door initiatiefnemers van nieuwbouwprojecten worden gedragen.

Gegeven de langere periodes van droogte als gevolg van klimaatverandering staat in het plan van eisen van het convenant klimaatadaptief bouwen dat schade aan infrastructuur en leidingen, schade aan begroeiing, extra bodemdaling en een slechte waterkwaliteit voorkomen of beperkt moet worden. [7] Zo is het een eis dat de inrichting van het plangebied is afgestemd op de verwachte grondwaterstanden en de zoetwaterbeschikbaarheid tijdens droogte. Het is de standaard eis dat 50 % van de jaarlijkse neerslag geïnfiltreerd wordt in de bodem om het grondwater aan te vullen. [7] Voor het grondwater wordt rekening gehouden met de gemiddeld laagste grondwaterstand en de verwachting van de grondwaterstand in extreme jaren. Dit betekent dat het uitzakken van het grondwaterpeil niet leidt tot extra bodemdaling, sterfte van (openbare) groenvoorzieningen en bomen. Voor maatregelen in relatie tot bodemdaling moet vooral gekeken worden naar de lange termijn (tientallen jaren) en naar kosteneffectieve technieken met een lange levenscyclus. [27] Klimaatadaptatie eisen voor nieuwbouw in relatie tot grondwater zijn nog erg in ontwikkeling, er bestaat nog geen uniforme richtlijnen.

Droogte heeft ook grote impact op infrastructuur, hierin is droogteschade veelal een sluipend probleem bij een cumulatieve droogstand over meerdere jaren. [1c] Schade aan infrastructuur kan via verschillende manieren optreden. Zo heeft de daling van de meerjarig gemiddelde grondwaterstand van 10 centimeter een levensduurverkortening van wegen, fietspaden en riolering tot gevolg van ongeveer 25 %. [35] Een daling van de grondwaterstand leidt ook tot extra zetting waar vooral wegen in zettingsgevoelig gebied extra kwetsbaar voor zijn. In de studie 'Grootschalig actief grondwaterpeilbeheer in bebouwd gebied' wordt ingeschat dat de grondwaterstanddaling in deze gebieden de komende 15 jaar leidt tot een aanvullende zetting van maximaal 10 cm. [35] De maatschappelijke opgave is dus groot. Een van de voorgestelde maatregelen is grondwaterneutraal bouwen, dit betekent geen verlaging grondwaterstand (op basis van de weersextremen van 2018). Hierbij geldt het uitgangspunt dat een verwachte daling van de grondwaterstand van 0-25 cm zonder extra schade moet kunnen worden opgevangen. Actief grondwaterpeilbeheer kan bij nieuwbouwwijken eenvoudig en goedkoop gerealiseerd worden door aanleg tegelijkertijd met de andere infrastructuur. [8] Daarnaast bieden lichtgewicht ophogetechnieken een duurzame oplossing op de lange termijn. Om deze maatregelen te borgen wordt bij (wijziging van) een bestemmingsplan (wordt omgevingsplan onder de nieuw Omgevingswet) of structuurvisie een watertoets uitgevoerd. Via een anterieure overeenkomst kunnen overheden het waterbelang verder borgen.

3.2.6 Kosten en maatregelen

In 2016 heeft het PBL geraamd dat de maatschappelijke kosten van bodemdaling in laagveengebieden tot 2050 €22 miljard kunnen bedragen. De extra kosten/schade aan infrastructuur in het stedelijk gebied¹ door

¹ Dit betreft het stedelijk areaal binnen het gebied dat in beheer is bij zeven waterschappen: Wetterskip Fryslân, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, Hoogheemraadschap Rijnland, Hoogheemraadschap De

bodemzetting bedraagt naar schatting 1,7 tot 5,2 miljard euro tot 2050. Voor funderingsherstelkosten als gevolg van slappe bodems en onvoldoende adequate fundering is minimaal 16 miljard euro benodigd [27]. SWECO heeft berekend dat de kosten om bebouwd gebied tot 2050 aan te passen aan klimaatverandering 42 tot 83 miljard euro bedragen, afhankelijk van het gekozen klimaatscenario. [35] Klimaatadaptatie leidt daarom onvermijdelijk tot lastenverhoging voor burgers en bedrijven. Tegelijkertijd valt op dat de kosten voor maatregelen bij een hoog adaptatieniveau hoger zijn dan de te verwachten schade, waardoor maatregelen niet zondermeer kosteneffectief zijn. Dit geldt vooral bij wateroverlast. Het is daarom verstandig om bij het opstellen van lokale uitvoeringsprogramma's onderzoek te doen naar de kosteneffectiviteit van maatregelen. [35]

De opgaves voor grondwater binnen bebouwd gebied zijn divers en vallen binnen verschillende thema's waaronder klimaatverandering en bodemdaling. Daarnaast is de grondwaterproblematiek vaak maar een onderdeel van een groter geheel zoals bij klimaatverandering. In studies wordt vaak onderscheid gemaakt voor kosten voor adaptatiemaatregelen en schade tussen wateroverlast, hitte en droogte. Er bestaat veel onderzoek met kostenramingen waarin grondwaterbeleid een rol speelt. Het brede en integrale karakter van de grondwaterproblematiek maakt het lastig voor dit onderwerp specifiek met een kostenraming met autonome kostenontwikkeling te komen aangezien de problematiek in breder perspectief te bekeken moet worden. Wel zijn er instrumenten zoals de Klimaatschadeschatter [20] waarin schaderamingen voor verschillende klimaateffecten op gemeentelijke schaal in kaart zijn gebracht.

Als invulling van de door het platform Slappe Bodem benoemde 'nationale aanpak' is versterking nodig van onderstaande 2-eenheid tussen strategie (via visie en beleid) en kennis om de in potentie berekende 22 miljard euro tot 2050 voor het veengebied aan maatschappelijke lasten te verminderen. [26] Verder adviseert het PBL maatwerk voor historische binnensteden om te komen tot maatregelen tot het herstellen van schade. Een financieringsinstrument is noodzakelijk om de uitvoering te kunnen bekostigen. Dezelfde aanpak kan worden gehanteerd bij vooroorlogse wijken maar denk hierbij ook aan herstructurering en sloop nieuwbouw. Aangezien naoorlogse wijken in het algemeen voorzien zijn van een goed fundament focust de aanpak zich hier op tuinen en openbare ruimte.

3.2.7 Budgetten en kostenallocatie binnen overheden

Voor bekostiging van taken die verband houden met de uitvoering van de grondwaterzorgplicht, hebben gemeenten de gemeentelijke rioolheffing ter beschikking. [21] Ook hebben gemeenten een gemeentefonds voor beheer en onderhoud van de openbare ruimte. De praktijk wijst uit gemeentes met een slappe bodem hoge kosten hebben voor beheer en onderhoud van de openbare ruimte en deze in het huidige gemeentefonds slechts ten dele wordt gecompenseerd. [22] Waterschappen hebben een eigen heffingenstelsel. Uit de opbrengst van de watersysteemheffing kunnen waterschappen eventuele kosten in verband met het grondwaterbeheer financieren. Waterschappen hebben (als grondwatersysteembeheerder) geen eigen bevoegdheid om een grondwaterheffing op onttrekkingen te innen. Ook de watersysteemheffing kent geen specifieke 'grondwaterbeheercomponent'. [21] Tot slot hebben provincies een provinciale grondwaterheffing, dit is een bestemmingsreserve voor het voorkomen en tegengaan van de nadelige gevolgen van onttrekkingen en infiltraties en van onderzoeken in relatie tot het grondwaterbeleid. Jaarlijks brengt deze heffing circa 15 miljoen euro op (voor alle provincies tezamen). [12]

3.3 Actief Grondwaterpeilbeheer

Een tekort aan grondwater in stedelijk gebied kan een enorme kostenpost opleveren. De PBL-raming schat voor de funderingsschade alleen al minimaal 16 miljard in de periode tot 2050 maar ook de schade aan groenvoorziening kan aanzienlijk zijn. Door klimaatverandering zal dit bedrag verder stijgen, tenzij maatregelen worden genomen. Schade aan bestaande panden en infrastructuur kan worden voorkomen door de grondwaterstand (meer) op peil te houden. Een van deze nieuwe methodes welke de gevolgen van

Stichtse Rijnlanden, Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard, Waterschap Amstel, Gooi en Vecht en Waterschap Rivierenland.

klimaatverandering in bebouwd gebied kan mitigeren en de afgelopen jaren meermaals is onderzocht is Actief Grondwaterpeilbeheer (AGWP). Bij AGWP wordt het grondwaterpeil beheerd op een streefwaarde en worden pieken en dalen afgevlakt door middel van leidingen. Stijgt de grondwaterstand tot boven het oppervlaktewaterpeil dan begint de leiding af te voeren. Daalt de grondwaterstand eronder, dan kan aanvoer plaatsvinden. Hiermee worden zowel (te) hoge grondwaterstanden (grondwateroverlast) beheerst als ook (te) lage grondwaterstanden (schade aan infrastructuur, openbaar groen, droogtestand houten paalfunderingen, verzakkingen stalen funderingen) voorkomen. Dit kan via zowel horizontale drainage/infiltratie als ook via een DIT-riool (DIT riool heeft als extra functie hemelwaterafvoer, infiltratiecapaciteit 3-4x hoger dan bij conventionele AGWP). Resultaten uit een pilot in Land van Valk in Dordrecht zijn gematigd positief. Onderzoek uit 2017 [40] concludeerde dat er geen technische beperkingen zijn om AGWP grootschalig toe te passen (beproefde technieken, aantoonbaar effectief peilbeheer openbare ruimte) en dat de opbrengsten voor het openbaar gemeentelijke gebied op slappe bodems hoger zijn dan de kosten ervan inclusief beheer en onderhoud bij combinatie met rioolvervangings. AGWP hoort dus standaard thuis als mogelijke optie bij rioolvervangings, nieuwbouw en maatregelen rondom klimaatadaptatie. Naar aanleiding van dit onderzoek hebben het Nationaal Kennis-programma Bodemdaling (NKB) en het Uitvoeringsprogramma Bodem en Ondergrond de Deelexpeditie Actief Grondwaterpeilbeheer opgezet met als doel het delen van de kennis over AGWP in bebouwd gebied, met name naar en tussen decentrale overheden. [16]

Afbeelding 3.3, Actief grondwaterpeilbeheer [16]



In gebieden gevoelig voor maaiveldddaling door seizoensgebonden lage grondwaterstanden levert actief grondwaterpeilbeheer in combinatie met rioolvervangings in openbaar gebied meer op dan het kost. Dit geldt in het bijzonder in toekomstige nieuwbouwwijken, door aanleg tegelijkertijd met de andere infrastructuur. Wanneer de baten gerelateerd aan funderingsschade worden meegerekend, levert actief grondwaterpeilbeheer altijd veel meer op dan het kost. [8]

3.4 Kennisleemten

Via verschillende kanalen zoals NKB, NOBV, VIC, Regio Deal Bodemdaling etc. wordt veel onderzoek gedaan naar grondwater, bodemdaling en gerelateerde onderwerpen. Het nationaal programma en kenniscentrum bodemdaling is belangrijk om te zorgen voor een structurele ontsluiting. Aandachtspunten zijn effectiviteit en toepasbaarheid van maatregelen, innovatie en monitoring.

Er zijn nog kennishiaten over Actief Grondwaterpeilbeheer. Het is nu namelijk nog niet duidelijk hoe de juridische consequenties van AGWP richting perceeleigenaren precies in elkaar zit. Waar ligt de scheiding tussen private en publieke verantwoordelijkheden? Wat gebeurt er als de gemeente stopt met actief grondwaterpeilbeheer? Ook de levensduur, beheer en onderhoud en de effectiviteit (lees: het aandeel) van AGWP in het beperken van maaiveldddaling in bebouwd gebied is onbekend. Verder geeft het rapport Actief Grondwaterpeilbeheer aan dat er nog afstemming tussen gemeenten en waterschappen nodig is over de

relatie tussen het oppervlaktewaterpeilbeheer en grondwaterpeilbeheer. Daarnaast zijn er nog beperkingen omtrent AGWP waaronder de discussie over de verantwoordelijkheden. [16]

Daarnaast is voor specifieke gebieden langs rivieren in Nederland de relatie tussen lage rivierwaterstanden en grondwaterstanden nog onvoldoende onderzocht. Het is bekend dat lage rivierstanden indirect bodemdaling kan veroorzaken doordat het lastiger is om polderpeilen te handhaven en daarmee grondwaterstands dalingen te beperken. Er is echter ook een vermoeden dat extreem lage rivierwaterstanden gevolgen kunnen hebben voor de grondwaterstanden in de omringende bebouwde gebieden.

De bijdrage van grondwateronttrekkingen en/of bemalingen aan bodemdaling in Nederland is nog niet altijd helder [38], zo geldt het ontbreken van inzicht in de rol van onttrekkingen op bodemdaling voor veel onttrekkingen in Nederland. Een studie van Deltares heeft uitgebreid onderzoek gedaan naar de invloed van onttrekkingen op bodemdaling. Met name in gebieden waar veel klei of veen aanwezig is kunnen onttrekkingen leiden tot bodemdaling. [30]

Er is binnen bebouwd gebied een gebrek aan monitoringsgegevens, zo heeft de landbouwsector in 2018 goed kunnen aangeven welke schades er geleden zijn als gevolg van de droogte. Binnen bebouwd gebied is dit er nog niet. De eindrapportage beleidstafel droogte onderschrijft de noodzaak om de watervraag en invloed van adaptieve maatregelen in bebouwd gebied inzichtelijk te maken. [1d]. Daarnaast ontbreekt een ruimtelijk model (bijvoorbeeld op wijk-schaal) waarin flexibel kan worden gerekend met ondergrondse infrastructuur, ingrepen in de (grond)waterhuishouding en belasting, en met oxidatie.

Het eigenaarschap van gevolgen met betrekking tot bodemdaling is eveneens een kennisleemte: wie is er verantwoordelijk voor schade als de openbare ruimte niet op tijd wordt opgehoogd of wanneer de publieke ruimte wel wordt opgehoogd maar een private tuin niet?

4 GRONDWATER VEENOXIDATIE, VERZILTING EN OPBARSTING LAAG-NEDERLAND

4.1 Inleiding

Als gevolg van klimaatverandering zullen extreme weersituaties zoals droge periodes met zeer weinig neerslag in de toekomst vaker voorkomen. In sommige delen van laag-Nederland spelen specifieke processen die geologisch en fysisch van aard zijn zoals verzilting en opbarsting. Deze processen zijn vaak meerjarige transitie in de bodem, vinden plaats in de ondergrond en beïnvloeden en worden beïnvloed door het grondwaterpeil. In dit hoofdstuk worden de oorzaak, impact en gevolgen van zowel verzilting als opbarsting toegelicht.

Wat wordt er verstaan onder zoet en zout water? De klasseindeling van de STOWA [37] maakt de volgende indeling voor zoet, brak en zout grondwater:

Grondwaterklasse	Chloride concentratie (mg Cl-/L)
Zoet	<1000
Brak	1000-3000
Zout	>3000

4.2 Veenoxidatie

Het Nederlandse grondgebied bestaat voor ongeveer 9 % uit laagveen. [27] Een groot deel van de bodem van dit laagveen daalt. In het landelijk gebied is deze bodemdaling nauw verweven met het verlagen van grondwaterstanden en veenoxidatie. Veenoxidatie treedt op wanneer drooggemaakt veen zich verbindt met zuurstof en verbrandt. Hierdoor daalt de bodem en komt het maaiveld dicht bij het grondwaterpeil. Om te kunnen wonen, werken en telen is een verlaging van het grondwaterpeil nodig waarbij nieuw drooggemaakt veen oxideert. [31]. In een droger en warmer klimaat versnelt en verergert bodemdaling. Bij hogere temperaturen verloopt veenoxidatie sneller en door een groter neerslagtekort zakken grondwaterstanden verder uit, wat leidt tot nog meer veenoxidatie en klink.

Beleid - Uitwerking grondwaterpeilverhoging

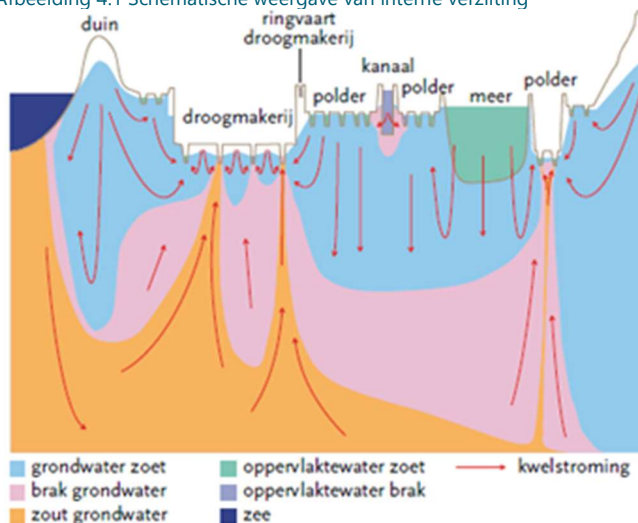
Alternatief aan verlagen kan het grondwaterpeil ook verhoogd worden. De Adviescommissie Water adviseert voor veenweidegebieden die te maken hebben met bodemdaling dat het adagium van peil volgt functie moet worden losgelaten zodat ook andere oplossingen in beeld komen. [33] Dit is onderschreven in de NOVI waarbij de nadruk ligt op een integrale benadering inclusief toekomstperspectief voor de huidige gebruiker. [6a] De minister van LNV schrijft in een brief aan de Tweede Kamer uit 2020 over het Veenplan dat de benadering gaat veranderen: overheden zullen in samenwerking met de mensen die wonen en werken in de gebieden steeds vaker streven naar verhoging van de grondwaterstand om bodemdaling en CO₂-emissie te verminderen. Dit is belangrijk voor het behalen van de Klimaatakkoord doelstellingen waarin is afgesproken om de uitstoot van broeikasgassen door veenweidegebieden in 2030 met 1 miljoen ton per jaar omlaag te brengen [10]. Voor de Nederlandse veenweiden betekent dit dat enerzijds de CO₂- en lachgas (N₂O) uitstoot door veenoxidatie verminderd moet worden, ook na 2030, door het grondwaterpeil te verhogen maar anderzijds de emissietoename van het broeikasgas methaan (CH₄) door het hogere grondwaterpeil zo laag mogelijk moet worden gehouden, hier is een optimum voor. Een recente scenariostudie van de WUR geeft aan dat vernatting van veengrond (afhankelijk van het scenario) tot op het maaiveld of net daaronder nodig zou zijn om aan de doelstellingen voor het klimaat in 2050 te kunnen voldoen [13]. Belangrijke kanttekening is dat voor deze maatregelen veel oppervlaktewater nodig is wat niet altijd beschikbaar is of grote ingrepen in het watersysteem vraagt. De maatregelen voor verhoging van het grondwaterpeil zijn gericht op vermindering van bodemdaling in combinatie met de vermindering van broeikasgasemissies. Het is hierbij belangrijk om te beseffen dat het verhogen van het grondwaterpeil grote ruimtelijke gevolgen heeft voor de huidige ruimtelijke ordening, denk o.a. aan de landbouwsector [32].

4.3 Verzilting

Verzilting betreft een toename van het zoutgehalte in de bodem. Er zijn twee vormen van verzilting: interne- of externe verzilting. In het vervolg van dit hoofdstuk zal met verzilting 'interne verzilting' bedoeld worden:

- Bij interne verzilting is er sprake van een opwaartse stroming van brak grondwater, brakke kwel. Onder grote delen van laag Nederland zit brak grondwater, dat in kwelgebieden zorgt voor verzilting van het ondiepe grondwater en het oppervlaktewater en de zoetwaterbeschikbaarheid in deze gebieden onder druk zet. Verder landinwaarts kan regionaal verzilting voorkomen in diepe polders en droogmakerijen vanwege de diepe ligging. Als gevolg van een stijgende zeespiegel in combinatie met bodemdaling is de verwachting dat het verziltingsproces zal versnellen vooral nabij de kust (Zeeland, Waddenkust).
- Externe verzilting vindt plaats via het oppervlaktewater waar zout en zoet water elkaar tegenkomen. Zout water reist via een zouttong landinwaarts via het getij. Verzilting in het Nederlandse kustgebied als gevolg van indringing van Noordzeewater bevindt zich nog niet in een evenwichtstoestand. Des te lager het bodem- en grondwateroppervlak, des te groter het hoogteverschil met de zeespiegel en des te groter de verzilting. [29]

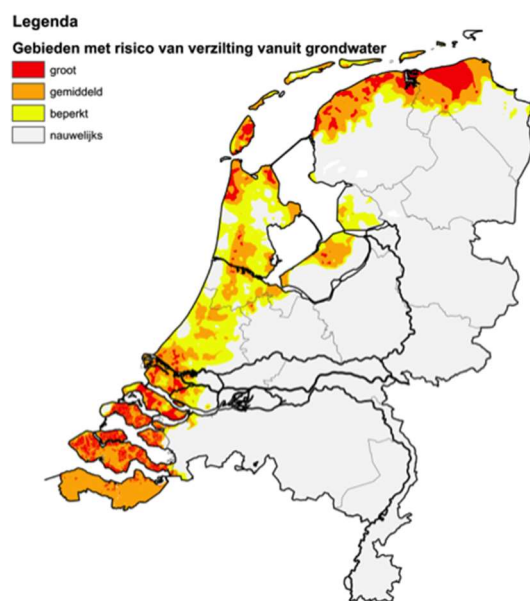
Afbeelding 4.1 Schematische weergave van interne verzilting



4.3.1 Interne verzilting

De geschiedenis van overstromingen vanuit zee terug is nog altijd terug te lezen in het diepere zoute grondwater in delen van Laag-Nederland. Grondwater wordt van hoger gelegen gebieden, zoals duinen en plassen, naar de lagergelegen polders gestuwd. Het grondwater komt in deze polders als kwel naar boven. Het bovenste, zoete grondwater stroomt als eerste naar boven. Daarna zijn de diepere grondwaterlagen aan de beurt. Die zijn over het algemeen zout, als gevolg van vroegere overstromingen. Het kwelwater zal daardoor in de toekomst steeds zouter worden. [14] Onderzoek toont aan dat verzilting ook invloed heeft op bodemdaling via verschillende nutriënten cycli. Over het algemeen remt verzilting de afbraak van de bodem, zo doet 4 promille zout in poriewater de aerobe afbraak nam met ongeveer 50% afnemen [17]. Dit effect was meetbaar onafhankelijk van onder andere bodem / veensoort en zoutgehalte.

Afbeelding 4.2 verziltingsrisico vanuit grondwater in Laag-Nederland [Deltares]



Het vergroten van tegendruk is een manier om verzilting tegen te gaan. De maatregel die hierbij hoort is het verhogen van oppervlaktewaterpeil met als doel om te komen tot een grondwaterpeil verhoging. Het grondwaterpeil wordt echter door veel verschillende factoren bepaald en laat zich niet eenvoudig sturen. Een verhoging van het grondwaterpeil zorgt voor een tegendruk aan zoute kwel en voor meer grondwateraanvulling. Eveneens kan een grondwaterpeilverhoging zoetwaterbelvorming kunstmatig stimuleren. Grondwaterbellen ontstaan op zandige bodem doordat het inzijgende regenwater het aanwezige zoute water omlaagdrukt. Op plekken met klei in de ondiepe ondergrond infiltreert het water veel trager, waardoor de historisch gegroeide beldikte beperkt bleef tot een lens van slechts enkele meters. Het freatisch grondwater is vandaag de dag bijna overal zoet en dat samen met het feit dat er her en der aanzienlijke zoetwaterbellen zijn is danken aan het omdijken van ons land. [11]

Het Zeeuws deltaplan zoet water classificeert de strategie om verzilting tegen te gaan in de volgende stappen: basis op orde, zuinigheid, langer vasthouden, opslaan, hergebruiken, aanvoeren en tot slot functiewijziging & risico's [11]. Hierin wordt het belang van een sterk ecosysteem, veerkrachtige bodem en een zuinig gebruik van water (zuinige irrigatietechnieken) onderschreven. Het langer vasthouden van zoet water tijdens overschotten (winter, piekbuien) via o.a. peilgestuurde drainage en waar mogelijk actief bergen van zoet water (bovengronds via seizoensberging maar ook ondergronds) draagt bij aan een grote zoetwatervoorraad. Hergebruik van afvalwater is nog niet rendabel maar biedt een kans in de toekomst. De traditionele maatregel tegen verzilting, het doorspoelen van zoute kwel staat onder druk als gevolg van beperkte beschikbaarheid van zoetwater van goede kwaliteit. Eveneens is aanvoer van zoet water niet altijd mogelijk en rendabel en creëert dit mogelijk een extra watervraag. Daarom wordt er gekeken naar nieuwe maatregelen tegen verzilting.

4.3.2 Creëren van een eigen zoetwatervoorziening

In delen van Zeeland is de aanvoer van extern zoet water niet mogelijk wat het systeem kwetsbaar maakt voor droge periodes. Onderzoek heeft aangetoond dat regenwaterlenzen in zoute kwelgebieden erg dun zijn (minder dan 2 meter) en zoet grondwater in veel gevallen ontbreekt. De ondiepe ligging van de regenwaterlenzen maakt ze erg kwetsbaar voor klimaatverandering. Drogere zomers zullen namelijk leiden tot nog dunnere lenzen en hogere zoutgehaltes. Aanpassingen in het drainagesysteem kunnen de negatieve effecten van klimaatveranderingen compenseren, dit is onderzocht in het programma GO-FRESH waarin drie nieuwe technologieën zijn ontwikkeld die de zoetwaterbeschikbaarheid van de landbouw minder afhankelijk maken van weersomstandigheden via het creëren van een eigen zoetwatervoorziening [18]. De kosten voor zoetwateronttrekking in combinatie met installaties waarbij actief water geïnfiltreerd wordt komen bij benadering uit op € 0,50 tot € 1,00 per kuub water. Enkel grondwateronttrekking, zonder actieve infiltratie, is uiteraard voordeliger. In conclusie is de opslag van zoet water in de ondergrond om het daarna te onttrekken een mogelijke maatregel om de zoetwatersituatie te verbeteren met geen of weinig landschappelijke effecten. Daarbij kan ondergrondse opslag onafhankelijk van het bovengrondse gebruik worden uitgevoerd en het gaat niet ten koste van de oppervlakte landbouwgrond. De haalbaarheid ervan wordt bepaald door factoren zoals de bodemgesteldheid en de beschikbaarheid van een goede bron voor zoet water. Daarnaast zijn er obstakels te overwinnen op het gebied van wet- en regelgeving, eigendomsverhoudingen en organisatie. Hier dient tijd en aandacht aan te worden besteed in vervolgprojecten. Randvoorwaarde is het duurzaam in stand houden van de grondwatervoorraden: wat onttrokken wordt, moet ook weer worden aangevuld. Dit vraagt om uitwerking en afspraken over het in beeld brengen van de onttrekkingen en bijvoorbeeld handhaving. [11]

4.4 Opbarsting

Opbarsting betekent dat de slecht doorlatende kleilaag in de bodem openscheurt door drukverschil, waarbij de opwaartse grondwaterdruk in het onderliggende pakket groter is dan de neerwaartse druk van het grondpakket. Dit betekent dat de afnemende gronddruk geen tegenwicht kan bieden aan de kweldruk van het diepere grondwater en opbarst. Het grondwater loopt veelal in welzones de polder in, waarna conventionele landbouw bij zout grondwater niet langer mogelijk is. [26] Als dat gebeurt moeten er doorlopend kosten gemaakt worden om overtollig water weg te pompen, of om de scheuren te dichten. Opbarst-risico speelt met name in diepe droogmakerijen maar soms ook in sterk gedaalde (rest-) veengebieden. Hierbij nemen de risico's toe als in die gebieden sprake is van bodemdaling, peilindexatie en peilverlaging. Er is een relatie tussen een aanpassing van het peilniveau (indexatie, verhoging, verlaging) en het opbarst-risico waarbij verlaging van het peilniveau leidt tot een vergroot opbarst-risico. Manieren om opbarst-risico te verminderen bij nieuwe ruimtelijke ontwikkelingen in gevoelige gebieden zijn bijvoorbeeld aangepaste bouwtechnieken zoals aanleg met spanningsbemaling en toepassing van onderwaterbeton.

Wellen in een polder kunnen worden gedicht op twee manieren. De eenvoudigste manier is door het trekken van peilfilters of damwanden, of het dichten van oude gasbronnen. Anderzijds kan een wel ook gedicht worden door het injecteren van uithardende gel of door biosealing (groei van bacteriën). [36] Dit laatste is tot nu toe alleen op pilotschaal toegepast. Het compleet dichten van wellen lijkt praktisch onhaalbaar, wel kan de afvoer worden gereduceerd (2012). [23] Alternatief voor grondwerk is het sturen van brakke waterstromen in combinatie met regulering van het ruimtegebruik. [36]

4.5 Kennisleemten

In relatie tot verzilting lopen er veel pilots maar het ontbreekt op dit moment ontbreekt aan een overzicht met effectiviteit van de verschillende maatregelen. Belangrijke aspecten hierin zijn ook hoe de maatregelen opgeschaald kan worden, voor welk gebied het effectief is en hoe vaak de maatregel ingezet kan worden. In hoeverre is hydrologische en economische opschaling van zelfvoorzienende zoetwater pilotstudies mogelijk? Daarnaast is het nog onbekend wat voor een effect verzilting van het grondwatersysteem heeft op ondergrondse infrastructuur (te weten toename corrosie aan stalen buizen), dit kan relevant zijn voor beleidsmaatregelen in bebouwd gebied in relatie tot bodemdaling en grondwaterpeil. Tot slot is het een politiek-/bestuurlijke afweging in welke mate zoute kwel en verdergaande verzilting kan worden geaccepteerd, dit is onderdeel van de prioriteitsvraag. [37]

5 REFERENTIES

1. Advies Beleidstafel Droogte
 - a) Advies wetenschappelijke commissie beleidstafel droogte
 - b) Kamerbrief over eindrapportage droogte
 - c) Rapport economische schade door droogte in 2018
 - d) Eindrapportage beleidstafel droogte 2019
2. Regiodeal bodemdaling Groene Hart.
 - a) Regiodeal bodemdaling Groene Hart
 - b) Kamerbrief aanbidding regiodeal bodemdaling Groene Hart
 - c) Voortgangsrapportage Regio Deal bodemdaling 2021
3. DPRA: Handreiking grondwater (juridisch)
4. Kabinetsreactie AcW met kenmerk 15/06/2020 IENW/BSK-2020/108239
5. Waterwet via <https://wetten.overheid.nl/BWBR0025458/2021-07-01/>
6. Nationale Omgevingsvisie (NOVI)
 - a) Nationale Omgevingsvisie (NOVI) hoofddocument
 - b) Nationale Omgevingsvisie (NOVI) toelichting
 - c) Nationale Omgevingsvisie (NOVI) uitvoeringsagenda
7. Bouwadaptief: Zuid-Holland: programma van Eisen Preventiekant
8. Buma et al. (2017) Grootschalig actief grondwaterpeilbeheer in bebouwd gebied. Deltares, Fugro & Wareco.
9. Schadecommissie Grondwater via <https://www.bij12.nl/onderwerpen/adviescommissie-schade-grondwater/>
10. Klimaatakkoord Veenweide via <https://www.klimaatakkoord.nl/actueel/nieuws/2020/07/21/veen-plan-pakt-uitstoot-veenweides-aan>
11. Provincie Zeeland (2021) Zeeuws Deltaplan Zoet Water
12. Provinciale grondwaterheffing via <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/wetgeving/waterwet/financiele/provinciale/>
13. Lesschen et al. (2020) Scenariostudie perspectief voor ontwikkelrichtingen Nederlandse landbouw in 2050. WUR.
14. Stuyt et al. (2013) Eureyopener - Zoetwatervoorziening in het Hoogheemraadschap van Rijnland. Alterra Wageningen UR.
15. Van Leeuwen, H. & Zandbergen, D. (2021) Factsheet geo-informatie bodemdaling 2021. STOWA & Laixer.
16. Tuinenburg-Jansen, A., Kuiper, M., De Kwaadsteniet, M. & Kooijman, W. (2021) Factsheet actief-grondwaterpeilbeheer 2021. Nationaal Kennisprogramma Bodemdaling.
17. Brouns, K., Verhoeven, J., Hefting, M. (2014) The effects of salinization on aerobic and anaerobic decomposition and mineralization in peat meadows: the roles of peat type and land use. DOI: 10.1016/j.jenvman.2014.04.009
18. Oude Essink et al. (2018) GO-FRESH: Valorisatie kansrijke oplossingen voor een robuuste zoetwatervoorziening. Rendabel en duurzaam watergebruik in een zilte omgeving. GO-FRESH: Deltares, KWR, Wageningen UR, HZ university of applied sciences, ZLTO & Acacia Water.
19. Inspectie der Rijksfinanciën (2021) Interdepartementaal beleidsonderzoek; Van woorden naar daden: over de governance van de ruimtelijke ordening.
20. Klimaatschadeschatter via <http://www.klimaatschadeschatter.nl/>
21. STOWA deltafacts Klimaatverandering en grondwaterbeheer stedelijk gebied
22. Platform Slappe Bodem (2021) Ontwikkelingen rond herijking gemeentefonds via <https://slappebodem.nl/nieuws/253/ontwikkelingen-rond-herijking-gemeentefonds>
23. De Louw, P., Doornenbal, P. & Hendriks, D. (2012) Veldonderzoek naar het dichten van wellen. Deltares.
24. Ministerie van I&W en Ministerie van EZK (2018) Structuurvisie Ondergrond.
25. Bosch et al. (2011) Fysieke bouwstenen voor de knelpuntenanalyse nieuwbouw en herstructurering. Climate Proof Cities Consortium: TNO, Deltares, Alterra & TUD.
26. Bolleboom, T., Erkens, G., Kinneging, N. & Van der Meulen, M. (2017) Verkenning bodemdaling STRONG – Versterking bestaande aanpak. RWS WVL, Deltares & TNO.
27. Van den Born et al. (2016) Dalende bodems stijgende kosten. Mogelijke maatregelen tegen veenbodemdaling in het landelijk en stedelijk gebied. Planbureau voor de Leefomgeving.
28. Ministerie van I&W (2019) Handreiking beheer grondwaterkwaliteit onder de Omgevingswet.

29. De Boer, H. & Radersma, S. (2011) Verzilting in Nederland: oorzaken en perspectieven. Wageningen UR.
30. Kooi, H. (2018) Bodemdaling door grondwateronttrekking in het Westland en omgeving. Deltares.
31. Bodemdaling door oxidatie flyer provincie Zuid-Holland
32. Veenplan 1^e fase, brief van de minister LNV aan de Tweede Kamer (2020)
33. Advies Adviescommissie Grondwater 2017
34. Nationaal Kennisprogramma Bodemdaling. (2019/2020) Factsheet deelexpeditie governance & economie van bodemdaling in bebouwd gebied.
35. Leusink, E. (2018) Naar een kosteneffectieve aanpak van klimaatadaptatie in Nederland. SWECO
36. Ter Voorde, M. & Velstra, J. (2009) Leven met zout water. Overzicht huidige kennis omtrent interne verzilting. STOWA & Acacia Water.
37. STOWA deltafacts brakke kwel
38. STOWA deltafacts bodemdaling
39. Kennisportaal klimaatadaptatie. Bodemdaling (veen en klei) via <https://klimaatadaptatienederland.nl/stresstest/bijsluiter/droogte/basisinformatie/bodemdaling-veen-klei/>

6 COLOFON

Auteurs

- B. Peeters (AT Osborne)
- L. Oosterom (AT Osborne)

Klankbordgroep Laag-Nederland

- J. Mekenkamp (Platform Slappe Bodem)
- D. Kern (staf Deltacommissaris)
- D. Henkens (UVW)
- G. Galli (I&W)
- H. Van den Berg (VNG)

24 december 2021

GRONDWATERKWALITEIT

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

Nederland beschikt van oudsher over grote voorraden grondwater van goede kwaliteit. De grondwaterkwaliteit staat echter onder druk van menselijke activiteiten. Door verschillende verontreinigingen treedt 'vergrijzing' van het grondwater op. Dit heeft invloed op de grondwaterafhankelijke functies zoals drinkwater, natuur en ecologie en landbouw.

De grondwaterkwaliteit wordt gemonitord voor onder andere de Kaderrichtlijn Water (KRW). Volgens de KRW-rapportage zijn bijna alle grondwaterlichamen op orde - Nederland telt 23 grondwaterlichamen. De algemene kwaliteit van het diepere grondwater voldoet in de meeste grondwaterlichamen aan de wettelijke normen [1]. Kanttekening hierbij is dat 20 % van de meetpunten in een grondwaterlichaam een normoverschrijding mag hebben (nitraat en bestrijdingsmiddelen) of de drempelwaarde mag overschrijden (chloride, fosfaat, nikkel, arseen, cadmium, lood). De KRW-beoordeling zegt dus niet dat de grondwaterkwaliteit op elke locatie op orde is. De volgende zaken worden niet meegenomen in de KRW beoordeling maar vormen wel een probleem voor de grondwaterkwaliteit:

- opkomende stoffen, waaronder ZZS en medicijnresten. Hiervoor gelden geen normen;
- vergrijzing: complexe verontreinigingsmengsels van wisselende samenstelling door de lokale herkomst (in lage concentraties) worden op steeds grotere diepte aangetroffen. De KRW beoordelingssystematiek is niet geschikt om vergrijzing van het grondwater in beeld te brengen vanwege gebrek aan normen en uitmiddelend van lokale knelpunten over grote gebieden;
- toenemende doorboringen van kleilagen waardoor de afsluitende werking van deze scheidende grondlagen verloren kan gaan en verontreinigingen versneld op diepte kunnen komen, vooral in de omgeving van onttrekkingen.

In de ex ante analyse waterkwaliteit [1] wordt geconstateerd dat er vergrijzing van het grondwater optreedt: op steeds meer meetlocaties worden in lage concentraties milieuvreemde stoffen aangetroffen, stoffen afkomstig van menselijke activiteiten. Daarnaast zijn bij directe lozingen of bij historische verontreinigingen lokaal hoge concentraties schadelijke stoffen waar te nemen.

Er zijn diverse maatregelen en programma's om de grondwaterkwaliteit te verbeteren en vergrijzing van het water tegen te gaan. Dit document beschrijft voor 4 stofgroepen de huidige toestand, de verwachte ontwikkeling en of daarmee aan de normen voldaan gaat worden (dus of er aanvullende maatregelen nodig zijn).

1.2 Doel

Het doel van dit feitenrelaas is om de belangrijkste informatie over de grondwaterkwaliteit bijeen te brengen en in samenhang te presenteren. Hierbij wordt zowel ingegaan op de huidige knelpunten, als op de verwachte ontwikkelingen en mogelijk beleidstekort, voor zover die in bestaande onderzoeken gerapporteerd zijn.

1.3 Scope

Dit feitenrelaas betreft een samenvatting van de informatie die beschikbaar is over de aanwezigheid van een aantal stoffengroepen in het grondwater. Deze stofgroepen zijn: nutriënten, gewasbeschermingsmiddelen, zeer zorgwekkende stoffen & opkomende stoffen, en medicijnresten.

Deze verschillende stofgroepen hebben verschillende beleidskaders, komen op een verschillende manier in het grondwater terecht en hebben verschillende verspreidingseigenschappen (bron-pad-receptor). Het

handelingsperspectief verschilt daarom per stofgroep (bronaanpak: emissies beperken en ruimtelijke maatregelen; pad: barrièrewerking en monitoring; receptor: zuivering). Daarom worden deze stofgroepen apart beschreven.

Het feitenrelaas geeft daarmee geen overzicht van alle stofgroepen die de grondwaterkwaliteit beïnvloeden. Buiten de scope vallen onder andere bodemverontreinigingen, verzilting, zware metalen en nieuwe bedreigingen zoals microplastics, nanomaterialen en het ontstaan van antimicrobiële resistentie.

Risico's voor de grondwaterkwaliteit vanuit de energietransitie zijn in een ander factsheet beschreven.

Deze factsheet focust op de kwaliteit van het grondwater, en maakt op enkele punten de doorvertaling naar functies van het grondwater (zoals drinkwaterproductie en natuur). Voor een compleet overzicht van het belang en functies van grondwater en een goede grondwaterkwaliteit wordt verwezen naar de factsheet Grondwater als Asset.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt een algemeen beeld van de huidige overkoepelende wet- en regelgeving met betrekking tot waterkwaliteit. Daarnaast wordt hier de algemene taakverdeling van verschillende overheden en instanties gegeven. In hoofdstuk 3 wordt dieper ingegaan op nutriënten waarbij een uitwerking van de bron-pad-receptor wordt gegeven, specifieke normen en beleid, de huidige toestand en relevante ontwikkelingen en beleidssporen. In hoofdstukken 4, 5 en 6 wordt eenzelfde beeld geschetst voor bestrijdingsmiddelen, zeer zorgwekkende en opkomende stoffen, en medicijnresten respectievelijk. Hoofdstuk 7 behandelt de huidige kennisleemtes en in hoofdstuk 8 komt de synthese aan bod.

2 ALGEMENE NORMEN EN BELEID

In dit hoofdstuk worden de algemene normkaders voor grondwaterkwaliteit beschreven. Specifieke normkaders voor de verschillende stofgroepen worden in desbetreffende hoofdstukken behandeld. Daarnaast wordt de taken en bevoegdheden rondom grondwater uiteengezet.

2.1 Wet- en regelgeving

Kaderrichtlijn water (KRW, 2000)

De basis van de Nederlandse wetgeving omtrent grondwater ligt bij de Europese wetgeving: de KRW en GWR (zie hieronder). Zoals in hoofdstuk 1 aangegeven stelt de KRW doelen voor de kwaliteit en kwantiteit van het grondwatersysteem als geheel - Nederland is onderverdeeld in 23 grondwatersystemen - en specifiek op plekken waar water onttrokken wordt voor menselijke consumptie. De KRW bepaalt dat alle grondwaterlichamen uiterlijk in 2027 in goede toestand moeten verkeren, tenzij een beroep gedaan kan worden op de uitzonderingen. Wanneer een beroep wordt gedaan op de uitzonderingen, moet in 2027 wel alle maatregelen genomen zijn die zullen leiden tot het behalen van de doelen. Hoofddoel is dat de waterkwaliteit binnen een systeem in ieder geval niet mag verslechteren (standstill-principe). Om aan de doelen van KRW te voldoen, mogen 20 % van de meetpunten binnen een systeem een normoverschrijding hebben (nitraat en bestrijdingsmiddelen) of de drempelwaarde overschrijden (chloride, fosfaat, nikkel, arseen, cadmium, lood). Een positieve KRW beoordeling geeft dus niet aan dat het grondwater op elke locatie binnen een systeem van goede kwaliteit is.

Voor grondwater dat wordt gewonnen voor de productie van drinkwater gelden aanvullende kwaliteitseisen. Zo schrijft de KRW (artikel 7.2) voor dat drinkwater bereid kan worden dat voldoet aan de eisen uit de Drinkwaterrichtlijn (98/83/EG). Artikel 7.3 van de KRW schrijft voor dat achteruitgang van de kwaliteit van grondwater moet worden voorkomen, teneinde het niveau van zuivering dat voor de productie van drinkwater is vereist, te verlagen. Nederland geeft hier mede invulling aan door de samenstelling van gewonnen grondwater te toetsen aan de signaleringswaarden uit het Bkwm 2009. Deze signaleringswaarden zijn in getalswaarde gelijk aan de normen uit de drinkwaterrichtlijn die gelden voor drinkwater. Voor niet-

genormeerde (opkomende) stoffen wordt een signaleringswaarde van 0,1 µg/l aangehouden. Bij overschrijding van de signaleringswaarde in gewonnen grondwater wordt nadere stof-specifieke risicobeoordeling uitgevoerd om te bepalen of, en zo ja welke, (remediërende) vervolgacties nodig zijn.

Grondwaterrichtlijn (GWR, 2006)

In de GWR worden de algemene doelen van de KRW verder ingevuld. In deze richtlijn worden de chemische kwaliteitseisen voor grondwater en de methoden gespecificeerd. In de GWR worden de normen voor nitraat, gewasbeschermingsmiddelen en relevante metabolieten gegeven.

Waterwet (2009) en Besluit kwaliteitseisen en monitoring water (Bkmlw, 2009)

De Europese normen worden in Nederland geïmplementeerd via de Waterwet en het Bkmlw. De normen opgesteld in de Waterwet en Bkmlw worden binnen het Besluit Kwaliteitseisen Leefomgeving van de Omgevingswet (2022) samengevoegd.

2.2 Bevoegdheden

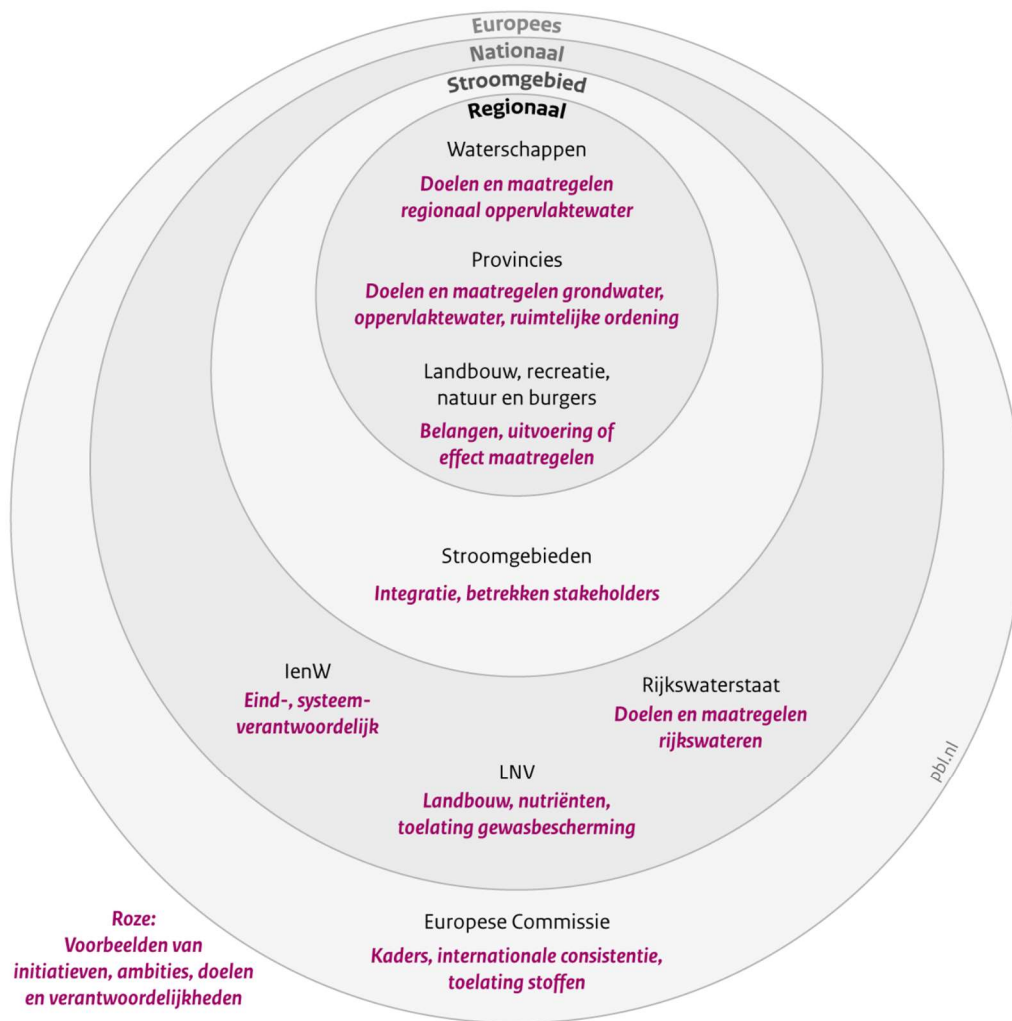
In afbeelding 2.1 is voor de verschillende schaalniveaus de bestuurlijke organisatie weergegeven. De Rijksoverheid is richting de Europese Commissie eindverantwoordelijke voor de inpassing van de Kaderrichtlijn Water. De verantwoordelijkheid voor het opstellen van doelen en maatregelen per grondwatersysteem ligt bij de waterschappen en provincies (en Rijkswaterstaat in het geval van rijkswateren). Daarnaast zijn de waterschappen verantwoordelijk voor de zuivering van afvalwater [2].

De verantwoordelijkheid voor de bescherming van de grondwaterkwaliteit in grondwaterbeschermingsgebieden ligt bij de provincies. Dit gebeurt met het oog op de winning van grondwater bedoeld voor menselijke consumptie. De provincie is bevoegd gezag in de vergunningverlening voor grondwateronttrekkingen ten behoeve van industrie (> 150.000 m³/jaar), drinkwater en bodemenergiesystemen en daarmee samenhangende infiltraties. Waterschappen zijn verantwoordelijk voor overige onttrekkingen en infiltraties in het regionale systeem, Rijkswaterstaat (ministerie van I&W) voor overige onttrekkingen in oppervlaktewaterlichamen waar zij het waterkwantiteitsbeheer voert, bv in uiterwaarden.

De gemeenten hebben een grondwaterzorgplicht. Dit houdt in dat de gemeente maatregelen moet treffen om structureel nadelige gevolgen van de grondwaterstand zoveel mogelijk moet voorkomen of beperken. Daarnaast stelt de gemeente het omgevingsplan op en stelt het regels aan activiteiten die de grondwaterkwaliteit kunnen bedreigen.

Omdat de verantwoordelijkheden voor de grondwaterkwaliteit zijn verdeeld over verschillende partijen en beleidstrajecten, ontbreken gemeenschappelijke doelenkaders. In de Omgevingswet komt de verdeling van verantwoordelijkheden wel aan de orde, maar zijn de taken voor grondwater voor provincies, waterschappen en gemeenten niet scherp afgebakend [3].

Organisatie waterkwaliteitsbeleid



Bron: PBL

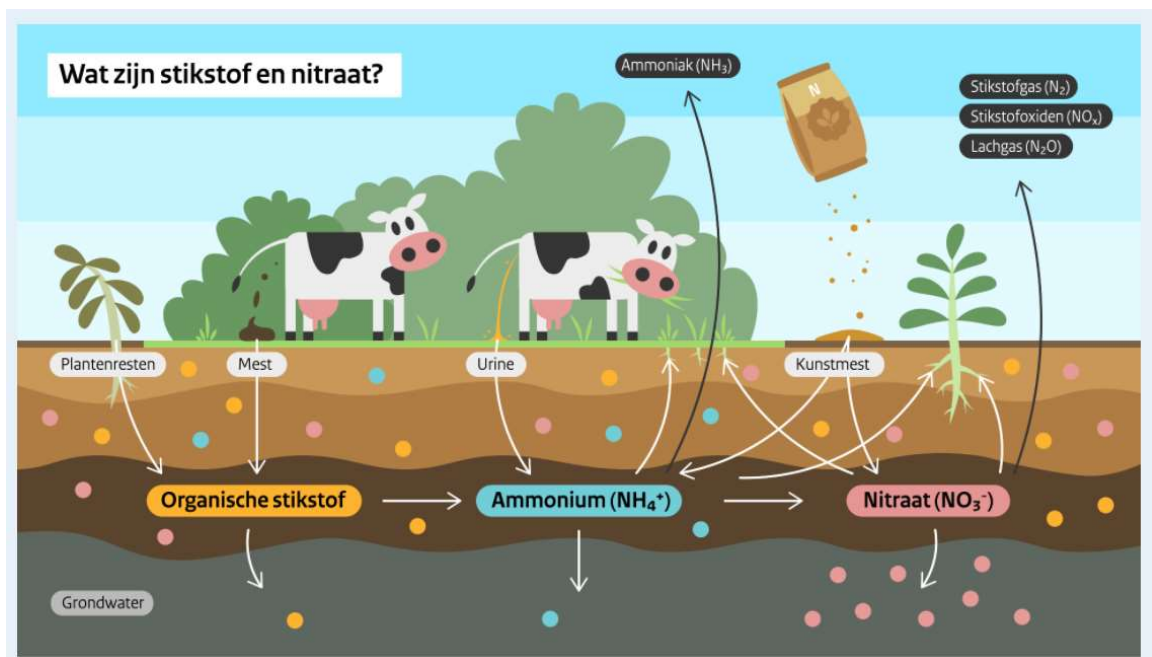
3 NUTRIËNTEN

3.1 Introductie: Bron-pad-receptor

Nutriënten zijn voedingsstoffen (stikstof, fosfor en kalium) die van nature in oppervlakte- en grondwater voor kunnen komen, maar door menselijke activiteiten in veel grotere mate in het milieu terechtkomen of zich verspreiden.

- **bron:** op de zandgronden is de belangrijkste bron van nutriënten in grondwater mest, zowel kunstmest als dierlijke mest. Doordat grondwater langzaam stroomt, ijlen de effecten van hoge historische bemesting in de jaren tachtig en negentig van de twintigste eeuw nog steeds na. Daarnaast vormen huishoudens en de industrie een bron van nutriënten. Klei en veengebieden bevatten hoge ammoniumconcentraties (stikstofverbindingen) die de kwaliteit van het oppervlaktewater negatief beïnvloeden;
- **pad:** via uitspoeling komen de meststoffen (met name nitraat) in het grondwater terecht. Ook treedt atmosferische depositie van NH_x en NO_x op, die in Nederland nog steeds sterk verhoogd is, vooral in bossen en andere vervuilde gebieden [4]. Daarnaast zijn er lozingen (puntbronnen) van de landbouw, industrie en rioolwaterzuiveringsinstallaties. Nitraat is zeer mobiel in de ondergrond. Bij bodempassage kan nitraat afgebroken worden (als de grond organisch materiaal of pyriet bevat). Daarbij komt zuur en sulfaat vrij. Ammonium (NH_4^+) wordt in nitraat omgezet in aerobe gronden, zolang de grond niet te zuur is ($\text{pH} > 6$) en temperaturen niet te laag zijn (onder of nabij het vriespunt). Fosfaat is in ijzerhoudende bodems nauwelijks mobiel. Na vernatting kan dit fosfaat wel vrij komen;
- **receptor:** in Nederland betreffen de problemen in grondwater voornamelijk stikstof in de vorm van nitraat en ammonium. Een te hoge aanvoer van deze stoffen via het grondwater en via andere routes, is een knelpunt voor natuurdoelen en drinkwaterproductie. Een hoge nitraatbelasting van het grondwater leidt in sommige gebieden tot verzuring en hoge sulfaatconcentraties die de kwaliteit van het grondwater voor natuur en drinkwaterproductie ook nadelig kunnen beïnvloeden. Dit document focust daarom op nitraat (NO_3^-), zie 3.1. Fosfor is een andere bekende meststof, maar fosfaat accumuleert in de bodem en bereikt daarom het grondwater nauwelijks. Problemen met fosfor spelen daarom vooral voor in oppervlaktewater. Wel zijn er normoverschrijdingen van fosfor in de kustzone van West-Nederland [1].

Afbeelding 3.1 Bronnen stikstof en nitraat [5]



Diergeneesmiddelen

Diergeneesmiddelen volgen veelal dezelfde route via mest naar het grondwater. Diergeneesmiddelen worden over het algemeen geschaard onder de opkomende stoffen. Er zijn weinig studies specifiek gericht op diergeneesmiddelen in het grondwater. Van de emissie en uitspoeling van diergeneesmiddelen naar grondwater is dan ook nog maar weinig bekend [6]:

- in provincie Gelderland is een verkennende studie uitgevoerd op (uitspoelingsgevoelige) zandgronden. Er waren maar weinig diergeneesmiddelen uit de mest die systematisch werden aangetroffen in het grondwater. Wel is aangetoond dat persistente, maar oplosbare diergeneesmiddelen en hormonen worden aangetroffen in het grondwater van percelen waar drijfmest wordt verspreid [7].
- een quick-scan naar diergeneesmiddelen in de waterketen [8] concludeert dat de meetgegevens beperkt zijn (van 84 % van de stoffen op de markt zijn geen monitoringsgegevens bekend) en rapportage van de gegevens gefragmenteerd is. Van de 260 stoffen die worden gebruikt in diergeneesmiddelen zijn worden slechts 43 stoffen gemonitord, en zijn in totaal 24 stoffen daadwerkelijk aangetroffen in het oppervlaktewater (waarvan een zeer klein deel in grondwater). De herkomst is veelal onzeker, omdat stoffen soms ook in humane geneesmiddelen voorkomen en het gebruik van diergeneesmiddelen niet bekend is (voorschrijvingsgegevens zijn niet openbaar).

De problematiek van diergeneesmiddelen lijkt tot nu toe beperkt; ook omdat de stoffen veelal goed afbreken. Vanwege de andere schaal van het probleem dan nutriënten wordt in dit document niet specifiek in gegaan op diergeneesmiddelen, maar is dit wel opgenomen als kennisleemte.

3.2 Doelen en normen

Doelen en normen nutriënten

Naast de wet- en regelgeving benoemd in hoofdstuk 2 is specifiek voor nutriënten ook de volgende richtlijn van belang:

- Europese Nitraatrichtlijn (1991): Het doel van de Europese Nitraatrichtlijn is het verminderen en verder voorkomen van nitraatverliezen uit de landbouw om grond- en oppervlaktewater te beschermen. Deze richtlijn stelt een norm van nitraat in grondwater van 50 mg/l, maar de grootte van het gebied waarvoor deze norm van toepassing is staat nog ter discussie. De Nitraatrichtlijn bevat onder andere gebruiksnormen voor het gebruik van mest. In Nederland is de Nitraatrichtlijn vertaald in het Actieprogramma Nitraat. Het 7^e actieprogramma Nitraat (2022 t/m 2025) wordt eind 2021 vastgesteld door de Tweede Kamer;
- Europese Richtlijn Stedelijk Afvalwater (1991): Volgens de Europese Richtlijn Stedelijk Afvalwater (rwzi's) moet het landelijk zuiveringsrendement voor zowel fosfor als stikstof minstens 75 % bedragen. In 2017 was het zuiveringsrendement voor fosfor ruim 86 % en voor stikstof ruim 84 %. Dit heeft ertoe geleid dat de lozing van stikstof via het effluent in de laatste vijftien jaar ruim is gehalveerd [9].

In het Nederlandse beleid (Bkwm) is opgenomen dat de norm voor nitraat van 50 mg/l NO_3 (= 11,3 mg $\text{NO}_3\text{-N}$ [4]) is van toepassing voor alle grondwaterlichamen én voor grondwater voor menselijke consumptie (de Drinkwaternorm is ook 50 mg/l). Voor andere grondwaterafhankelijke functies zoals natuur bestaan geen specifieke normen.

Natuurdoelen

Het Europese natuurbesluit is vooral gericht op Natura 2000, het Europese netwerk van beschermde natuurgebieden. In Nederland is ongeveer 50 % van de Natura2000 gebieden kwelafhankelijk (80 van 163) [3]. Een recente ecohydrologische verkenning geeft aanwijzingen dat nitraathoudend grondwater al bij lage concentraties (onder de nitraatnorm) een aanzienlijke bijdrage aan de vermessing van kwelafhankelijke natuur kan leveren. Hierdoor kunnen nutriëntenarme condities en de daaraan gebonden, beschermde natuurtypen verdwijnen [10]. Een duidelijk kader en generieke grenswaarden om te beoordelen bij welke kwaliteit het toestromend grondwater schadelijk is voor natuur ontbreekt echter. Het is daarom van belang dat, om de natuurdoelen te halen, het toewerken naar de nitraatnorm van 50 mg/l in de omgeving van sommige natuurgebieden niet voldoende is, en dat specifiek naar de belasting (nitraatvrachten) gekeken moet worden.

Voor veel grondwaterbeschermingsgebieden met een Natura 2000-status geldt daarom een strengere KRW-verplichting voor verbetering van waterkwaliteit als het gaat om nitraat om Natura 2000-doelen te kunnen realiseren [11].

Bevoegdheden

Specifiek gelinkt aan nutriënten liggen de kernbevoegdheden bij de Rijksoverheid (Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) en ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW)) als het gaat om het gebruik van meststoffen (zie afbeelding 2.1). Hoewel provincies en waterschappen weliswaar verantwoordelijk voor het grondwater en de regionale oppervlaktewateren zijn, zijn hun sturingsmogelijkheden op nutriënten beperkt tot grondwaterbeschermingsgebieden, de breedte van de teeltvrije zones en bovenwettelijke, vrijwillige maatregelen [12] welke ontoereikend kunnen zijn. Omdat waterlichamen niet stationair zijn, kunnen verontreinigingen buiten bovengenoemde gebieden op den duur toch de grondwaterbeschermingsgebieden bereiken.

3.3 Huidige toestand

Op basis van de gegevens uit het Landelijk Meetnet Mestbeleid (LMM) blijkt de NO₃-concentratie in het uitspoelingswater onder landbouwbedrijven sinds 2005 bij akkerbouwbedrijven hoger te zijn dan bij melkveebedrijven, voor 2010-2014 is dat 40 % hoger [10]. Uit een analyse van monitoringsdata van provincies blijkt dat nitraat in gemiddeld 6,5 % van de onderzochte filters op 10 m diepte de norm overschrijdt [4]. Dit betreft vooral het oosten en zuiden van het land: Overijssel, Drenthe, Gelderland, Noord-Brabant en Limburg. Dit is te verklaren door het landbouwkundig gebruik en de ondergrond: het zijn zandgronden met vaak lage grondwaterstanden waardoor nitraat slecht wordt afgebroken en dus sneller uitspoelt naar het grondwater.

Historie

Sinds de bemestingspiek op de zandgronden in de jaren tachtig is er een nitraatpiek opgetreden in het uitspoelings- en ondiepte grondwater in de jaren negentig. Sindsdien is de concentratie sterk gedaald (van circa 190-250 mg/l naar 50-80 mg/l) [10]. In het diepe grondwater moet de piek nog komen door trage grondwaterstroming. De nitraatconcentraties in het ondiepe grondwater in het zandgebied nemen sinds 1992 af [12,13]. Tussen 2000 en 2010 was er ook nog een sterke daling van nitraatconcentraties in het grondwater onder landbouwbedrijven, maar de laatste jaren vlakkt deze daling af [14]. De nationale analyse waterkwaliteit [3] concludeert dat er een significante daling was in de periode van 2006-2014, maar dat ondanks deze daling in 2017 bij 46-64 % van de landbouwbedrijven de nitraatnorm werd overschreden. Ook concludeert het onderzoek dat de verschillen tussen de toestand van 2014 en 2015-2016 en 2020 gering zijn. De KRW-rapportage 2015 noemt een normoverschrijding van nitraat in het krijtgebied in Zuid-Limburg. Op basis van een trendanalyse (2000-2018) blijkt dat de norm van nitraat in het grondwaterlichaam Zand Rijn Oost overschreden wordt, maar dat wel een dalende trend zichtbaar is [15].

In de recent verschenen Ex ante evaluatie waterkwaliteit zijn bovenstaande onderzoeken opgenomen en bevat geen nieuwe cijfers.

Grondwaterafhankelijke functies

In regionale toetsen is door de provincies beoordeeld of de kwaliteit van het grondwaterlichaam voldoet voor grondwaterafhankelijke functies. In de KRW-rapportage uit 2015 is de chemische toestand van grondwaterlichamen in 2014 beoordeeld:

- 30 % van de grondwaterlichamen was onvoldoende voor drinkwaterwinning;
- 50 % was onvoldoende voor grondwaterafhankelijke oppervlaktewatersystemen;
- 15 % was onvoldoende voor Natura 2000-gebieden.

Deze problemen doen zich vooral voor in het zuiden van het land (Brabant, Limburg) en rondom Utrecht [3].

Winningen voor drinkwaterproductie

Volgens de gebiedsdossiers uit 2018 vormen nitraat, nikkel en sulfaat voor 28 van de 192 winningen (circa 15 %) in het onttrokken grondwater een huidige probleemstof (concentratie > norm). Dit is vergelijkbaar met

de vorige serie gebiedsdossiers uit 2014-2015. In langjarige analyse (2000-2015) zijn er bij 64 winningen nutriënt-gerelateerde parameters als huidige probleemstoffen aangemerkt (circa 30 %); dit is te verklaren door meer incidentele overschrijdingen [11]. Vanwege de lange reistijd representeren de nutriëntconcentraties in het onttrokken grondwater vooral de historische mestbelasting en is de invloed van de huidige mestbelasting nog niet waar te nemen. Het huidige mestgebruik wordt gereflecteerd in de concentraties van ondiep grondwater. Uit statistieken van het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid en het Trendmeetnet Verzuring volgt dat, gemiddeld over de periode 2007-2014, in 30 van de 128 grondwaterbeschermingsgebieden (circa 25 %) de nitraatconcentratie in het uitspoelingswater uit de wortelzone hoger was dan 50 mg/l [16].

Uit de eindevaluatie bestuursovereenkomst Nitraat (zie volgende paragraaf) blijkt dat de gezamenlijke aanpak om de agrarische nitraatuitspoeling in 34 kwetsbare grondwater-beschermingsgebieden terug te dringen, goed op weg is, maar dat in ongeveer de helft van deelnemende grondwaterbeschermingsgebieden het nitraatdoel niet (tijdig) gehaald zal worden.

3.4 Relevante ontwikkelingen en beleidssporen

Delta aanpak waterkwaliteit

Om een extra impuls te geven aan de verbetering van de waterkwaliteit is in 2016 de Delta-aanpak Waterkwaliteit gestart. De aanpak van nutriënten gaat via het stimuleren van vrijwillige aanvullende maatregelen door agrariërs, via het Deltaplan Agrarisch Waterbeheer (DAW) en de BOOT-lijst (geen spijsmaatregelen die agrariërs kunnen nemen om de stikstofverliezen naar het grond- en oppervlaktewater uit hun bedrijf te beperken). Eind 2018 liepen er ruim 350 projecten binnen het DAW, waaraan naar schatting 15.000 agrariërs deelnemen; dat is ongeveer een kwart van alle landbouwbedrijven in Nederland [17]. De meeste aandacht is uitgegaan naar de nutriëntenbelasting in de meest kwetsbare grondwaterbeschermingsgebieden, via projecten als Waterwijs Boeren, Bodem UP en Boeren voor Drinkwater, die door de DAW gefaciliteerd worden. Een belangrijk deel van de DAW-maatregelen werd gesubsidieerd via het Plattelandsontwikkelingsprogramma (POP). Het POP is verlengd tot 2022, daarna gaat het deel uitmaken van het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid (GLB).

7^e Nitraat actieprogramma

Nederland geeft invulling aan de Nitraatrichtlijn via Nitraat Actieprogramma's (NAPs) die elke vier jaar ontwikkeld worden. De actieprogramma's worden opgesteld door de ministeries IenW en LNV. De looptijd van het huidige zesde actieprogramma Nitraatrichtlijn eindigt op 31 december 2021. Het huidige Ontwerp NAP7 [18] noemt: 'Hoewel de waterkwaliteit in Nederland in de afgelopen decennia aanzienlijk is verbeterd, ligt er in veel gebieden nog een behoorlijke opgave in het terugdringen van nutriënten afkomstig van de landbouw. Het 7e AP richt zich meer dan voorheen specifiek op probleemgebieden en probleemteelten wat betreft nutriëntenuitspoeling.'

Bestuursovereenkomst aanpak nitraat

De Bestuursovereenkomst aanpak nitraat in grondwater heeft als doel om uiterlijk in 2025 in 34 kwetsbare grondwater-beschermingsgebieden op gebiedsniveau blijvend te voldoen aan de norm uit de Nitraatrichtlijn van 50 mg/l nitraat in het uitspoelingswater uit de wortelzone. De bestuursovereenkomst zou eind 2021 eindigen, maar is recent verlengd.

Nationaal Programma Landbouwbodems

Het Nationaal Programma Landbouwbodems is in 2019 gestart op initiatief van het ministerie LNV met als doel dat alle Nederlandse landbouwbodems duurzaam beheerd worden in 2030. Onderdeel van het programma is onder andere experimenten met het mestbeleid - waarbij de relatie tussen koolstof en bemestingseffecten wetenschappelijk wordt gemonitord- en de vermindering van de emissie van lachgas (N₂O).

Kringlooplandbouw

In de landelijke landbouwvisie [19] is de inzet dat kringlopen in de landbouw zoveel mogelijk zijn gesloten en dat Nederland koploper is in de kringlooplandbouw. De streefdatum hierbij is 2030. De nutriëntenkringloop is hier een belangrijk onderdeel van.

Omgevingswet

In het kader van de Omgevingswet werken overheden gezamenlijk aan een integrale visie op de fysieke leefomgeving, waarin de grondwaterkwaliteit expliciet als belang wordt meegenomen. Via het Besluit activiteiten leefomgeving (BAL) kunnen in theorie maatregelen met een sterker verplichtend karakter worden ingezet om invloeden naar grondwaterbeschermingsgebieden te voorkomen [11].

Klimaatverandering en klimaatadaptatie

Het is van belang de relatie tussen nitraatconcentratie en grondwaterstand te benadrukken: bij een lage grondwaterstand op de zandgronden wordt nitraat slecht afgebroken en is de concentratie in het grondwater dus hoger. Ook is een efficiënte nutriëntenopname door planten afhankelijk van bodemvocht: voldoende waterbeschikbaarheid betekent dus dat minder bemesting noodzakelijk is. Het beeld bestaat dat de droge zomers van 2018 en 2019 een belangrijke invloed hebben gehad op de stijging van de nitraatconcentraties in 2019 en 2020 [17]. Daarom is ook de aanpak van de droogte op de hoge zandgronden door klimaatverandering belangrijk. Maatregelen om een stijging van nitraatconcentraties als gevolg van droogte tegen te gaan kunnen in de praktijk de stijging van nitraatconcentraties nooit helemaal verhinderen [17].

Farm to fork strategy

De Farm to 'Fork Strategy' is het hart van de Europese green-Deal, met als doel om de voedselketen eerlijk, gezond en milieuvriendelijk te maken.

In de strategie worden zowel regelgevende als niet-regelgevende initiatieven opgenomen, met het gemeenschappelijk landbouw- en visserijbeleid als belangrijkste instrumenten om een rechtvaardige transitie te ondersteunen.

Er zal een voorstel worden gedaan voor een wetgevend kader voor duurzame voedselsystemen ter ondersteuning van de implementatie van de strategie en de ontwikkeling van een duurzaam voedselbeleid. De Commissie maakt de balans op van de lessen die zijn getrokken uit de COVID-19-pandemie en zal ook een noodplan ontwikkelen om de voedselvoorziening en voedselzekerheid te waarborgen. De EU zal de wereldwijde overgang naar duurzame agrovoedingssystemen ondersteunen via haar handelsbeleid en internationale samenwerkingsinstrumenten

Gemeenschappelijk Landbouwbeleid Nationaal Strategisch Plan 2023-2027

De landen van de Europese Unie (EU) maken samen een Gemeenschappelijk landbouwbeleid (GLB). Het GLB heeft 2 onderdelen: landbouwsubsidies en subsidies voor plattelandontwikkeling. Met dit landbouwbeleid wil de Commissie het beleid groener, eerlijker, efficiënter, en effectiever maken.

Nieuwe hervormingen van het GLB zullen naar verwachting pas vanaf januari 2023 worden doorgevoerd. De voorgestelde plannen van de Commissie zijn gericht op het stimuleren van de ontwikkeling van een duurzame en competitieve landbouwsector die een aanzienlijke bijdrage kan leveren aan de Europese Green-Deal.

Binnen de grenzen van het GLB mogen de EU-landen hun eigen landbouwbeleid bepalen. Dit wordt gevormd door het (concept) Nationaal Strategisch Plan (NSP): Toekomstbestendig boeren. Het NSP wordt uiterlijk december 2021 naar de Europese Commissie gestuurd en wordt uiterlijk december 2022 door de Europese Commissie goedgekeurd. Het NSP zet in op 6 leidende principes:

- creëren van een zo groot mogelijke omslag: Agrariërs produceren voedsel én zorgen voor het landschap. Met de eco-regeling kan iedere agrariër aan slag met de zorg voor zijn omgeving;
- balans tussen toekomstgericht en stabiliteit. Zorgen voor stabiliteit en duidelijkheid, zodat boeren beter vooruit kunnen plannen;
- stimulerend voor boer en tuinder. Boeren worden voor activiteiten die óók waardevol zijn voor de natuur, milieu en biodiversiteit beloond (kostendekkende vergoeding);

- interventies dragen aantoonbaar bij;
- samenhang, tussen de NSP-interventies en andere maatregelen op Europees, nationaal en regionaal niveau;
- uitvoerbaar. Eenvoudig, efficiënt, helder en goedkoop.

3.5 Verwachte toestand

Waargenomen en berekende concentraties van nitraat, nikkel en sulfaat in het grondwater geven aan dat mestuitspoeling ook de komende jaren tot decennia een knelpunt kan vormen voor de kwaliteit van grondwater dat is bestemd voor drinkwaterproductie en natuur [11].

In het addendum van de Nationale Analyse Waterkwaliteit [20] is geconcludeerd dat de bronnen van drinkwater onder toenemende druk staan, onder andere door nutriënten.

Ook in de recenter uitgevoerde PlanMER [17] bij het NAP7 zijn verschillende maatregelenscenario's doorgerekend: een basisscenario met NAP7-maatregelen, en aanvullende pakketten met DAW-maatregelen en BOOT-maatregelen met een steeds grotere implementatiegraad:

- er is geconcludeerd dat nitraatconcentraties zullen dalen bij bemesting conform de gebruiksnormen (Goede Landbouwpraktijk) en door na-ijling van effecten van reeds genomen maatregelen. Toch worden de nitraatnormen in grote delen van het zandgebied niet in 2027 gerealiseerd (berekende gebiedsgemiddelde nitraatconcentraties in 2027 variëren tussen 29 en 85 mg/l). Extra maatregelen met een verplichtend karakter leiden tot een groter doelbereik, maar ook dan wordt in het lössgebied niet aan het doel voldaan. Wel wordt overal een stijging van de concentraties voorkomen;
- bij een maximale inzet van de brongerichte DAW-maatregelen in grondwaterbeschermingsgebieden wordt een daling van 10-25 mg/l berekend. Dit leidt tot een nitraatconcentratie onder landbouwgronden die voldoet aan de norm bij 9 van de 34 grondwaterbeschermingsgebieden.

De transitie naar een kringlooplandbouw kan vanwege de hoge kosten niet onder het huidige landbouwsysteem gemaakt worden en zal zich daarom slechts geleidelijk voltrekken [21]. Het doelgat (verschil tussen de huidige concentraties en de normen) voor nitraat is in sommige gebieden zeer groot.

Opgemerkt wordt dat wanneer grondwaterlichamen voldoen aan de nitraatnorm, nog niet gegarandeerd is dat daarmee ook de stikstofdoelen in het oppervlaktewater worden gehaald. Het oppervlaktewater is namelijk onderhevig aan strengere normen.

Voorwaarden voor doelrealisatie

Als voorwaarden voor doelrealisatie worden door het RIVM en PBL de volgende punten genoemd [3, 11]:

- transitie naar emissiearme landbouw in combinatie met een structurele aanpassing van de landbouwpraktijk en het landbouwsysteem;
- opschaling en monitoring van de lopende initiatieven voor het verminderen van de nitraatuitspoeling om daarmee de concentraties verder teruggedrongen kunnen worden;
- collectieve actie: betere afstemming van taken en verantwoordelijkheden van verschillende overheden waarbij per regio belanghebbenden gezamenlijk op zoek gaan naar het meest geschikte maatregelpakket;
- regie vanuit het Rijk om te sturen op een landbouwtransitie en realisatie van de KRW-doelen, via herbezinning van het mestbeleid en invulling van de landbouwvisie, met aandacht voor andere verdienmodellen en het omgaan met verliezen, en met inzet van publieke middelen.

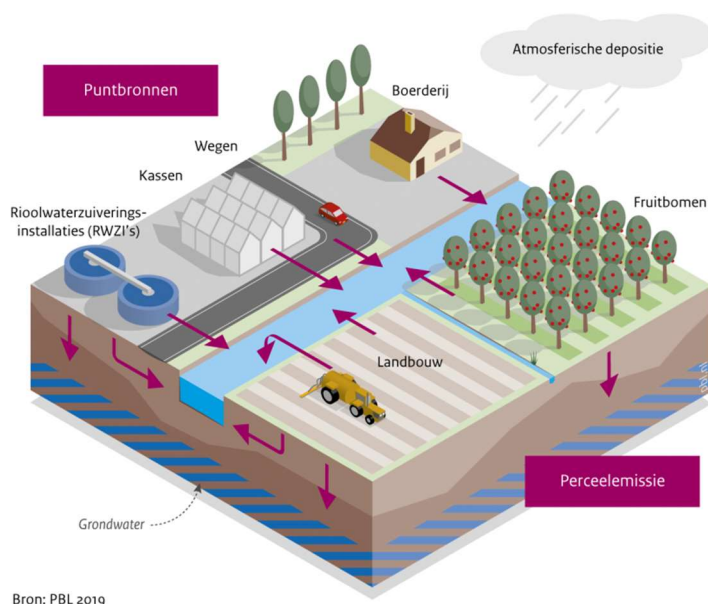
4 BESTRIJDINGSMIDDELEN

Bestrijdingsmiddelen worden verdeeld in gewasbeschermingsmiddelen en biociden. Gewasbeschermingsmiddelen worden gebruikt om (landbouw)gewassen tegen ziekten en plagen te beschermen. Biociden worden ook gebruikt om organismen te bestrijden, maar buiten de land- en tuinbouw. Dit hoofdstuk gaat over zowel gewasbeschermingsmiddelen als biociden.

4.1 Introductie: Bron-pad-receptor

- **Bron:** bestrijdingsmiddelen worden gebruikt in de landbouw (glastuinbouw open teelten), in tuinen (particulieren en bedrijven), openbaar groen, op recreatieterreinen (gemeenten) en bij infrastructuur (spoor). Bestrijdingsmiddelen worden gebruikt ter bestrijding van insecten (insecticiden), onkruid (herbiciden) of schimmels (fungiciden) of om de groei van planten te stimuleren (groeiregulatoren).
- **Pad:** bestrijdingsmiddelen komen in grondwater terecht door uitspoeling vanaf maaiveld via de bodem, infiltrerend oppervlaktewater, en in mindere mate via spuitdrift (de wind) en atmosferische depositie. Op landelijke schaal leveren onkruidbestrijdingsmiddelen bij de teelt van maïs de grootste bijdrage aan de grondwaterbelasting [22], maar lokaal leidt het gebruik van middelen in uiteenlopende teelten tot uitspoeling naar het grondwater. Een andere route loopt via het oppervlaktewater, waar bestrijdingsmiddelen in terecht komen via drift, drainage, afspoeling (van landbouwgrond en verhard oppervlak zoals wegen) en lozingen. Door infiltratie van oppervlaktewater kunnen de stoffen in het grondwater terecht komen. In het grondwater kan de concentratie veranderen door desorptie aan bodem en (bio)degradatie. Hierbij kunnen meer of minder stabiele metabolieten (afbraak- of reactieproducten) ontstaan. Een aantal metabolieten is humaan-toxicologisch niet relevant verklaard. *In de rest van hoofdstuk wordt met bestrijdingsmiddelen bedoeld: 'bestrijdingsmiddelen en hun metabolieten'.*
- **Receptor:** bestrijdingsmiddelen in grondwater kunnen gezondheidkundige risico's met zich meebrengen, individueel of gezamenlijk humaan toxisch zijn, en daarmee een probleem zijn voor het gebruik van grondwater als drinkwaterbron. Ook kunnen er ecotoxicologische risico's voor het milieu zijn.

Afbeelding 4.1 Emissieroutes van gewasbeschermingsmiddelen naar oppervlakte- en grondwater [23]



4.2 Doelen en normen

Doelen en normen bestrijdingsmiddelen

Volgens de Grondwaterrichtlijn, welke is uitgewerkt in het Bkmw, bedraagt de grondwaterkwaliteitsnorm voor individuele bestrijdingsmiddelen en relevante metabolieten 0,1 µg/l en voor de somconcentratie 0,5 µg/l. Voor toelating geldt het criterium dat onder 90 % van het gebruiksareaal geen overschrijding van de norm van 0,1 µg/l plaats mag vinden [24]. In aanvulling daarop, wordt onttrokken grondwater voor drinkwater (ruwwater) getoetst aan signaleringswaarden die wat getalswaarde betreft gelijk zijn aan de normen van het Drinkwaterbesluit. De waarden uit het Drinkwaterbesluit zijn dezelfde als die in het Bkmw, behalve dat enkele stoffen een strengere signaleringswaarde van 0,03 µg/l hebben. Voor niet-relevante metabolieten (die door het RIVM humaan toxicologisch niet relevant zijn verklaard) is de signaleringswaarde uit het Drinkwaterbesluit 1,0 µg/l. Voor andere grondwaterafhankelijke functies zoals natuur zijn geen aparte normen.

Het toetsingskader van het CTGB (college voor de toelating van gewasbeschermingsmiddelen en biociden) hanteert voor de toelatingsbeoordeling dat elk gewasbeschermingsmiddel of afbraakproduct in maximaal 10 % van het areaal de concentratie van 0,1 µg/l mag overschrijden, met een maximaal totaal van 0,5 µg/l. Daarnaast wordt gekeken naar jaargemiddelden en worden seizoenschommelingen niet meegenomen.

De WHO heeft voor een aantal bestrijdingsmiddelen specifieke richtwaarden voor humane gezondheidsrisico's afgeleid. Ook heeft KWR een toxicologische risicobeoordeling gedaan van enkele stoffen. Sommige stoffen hebben daarnaast een ecotoxicologische MTR-waarde. De afgeleide richtwaarden liggen veelal (ruim) boven de norm van 0,1 µg/l [4].

Voor oppervlaktewater geldt dat geen middelen gebruikt worden die een onaanvaardbaar risico opleveren voor het waterleven in kavelsloten. Echter, bij de toelatingsbeoordeling wordt enkel gekeken naar emissies via spuitdift en wordt verontreiniging door drainage en oppervlakkige afstroming niet meegenomen. Het oppervlaktewater kan dus door grondwater in kwaliteit erop achteruit gaan.

Bevoegdheden

Zoals gesteld in hoofdstuk 2 is de provincie verantwoordelijk voor de bescherming van het grondwaterkwaliteit en de uitvoering van het KRW in het kader van het standstill-principe. Hierbij kunnen provincies bijvoorbeeld teeltvrije zones aanwijzen en bepaalde gewasbeschermingsmiddelen verbieden. De kaders van de wetgeving over het gebruik van bepaalde gewasbeschermingsmiddelen ligt bij de Rijksoverheid. Het CTGB beoordeelt of middelen aan de wettelijke eisen voldoen eer ze op de markt worden toegelaten. Het NVWA voeren controles uit met betrekking tot voedselkwaliteit. Effecten op de omgeving worden gecontroleerd door het ILT.

4.3 Huidige toestand

In een analyse van grondwatermonsters op 10 m diepte verspreid over Nederland, binnen en buiten drinkwaterbeschermingsgebieden (2015-2016 en 2018-2019) ¹ blijkt:

- in ruim 60 % van de filters zijn een of meerdere bestrijdingsmiddelen of metabolieten aangetroffen (791 van 1.284 filters);
- in 19 % van de filters is de norm van 0,1 µg/l voor één of meerdere stoffen overschreden.

Van de 278 geanalyseerde bestrijdingsmiddelen zijn 95 stoffen aangetroffen. Daarvan overschreden 44 stoffen de norm van 0,1 µg/l. ².

Verschillen tussen provincies

¹ KWR, 2020.067. Grondwaterkwaliteit Nederland 2020.

² KWR, 2020.067. Grondwaterkwaliteit Nederland 2020.

De ruimtelijke spreiding van bestrijdingsmiddelen en hun concentraties door Nederland is te verklaren door het landbouwkundig gebruik van de grond in die provincies (net als het geval is voor nutriënten), het organische stof in de bodem en het bodemtype (zandgrond is uitspoelingsgevoeliger; kleigrond is reactiever; lössbodems zijn erg uitspoelingsgevoelig en zijn beperkt reactief):

- in het grondwater op 10 m diepte zijn bestrijdingsmiddelen het meest frequent aangetroffen in Gelderland, Noord-Brabant, Limburg en Overijssel (>70 % van de filters per provincie);
- de norm is het vaakst overschreden in Noord-Brabant (42 % van de filters op 10 m diepte) en vooral Limburg (88 % van de filters op 10 m diepte);
- de hoogste concentraties zijn gevonden in gebieden met bollenteelt (West Nederland) en de uitspoelingsgevoelige bodems van Noord-Brabant en Zuid-Limburg;
- bij uitzondering wordt de signaleringswaarde door meer dan twee stoffen in hetzelfde filter overschreden. Dit is vooral het geval in de bollenstreek van Zuid-Holland (op 1 locatie door wel 6 stoffen), in het fruitteeltgebied van de Provincie Utrecht, in het akkerbouwgebied van Flevoland en in het uitspoelingsgevoelige lössgebied van Limburg.

Concentraties op diepte

Maximale dieptes waarop bestrijdingsmiddelen zijn aangetroffen liggen tussen 40-250 m onder maaiveld [4]; dit is voornamelijk het geval bij diepe grondwateronttrekkingen waarboven geen slecht doorlatende grondlaag aanwezig is, waardoor het ondiepe water aangetrokken wordt. Ook in grote infiltratiegebieden kunnen bestrijdingsmiddelen tot grote diepte doordringen.

De gemiddelde concentraties van bestrijdingsmiddelen in ondiep grondwater zijn volgens de meetdata structureel hoger dan in diep grondwater, maar slechts voor 8 middelen is het verschil significant. Dit patroon wordt in ieder geval voor een deel veroorzaakt door afbraak en retentie tijdens bodempassage, mogelijk spelen beleidsmaatregelen - zoals de inperking van het gebruik van glysofaat - een rol, of verdunning door grondwater met andere herkomst [4].

Belangrijkste stoffen

Uit het rapport van KWR blijkt dat in grondwater de toegelaten bestrijdingsmiddelen bentazon en mecoprop (MCP) (in meer dan 9 % van de filters (bovenste ondiep en onderste diepe filter)) en de metabolieten DMS en desphenyl-chloridazon (in meer dan 25 % van de filters) het vaakst zijn aangetroffen. Hoewel de waargenomen concentraties in grondwater de normen overschrijden, vormen ze niet direct aanleiding tot humane gezondheidsrisico's, omdat ze een beeld geven van de algehele grondwaterkwaliteit, en niet van het grondwater dat op termijn wordt onttrokken door drinkwaterbedrijven. Van de metabolieten vormt DMS het grootste risico voor de drinkwaterkwaliteit, omdat deze bij gebruik van ozon bij de bereiding van drinkwater wordt omgezet in NDMA, dat genotoxisch, mutageen en carcinogeen is. In de praktijk wordt ozon echter vooral toegepast bij de bereiding van drinkwater uit oppervlaktewater en niet bij grondwater welke het risico beperkt.

Winningen voor drinkwaterproductie

Tabel 4.1 toont het percentage drinkwaterwinningen waar een normoverschrijding van een of meer bestrijdingsmiddelen of hun metabolieten is aangetroffen, gebaseerd op verschillende onderzoeken. De resultaten voor de waarnemingsputten rond grondwateronttrekkingen geven aan dat bestrijdingsmiddelen ook de komende jaren tot decennia voor knelpunten in de kwaliteit van onttrokken grondwater kunnen zorgen, en dat de problematiek mogelijk zelfs uitbreidt.

Tabel 4.1 Normoverschrijdingen bestrijdingsmiddelen en hun metabolieten bij drinkwaterwinningen

Periode	Normoverschrijding in ruwwater (% winningen)	Normoverschrijding in waarnemingsput (% winningen)
2010-2014	19 % [25]	30 %
2012/2013	20 % [11]	x
2018	32 % [11]	28 %

Periode	Normoverschrijding in ruwwater (% winningen)	Normoverschrijding in waarnemingsput (% winningen)
	(NB. Toename t.o.v. 2012 verklaard door meetmethodiek, niet door toename concentratie in grondwater)	

Knelpunten met bestrijdingsmiddelen spelen vooral bij grondwaterwinning uit freatische pakketten (25 %), en in mindere mate bij winningen uit afgesloten pakketten (9 %) [25]. Dit komt zowel door de toenemende ouderdom van het onttrokken grondwater, als de invloed van scheidende lagen op de stromingspatronen. Dit sluit aan bij het landelijk beeld van het grondwater.

4.4 Relevante ontwikkelingen en beleidssporen

Er is een Europese richtlijn, de Verordening Gewasbescherming, die in de Nederlandse Wet gewasbescherming en biociden (wgb) is geïmplementeerd. Met deze Nederlandse wet wordt de toelating van bestrijdingsmiddelen gereguleerd op basis van werkzaamheid, internationale afspraken en wettelijke criteria. Landen mogen afwijken van de richtlijn wanneer er sprake is van nationaal specifieke elementen, specifiek landbouwkundig gebruik of onaanvaardbare risico's voor mens, dier of milieu. Deze toetsing wordt uitgevoerd door het CTGB [11].

Voor potentieel strenger toelatingsbeleid bij herbeoordeling van reeds toegestane stoffen is men bezig om meetgegevens van grondwater beter te betrekken. Hiervoor wordt een grondwateratlas ontwikkeld alsmede een protocol om de gegevens hieruit te kunnen gebruiken bij de toelating, conform nu al wordt gedaan met gegevens van normoverschrijdingen door bestrijdingsmiddelen bij oppervlaktewater innamepunten voor drinkwaterproductie.

Sinds 2016 is er een landelijk verbod op het professioneel gebruik van bestrijdingsmiddelen op verhardingen in de openbare ruimte en sinds 2017 ook in openbaar groen. Dit verbod is echter in 2020 niet verbindend verklaard. Er wordt gewerkt aan een nieuw wetsvoorstel voor het verbod op professioneel gebruik van bestrijdingsmiddelen buiten de landbouw. Verschillende sportverenigingen en recreatiebedrijven zetten ook stappen richting het chemievrij beheer van sportvelden en recreatieterreinen. Na 2022 mogen er geen bestrijdingsmiddelen meer gebruikt worden op sportvelden. Voor particulier gebruik is de Green Deal nog onvoldoende effectief.

Drinkwaterbedrijven en provincies zijn verder bezig met het inrichten en operationaliseren van een early warning meetnet in grondwaterbeschermingsgebieden, waarmee de relatie tussen de uitspoeling en het gebruik van bestrijdingsmiddelen in beeld gebracht moet worden. In 2021 moet dit meetnet operationeel zijn [11]. Provincies wensen tevens een signaleringsmeetnet voor gewasbeschermingsmiddelen dat gericht is op het signaleren van gewenste en ongewenste veranderingen in de kwaliteit van het bovenste grondwater [47].

LNV heeft de ambitie om in 2030 nagenoeg geen emissies van bestrijdingsmiddelen en residuen naar het milieu meer te hebben. Dit wil de Rijksoverheid onder andere bewerkstelligen door, zoals in de nota Gezonde Groei, Duurzame Oogst aangegeven, in te zetten op de toepassing van de beginselen van geïntegreerde gewasbescherming door alle professionele gebruikers van bestrijdingsmiddelen [11].

Nota Gezonde Groei, Duurzame Oogst (2^e nota duurzame gewasbescherming 2013-2023)

De ambitie is om uiterlijk 2023 te voldoen aan alle (inter)nationale eisen op het gebied van milieu- en water, voedselveiligheid, menselijke gezondheid en arbeidsomstandigheden, met tegelijkertijd een blijvend economisch perspectief voor de land- en tuinbouw.

Rode draad in het verder verduurzamen van de gewasbescherming is geïntegreerde gewasbescherming. De aanpak maakt gebruik van diverse technieken en methoden om ziekten, plagen en onkruiden te beheersen,

waarmee de inzet van chemische middelen zoveel mogelijk beperkt wordt (inclusief preventie (resistente gewassen) en inzet op niet-chemische bestrijdingsmethoden).

Vanaf 2018 is het professioneel gebruik van gewasbeschermingsmiddelen (waaronder glyfosaat) voor onkruidbestrijding op verhardingen in de openbare ruimte verboden, behoudens enkele uitzonderingen.

Toekomstvisie duurzame gewasbescherming

Deze toekomstvisie (met uitvoeringsprogramma) is een uitwerking van de LNV-visie op kringlooplandbouw. Het relevantste doel is dat in 2030 nagenoeg geen emissie van gewasbeschermingsmiddelen naar het milieu plaatsvindt. Hiervoor wordt ingezet op maatregelen om plant- en teeltsystemen weerbaarder te maken en geïntegreerde gewasbescherming, waaronder een verschuiving naar laag-risicomiddelen.

Farm to Fork Strategy

Zie paragraaf 3.4

Gemeenschappelijk Landbouwbeleid Nationaal Strategisch Plan 2023-2027

Zie paragraaf 3.4.

4.5 Verwachte toestand

In 2009 waren op ruim de helft van de meetlocaties de concentraties van een of meer gewasbeschermingsmiddelen in het oppervlaktewater hoger dan de geldende waterkwaliteitsnormen. Dit komt door de normstelling van het water-kwaliteitsbeleid en daarnaast door onzorgvuldig gebruik door telers en het niet meenemen in de toelatingsbeoordeling van alle uitstoot en verspreiding (emissie) van werkzame stoffen uit deze middelen. Telers hebben de milieubelasting terug weten te dringen met ongeveer 85 % en opzichte van 1998 (in plaats van de beoogde 95 %) [26]. Deze reductie van milieubelasting werkt door in het grondwater (op lange termijn).

Het is de ambitie van het ministerie van LNV om in 2030 nagenoeg geen emissies van bestrijdingsmiddelen naar het milieu te hebben [11]. Omdat gewasbeschermingsmiddelen niet systematisch in het bovenste grondwater worden gemonitord, is er geen mogelijkheid om de voortgang in deze ambitie aan de praktijk te toetsen en om waar nodig gebiedsgerichte maatregelen te treffen.

Daarnaast wordt bij de toelating van gewasbeschermingsmiddelen steeds meer voorwaarden aan toepassing gesteld. De effecten daarvan zullen pas na jaren tot decennia in de provinciale meetnetten zichtbaar worden. Opgemerkt wordt dat het toelatingsbeleid normopvulling - waarbij er maximaal gebruik wordt gemaakt van de beschikbare wettelijk milieugebruiksruimte - toestaat, en daarmee verontreiniging niet uitsluit.

De bronnen zijn lokaal en divers. Deze bronnen worden met bovenwettelijke maatregelen aangepakt, maar die bestendigen niet voldoende (handhaving). Hoewel de mogelijke emissieroutes goed in beeld zijn gebracht, blijkt het lastig te zijn om een kwantitatieve inschatting te geven van de emissieroutes vanwege de lokale verschillen en mogelijk incidentiele optredens [22].

5 ZEER ZORGWEKKENDE STOFFEN EN OPKOMENDE STOFFEN

Opkomende stoffen zijn stoffen waarvoor nog geen (wettelijke) norm is en waarvan de schadelijkheid voor mens en milieu nog niet (volledig) is vastgesteld. Opkomende stoffen hoeven niet per se nieuwe stoffen te zijn, maar kunnen ook stoffen zijn die al langer op de markt zijn en die nu pas onder de aandacht komen.

Zeergroep (ZZS) zijn stoffen die gevaarlijk zijn voor mens en milieu omdat ze bijvoorbeeld de voortplanting belemmeren, kankerverwekkend zijn of zich in de voedselketen ophopen. De meest relevante deelgroep zijn de PMT stoffen: persistent, mobiel en toxisch. Het RIVM publiceert een lijst met zeer zorgwekkende stoffen en actualiseert deze lijst ieder half jaar [27].

Potentieel zorgwekkende stoffen (pZZS) zijn stoffen waarvan op Europees niveau (via REACH) is aangegeven dat de stoffen waarschijnlijk schadelijk zijn, maar dit is nog niet aangetoond. Bedrijven die een pZZS uitstoten kunnen gevraagd worden om onderzoek te doen en zo nodig uit voorzorg emissies te beperken.

Na onderzoek worden pZZS en opkomende stoffen ingedeeld in ZZS of niet-ZZS. Dan wordt er een norm voor vastgesteld (zoals recent is gedaan voor PFAS [28] voor grond en grondwater) en worden maatregelen genomen. Niet-ZZS kunnen overigens wel schadelijk zijn voor het milieu.

Resten van humane- en diergeneesmiddelen vallen ook onder opkomende stoffen. Deze worden behandeld in het volgende hoofdstuk.

Afbeelding 5.1 Schematisatie van opkomende stoffen en ZZS (inclusief SVHC, Substances of Very High Concern) [30]

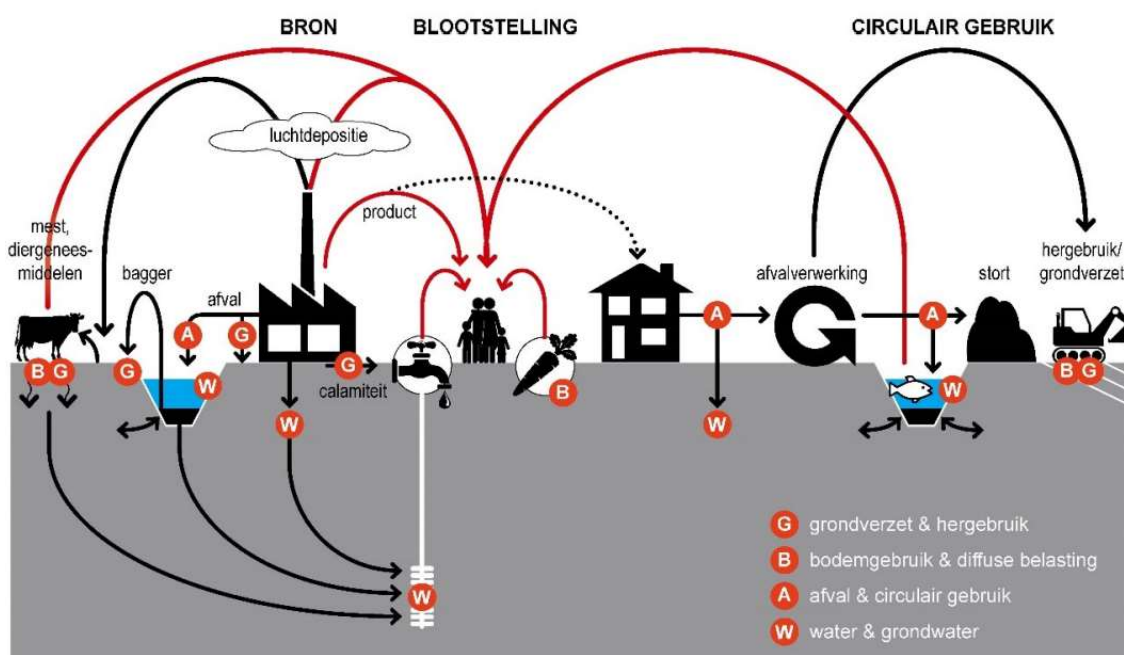


5.1 Introductie: Bron-pad-receptor

- **Bron:** onder ZZS en opkomende stoffen vallen onder andere industriële producten en industriële chemicaliën en consumentenproducten (zoals wasmiddelen). Potentiële bronnen van ZZS en opkomende stoffen zijn wegverkeer, wegmeubilair, benzinepompen (bijvoorbeeld benzine-additief MTBE); calamiteiten; dumpingen/afval (bijvoorbeeld drugsafval); stortplaatsen; oefenlocaties brandweer/defensie (bijvoorbeeld blusschuim); historische bodemverontreinigingen; allerlei bouwmaterialen die in omloop zijn en buiten gebouwen worden toegepast [31].
- **Pad:** de twee voornaamste routes van opkomende stoffen in grondwater zijn:
 - 1 infiltratie van oppervlaktewater inclusief bronnen daarop (RWZI's en industriële afvalwaterzuivering, ook vanuit het buitenland);
 - 2 uitspoeling vanaf de toplaag van de bodem met het neerslagoverschot, waarbij het landgebruik (landbouw, stedelijk, industrieel) een bepalende factor is [31].
 Andere potentiële paden zijn afstromend wegwater; atmosferische depositie; lekkende riolen (bijvoorbeeld door weekmakers als bisfenol A); grond en baggerverzet als secundaire bron, met name als grond onder grondwaterniveau wordt toegepast [31]. De mogelijke paden zijn ook weergegeven in afbeelding 2.2. Veelal zijn dit type stoffen niet afbreekbaar; dit zijn persistente, mobiele, toxische stoffen (PMT-stoffen).
- **Receptor:** zeer zorgwekkende stoffen zijn gevaarlijk voor mens en milieu omdat de stoffen bijvoorbeeld kankerverwekkend zijn, de voortplanting belemmeren of zich in de voedselketen ophopen. Vooral de PMT-stoffen die zich gemakkelijk via het grondwater verspreiden en lastig te zuiveren zijn vormen een potentieel knelpunt voor de drinkwaterwinning en ecologische systeem.

Medicijnresten zijn in het volgende hoofdstuk beschreven, omdat deze een aparte route (bron-pad) volgen en een apart beleidskader hebben.

Afbeelding 2.2 Conceptueel model bron-pad-receptor en effecten. De rode pijlen hebben betrekking op risico's voor de mens [32]



5.2 Doelen en normen

Doelen en normen zeer zorgwekkende en opkomende stoffen

In 2015 is er een protocol voor monitoring en toetsing drinkwaterbronnen KRW vastgesteld dat ingaat op de wijze van monitoring en toetsing van de Bkmw (Besluit kwaliteitseisen en monitoring water) eisen gericht op drinkwaterwinningen [11]. In dit protocol is een early warning signaalwaarde gegeven voor nieuwe opkomende stoffen van 0,1 µg/L [11]. Overschrijding van de signaalwaarde kan duiden op dat de doelen volgens artikel 7 van de KRW in het geding zijn en vraagt om een nadere risicobeoordeling. Wanneer een nieuwe stof structureel aanwezig is in het grondwater voor drie jaar wordt er een drinkwaterwaarde afgeleid [11]. Er is een wettelijke verplichting om te toetsen of er wordt voldaan aan de KRW doelen, deze kwaliteitsdoelen drinkwaterwinningen gelden echter alleen voor waterwinlocaties en niet voor het hele waterlichaam [4, 11]. Verder is er in de Delta-aanpak Waterkwaliteit het uitvoeringsprogramma 'Aanpak opkomende stoffen in water' opgesteld om meer zicht te krijgen op de opkomende stoffen [3].

Voor de aanpak van stoffen is er op Europees niveau een toelatingsbeleid en worden er eisen gesteld aan industriële lozingen via REACH en Industrial Emissions Directive (IED) [11, 33]. Verontreinigingen kunnen een buitenlandse bron hebben. Een voorbeeld hiervan is de lozing van afvalwater met FBSA (familie van PFAS) door 3M in Zwijndrecht, België op de Schelde. Het geloosde water stroomde via de Schelde naar Nederland [34].

Op nationaal niveau vindt dit voornamelijk plaats via vergunningsverlening. [11] Voor PFAS, en andere ZZS, zijn er humane en ecologische risicogrenzen. Deze risicogrenzen zelf zijn geen normen, maar kunnen gebruikt worden voor het vaststellen van interventiewaarden en maximale waarden voor grond en baggerspecie [35, 36].

Bevoegdheden

De rijksoverheid is verantwoordelijk voor het opzetten van een aanpak opkomende stoffen. Het RIVM stelt de lijst op met schadelijke stoffen.

5.3 Huidige toestand

Er zijn meerdere onderzoeken gedaan naar de aanwezigheid van opkomende stoffen in het grondwater. De meest belangrijke recente uitkomsten zijn:

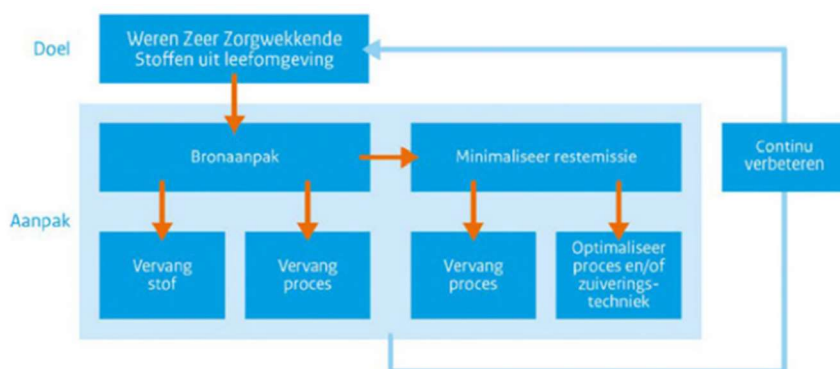
- in de gebiedsdossiers werden opkomende stoffen aangetroffen bij 30 % van de grondwaterwinningen (57 uit 189) [11];
- een andere studie laat zien dat er op 92 van de 156 meegenomen pompstations potentiële probleemstoffen zijn aangetroffen, waarvan 79 opkomende potentiële probleemstoffen, wat neerkomt op 50 % [11];
- in recenter onderzoek is gemeten in 639 filters op 10 m diepte, waarvan er op 454 locaties overige verontreinigende stoffen zijn aangetroffen. In de helft van de gevallen werd de signaalwaarde van 0,1 µg/L overschreden [4];
- tabel 5.1 laat de tien meest voorkomende overige verontreinigende stoffen zien die zijn aangetroffen in dit onderzoek. Een stof die vaak wordt aangetroffen is EDTA, echter in veel lagere waarden dan de door de WHO aangegeven grens van 600 µg/L [4]. EDTA wordt veel toegepast en heeft daarom een breed voorkomen.

Tabel 5.1 Tien meest voorkomende overige verontreinigende stoffen [4]

	Stof	Type	Aantal monsters	Aantal boven rapportage-grens	Percentage boven rapportage-grens	Aantal boven signalerings-waarde	Percentage boven signalerings-waarde
1	EDTA	Complexator, chelerende verbinding	612	367	60	367	60
2	Tris(1-chloor-2-propyl)fosfaat (TCPP)	Weekmaker	637	57	8,9	46	7,2
3	Perfluorooctaan-1-ol (PFOA)	Hulpstof in de bereiding van teflon	637	54	8,5	14	2,2
4	Fenanthreen	PAK	637	37	5,8	5	0,8
5	Tolueen	Oplosmiddel	637	33	5,2	33	5,2
6	Perfluorooctansulfonaat (PFOS)	Hulpstof in de bereiding van teflon	637	26	4,1	1	0,2
7	1,3-xyleen	Oplosmiddel	637	26	4,1	20	3,1
8	Tetrahydrofuraan	Oplosmiddel	637	24	3,8	21	3,3
9	1,2-xyleen	Oplosmiddel	637	24	3,8	9	1,4
10	Fluorantheen	PAK	637	22	3,5	2	0,3
11	Pyreen	PAK	637	22	3,5	1	0,2

5.4 Relevante ontwikkelingen en beleidssporen

In Nederland worden Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS) met voorrang aangepakt. Er geldt voor 1.400 van deze stoffen een streng emissiebeleid wat zich richt op het voorkomen van ZZS in het milieu. Afbeelding 5.3 Emissiebeleid ZZS laat de flowchart zien van het emissiebeleid ZZS [37].



Vanuit de Europese Unie is er steun voor lidstaten die zelf strengere toelatingseisen voor schadelijke stoffen willen, zo heeft Nederland het initiatief genomen voor een Europees PFAS-verbod. Daarnaast is de Europese Commissie bezig met het opstellen van een grondwater-watch-list met schadelijke stoffen. Hierbij zullen ook meetverplichtingen en richtwaardes horen [11, 37]. De laatste versie is van 2020.

Het is lastig om opkomende stoffen te identificeren en te meten, gezien je niet altijd 'gericht' kunt zoeken naar stoffen zonder exact te weten waar je naar op zoek bent. Een methode om opkomende stoffen wel te kunnen identificeren is non-target-screening. Met deze methode worden alle stoffen binnen een bepaalde gewichtsklasse geanalyseerd op toxiciteit, afbraak of sorptie in oppervlaktewater en verwijdering door drinkwaterzuiveringen [11, 33].

Een andere methode is passive sampling. Bij deze monitoringstechniek worden samplers met sorptiemateriaal voor langere tijd in het water gehangen. Gedurende deze periode sorberen ze deel van de stoffen aanwezig in het grondwater. Met deze methode is het mogelijk om zowel lage concentraties als korte piekconcentraties te meten [33].

Verder doet het RIVM onderzoek naar manieren om nieuwe risico's voor de drinkwaterkwaliteit systematisch te kunnen identificeren en prioriteren en is er een semi automatische methode ontwikkeld om verontreinigingssignalen uit de literatuur vroegtijdig te kunnen identificeren (text mining) en prioriteren. In deze laatste methode worden informatie over de toxiciteit, persistentie en het voorkomen van stoffen in de waterwingebieden meegenomen. Drinkwaterbedrijven kunnen hun monitoringsprogramma's hierop aanpassen om in een vroeg stadium informatie te hebben over opkomende stoffen [11, 33].

In 2015 is er een werkgroep opgericht waarin waterbeheerders, drinkwaterbedrijven en andere organisaties uit de sector samenwerken aan het ontwikkelen van een strategische aanpak om meer inzicht te krijgen in opkomende stoffen in zowel oppervlakte-, drink- en grondwater [33].

Het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat is in 2017 begonnen met het project Structurele aanpak van opkomende stoffen uit puntbronnen in relatie tot bescherming van drinkwaterbronnen [20]. Uit de evaluatie van de bestaande beleidskaders is een aantal verbeterpunten naar voren gekomen:

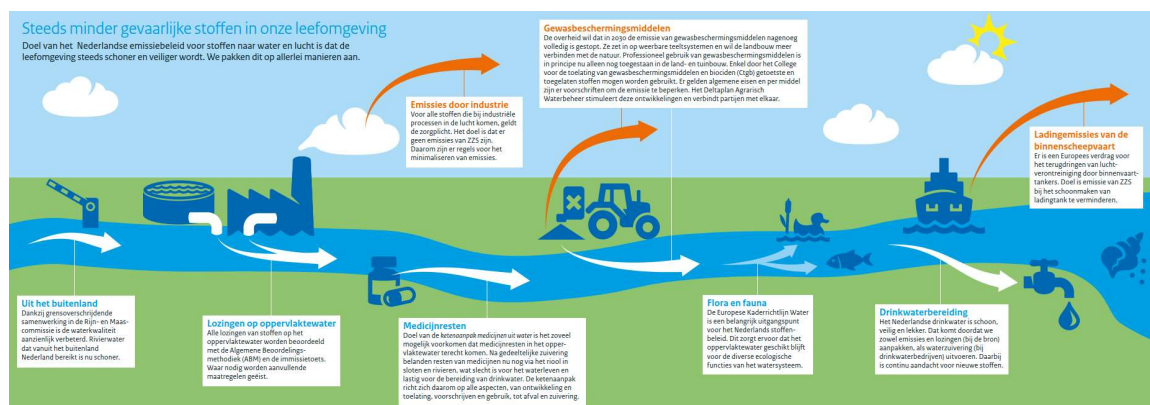
- uitvoering vergunningsverlening;
- het vergroten van de inzichtelijkheid van probleemstoffen voor drinkwater;
- beschikbaarheid van informatie;
- onderzoek naar risicovolle stoffen voor de drinkwaterbereiding;
- internationale inzet [11].

Het Uitvoeringsplan opkomende stoffen in water is in 2018 opgesteld om invulling te geven aan het onderdeel opkomende stoffen in de Delta-aanpak Waterkwaliteit, gericht op zowel de industrie als huishoudens als

potentiële bronnen van opkomende stoffen. Het Uitvoeringsprogramma opkomende stoffen vormt hierbij de basis voor concrete acties die met en door betrokkenen uitgevoerd gaan worden. Onderdeel van het uitvoeringsprogramma is het vergroten van kennis over de aanwezigheid en mogelijke risico's van opkomende stoffen.

Andere lopende projecten om het detecteren en prioriteren van opkomende stoffen in grondwater te verbeteren zijn POP-UP, NORMAN-netwerk, de QSAR-tool in de Risicoolbox Grondwater en de internationale projecten GeoERA-project Hover en SOILveR [33].

Afbeelding 5.4 Nederlands emissiebeleid [30]



5.5 Verwachte toestand

Door het voortdurend verontreinigen en door de grondwaterstroming komen stoffen steeds dieper in de ondergrond en daarmee ook steeds dieper in het grondwater. Dit leidt tot vergrijzing van het grondwater, de continue beïnvloeding van de chemische kwaliteit van het grondwater. Dit geldt niet enkel voor ZZZ en opkomende stoffen, maar ook voor nutriënten, gewasbeschermingsmiddelen en medicijnresten. De vergrijzing kan uiteindelijk leiden tot mengseltoxiciteit voor mensen en ecosystemen, intensievere en hogere kosten voor drinkwaterzuivering, versnelde afschrijving van putten en installaties en uitblijvend herstel van aquatische en terrestrische natuur [38]. De verwachting is hierdoor ook dat voor opkomende stoffen preventie van emissies een belangrijke maatregel zal zijn om het grondwater te beschermen en vergrijzing te verminderen [33].

De verwachte toestand is echter onbekend. Wel wordt er meer en frequenter gemeten, op meer plekken en met uitgebreidere pakketten. De aandacht voor monitoring en het inzicht dat dit geeft kan tot een positieve trend leiden.

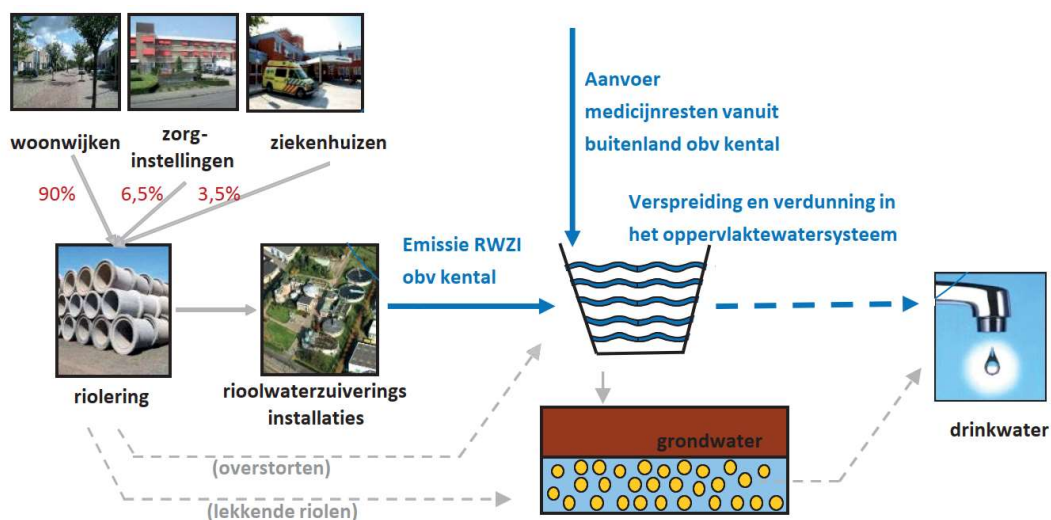
6 MEDICIJNRESTEN

6.1 Introductie: Bron-pad-receptor

- **Bron**: resten van geneesmiddelen en medische hulpstoffen (zoals contrastmiddelen) komen in het milieu vanuit huishoudens, zorginstellingen en ziekenhuizen (zie afbeelding 6.1).
- **Pad**: medicijnresten komen met de urine en ontlasting via de riolering in het afvalwater terecht. Ook ongebruikte medicijnresten kunnen op deze manier in het afvalwater terecht komen. In rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's) worden deze stoffen er over het algemeen niet uit gezuiverd, waardoor het op het oppervlaktewater geloosd wordt. Via infiltratie van oppervlaktewater en lekkende riolering kunnen de stoffen in het grondwater komen. Medicijnresten zijn meestal goed in water oplosbaar en verspreiden zich daarom gemakkelijk in het milieu.

- **Receptor:** medicijnresten kunnen een gezondheidsrisico vormen vanwege hun werking (zoals antidepressiva, antibiotica en hormoonverstorende stoffen). Daarnaast is bekend dat ze door hun specifieke werking al in lage concentraties ongewenste milieueffecten kunnen veroorzaken [39].

Afbeelding 6.1 Beeld van bronnen en routes van medicijnresten [40]



In dit hoofdstuk wordt gekeken naar humane geneesmiddelen; diergeneesmiddelen volgen veelal de route van mest en nutriënten, zie het kader in hoofdstuk 3. Andere medische hulpstoffen (zoals röntgencontrastmiddelen) en andere consumentenproducten (zoals zoetstoffen en cafeïne) kunnen dezelfde route volgen als medicijnen.

6.2 Doelen en normen

Gelijk aan het voorgaande hoofdstuk zeer zorgwekkende stoffen en opkomende stoffen bestaat voor medicijnresten geen wettelijke normen voor de concentraties in het grond- en oppervlakte water. Er bestaat wel een wettelijke verplichting tot toetsing van het grondwater in waterwinlocaties. Vanuit het Besluit kwaliteitseisen en monitoring water (Bkmw) bestaat er een signaalwaarde van 0,1 µg/l voor grondwater met drinkwater als toepassing [4]. Dit besluit komt voort uit de KRW en een overschrijding van deze waarde kan duiden dat de doelen volgens artikel 7 in het geding zijn. Ook voor oppervlaktewater, wat voornamelijk de bron is van medicijnresten in het grondwater, bestaan geen normen voor maximaal aanwezige concentraties.

Gemeenten zijn verantwoordelijk voor de inzameling en verwerking van ongebruikte medicijnen volgens de Wet Milieubeheer. Deze worden ingezameld via apotheken en milieustraten. Het beschermen van de grondwaterkwaliteit is een taak van de provincie. In de uitvoering van de Grondwaterrichtlijn is de provincie verantwoordelijk voor de bescherming en verbetering van de grondwaterkwaliteit binnen en buiten aangewezen grondwaterbeschermingsgebieden.

In 2019 is de 'ketenaanpak medicijnresten uit water' opgesteld door de Rijksoverheid in samenwerking met waterschappen, drinkwaterbedrijven, lokale overheden, de zorgsector, het RIVM en Rijkswaterstaat [41]. Hierin is een tijdsplan opgenomen om de hoeveelheid medicijnresten in water te verminderen. Ook heeft de Europese Commissie in maart 2019 een strategie uitgebracht voor medicijnresten en waterkwaliteit, welke in lijn is met de Nederlandse aanpak [3, 42].

6.3 Huidige toestand

In oppervlaktewater zijn inmiddels meer dan 100 geneesmiddelen aangetroffen. In grondwater is het aantal aangetroffen middelen kleiner. De contaminatie met farmaceutica is onderzocht in 'Grondwaterkwaliteit Nederland 2020' [4]. In 35 % van de filters bekeken in dit onderzoek zijn medicijnresten boven de grens van 0,1 µg/l aangetroffen. In 7 % van de metingen was dit zelfs boven de signaleringswaarde van 1,0 µg/l waarbij effecten op kunnen optreden [43]. Bij contrastmiddelen ligt deze grens hoger. Echter, contrastmiddelen zijn nog lastiger uit de natuur te verwijderen. De concentraties zijn echter vaak lager dan de signaleringswaarde van 0,1 µg/l voor bronnen van drinkwater.

Verontreinigingen worden hoofdzakelijk aangetroffen in gebieden die voorzien worden met oppervlaktewater waarop RWZI's hun effluent lozen. Op de hoge zandgronden worden ze nauwelijks aangetroffen. Dit wijst erop dat geneesmiddelen in het grondwater terecht komen als gevolg van infiltrerend oppervlaktewater. Op sommige locaties zijn hogere concentraties niet te verklaren door infiltratie van verontreinigd oppervlaktewater. Hier wordt de contaminatie veroorzaakt door lekkende riolen, uitspoeling van vuilstort of andere nog onbekende oorzaken [4].

Onderstaande tabel geeft voor de tien meest voorkomende farmaceutica de statistieken ten aanzien van de rapportage- en signaleringswaardes. Bisfenol-a wordt ook gebruikt als hulpstof in kunststoffen en coatings en fungeert als vlamvertrager en oplosmiddel en komt dus niet alleen als farmaceutica in het milieu. Naast deze 10 stoffen zijn er nog 21 farmaceutica in één tot drie filters aangetroffen boven de signaleringswaarde. Opgemerkt dat niet alle geneesmiddelen geanalyseerd worden.

Tabel 6.1 Veel voorkomende geneesmiddelen, röntgencontrastmiddelen en hormonen in de gecombineerde meetronde 2015-2016 en 2018-2019 81

	Farmaceutica	Type	# filters	# boven rapportagegrens	% boven rapportagegrens	# boven signaleringswaarde	% boven signaleringswaarde
1	Bisfenol-a	Bestanddeel van kunststoffen met hormoonverstorende werking	631	119	18,9	12	1,9
2	Fenazon (antipyrine)	Pijnstiller	631	43	6,8	5	0,8
3	Carbamazepine	Anti-epilepticum	631	36	5,7	6	1,0
4	17beta-estradiol	Hormoon	631	27	4,3	2	0,3
5	Paracetamol	Pijnstiller	631	23	3,6	3	0,5
6	Primidon	anti-epilepticum	631	19	3,0	0	0,0
7	Sulfadimidine	Antibioticum	631	17	2,7	5	0,8
8	Jopamidol	Röntgencontrastmiddel	631	14	2,2	2	0,3
9	Jopromide	Röntgencontrastmiddel	631	14	2,2	2	0,3
10	Diclofenac	Pijnstiller/ ontstekingsremmer	631	8	1,3	1	0,2

Wanneer farmaceutica eenmaal in het grondwater aanwezig is, is het reduceren van deze stoffen niet eenvoudig en saneren moeilijk [44]. De verspreidingseigenschappen van farmaceutica zijn vaak niet bekend terwijl deze informatie van belang is om te kunnen voorspellen welke stoffen in de toekomst een probleem voor het grondwater kunnen vormen en daarmee tijdig te kunnen handelen.

Relevante ontwikkelingen en beleidssporen

In 2019 is het ketenaanpak medicijnresten uit water opgezet om de hoeveelheid farmaceutica in waterlichamen te verminderen [41]. Hierbij wordt zoveel mogelijk gewerkt naar het voorkomen dat medicijnen in het oppervlaktewater terecht komen door de meer in te zetten op het inleveren van ongebruikte medicijnen, ziekenhuizen de eigen afvalwaterstroom te laten zuiveren en in RWZI's effectiever medicijnresten uit de afvalstroom te verwijderen.

In de gedragsinventarisatie minder medicijnen in het water [45] is uiteengezet dat de grootste hoeveelheid medicijnen die het oppervlaktewater bereikt komt van medicatie gebruikt door patiënten in een thuissituatie. Het verminderen van de milieubelasting kan door het toepassen van restrictief gebruik van antibiotica en gepast gebruik in het algemeen. Winst kan gehaald worden rond gepaste afleverhoeveelheden en 'precision medicine'. Het inleveren van niet-gebruikte medicijnen zou verder gestimuleerd moeten worden.

Verwachte toestand

Door een verwachte vergrijzing van de Nederlandse bevolking is de verwachting dat de komende decennia het medicijngebruik toe zal gaan nemen [11]. Hierbij dient opgemerkt te worden dat medicijnen over het geheel genomen niet de grootste probleemveroorzakers zijn. In de ketenaanpak medicijnresten uit water wordt rekening gehouden met een toename van 35 % in 2035 ten opzichte van 2018 [41]. Wanneer geen adequate maatregelen worden genomen om medicijnen via de afvalketens uit het milieu te houden, zullen de concentraties farmaceutica in het grondwater toenemen en daarmee de kwaliteit van het drinkwater en het oppervlaktewater gevoed door grondwater, onder druk komen te staan [3].

7 KENNISLEEMTES

Er is op dit moment nog geen indicator voor vergrijzing van het grondwater om eenduidig de mate, of ernst (effecten), van de algehele aantasting van de grondwaterkwaliteit "vergrijzing" uit te kunnen drukken. De waterkwaliteitsindicator voor oppervlaktewater die door het RIWA is ontwikkeld geeft aanknopingspunten, maar een methode moet ontwikkeld worden voor toepassing op grondwater.

De KRW, de Grondwaterrichtlijn en de Nitraatrichtlijn bevatten relevante normen voor nitraat en bestrijdingsmiddelen, en drempelwaarden voor zes andere anorganische stoffen. Met betrekking tot de normstellingen bestaan de volgende kennisleemten:

- Veel antropogene stoffen in grondwater zijn niet genormeerd, waardoor risicogrenzen onbekend zijn en de toestand van het grondwater ten aanzien van de kwaliteit niet volledig beoordeeld kan worden.
- Het is onduidelijk in hoeverre gebruiksnormen voor meststoffen (Nitraatactieprogramma) en gewasbeschermingsmiddelen (toelatingsbeleid) volstaan om de doelen te kunnen halen, o.a. omdat de grondslagen achter de beoordeling verschillend zijn. In het regeerakkoord is de ambitie opgenomen om de toelatingskaders voor gewasbeschermingsmiddelen en die doelen van de KRW op elkaar af te stemmen.
- Het is mogelijk dat normen en ambities met elkaar botsen wanneer er sprake is van een Natura 2000 gebied. Zo volstaat de bestaande nitraatnorm niet voor sommige Natura 2000 doelen, bijvoorbeeld habitattypen in kwelgevoede natuur (met name beekdalen) en grondwatergevoede oppervlaktewater. Het is onduidelijk in hoeverre met bestaande normen aanpalende beleidsdoelen worden gehaald. De diffuse aanwezigheid van uiteenlopende verontreinigingen in het grondwater kan in theorie leiden tot mengseltoxiciteit indien grondwater met verschillende leeftijden en herkomsten wordt gemengd. Dit is het geval in kwelgebieden, grondwatergevoede, (regionale) oppervlaktewatersystemen en (vooral) grondwateronttrekkingen; als gevolg van het uittreden of onttrekken van grondwater, wordt grondwater, met de daarin aanwezige verontreinigingen, uit de omgeving aangetrokken en door het samenbrengen van stroombanen gemengd. Door mengseltoxiciteit kan de aanwezigheid van antropogene stoffen in lage concentraties (onder de normen of signaleringswaarden) toch een risico vormen voor de volksgezondheid of ecologie. Voor het oppervlaktewater is reeds een systematiek beschikbaar om de toxische druk op basis van meetresultaten te bepalen (<https://www.waterforum.net/stowa-rapport-waterkwaliteit-beoordelen-via-mengseltoxiciteit/>). Voor de grondwaterkwaliteit is deze systematiek niet

compleet, omdat bodempassage en stromingspatronen sterk bepalend zijn in de mate waarin verontreinigingen in het grondwater doorwerken op onttrokken en uittreidend grondwater.

Provincies monitoren de grondwaterkwaliteit op 10 en 25 m diepte. Drinkwaterbedrijven monitoren veelal nog dieper. Alleen voor nitraat is een beleidsmeetnet (Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid, LMM) voor het bovenste grondwater operationeel. Door het ontbreken van systematische monitoring van de kwaliteit van het bovenste grondwater is er geen actueel beeld van de belasting van het grondwater. Een dergelijk signaleringsmeetnet is gewenst om vroegtijdig gewenste en ongewenste veranderingen in de grondwaterkwaliteit te kunnen detecteren en discrepanties tussen gebruiksnormen en waterkwaliteitsnormen in beeld te brengen [47] .

Voor belastende stoffen in het grondwater in het algemeen is het lastig om vast te stellen waar de oorsprong van de toestroming ligt, wat een probleem is voor onder andere kwelafhankelijke natuurtypen [10]. Veel verontreinigingen hebben een lokale herkomst, maar door grondwaterstroming is de relatie tot de bron niet goed bekend. Wel is bekend dat fosfaathoudende of stikstofhoudende kwel een sterk eutrofiërende invloed kunnen hebben op het oppervlaktewater en kwelgevoede natuur. Nader onderzoek naar de effecten van vervuild grondwater op ecosystemen gerelateerd aan grond- en oppervlaktewater is gewenst. [4]

Voor opkomende stoffen is er een lijst aan kennisleemtes [33]:

- het vóórkomen, de verspreiding en de afbraak van opkomende stoffen in grondwater nu en in de toekomst;
- de risico's die verbonden zijn aan het vóórkomen van stoffen en mengsels van stoffen in grondwater;
- kennis, informatie en een kader om te kunnen prioriteren en om te kiezen in het dilemma tussen gebruik van stoffen door de mens en de consequenties voor het afvangen of zuiveren bij gebruik van water;
- in beeld krijgen van relevante bronnen van opkomende stoffen voor grondwater;
- de rol van (historische) bodemverontreinigingen voor de concentraties opkomende stoffen in het grondwater;
- hoe kunnen we opkomende stoffen in het oppervlaktewater gebruiken als early warning voor het grondwater.

In de evaluatie beleidsnota drinkwater [46] is geconcludeerd dat:

- een landelijk beeld van het doelgat met betrekking tot opkomende stoffen is niet beschikbaar;
- kennis over gezondheidsrisico's van opkomende stoffen voor een goede risicobeoordeling ontbreekt;
- er is geen standaard procedure voor de toepassing van innovatieve meetmethoden voor het opsporen van emissies;
- het is onduidelijk welke stoffen bij de RWZI terecht komen en welke stoffen er in RWZI-effluent aanwezig zijn;
- drinkwaterbedrijven ontberen kennis over opkomende stoffen en nieuwe meetmethodes;
- de regelgeving loopt achter op de techniek;
- het inbedden van risicogestuurde monitoring en innovatieve meetmethoden vraagt aandacht bij drinkwaterbedrijven.

Voor diergeneesmiddelen bestaat er op dit ogenblik nog veel onduidelijkheid over de toelating, het gebruik, het voorkomen en de milieurisico's van deze geneesmiddelen. Zo ontbreekt kennis over de specifieke routes van diergeneesmiddelen naar het milieu en over eventuele effecten op de ecologie. Diergeneesmiddelen komen namelijk via andere routes in water en bodem terecht dan humane geneesmiddelen. Alles overziend ontbreekt het waterbeheerders en andere betrokken partijen dus aan de juiste kennis om op dit gebied passende maatregelen te nemen. Daar wil de Kennisimpuls Waterkwaliteit verandering in brengen.

8 SYNTHESE

In onderstaande tabel is per stofgroep de belangrijkste bronnen, de normen en beleid en een trendindicatie samengevat. Bij deze tabel zijn een aantal kanttekeningen te plaatsen:

- Opkomende stoffen zijn een zeer heterogene stofgroep, die op verschillende manieren is in te delen en moeilijk compleet te maken is. In de hier toegepaste indeling worden o.a. industriële stoffen, brandstof- en bouwgerelateerde stoffen, bodemverontreinigingen en consumentenproducten niet expliciet genoemd en beschreven;
- De belangrijkste bronnen en paden zijn in algemene zin voor de meeste stoffen wel bekend, maar doordat grondwaterverontreinigingen vaak een lokale oorsprong hebben verschillen de bronnen en routes van plaats tot plaats. Zo is de uitspoeling van stoffen naar het grondwater een resultante van o.a. het gebruik van stoffen en de kwetsbaarheid van de bodem. Akkerbouw en veeteelt zijn weliswaar een belangrijke bron van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen, maar lokaal kunnen andere bronnen dominant zijn en binnen een perceel kan sprake zijn van een grote heterogeniteit;
- Voor veel stoffen in grondwater zijn geen normen vastgesteld. Op plaatsen waar grondwater wordt onttrokken of uittreedt (kwelgebieden of oppervlaktewater) worden verontreinigingen uit verschillende bronnen en van verschillende ouderdom, bij elkaar gebracht. Dit kan leiden tot mengseltoxiciteit, maar de mate waarin daar sprake van is, is onbekend;
- Trendbepalingen op basis van meetgegevens hebben als beperking dat ze, vanuit de bron gezien, niet actueel en specifiek zijn, doordat de bemonsterde meetfilters of onttrekkingsputten vaak diep staan en niet gerelateerd zijn aan een specifieke toepassing of functie;

Tabel 0.1 samenvattende tabel omtrent stoffen, bronnen, beleid en trend

Stof	Bron / pad	Normen en beleid	Trend
nutriënten	Akkerbouw en veeteelt, door uitspoeling en atmosferische depositie Tuinen	Normen bepaald door KRW, grondwaterrichtlijn en nitraatrichtlijn. Bevoegd gezag gebruik meststoffen bij ministerie LNV. Provincies verantwoordelijk voor bescherming grondwaterkwaliteit.	in diepe filters 6,5% normoverschrijding. Dalende trend sinds 1990, maar afvlakkend sinds 2010. Doorzetten huidige beleid zorgt dat 9 van de 34 grondwater-beschermingsgebieden aan norm voldoen. Voor kwelafhankelijke natuur volstaat de nitraatnorm niet.
bestrijdingsmiddelen	landbouw (open teelt) tuinen (particulier / bedrijven) openbaar groen recreatieterreinen. Door uitspoeling, infiltrerend oppervlaktewater en drift	Normen bepaald door KRW en grondwaterrichtlijn. Nederland heeft er in de KRW-toestandbeoordeling voor gekozen om 20% overschrijding van normen of drempelwaarde toe te staan. Ambitie van LNV om in 2030 geen emissies naar het milieu te hebben. Tevens onderdeel Green Deal.	in 60% filters op 10 of 25 m diepte stoffen aangetroffen, in 19% boven norm van 0,1 µg/l. milieubelasting in afgelopen jaren teruggebracht met 85% op het oppervlaktewater, wat doorwerkt naar het grondwater. Actuele belasting van het grondwater is door ontbreken van ondiepe monitoring en centrale registratie gebruik niet bekend.
ZZS en opkomende stoffen	Uitspoeling, infiltrerend oppervlaktewater en depositie, o.a. door: - verkeer - stortplaatsen - blusschuim - effluent RWZI - industriële lozingen	geen wettelijke normen voor grondwater, maar wel sprake van een zorgplicht. KRW schrijft voorkomen achteruitgang grondwaterkwaliteit voor, maar deze is door ontbreken van indicatoren niet goed geëffectueerd. Er is een Nederlands emissiebeleid opgesteld.	signaleringswaarde van 0,1 µg/l in 50% van meetpunten op 10 of 25 m diepte overschreden. Geen informatie of huidige aanpak voldoende is om vergrijzingstrend te keren.

Stof	Bron / pad	Normen en beleid	Trend
medicijnresten	Infiltrerend oppervlaktewater gevoed met RWZI-effluent: - huishoudens - zorginstellingen	geen wettelijke normen voor grondwater. Opzet van ketenaanpak medicijnen om farmaceutica in waterlichamen te verminderen	signaleringswaarde van 0,1 µg/l in 35% van meetpunten op 10 of 25m diepte overschreden. Geen informatie of huidige aanpak voldoende is om trend te keren.

9 REFERENTIES

- 1 Kamerbrief (2021), ex ante analyse waterkwaliteit.
- 2 IPLO (2021) Taken bevoegdheden grondwater, <https://iplo.nl/thema/water/grondwater/taken-bevoegdheden-grondwater/>
- 3 Planbureau voor de Leefomgeving (2020). Nationale analyse Waterkwaliteit.
- 4 KWR, 2020.067. Grondwaterkwaliteit Nederland 2020.
- 5 RIVM (2020) Nitraatrapportage 2020.
- 6 KWR, 2020.067. Grondwaterkwaliteit Nederland 2020 naar Rougoor et al., 2016; Ter Laak en Kools, 2016.
- 7 Deltafact opkomende stoffen in grondwater. Tussenversie december 2020, naar Lahr et al., 2018.
- 8 KWR 2017.037 Quick-scan Diergeneesmiddelen in de waterketen.
- 9 STOWA (2020) Nutriënten in oppervlaktewater | Kennisimpuls Waterkwaliteit.
- 10 Kennisnetwerk OBN (2020). Invloed van met nutriënten verrijkt grondwater op kwelafhankelijke ecosystemen.
- 11 RIVM (2020-0179) Staat drinkwaterbronnen.
- 12 Planbureau voor de Leefomgeving (2020). Nationale analyse Waterkwaliteit, naar Freriks et al. 2016.
- 13 Planbureau voor de Leefomgeving (2020). Nationale analyse Waterkwaliteit, naar Fraters et al. 2017.
- 14 KWR, (2020.067). Grondwaterkwaliteit Nederland 2020 naar Fraters 2016.
- 15 RIVM (2020-0044). Trendanalyse grondwaterkwaliteit van drinkwaterwinningen (2000-2018).
- 16 RIVM (2020-0179) Staat drinkwaterbronnen, naar van Loon and Fraters, 2016.
- 17 Wageningen Environmental Research (Augustus 2021). Effecten van maatregelen in het zevende Actieprogramma Nitraatrichtlijn, Milieueffectrapportage op planniveau.
- 18 Ministerie LNV en IenW (2021), Ontwerp 7e Nederlandse actieprogramma betreffende de Nitraatrichtlijn (2022-2025).
- 19 Ministerie LNV (2018), Visie Landbouw, Natuur en Voedsel: Waardevol en Verbonden.
- 20 Planbureau voor de Leefomgeving (2020). Addendum bij het eindrapport van de Nationale analyse waterkwaliteit.
- 21 RIVM (2020-0179) Staat drinkwaterbronnen naar van Gaalen et al., 2020.
- 22 STOWA (oktober 2020), Deltafact (Kennisimpuls Waterkwaliteit), Een inventarisatie van emissieroutes van gewasbeschermingsmiddelen naar oppervlaktewater en grondwater.
- 23 Planbureau voor de Leefomgeving (2019), tussenevaluatie van de nota Gezonde Groei, Duurzame Oogst.
- 24 Rijksoverheid (2018) Besluit gewasbeschermingsmiddelen en biociden.
- 25 RIVM (2020-0179) Staat drinkwaterbronnen, naar Van Loon et al., 2017.
- 26 Planbureau voor de Leefomgeving (2012), Evaluatie duurzame gewasbeschermingsmiddelen.
- 27 RIVM, Lijst zeer zorgwekkende stoffen <https://rvszoekstelsysteem.rivm.nl/ZZSlijst>.
- 28 RIVM (2021), Analyse bijdrage drinkwater en voedsel aan blootstelling EFSA-4 PFAS in Nederland en advies drinkwaterrichtwaarde.
- 29 KWR, 2020.067. Grondwaterkwaliteit Nederland 2020 naar Rougoor et al., 2016; Ter Laak en Kools, 2016.
- 30 Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2019), Emissiebeleid voor stoffen naar water en lucht, Algemene en praktische leidraad.
- 31 STOWA (2020), Deltafact kennisimpuls waterkwaliteit: Opkomende stoffen in grondwater.
- 32 POP-UP (2020), Opkomende stoffen in bodem en ondergrond, Handreiking voor decentrale overheden.
- 33 STOWA (Tussenversie december 2020) Deltafact opkomende stoffen in grondwater.
- 34 VRT NWS (27 augustus 2021) 3M in Zwijndrecht moet meteen stoppen afvalwater waarin chemische stof FBSA zit in Schelde te lozen. <https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2021/08/27/3m-zwijndrecht-fup/>

- 35 RIVM (2020), memo Achtergrondwaarden en risicogrenzen ten behoeve van onderbouwing maximale waarden PFAS voor toepassen van grond en baggerspecie.
- 36 RIVM (2020), memo Risicogrenzen ten behoeve van de vaststelling van Interventiewaarden voor PFOS, PFOA en GenX.
- 37 Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2021), Beleidsnota Drinkwater 2021-2026.
- 38 STOWA (2021), Deltafact Vergrijzing van grondwater.
- 39 KWR (2019) De kwaliteit van bronnen van drinkwater in Nederland, naar: Moermond C, Smit C, van Leerdam R, van der Aa N, Montforts M (2016). Geneesmiddelen en waterkwaliteit, RIVM: RIVM Briefrapport 2016-0111.
- 40 Stowa (2017-42), Landelijke hotspotanalyse geneesmiddelen rwzi's.
- 41 Rijksoverheid (2019) Ketenaanpak medicijnresten uit water.
- 42 Europese Commissie (2019). European Union Strategic Approach to Pharmaceuticals in the Environment. COM(2019) 128 final. Europese Commissie, Brussel.
- 43 Houtman, C.J., Kroesbergen, J., Lekkerkerker-Teunissen, K. and van der Hoek, J.P. (2014) Human health risk assessment of the mixture of pharmaceuticals in Dutch drinking water and its sources based on frequent monitoring data. Science of the Total Environment 496, 54-62.
- 44 STOWA (Tussenversie december 2020) Deltafact opkomende stoffen in grondwater, naar Lahr et al., 2018.
- 45 STOWA (2021), gedragsinventarisatie minder medicijnen in het water, STOWA rapport nr. 2021-27.
- 46 Witteveen+Bos, AT Osborne, KWR (2019). Evaluatie Beleidsnota Drinkwater 2014.
- 47 Arnaut van Loon (KWR), Esther Brakkee (KWR), Niels Schoffelen (RoyalHaskoningDHV), Cors van den Brink (RoyalHaskoningDHV), Simon Buijs (Deltares), Esther Wattel (RIVM) (2022) Ontwerpstrategieën voor een signaleringsmeetnet gewasbeschermingsmiddelen in grondwater. KIWK-rapport, begin 2022 openbaar.
- 48 PBL, (2020), Addendum bij het eindrapport van de nationale analyse waterkwaliteit. Onderdeel van de Delta-aanpak Waterkwaliteit.
- 49 <https://www.waterforum.net/stowa-rapport-waterkwaliteit-beoordelen-via-mengseltoxiciteit/>

10 COLOFON

Auteurs:

- I.H. Phernambucq (Witteveen+Bos);
- G.H. Gerritsen (Witteveen+Bos);
- H.J. Mondeel (Witteveen+Bos);
- G.C.M. Wiersma (Witteveen+Bos).

Klankbordgroep:

- M. Baneke (Vewin);
- M. de Jong (IPO);
- A. van Loon (KWR);
- P. Rood (VNG).

24 december 2021

MAATSCHAPPELIJKE EN ECONOMISCHE WAARDE VAN GRONDWATER

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

Het grondwater heeft vele functies:

- het is een betrouwbare bron voor drinkwater, landbouw en industrie. Kwantitatief is er voldoende grondwater beschikbaar. Het grondwater is op veel plaatsen nog van goede kwaliteit, al staat dit wel onder druk;
- voor de natuur:
 - heeft grondwater (grondwaterstand en kwel) een grote invloed op het leefmilieu en standplaatscondities van vochtige tot natte natuur, en is een kritische factor in het behoud en herstel van de Nederlandse biodiversiteit;
 - is het een belangrijke bron van water voor bos en natuur, en is daarmee essentieel voor de overleving van natuur tijdens droogte en beperkt het risico op natuurbranden;
 - zorgt grondwater voor een basisafvoer van vrij afwaterende beken, zodat deze niet droogvallen en permanent water afvoeren;
- heeft een constante temperatuur die relatief warm is in de winter en relatief koud in de zomer en is daarom geschikt voor opslag, uitwisseling en vasthouden van warmte en vormt daarbij een belangrijke component van de energietransitie;
- is van invloed op de draagkracht van zowel bodem als fundering;
- remt bodemdaling af (bij een relatief hoge grondwaterstand);
- zorgt voor het behoud van archeologische resten.

Kortom: grondwater vertegenwoordigt belangrijke waarden voor mens en milieu (zie afbeelding 1) en is daarom ook verbonden aan een aantal SDG's: voedsel (2), gezondheid (3), water en sanitair (6), energie (7), eerlijke verdeling (10), duurzame consumptie (12), klimaat (13), leven onder water (14), leven op land (15) en partnerschappen (17).

Grondwater heeft voor verschillende stakeholders een verschillende waarde en betekenis; grondwater kan gezien worden als een *grondstof*; een economische goed of productiemiddel, voor drinkwater (en dus volksgezondheid), industriële of agrarische processen of als een gemeenschappelijk goed met functie en waarde voor allerlei maatschappelijk opgaven zoals een gezonde voedselvoorziening, ecologie en biodiversiteit, robuuste drinkwatervoorziening en toepassing duurzame energie. De term *natuurlijk kapitaal* omvat de voorraad aan natuurlijk ecosystemen, in dit geval grondwater, die een stroom van waardevolle producten en diensten voortbrengt, nu en in de toekomst, zoals het afbreken van verontreinigingen tegengaan van verzilting, verdroging en wateroverlast.

Grondwater is in Nederland dicht bij oppervlak, goed bereikbaar en raakt niet uitgeput omdat er voldoende aanvulling van het grondwater is. Wel kan een te snelle afvoer van dit grondwater door diepe ontwatering of het onttrekken van grondwater een negatief effect hebben op de terrestrische en aquatische natuur: het leidt tot verdroging (structurele daling van de grondwaterstand in combinatie met de structurele vermindering van kwel-hoeveelheden in grondwaterafhankelijke natuur) en droogval van beken en andere waterlopen. Ook kan dit leiden tot het verzilting van het grondwater en bodemdaling. Daarnaast degradeert de grondwaterkwaliteit door menselijke activiteiten. Dit vormt een risico voor de functies van het water, als bron voor onder andere drinkwaterproductie, landbouw en natuur. Bij het (grond)waterbeheer zijn er dus tegenstrijdige belangen die bediend moeten worden. Dit vraagt om een goede afweging van gebruik van bodem en grondwater.

De NOVI [20] stelt dat het bodem en watersysteem als uitgangspunt genomen moet worden bij ruimtelijke keuzes. De KRW stelt dat 'water geen gewone handelswaar is, maar een erfgoed dat als zodanig beschermd,

verdedigd en behandeld moet worden' [31]. In de KRW is opgenomen dat alle 23 grondwater-lichamen uiterlijk in 2027 in goede toestand moeten verkeren (tenzij een beroep gedaan kan worden op de uitzonderingen). Hoofddoel is dat de waterkwaliteit binnen een systeem in ieder geval niet mag verslechteren (standstill-principe). De KRW stelt verder dat de voor drinkwaterproductie aangewezen grondwaterlichamen de benodigde bescherming dienen te krijgen met de bedoeling de achteruitgang van de kwaliteit daarvan te voorkomen, teneinde het niveau van zuivering dat voor de productie van drinkwater is vereist, te verlagen. In de Grondwaterrichtlijn (GWR) zijn de chemische kwaliteitseisen voor grondwater en de methoden gespecificeerd.

Bij grondwater dient onderscheid gemaakt te worden tussen verschillende typen grondwater: het ondiepe grondwater waar het water maanden tot jaren oud en het grondwater uit diepe lagen dat duizenden jaren oud kan zijn.

1.2 Doel en afbakening van dit document

Het doel van deze factsheet is het geven van een feitenoverzicht van de maatschappelijke en economische waarden van grondwater. Voor dit feitenrelaas zijn documenten geraadpleegd en hieruit zijn de relevante feiten gedestilleerd. Er zijn geen aanvullende analyses uitgevoerd.

De waarde van water wordt in deze notitie benaderd vanuit het concept ecosysteemdiensten conform het rapport 'Afwegingen bij het gebruik van grondwater en de ondergrond' [1]. In dit document wordt voor de ecosysteemdiensten uitgegaan van de ecosysteemdiensten van het grondwater en de ondergrond. Hierbij worden verschillende aspecten van het grondwater onderscheiden: volume, stroming (flux), grondwaterstand, grondwaterkwaliteit en warmtecapaciteit.

Afbeelding 1.1 Op de volgende bladzijde: afwegingen bij het gebruik van grondwater en de ondergrond' [32]

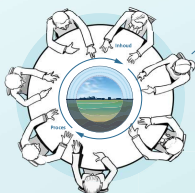
Grondwater en het gebruik ervan heeft voor verschillende stakeholders een verschillende betekenis. Toch gaat het om hetzelfde grondwater. Deze visueel helpt stakeholders in de fysieke leefomgeving om gezamenlijk de verschillende betekenissen die zij aan het grondwater toekennen te verkenen. Op basis hiervan kunnen zij hun eigen positieve bijdragen aan het grondwater en het gebruik daarvan voor de natuur en de fysieke leefomgeving (activiteiten) en de rol van de natuurlijke functies van het grondwater (ecosysteemdiensten). Het gesprek over de verschillende betekenissen van grondwater maakt het beter mogelijk de relatie met opgeven in de leefomgeving te leggen. Voor het gesprek is een visie van belang om activiteiten, in of van het grondwater goed te onderscheiden van de natuurlijke functies van grondwater (zie hieronder). De helderheid die dit onderscheid oplevert, stelt de stakeholders in staat betere afwegingen te maken over het gebruik van het grondwater en de ondergrond. Hiermee wordt het voor decentrale overheden gemakkelijker om de beleidsinzet voor grondwater uit te werken, bijvoorbeeld in een programma op grond van de Omgevingswet. Grondwater wordt zo zichtbaar en brengt een stem.

Het gesprek verloopt beter wanneer de verschillende activiteiten in of van het grondwater helder van elkaar worden onderscheiden. Welke activiteiten sluiten elkaar uit, beïnvloeden of versterken elkaar? Deze activiteiten moeten op hun beurt weer worden onderscheiden van de natuurlijke functies van het grondwater, de zogeheten ecosystemendiensten. Activiteiten in of van het grondwater of de ondergrond maken gebruik van ecosystemendiensten maar hebben daar ook steeds weer een negatieve invloed op. Daarnaast zijn ook bovengrondse activiteiten in toenemende mate van invloed op het grondwater en de ondergrond. Een voorbeeld: de activiteit 'onttrekking van grondwater voor de drinkwatervoorziening' maakt gebruik van de ecosystemendiensten 'beschikbaarheid van voldoende water van een goede kwaliteit'. Door drinkwaterwinning is deze ecosystemendienst either wellicht niet meer voor andere doelen beschikbaar. Ook kan drinkwaterwinning ten koste gaan van andere activiteiten. Grondwaterwinning kan gevolgen hebben voor de afvoer van beken waardoor de ecosystemendienst 'voorzien in waterovergedeelte oppervlaktewater' onder druk komt te staan. Het is daarom belangrijk om per activiteit te weten aan welke ecosystemendiensten deze geraakt is en hoe dit gebruik andere activiteiten en ecosystemendiensten beïnvloed.

Er zijn zeven hoofdcategorieën van activiteiten te onderscheiden:

1. Onttrekking van grondwater
2. Opslag van water en andere stoffen
3. Reserveringen van ondergrondse ruimten
4. Winning van andere grondstoffen dan water
5. Ruimtebeslag
6. Peilbeheer
7. Bovengrondse activiteiten.

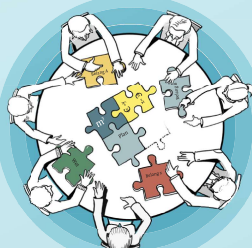
In het rapport 'Afwegingen bij het gebruik van grondwater en de ondergrond' van Deltares en RIVM kunt u meer lezen over de te onderscheiden activiteiten en afwegingen bij het gebruik van grondwater en de ondergrond. In dit rapport ecosystemiediensten van grondwater en ondergrond (zie QR) staat verder welke elf ecosystemiediensten worden onderscheiden. Er worden in totaal 34 activiteiten onderscheiden die gebruik maken van de ecosystemiediensten van het grondwater en de ondergrond of er aanzienlijke invloed op hebben. Voor een negental activiteiten zijn in de rapportage ook factsheets opgesteld. Op de site atlas natuurlijjk kapitaal staat op kaarten weergegeven wat de ruimtelijke impact is van een ecosystemiedienst in relatie tot een opname of afname. Voor meer informatie volgt de QR-link.



"Dat wist ik helemaal niet over grondwater..."



“Zo ben ik verbonden
over grondwater.”



Deltareg rapport

Atlas natuurlijk

Groundwater
Micro-learning

Meer lezen over
dit onderwerp?

Dit beeld is tot stand gekomen
i.s.m. 109 141 13'000005 of



UITVOERINGSPROGRAMMA

BODEM & ONDERGROND

Startbeeld - Grondwater dialoog

versie 1.2 - 20201214

Contact: Ron Nap

2 ECOSYSTEEDIENSTEN GRONDWATER

2.1 Ecosysteemdiensten

Grondwater levert diensten aan mens en milieu. Deze diensten vormen de waarde van water voor de verschillende gebruiksfuncties die het grondwater heeft. Deze diensten worden ecosysteemdiensten genoemd. Voor het bepalen van de waarde van grondwater wordt het denkkader van de ecosysteemdiensten gebruikt. In het rapport 'Afwegingen bij het gebruik van grondwater en de ondergrond' worden de volgende Ecosysteemdiensten onderscheiden (aansluitend op terminologie die internationaal gehanteerd wordt (CICES: Common International Classification of Ecosystem Services) en voor het thema bodem ontwikkeld is):

- Productiediensten:
 - ESD1. Beschikbaarheid van voldoende water van een bepaalde kwaliteit;
 - ESD2. Energie;
- Regulerende diensten:
 - ESD3. Reinigend vermogen van de ondergrond;
 - ESD4. Draagkracht;
 - ESD5. Bergingscapaciteit;
 - ESD6. Rol in biochemische cycli;
 - ESD7. Temperatuurregulatie;
 - ESD8. Voorzien in watervoerendheid en waterkwaliteit oppervlaktewater;
 - ESD9. Voeding van grondwaterafhankelijke natuur;
- Culturele diensten:
 - ESD10. Cultuurhistorische waarden en belevingswaarde;
 - ESD11. Biodiversiteit.

Deze Ecosysteemdiensten worden hieronder per functie toegelicht. Voor de functies en ESD's van grondwater zijn ook de volgende publicaties geraadpleegd: Grote opgaven in beperkte ruimte [22] van het PBL, Van woorden naar daden [23] van IBO, Kiezen en delen [24] van de Studiegroep Ruimtelijke inrichting en Atlas Natuurlijk Kapitaal [28]. In deze documenten worden geen aanvullende ESD's of functies benoemd.

2.2 Ecosysteemdiensten per functie

Hieronder wordt voor de verschillende gebruiksfuncties de waarde van water toegelicht aan de hand van de voornoemde Ecosysteemdiensten. Hierbij wordt ook ingegaan op de relevante aspecten van het grondwater (volume, stroming (flux), grondwaterstand, -kwaliteit en warmtecapaciteit).

2.2.1 Drinkwater (ESD1, 3, 6, 7)

Circa 60 % van het drinkwater in Nederland wordt gewonnen uit grondwater. Het overige drinkwater wordt gewonnen uit oppervlaktewater [1]. Per jaar wordt er 880 miljoen m³ [25] onttrokken voor drinkwaterproductie, voornamelijk geconsumeerd door huishoudens, maar ook door industrie en landbouw. Grondwater is een aantrekkelijke bron voor drinkwater omdat het constant is van kwaliteit, minder beïnvloed is door menselijk handelen en microbiologisch stabiel is. Voor de bereiding van drinkwater uit grondwater volstaat veelal een eenvoudige zuivering. Hierdoor zijn de zuiveringskosten voor drinkwaterproductie 0,50 Euro/m³ lager [2] dan de zuiveringskosten voor drinkwaterproductie uit oppervlaktewater.

Daarnaast kan grondwater vaak gewonnen worden in de omgeving waar er vraag is, zodat transportafstanden en -kosten beperkt kunnen worden gehouden.

De kwaliteit en beschikbaarheid van grondwater is robuust. De ondergrond vormt een robuuste barrière voor veel, maar niet alle, verontreinigingen die via het maaiveld in het grondwater terecht komen. Bij oppervlaktewater kunnen lage rivierafvoeren leiden tot verzilting en minder verdunning van puntlozingen

(chemisch en temperatuur), waardoor signaleringswaarden kunnen worden overschreden en innamestops van kracht kunnen worden [13]. Innamestops komen ook voor in tijden met extreme neerslag indien zuiveringen overbelast worden [14]. Hierdoor heeft grondwater als robuuste drinkwatervoorziening een maatschappelijke waarde.

Kanttekening bij deze feiten is dat de beschikbaarheid van grondwater gereguleerd is door middel van vergunningen. Daarnaast staat ook de kwaliteit onder druk, verontreinigingen, zoals bestrijdingsmiddelen, geneesmiddelen en diverse andere organische microverontreinigingen of hun afbraakproducten, worden op grotere diepten aangetroffen. Meetgegevens van drinkwaterbedrijven en provincies geven aan dat in waarnemingsfilters in minimaal 60 % van de freatische grondwaterwinningen milieuvreemde stoffen worden aangetroffen [29]. Deze 'vergrijzing' leidt tot risico's voor het gebruik voor drinkwaterproductie of hogere zuiveringskosten. Dit is meteen een onderbouwing van de waarde van grondwater.

Grondwater levert de volgende ecosysteemdiensten met betrekking tot de drinkwaterproductie [1]:

- ESD1, 3 en 6. Grondwater is een betrouwbare bron voor drinkwater en heeft op veel plaatsen een goede basiskwaliteit. Het wordt benut voor de reguliere drinkwatervoorziening en het wordt gereserveerd om een deel van de mogelijke groei in de drinkwatervraag op te kunnen vangen en als calamiteitenvoorziening. Bodempassage levert diverse dempende mechanismen op verontreinigingen, zoals afbraak, retardatie, reistijd.;
- ESD7. Grondwater heeft een constante en relatief lage temperatuur, waardoor nagroei van micro-organismen in het leidingnet beperkt is.

In de factsheet Grondwaterkwaliteit en de factsheet Grondwater en Energietransitie wordt het waterkwaliteitsaspect van grondwater beschreven.

2.2.2 Industrie (ESD1 en 3)

Net als voor de productie van drinkwater wordt ook grondwater gebruikt voor de industrie, waarvan een deel gericht op menselijke consumptie. Er wordt op jaarbasis 126 miljoen m³ grondwater onttrokken door de industrie (peiljaar 2019) [7], dit is exclusief het water dat door drinkwaterbedrijven geleverd wordt. Net zoals bij drinkwater zijn de lagere zuiveringskosten van grondwater een voordeel, ook al maakt de drankenindustrie veelal gebruik van intensieve zuiveringsprocessen (omgekeerde osmose) om een permanent hoge kwaliteit te kunnen garanderen. Voor drinkwaterproductie wordt hierbij uitgegaan van 0,50 Euro/m³ lagere [2] zuiveringskosten ten opzichte van oppervlaktewater, alhoewel de benodigde zuivering afhankelijk is van het gebruik van het water in het productieproces. Grondwater is wel een belangrijke vestigingsfactor voor de industrie [3].

Met name bij grondwater, maar ook bij leidingwater, wordt het water omgezet tot eindproduct, zoals de bierbrouwerijen en frisdrankenindustrie. De economische waarde van water (alle typen water) van de gemiddelde economische activiteit is gemiddeld 2.000 Euro per m³ [8]. Tussen de verschillende typen industrie zitten grote verschillen, het is niet bekend wat de economische waarde van water is van bedrijven die veel water gebruiken, bijvoorbeeld bierbrouwerijen en frisdrankenindustrie. Ook is niet bekend wat de maatschappelijke waarde hierbij is (werkgelegenheid).

In de factsheet Grondwaterkwaliteit en de factsheet Grondwater en Energietransitie wordt het waterkwaliteitsaspect beschreven.

2.2.3 Landbouw en voedselvoorziening (ESD1, 3, 4 en 5)

De landbouwsector maakt op verschillende manieren gebruik van grondwater. Grondwater wordt onttrokken ten behoeve van beregening in perioden met een neerslagtekort. Daarnaast wordt grondwater ook toegepast in de fruitteelt om vorstschade aan bloesem in het vroege voorjaar te voorkomen. Naast grondwater wordt ook oppervlaktewater en leidingwater (dat voor een (groot) deel uit grondwater bestaat) toegepast. De

grondwateronttrekkingen voor de landbouw is 125 miljoen m³ in normale jaren en 250 miljoen m³ in droge jaren [25], dit is exclusief grondwater dat via drinkwaterbedrijven bij de landbouw terecht komt. In tabel 2.1 is het totale watergebruik in de landbouw weergegeven voor 2017 en 2018 op basis van cijfers van Agrimatie [5]. In het droge jaar 2018 is het watergebruik verdubbeld, waarbij met name meer grond- en oppervlaktewater onttrokken is. De grondwateronttrekking is in de meeste gevallen afhankelijk van de hoeveelheid beschikbaar oppervlaktewater. Veel provincies verplichten het gebruik van oppervlaktewater. Steeds vaker wordt echter grondwater als alternatief genoemd, zeker in droge perioden [1]. In droge perioden, zoals de zomer van 2018, werden door veel waterschappen beregeningsverboden uit oppervlaktewater ingesteld. Hierdoor kan de watervraag groter zijn het daadwerkelijke gebruik.

Tabel 2.1 Water gebruik landbouw [5]

	2017		2018	
	Miljoen m ³	%	Miljoen m ³	%
grondwater	68,2	41	198,2	56
leidingwater	48,3	29	48,8	14
oppervlaktewater	12,0	7	66,4	19
oppervlaktewater of grondwater	38,4	23	36,3	10
gietwater	1,1	1	1,3	0
totaal	168		351	

Ten opzichte van oppervlaktewater, heeft grondwater voor beregening niet alleen een continue beschikbaarheid, maar over het algemeen een betere grondwaterkwaliteit. Chloride- en ijzergehalten zijn hierbij aandachtspunten.

De watervoorziening van gewassen bestaat voor een essentieel deel uit capillaire nalevering uit grondwater. Dus los van beregening, maakt de landbouw ook gebruik van grondwater.

Een tegenstrijdig belang is de noodzaak of wens voor een lagere grondwaterstand. Dit zorgt voor meer draagkracht en daarmee de mogelijkheid om met (zwaar) materieel het land op te gaan. Daarnaast zorgt een lagere grondwaterstand voor hogere temperaturen in de winter/lente en daarmee de start van het groeiseizoen. Ook zorgt het (tijdelijk) voor meer bergingscapaciteit en daarmee minder kans op wateroverlast. Het reguleren van een lagere grondwaterstand zorgt echter (mede) voor verdroging en heeft een negatief effect op de grondwaterafhankelijke natuur.

De omzet van de landbouw (bijna 55.000 bedrijven) was in 2017 Euro 29 miljard [18]. De beschikbaarheid van voldoende water is een van de kritische voorwaarden om een dergelijke omzet uit landbouwproductie mogelijk te maken. Grondwater is een van de bronnen die daarvoor toegepast wordt. De bijdrage van water aan economische productie, samen met andere bijdragen van bijvoorbeeld kunstmest en bestrijdingsmiddelen, is 100 tot 200 Euro per m³, afhankelijk van het watergebruik (droog of nat jaar). Tussen de verschillende typen landbouw zitten grote verschillen in de economische waarde. Daarnaast levert de landbouw maatschappelijke waarden in de vorm van voedselvoorziening en werkgelegenheid.

Grondwater levert de volgende ecosysteemdiensten met betrekking tot de landbouw [1]:

- ESD1, 3 en 6. Grondwater is een bron voor de beregening en vorstpreventie van gewassen en teelten. Daarnaast kan grondwater een specifiek gewenste kwaliteit leveren, bijvoorbeeld omdat schadelijke bacteriën ontbreken;
- ESD4. De grondwaterstand is van invloed op het draagvermogen om de bodem te berijden (werktuigen en landbouwmachines);

- ESD5. Grondwater levert door capillaire nalevering een wezenlijke bijdrage aan de watervoorziening van landbouwgewassen.

2.2.4 Natuur (ESD 3, 5, 6, 7, 8, 9, 11)

Voldoende water van goede of kenmerkende kwaliteit is voor veel planten en dieren een essentiële voorwaarde om zich te kunnen handhaven of herstellen. Zowel de waterkwantiteit als de waterkwaliteit is voor natuurgebieden van belang.

Grondwaterafhankelijke natuur is afhankelijk van voldoende hoge grondwaterstanden, omdat nalevering uit het grondwater essentieel is voor voldoende vochtbeschikbaarheid van deze natuur. Bij een daling van de grondwaterstand worden de kenmerkende plantengemeenschappen verdrongen door plantengemeenschappen die horen bij drogere omstandigheden.

Kwelaafhankelijke natuur is afhankelijk van de toestroom van grondwater uit de omgeving. Het toestromende grondwater zorgt voor permanent ondiepe grondwaterstanden en de aanvoer van mineralen die de zuurgraad en nutriëntenstatus van de natuurbodems bepalen. Zodra de kwelflux tot onder een kritische waarde zakt, gaan de kenmerkende omstandigheden verloren, bijvoorbeeld doordat relatief zuur regenwater de overhand in de wortelzone krijgt of door zuurstofintrede door dieper wegzakkende grondwaterstanden.

Daarnaast voorkomt grondwater droogval van beken en behoudt voldoende afvoer. In sommige gebieden zorgt ijzerhoudend grondwater voor binding van fosfor (P), en draagt daarmee bij aan een betere oppervlaktewater kwaliteit.

Grondwater is een belangrijke bron van water voor bos en natuur, en is daarmee essentieel voor de overleving van natuur tijdens droogte en beperkt het risico op natuurbranden.

De watervraag van natuur is onderzocht voor de Noord-Brabantse natuur. De kwelbehoefte, om de natuur te herstellen, is naar schatting ongeveer 350 miljoen m³ grondwater per jaar nodig: 'de ruimtelijke watervraag'. Daarnaast is de 'directe grondwatervraag natuur' - als de verdroging is hersteld - circa 50-60 miljoen per jaar. Om aan deze vraag te voldoen is het verminderen van onttrekkingen en verminderen van drainage (vasthouden water)noodzakelijk [12].

In Nederland is de natuurbescherming verankerd in de wet natuurbescherming 2017. De wet natuurbescherming betreft beschermingsregels voor de Nederlandse natuurgebieden en planten- en diersoorten. Nederland kent verschillende soorten en gradaties natuurgebieden, zo is er het natuurnetwerk Nederland (NNN), sinds 2013 de nieuwe naam van de ecologische hoofdstructuur van Nederland. Daarnaast zijn er Natura2000 gebieden. Dit zijn vanuit Europees perspectief aangewezen gebieden onder de vogel- en habitatrichtlijn. Op provinciaal niveau kunnen ook natuurgebieden aangewezen worden, zoals de verdroogde (sub) TOP-gebieden en zogenoemde Natte Natuurparels.

Grondwater levert de volgende ecosystemendiensten met betrekking tot de natuur [1]:

- ESD3, 6 en 11. Het reinigend vermogen van de ondergrond en de biochemische cycli zijn bepalend voor het leveren van grondwater van specifieke chemische samenstelling voor grondwaterafhankelijke natuur. De biodiversiteit van het grondwaterecosysteem vervult hierbij een belangrijke rol. De aanvoer van water kan ook natuurbranden voorkomen;
- ESD5. Regenwater wordt tot op zekere hoogte vastgehouden en levert daarmee water aan de gewassen;
- ESD7. De kwelstromen met constante lage temperatuur dragen bij aan de temperatuurregulatie (7) die voor de ecosystemen belangrijk is;
- ESD8. Grondwater draagt bij aan de watervoerendheid van beken en een permanente basisafvoer, en daarmee gedeeltelijk ook voor de kwaliteit van het oppervlaktewater (zoals binding/immobilisatie van fosfor aan ijzer);

- ESD9. Grondwater- en kwelafhankelijke natuur is afhankelijk van de voeding vanuit het (diepere) grondwater met een constante en gebufferde kwaliteit. Daarnaast is ook de (hogere) grondwaterstanden bepalend voor het functioneren van de kwelafhankelijke natuur.

In de factsheet Verdroging Hoog Nederland wordt de verdroging, waterbalans en handelingsperspectieven voor de hoge zandgronden beschreven.

2.2.5 Draagkracht (ESD 4)

Het grondwater is van invloed op het *draagvermogen* van zand-, klei- en veengronden. Een lagere grondwaterstand leidt tot een groter draagvermogen. Daarnaast is de grondwaterstand van invloed op de oxidatie van veen en daarmee de bodemdaling in veengebieden. De ontwatering voor bebouwing en agrarisch gebruik hebben al tot CO₂ uitstoot en bodemdaling in deze veengebieden geleid [1].

De bodemdaling van de veengebieden verkort de levensduur van de infrastructuur, zoals riolering en wegen. De schade aan infrastructuur in stedelijk gebied van veengebieden is geraamd op Euro 5,2 miljard [16]. Voor houten fundering van bebouwing is het van belang om de grondwaterstand op een constant en voldoende hoog peil te houden om paalrot tegen te gaan. De schade aan funderingen van bebouwing is geschat op Euro 80 miljard euro aan herstellkosten [15].

In de factsheet Laag Nederland wordt ingegaan op de bodemdaling en veenoxidatie van Laag Nederland.

2.2.6 Energie (ESD 2 en 7)

Grondwater wordt gebruikt voor het bufferen van warmte en koude (WKO systemen) en is onderdeel van de Energietransitie. Open WKO systemen pompen grondwater heen en weer en gesloten systemen wisselen warmte uit met behulp van ondergrondse lussen. Zowel bij open als bij gesloten systemen wordt er in de winter warmte onttrokken en in de zomer via de omgekeerde route koude onttrokken aan de ondergrond [1]. Op dit moment zijn er circa 55.000 BES in Nederland geregistreerd [26]. Tot 2014 was er geen registratieplicht voor gesloten bodemenergiesystemen. De werkelijke hoeveelheid systemen zal dus hoger liggen. De economische waarde is geschat op Euro 315 miljoen/jaar, waarvan Euro 55 miljoen/jaar aan CO₂ reductieⁱ.

De energiesystemen hebben een ruimtelijke impact. Deze impact is afhankelijk van het type systeem en de diepte waarop het systeem is geïnstalleerd. Tot een diepte van 20 tot 50 m is het ruimtegebruik 5 tot 50 km², dit neemt toe naar meer dan 10.000 km² bij een diepte van meer dan 250 m.

In de factsheet Grondwater en Energietransitie nader ingegaan wet- en regelgeving, risico's en ruimtebeslag van bodemenergie met betrekking tot grondwaterkwaliteit.

2.2.7 Cultuurhistorie en archeologie (ESD 10)

De draagkracht van de bodem en de invloed daarvan op het grondwater is ook van toepassing op het cultureel erfgoed [17], waarop voor onder andere de Rijksmonumenten de erfgoed wet van toepassing is.

Daarnaast is de grondwaterstand, net als bij houten paalfundering, van invloed op het behoud van historische resten van met name organisch materiaal.

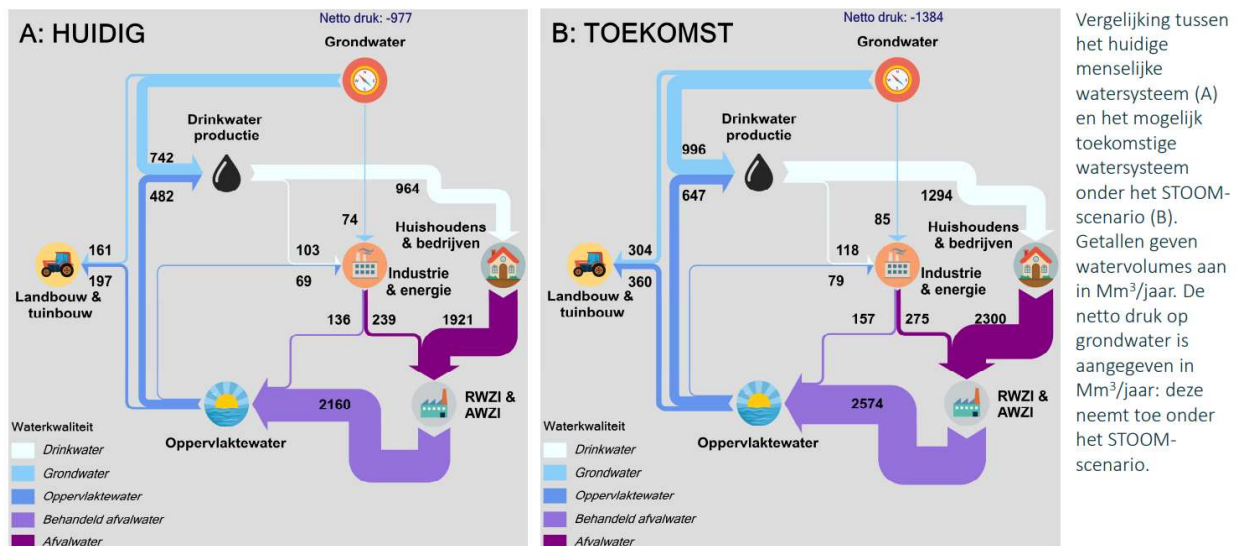
2.2.8 Klimaat - uitstoot broeikasgassen (ESD 6)

Grondwater is ook van invloed op de uitstoot van broeikasgassen als CH₄, N₂O en CO₂. Een hogere grondwaterstand reduceert de CO₂ uitstoot, maar is ook van invloed op de methaanemissie. Hiervoor loopt een Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweide [21]. In Nederland is er ongeveer 270.000 ha veenweide gebied. Jaarlijks stoot het veenweide gebied 4 miljoen ton CO₂ uit, 5 % van de totale Nederlandse uitstoot [27]. In het Klimaatakkoord is afgesproken om de uitstoot van broeikasgassen door veenweidegebieden in 2030 met 1 miljoen ton per jaar omlaag te brengen

3 WATERGEBRUIK

In bovenstaande paragrafen is per functie het (grond)watergebruik beschreven. Onderstaande afbeelding geeft het (grond)watergebruik en de grondwaterdruk voor Nederland weer [11]. De hoeveelheden wijken af van eerder vermelde hoeveelheden. Dit kan veroorzaakt worden doordat andere bronnen gebruikt zijn en omdat de waterbalans zowel grond-als oppervlaktewater weergeeft. Ook kunnen de hoeveelheden afwijken van watergebruik en waterbalans beschreven in andere factsheets. In de afbeelding is ook het watergebruik voor het scenario 'Stoom' weergegeven (grote klimaatverandering en sterke groei van economie en bevolking, zichtjaar onbekend). Bij dit scenario zal het grondwatergebruik door klimaatverandering en socio-economische verandering toenemen.

Afbeelding 3.1 Huidig en toekomstig (scenario Stoom) grondwatergebruik en -druk in Mm³/jaar [11]



4 SAMENVATTING

De economische en maatschappelijke waarde van grondwater als grondstof en als natuurlijk kapitaal is samengevat in tabel 4.1.

Tabel 4.1 De waarde van water voor verschillende functies

Functie	Ecosysteemdienst (ESD)	Waarde per m ³ /ruimtegebruik	Gebruik	Totale waarde	Toelichting
Drinkwater	1. Beschikbaarheid van voldoende water van een bepaalde kwaliteit 3. Reinigend vermogen van de ondergrond 6. Rol in biochemische cycli 7. Temperatuurregulatie	0,50 Euro/m ³ t.o.v. gebruik oppervlaktewater [2]. Maatschappelijke waarde (w.o. volksgezondheid) is niet in geld uit te drukken.	880 Mm ³ /jaar [25], inclusief water voor landbouw en industrie.	350 M Euro/jaar Niet-monetaire maatschappelijke waarde: volksgezondheid.	Dit betreffen de verminderde zuiveringskosten ten opzichte van oppervlaktewater [2] voor drinkwaterproductie. Grondwater heeft daarnaast een constante en relatief lage temperatuur, waardoor nagroei van micro-organismen in het leidingnet beperkt is.
Industrie	1. Beschikbaarheid van voldoende water van een bepaalde kwaliteit 3. Reinigend vermogen van de ondergrond	0,50 Euro/m ³ tov gebruik oppervlaktewater [2]. bijdrage aan economische productiviteit: 2000 Euro/m ³ economische waarde [8].	126 Mm ³ /jaar [7].	63 M Euro/jaar Bijdrage aan economische productiviteit 252.000 M Euro/jaar maatschappelijke waarde (werkgelegenheid onbekend).	Net zoals drinkwater is de waarde van grondwater te vergelijken met de extra zuiveringskosten van oppervlaktewater. Met name bij grondwater, maar ook bij leidingwater, wordt het water omgezet tot eindproduct, zoals de bierbrouwerijen en frisdrankenindustrie. Grondwater heeft hiermee een economische waarde.
Landbouw	1. Beschikbaarheid van voldoende water van een bepaalde kwaliteit 3. Reinigend vermogen van de ondergrond 4. Draagkracht 5. Bergingscapaciteit	Gemiddeld 100-200 Euro/m ³ afhankelijk van watergebruik. Afhankelijk van het gewas kan de economische waarde hoger of lager zijn.	168 (2017) - 351 Mm ³ /jaar (2018), incl. oppervlaktewater [5].	Bijdrage aan economische productiviteit: 29.000 M Euro/jaar [18] maatschappelijke waarde: volksgezondheid, werkgelegenheid onbekend.	In het watergebruik is alleen de grond- en oppervlaktewateronttrekking meegenomen. Daarnaast heeft grondwater een grote waarde door de capillaire nalevering van water.
Energie	2. Energie 7. Temperatuurregulatie	De energiesystemen hebben een ruimtelijke impact van < 5 km ² tot 10.000 km ² .	-	315 M Euro/jr, waarvan 55 M Euro/jr door vermindering CO ₂ uitstoot ¹ .	Op dit moment zijn er circa 55.000 BES in Nederland geregistreerd [26]. Tot 2014 was er geen registratieplicht voor gesloten bodemenergiesystemen. De werkelijke hoeveelheid systemen zal dus hoger liggen.
Draagkracht en behoud bodem	4. Draagkracht	Berijdbaarheid en bewerking landbouw behoud veenbodem		Verkorten levensduur infrastructuur Euro 5.200 miljoen [16]. Herstelkosten fundering bebouwing (1 miljoen woningen) Euro 80.000 miljoen [15].	

Functie	Ecosysteemdienst (ESD)	Waarde per m ³ /ruimtegebruik	Gebruik	Totale waarde	Toelichting
		behoud (levensduur) infrastructuur en bebouwing.			
Aquatische en terrestrische natuur	3. Reinigend vermogen van de ondergrond 5. Bergingscapaciteit 6. Rol in biochemische cycli 7. Temperatuurregulatie 8. Voorzien in watervoerendheid en waterkwaliteit oppervlaktewater 9. Voeding van grondwaterafhankelijke natuur 11. Biodiversiteit	Levering van voldoende water van een specifieke chemische samenstelling voor grondwater- of kwel afhankelijke natuur en watervoerendheid beken.	50 - 60 Mm ³ /jaar Voor de provincie Noord-Brabant [12].	Niet monetaire maatschappelijke waarde. Voor het niet behalen van de doelen kan EU dwangsommen (1.000 euro tot ruim 300.000 euro per dag) of boetes (1 miljoen euro tot 40 miljoen euro) opleggen.	Het gebruik is nodig om voldoende kwel te behouden (na herstel van de natuur) voor de kwelafhankelijke natuur. Daarnaast voorkomt grondwater droogval van beken (basisafvoer), levert het een bijdrage aan waterkwaliteit door immobilisatie van fosfor aan ijzer en kan het een bijdrage leveren aan het voorkomen van natuurbranden.
Cultuurhistorie en archeologie	10. Cultuurhistorische waarden en belevingswaarde	Draagkracht en behoud cultuurhistorische objecten en behoud archeologische resten in de bodem.	Niet te bepalen.	niet monetaire maatschappelijke waarde.	
Klimaat - uitstoot broeikasgasen	6. Rol in biochemische cycli	Grondwaterstand is van invloed op uitstoot van broeikasgassen.	Er is 270.000 ha veenweiden.	Jaarlijks stoot het veenweide gebied 4 miljoen ton CO ₂ uit, 5 % van de totale Nederlandse uitstoot [27]. Reductie uitstoot broeikasgassen draagt bij aan behalen klimaatdoelstellingen.	Er loopt een Nationaal Onderzoeksprogramma Broeikasgassen Veenweide [21].

5 LEEMTE IN KENNIS

De economische waarde van water (alle typen water) per type industrie en landbouw (euro economische productiviteit per m³) en waar deze baten terechtkomen. Ook de maatschappelijke waarde, bijvoorbeeld, het aantal arbeidsplaatsen per m³ en maatschappelijke kosten (impact op milieu) is niet bekend.

6 REFERENTIES

- 1 Deltares en RIVM, Afwegingen bij het gebruik van grondwater en de ondergrond, 2014.
- 2 KWR, De waarde van natuur voor de watervoorziening, 2019.
- 3 J.W. Kooiman (Kiwa) en K. van den Akker (TU Delft), Geef grondwater zijn terechte economische waarde, artikel H₂O, 2006.
- 4 Ecorys, Economische schade door droogte in 2018, 2019.
- 5 Agrimatie.nl.
- 6 Sweco, Naar een kosteneffectieve aanpak van klimaatadaptatie in Nederland, 2019.
- 7 UvW en IPO, Overzicht Grondwateronttrekkingen, 2021.
- 8 CBS, Waterstromen in de Nederlandse economie, 2016.
- 9 <https://expertisecentrumwarmte.nl/themas/technische+oplossingen/techniekfactsheets+energiebronnen/bodemenergie+en+wko/default.aspx>.
- 10 J.W. Kooiman (Kiwa) en K. van den Akker (TU Delft), Grondwater, de cruciale hulp in het waterbeheer, Stromingen, 2006.
- 11 KWR, BTO rapport: Waterhergebruik en de Zoetwatervoorziening, 2020.
- 12 RHDHV, Ecogroen, Deltares, Een verkenning naar de Watervraag van de Noord-Brabantse natuur, 2020.
- 13 KWR, Ontwikkeling waterkwaliteit bij innamepunten voor de drinkwatervoorziening, 2016.
- 14 KWR, Buffercapaciteit drinkwatervoorziening Nederland, 2020.
- 15 De Volkskrant, Huizen verzakken sneller door droogte, schade loopt in de tientallen miljarden, 9 september 2020.
- 16 PBL, Dalende bodems, stijgende kotsen. Mogelijke maatregelen tegen veenbodemdaling in het landelijk en stedelijk gebied, 2016.
- 17 NRC, De droogte besluipt monumenten, NRC, 20 augustus 2020.
- 18 CBS: <https://www.cbs.nl/nl-nl/achtergrond/2020/19/feiten-en-cijfers-over-de-landbouw>.
- 19 Kamerbrief (2021), Ex ante analyse waterkwaliteit.
- 20 NOVI.
- 21 <https://www.nobveenweiden.nl/bevindingen/>.
- 22 PBL (2021), Grote opgaven in beperkte ruimte.
- 23 IBO Ruimtelijke Ordening (2021), Van woorden naar daden over de governance van de ruimtelijke ordening.
- 24 Studiegroep Ruimtelijke Inrichting (2021), Kiezen en delen.
- 25 IPO en Unie (2021). Landelijk beeld grondwateronttrekkingen.
- 26 Nationaal Warmtepomp Trendrapport (2021), duurzaamverwarmd.nl/trendrapport.
- 27 Trouw (2018), De veenweiden spugen evenveel CO₂ uit als 2 miljoen uitlaten.
- 28 <https://www.atlasnatuurlijkkapitaal.nl/>.
- 29 KWR (2019), Gewasbeschermingsmiddelen en hun afbraakproducten in Nederlandse drinkwaterbronnen
- 30 L. Maring, M. Blauw (2016) Asset management van de ondergrond - Nieuwe manier voor ondergrondbeheer? (Water governance)
- 31 KRW (2013), Richtlijn 2000/60/EG van het Europees parlement en de raad van 23 oktober 2000 tot vaststelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid
- 32 IPLO (2020), Grondwater - onze onzichtbare verbinder

7 COLOFON

Auteurs:

- H. Mondeel (Witteveen+Bos).

Klankbordgroep:

- M. De Cleen (RWS).
- G. Galli (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat - DGWB).
- A. van Loon (KWR).
- R. Nap (Rijkswaterstaat - WVL).
- R. Eijnsink (VEWIN).

24 december 2021

ⁱ Dit is geschat op basis van:

- 100 woningen per WKO
- 10 woningen per bodemlus
- Waarde CO₂: Euro 25/ton CO₂
- Gas verbruik per woning: 1239 m³ (milieucentraal.nl)
- Gasprijs: 0,27 Euro/m³ (productie, dus zonder belasting)

GRONDWATER EN ENERGIETRANSITIE

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

Nederland staat voor de opgave om uiterlijk in 2050 klimaatneutraliteit te bereiken. Dit komt voort uit de Overeenkomst van Parijs en de daaruit voortgekomen nationale en Europese wetgeving.

De energietransitie is een belangrijke component van de beoogde CO₂-reductie. Deze transitie moet ervoor zorgen dat alle energie die we gebruiken wordt opgewekt uit hernieuwbare bronnen. Mede door deze energietransitie is een toenemende activiteit in de ondergrond te verwachten. Bijvoorbeeld door het gebruik van bodemenergie en geothermie die in de vraag naar verwarming (en koeling) van gebouwen, glastuinbouw en industrie voorziet. Ook bij de opslag van energie in de vorm van groen gas, waterstof of perslucht en het opslaan van CO₂ speelt de ondergrond een belangrijke rol. Opslag van CO₂ vindt momenteel enkel op zee plaats en wordt daarom niet in deze verkenning behandeld.

Ongeveer 60 procent van het Nederlandse drinkwater wordt geproduceerd uit grondwater en ook in de toekomst blijft de drinkwatervoorziening sterk afhankelijk van grondwater. De kans dat deze afhankelijkheid toeneemt is zelfs groot [1]. Daarnaast heeft grondwater veel meer maatschappelijke functies (natuur, landbouw, industrie); dit is uiteengezet in de factsheet 'Maatschappelijke en economische waarden van grondwater'. De verwachte toename van het ondergrondse bodemgebruik kan invloed hebben op grondwaterkwaliteit in het algemeen en het grondwater ten behoeve van drinkwater in het bijzonder. Daarnaast heeft de energietransitie ook impact op het ondergronds ruimtebeslag.

1.2 Structuurvisie Ondergrond

De Structuurvisie Ondergrond (STRONG) [32] is een gezamenlijke visie van de ministeries van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) en Economische Zaken en Klimaat (EZK). De structuurvisie richt zich op een duurzaam, veilig en efficiënt gebruik van de bodem en ondergrond en zoekt daarbij een goede balans tussen beschermen en benutten van grondwater voor de drinkwatervoorziening en het bieden van ruimte voor mijnbouwactiviteiten ten behoeve van de energievoorziening. STRONG richt zich op de ruimtelijke inpassing van nieuwe activiteiten waarvan na maatschappelijk en politiek debat is vastgesteld dat deze gewenst of noodzakelijk zijn.

Mijnbouwactiviteiten zijn uitgesloten in de huidige waterwingebieden, grondwaterbeschermingsgebieden en boringvrije zones rondom bestaande winputten, zoals aangewezen in de provinciale verordening. Hoewel de risico's van mijnbouwactiviteiten voor de kwaliteit van het grondwater zeer klein zijn, is het uitgangspunt om daar waar er voldoende ruimte is, grondwatervoorkomens voor de drinkwatervoorziening niet te doorboren ten behoeve van mijnbouwactiviteiten. Boringen die van buiten de begrenzing van deze beschermingsgebieden tot onder de grondwatervoorraden komen worden volgens STRONG mogelijk geacht, mits er geen risico's zijn voor de kwaliteit van het grondwater.

Aanvullende Strategische Voorraden (ASV's) worden aangewezen door de provincies en drinkwaterbedrijven, waarbij gezocht wordt naar een goede balans tussen bescherming van grondwatervoorraden, de leveringszekerheid van de openbare drinkwatervoorziening op langere termijn, en mogelijkheden voor mijnbouwactiviteiten. Hierbij wordt ook het beschermingsbeleid voor ASV's geformuleerd. Het Rijk heeft in STRONG aangegeven dat ze dit over zal nemen als ze het er mee eens is. In STRONG is de voorkeur voor een ruimtelijke functiescheiding tussen drinkwaterwinning en mijnbouwactiviteiten bij het aanwijzen van ASV's vastgelegd. Ruimtelijke functiescheiding omvat een horizontale (aan het maaiveld) en verticale (in de diepte) component. Wanneer functiescheiding niet mogelijk is, kan gekeken worden of technische oplossingen functiecombinaties mogelijk maken. Bij de vergunningaanvraag wordt dan gebiedsgericht gekeken en de afweging gemaakt of de mijnbouwactiviteit ter plaatse veilig mogelijk is.

In de structuurvisie is de globale begrenzing van de Nationale Grondwater Reserves (NGR) aangegeven. Mijnbouwactiviteiten binnen de begrenzing van deze grondwaterreserves zijn in principe mogelijk onder de strenge voorwaarden die ook elders in Nederland gelden. Door het Staatstoezicht op de Mijnen is hiervoor een geohydrologisch toetsingsprotocol ontwikkeld.

Behalve in de waterwingebieden, grondwaterbeschermingsgebieden en boringvrije zones rondom bestaande grondwaterwinningen voor de drinkwatervoorziening worden deze mijnbouwactiviteiten door het Rijk nergens op voorhand uitgesloten.

1.3 Doel en afbakening

Het doel van deze verkenning is om inzicht te geven in wat de uitwerking van de energietransitie betekent en wat de mogelijke gevolgen van energietransitie zijn op de grondwatervoorraden ten behoeve van de drinkwatervoorziening, zoals het ruimtebeslag en de mogelijke risico's. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende ondergrondse technieken: bodemenergiesystemen [2], geothermie [3] en chemische- en mechanische energieopslag. Voor de verschillende energiesystemen wordt het Nederlandse beleid rondom warmtewinning, wet- en regelgeving en Vergunningverlening, Toezicht en Handhaving (VTH) weergegeven.

Dit document is opgesteld vanuit het perspectief van grondwater en beschrijft niet de belangrijke bijdrage van de energietransitie aan de klimaatdoelstellingen die de energietransitie uiteraard wel heeft.

In dit document wordt ingegaan op de volgende twee aspecten met betrekking tot de energietransitie:

- 1 **waterkwaliteit:** de mogelijke risico's van activiteiten in de ondergrond ten behoeve van de energietransitie voor de grondwaterkwaliteit in het algemeen en specifiek voor grondwater ten behoeve van drinkwater. Hierbij wordt ook de relevante wet- en regelgeving beschreven en de mate waarin dit de risico's beperkt. Dit is uitgewerkt voor bodemenergiesystemen (hoofdstuk 2), geothermie (hoofdstuk 3) en chemische en mechanische (energie)opslag (hoofdstuk 4);
- 2 **ruimtebeslag:** het (beleidsmatige) ondergrondse ruimtebeslag van de energietransitie en de impact daarvan op de grondwatervoorraden ten behoeve van de drinkwatervoorziening, nu en in de toekomst (hoofdstuk 5).

Voor deze verkenning zijn diverse documenten geraadpleegd (zie hoofdstuk 6) en hieruit zijn de relevante feiten gedestilleerd. Er zijn geen aanvullende analyses of onderzoeken uitgevoerd.

2 BODEMENERGIESYSTEMEN

2.1 Introductie

In het geval van bodemenergiesystemen (BES) wordt gebruik gemaakt van de ondergrond, tot maximaal 500 meter diepte, om warmte en koude op te slaan en te onttrekken. Zodoende kunnen gebouwen, individueel of middels een warmtenet, op een duurzame manier worden voorzien van verwarming en koeling. Bodemenergiesystemen hebben doorgaans een diepte van maximaal 300 meter onder maaiveld. Op dit moment zijn er ca. 55.000 BES in Nederland geregistreerd [2]. Tot 1 juli 2013 was er geen meldingsplicht voor gesloten bodemenergiesystemen. De werkelijke hoeveelheid systemen is dus onbekend en zal hoger liggen. De verwachting is dat in 2050 10 tot 30 % van alle gebouwen in Nederland op BES zijn aangesloten, bij een gebouwvoorraad van 8 miljoen gebouwen zijn dat circa 1 miljoen gebouwen die op BES systemen aangesloten zijn in 2050 [2]. Er zijn twee typen BES te onderscheiden: open en gesloten BES:

- Open bodemenergiesystemen (OBES): hierbij vindt actieve interactie met het grondwater plaats: grondwater wordt direct uit de ondergrond opgepompt en na warmte uitwisseling met het gebouw via een scheidingswarmte wisselaar geretourneerd. Deze systemen worden toegepast voor collectieve systemen of voor grotere gebouwen. Onder OBES vallen:
 - Systemen met een warmte pomp die worden gebruikt om te koelen en verwarmen, ook bekend als Warmte-koude opslag (WKO): in de winter wordt warm grondwater uit een bron gepompt om gebouwen te verwarmen. Het afgekoelde water wordt in een tweede put in de ondergrond geretourneerd. In de zomer draait de stroomrichting om en wordt het gekoelde grondwater uit de tweede put gebruikt om gebouwen te koelen en het warme water onder de grond opgeslagen. Maximale retourtemperatuur is 25°C om de chemische en biologische omstandigheden in de ondergrond niet te veel te veranderen, tenzij hier met een maatwerkvoorschrift van afgeweken wordt. Ook dient de energiebalans neutraal te zijn. Er zijn ca 3000 OBES systemen operationeel in Nederland.
 - Warmte opslag systemen, ook bekend als Hoge Temperatuur OBES (HTO): bij deze warmte-opslagsystemen wordt warmte (vanuit bijvoorbeeld geothermie, zonthermie of restwarmte uit industrie) gedurende de zomer gebruikt om grondwater op te warmen. In de winter wordt dit grondwater gebruikt voor verwarming op wijkniveau. Deze systemen kunnen derhalve niet ingezet worden voor koeling. De temperatuur van HTO systemen is in de range van 30°C-90°C onder huidige toepassingscondities in NL. Soms wordt binnen deze temperatuur range onderscheid gemaakt tussen Middelhoge en Hoge Temperatuur OBES (MTO en HTO). HTO systemen kunnen ook tot een diepte van 500 meter of dieper geplaatst worden, in het laatste geval zou rekening gehouden moeten worden met de Mijnbouwwetgeving. HTO verschilt in geothermie omdat door een externe warmtebron energie aan het systeem wordt toegevoegd, terwijl geothermie enkel energie (aardwarmte) uit de bodem onttrekt. Er zijn momenteel circa 5 HTO systemen operationeel of in de pilotfase in Nederland [51].
- Gesloten bodemenergiesystemen (GBES), vaak toegepast voor individuele woningen of gebouwen: een circulatiemedium wordt door een gesloten leidingsysteem in de ondergrond rondgepompt. Als het circulatiemedium koeler is dan de bodem, verwarmt het op. Is het medium warmer dan koelt deze af. Op deze manier kan warmte en koude uit de ondergrond onttrokken worden en middels een warmtepomp worden benut voor ruimteverwarming en -koeling. Er zijn meer dan 50.000 GBES operationeel.

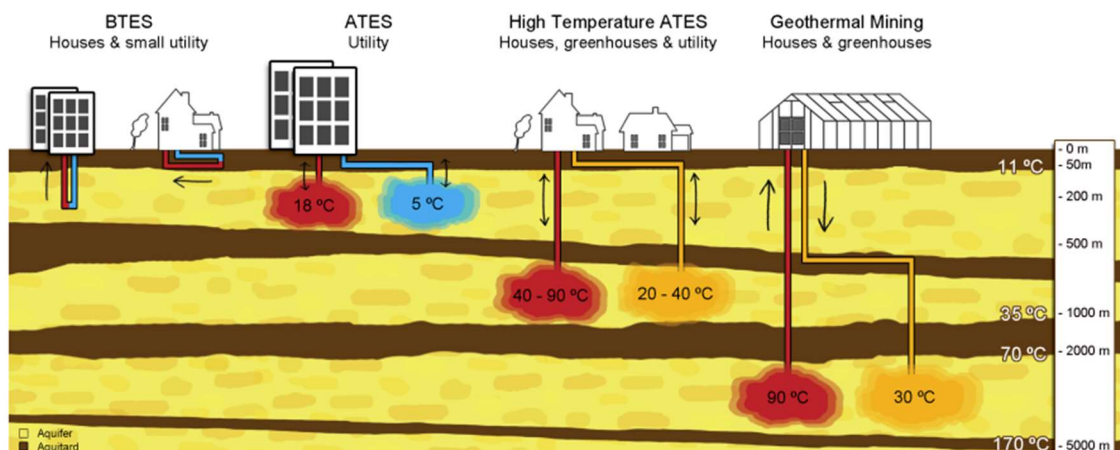
2.2 Wet- en regelgeving en VTH

Open bodemenergiesysteem (OBES)

De belangrijkste wet- en regelgeving ten aanzien van open bodemenergiesystemen is samengevat in tabel 2.1. Naast het huidige beleidskader wordt voor de volledigheid ook een doorkijk gegeven naar de relevante wet- en regelgeving ten aanzien van bodemenergiesystemen onder de Omgevingswet. Het juridisch kader blijft onder de Omgevingswet grotendeels gelijk, maar heeft op een paar kleine onderdelen nuance verschillen.

Het bevoegd gezag is (eind)verantwoordelijk voor VTH. Het toezicht wordt in veel gevallen gedelegeerd naar de Omgevingsdienst.

Afbeelding 2.1. Gesloten (links, toegepast op woningniveau) en Open (collectieve systemen), WKO (midden links), HT-ATES (midden rechts) bodemenergiesystemen en geothermie (rechts) [6]



Tabel 2.1. Overzicht relevante wetgeving (open) bodemenergiesystemen

Diepte van opslag	< 500 meter (indien dieper dan 500 m, zie tabel 3.1)
Wet- en regelgeving van toepassing	- Waterwet - Waterbesluit (AMvB Wijzigingsbesluit Bodemenergiesystemen) - Waterregeling - (mogelijk) Keur - In geval van aanwezige verontreiniging Wet bodembescherming - Provinciale Omgevingsverordening / Milieuvordering
Belangrijkste restricties	- Infiltratietemperatuur max 25°C (niet van toepassing op HTO) - Geen opwarming van de bodem (vergunningverlener kan netto opwarming toestaan bij HTO) - Zelf vergewissen of grondwaterverontreiniging aanwezig is - Beschermingszones voor grondwater voor drinkwatervoorziening - verplicht werken volgens protocollen, zoals mechanisch boren
Bevoegd gezag	Provincie
Procedure/doorlooptijd	~ 5 maanden
Vergunning	Watervergunning o.g.v. 6.4 Waterwet
Toezicht	Provincie, veelal gedelegeerd naar de Omgevingsdienst en ILT
Handhaving	Provincie en ILT
Omgevingswet	Onder de Omgevingswet is de aanleg en het gebruik van open bodemenergiesystemen een milieubelastende activiteit en geen wateractiviteit meer. Voor de aanleg en het gebruik van open bodemenergiesystemen is nog steeds een vergunning van de provincie nodig. Naast die vergunning gelden er algemene regels. Dit betekent dat de instructievoorschriften voor open systemen niet meer in de vergunning staan, maar in algemene rijksregels.

Over het algemeen zijn binnen grondwaterbeschermingsgebieden, waterwingebieden en boringvrije zones op basis van provinciale verordeningen BES niet toegestaan, of alleen onder voorwaarden. Toepassing van bodemenergiesystemen in bestaande grondwaterbeschermingsgebieden en boringvrije zones is door het Rijk in de Structuurvisie Ondergrond verboden. De voorwaarden waaronder BES wel toegepast mogen worden kunnen per provincie verschillen. In de praktijk zijn er echter geen voorbeelden waarbij provincies gebruik maken van deze mogelijkheid om BES onder voorwaarden toe te staan in aangewezen beschermingsgebieden en lagen die zijn gereserveerd voor de drinkwatervoorziening. De bescherming van aanvullende strategische voorraden in provinciale verordeningen moet overwegend nog plaatsvinden.

Voor HTO-systemen wordt vanuit het WINDOW / WarmingUP 5 onderzoek gewerkt aan een voorlopig afwegingskader met betrekking tot de vergunningverlening en stroomlijning van dat proces [zie 56].

Gesloten bodemenergiesysteem (GBES)

De belangrijkste wet- en regelgeving ten aanzien van gesloten bodemenergiesystemen is samengevat in tabel 2.2. Naast het huidige beleidskader wordt voor de volledigheid ook een doorkijk gegeven naar de relevante wet- en regelgeving ten aanzien van bodemenergiesystemen onder de Omgevingswet.

Tabel 2.2. Overzicht relevante wetgeving (gesloten) bodemenergiesystemen

Diepte van opslag	< 500 meter (indien dieper dan 500 m, zie tabel 3.1)
Wet- en regelgeving van toepassing	- Waterbesluit (AMvB Wijzigingsbesluit Bodemenergiesystemen) - Activiteitenbesluit milieubeheer (inrichtingen) - Besluit lozen buiten inrichtingen (niet-inrichtingen) - Besluit Bodemkwaliteit - (mogelijk) Keur ivm mogelijk grondwaterwinning tbd drinkwater
Belangrijkste restricties	GBES kan worden volstaan met een melding (algemene indieningsvereisten) Een omgevingsvergunning beperkte milieutoets (OBM) is nodig bij een gesloten bodemenergiesysteem met een bodemzijdig vermogen van: - 70 kW of meer, - minder dan 70 kW dat is gelegen binnen een interferentiegebied (invloedsgebied van nabijgelegen systemen). - Beschermingszones voor grondwater voor drinkwatervoorziening - Temperatuur circulatievloeistof min -5^o C en max 30^o C - Behoudt energiebalans minimaal elke 5 jaar, koude overschot is toegestaan - Zelf vergewissen of grondwaterverontreiniging aanwezig is - erkende werkzaamheid volgens Bbk,
Bevoegd gezag	Gemeente
Procedure/doorlooptijd	4 weken na melding
Vergunning	Nee, < 70kWh alleen een melding
Toezicht	Gemeente (delegatie omgevingsdienst) en ILT
Handhaving	Gemeente en ILT
Omgevingswet	De omgevingsvergunning beperkte milieutoets (OBM) vervalt onder de Omgevingswet. De aanleg en het gebruik van zowel open als gesloten bodemenergiesystemen is onder de Omgevingswet een aangewezen milieubelastende activiteit [54] Onder de Omgevingswet zijn de algemene regels voor gesloten systemen niet meer uitputtend bedoeld. Dit betekent dat de gemeente aanvullende of afwijkende regels kan stellen via maatwerk. Zo kan de gemeenten aanvullende regels stellen over het gebruik van bepaalde vloeistoffen in de systemen binnen grondwaterbeschermingsgebieden.

Ontwerpers, installateurs en beheerders van OBES en GBES dienen gecertificeerd en erkend te zijn en bij alle werkzaamheden aan BES de volgende richtlijnen te volgen:

- BRL 2100 en SIKB protocol 2101 'Mechanisch Boren' [9];
- BRL 11000 en SIKB protocol 11001 'Ondergronds deel installaties bodemenergie' [10] die zich richten op de milieuhygiënische kwaliteit van de BES om negatieve effecten te voorkomen;
- BRL 6000-21/00 'Ontwerpen, installeren en beheren van energiecentrales van bodemenergiesystemen' voor de waarborging dat de energiecentrale de benodigde besparing haalt.

T&H wordt onder uitgevoerd door de Inspectie voor Leefomgeving en Transport (ILT) en omgevingsdiensten in opdracht van de vergunningverlener.

Toezicht en handhaving

De ILT heeft knelpunten aangegeven die het toezicht en handhaving bij de aanleg van BES belemmeren. De informatie over tijdstip en locatie van de boring is vaak niet actueel en in sommige gevallen pas achteraf beschikbaar. Voornamelijk omdat boorbedrijven vier weken voorafgaand aan de aanleg melding moeten maken en de planning achteraf wijzigt. Daarnaast hebben omgevingsdiensten vaak geen tijd en geld om voldoende toezicht te kunnen houden [12].

De ILT heeft in 2021 gerapporteerd dat tussen 2016 en 2018 de naleving van deze vereisten bij gesloten systemen slecht was. Een project in 2019 toonde weliswaar aan dat er positieve ontwikkelingen waren. Maar toch werden bij circa 75% van de inspecties afwijkingen van normdocumenten geconstateerd. Bij 50% van de overtredingen betrof het werkzaamheden die (potentieel) tot een risico's voor grondwaterkwaliteit kan leiden. De ILT pleit er daarom voor dat omgevingsdiensten en gemeenten de mogelijkheden krijgen om hun rol in het toezicht op bodemenergiesystemen actiever in te vullen [12].

De ILT signaleert dat bedrijven die GBES aanleggen vaak de regels overtreden [12]. Volgens de ILT komen de meeste overtredingen door onverantwoord gedrag van boorploegen en niet door een gebrek aan kennis. Bij controles waarbij boorploegen niet in de gaten hadden dat de ILT-inspecteurs hen observeerden, zag de ILT meer en zwaardere overtredingen dan bij aangekondigde inspecties.

De ingestelde certificering en het werken met erkende bedrijven zou de kwaliteit en naleving van protocollen moeten verbeteren.

2.3 Risico's van bodemenergie op grondwater kwaliteit

Er is op dit moment een incompleet overzicht van de hoeveelheid GBES in Nederland en de hoeveelheid (milieu)incidenten. Hierdoor is het onbekend wat de precieze faalkansen en negatieve effecten van GBES zijn. De registratie van OBES is wel compleet.

Het risico is het product van kans en gevolg. Van de meeste van de onderstaande incidenten is de kans én het gevolg niet goed bekend en daarmee ook niet de omvang van het risico. Het risico op verontreiniging van grondwater wordt veroorzaakt door onder andere verontreiniging via het werkwater in de uitvoeringsfase, kortsluitstroming tussen verschillende watervoerende lagen (aquifers) door inadequate afdichting en lekkage van het systeem in de gebruiksfase. Na het gebruik vormen vergeten of niet goed afgedichte systemen een risico. Een overzicht van de mogelijke risico's is opgenomen in onderstaand kader. Opgemerkt wordt dat hierbij uitgegaan is van naleving van voorschriften en protocollen. Zoals in voorgaande paragraaf beschreven is, worden de regels echter vaak overtreden. Bij het slecht naleven van protocollen kunnen cumulatieve fouten leiden tot significant verhoogde lekstromen [16]. Als de grondwater kwaliteit van de ontvangende aquifer daardoor negatief wordt beïnvloed kan dat gevolgen hebben voor een eventuele drinkwater winning in die laag.

Overzicht potentiële risico's bodemenergiesystemen

Hieronder volgt een opsomming van potentiële oorzaken van grondwaterverontreiniging. Van de meest van onderstaande incidenten is de kans én het gevolg niet goed bekend en daarmee ook niet het risico.

Tabel 2.3. risico's en mitigerende maatregelen bodemenergiesystemen

risico	omschrijving	mitigerende maatregel en restrisico
aanlegfase		
lekkage werkwater / smeermiddelen	om te voorkomen dat schroefverbindingen van boorstangen vast komen te zitten worden (schadelijke)	er bestaan momenteel geen eisen aan smeermiddelen waardoor zeer kleine hoeveelheden schadelijke

	smeermiddelen gebruikt welke in het milieu terecht kunnen komen.	verontreiniging via het werkwater in de ondergrond terecht kunnen komen [10]. Er wordt door het SIKB onderzocht of dit aan de protocollen toegevoegd kan worden [55].
doorboring verontreinigde grond	bij het doorboren van verontreinigde grond kan de verontreiniging in het werkwater terecht komen.	de protocollen van BRL 2100 verplichten boorfirma's om extra voorzorgsmaatregelen toe te passen wanneer bodemverontreinigingen bekend zijn. Deze voorzorgsmaatregelen zijn voornamelijk voor de persoonlijke veiligheid van de boorploeg. Doordat bodemloket.nl niet altijd compleet is en boorfirma's de term 'gesaneerd' verkeerd interpreteren, bijvoorbeeld wanneer verontreinigingen met folie zijn afgedekt, worden deze voorzorgsmaatregelen niet altijd genomen [12]. Er wordt onderzocht of het bodemloket en basisregistratie ondergrond (BRO) uitgebreid en verbeterd kan worden [55].
productiefase		
kortsluitstroming	wanneer scheidende lagen (bijvoorbeeld kleilagen) worden doorboord, kan door het onderlinge drukverschil tussen boven en onderliggende aquifers een lekstroom ontstaan tussen deze twee lagen. Hierdoor kan menging van verschillende watertypen ontstaan (zoet/zout, verontreinigingen, nutriënten). De kortsluitstromingsroute ontstaat door inadequate aanvulling van het boorgat tijdens de aanleg of abandonnering van het systeem. De kortsluitstroming treedt op tijdens het gebruik van het systeem en/of daarna [14]. Dit speelt met name bij GBES, omdat het boorgat klein is. Voor GBES worden daarom de boorgaten volledig aangevuld met cement/bentoniet mengsels (grout).	in SIKB Protocol 2101 [9] ontbreekt het aan uitgangspunten met betrekking tot de samenstelling van grout [10,15]. Daardoor is er nog geen duidelijkheid over welke mengsels geschikt zijn als afdichtmiddel. In de eerstvolgende wijziging van de Regeling bodemkwaliteit zal toegevoegd worden dat de afdichting "krimpvrij" dient te zijn [55].
lekkage	het circulatiemedium bij GBES kan door schade of degradatie gaan lekken en in het grondwater terechtkomen en verontreiniging veroorzaken. De lekkans is niet bekend, maar de geschatte kans is één lekkage per 435 bodemlussen gebaseerd op de lekkans in het drinkwaterleidingnetwerk [14]. Deze lekkans is het grootst in het horizontale gedeelte van de leiding. Het circulatiemedium kan enkel uit water bestaan, maar om de effectiviteit te verhogen, kunnen ook additieven worden gebruikt. Hieronder vallen antivriesmiddel, viscositeitsverbeters en additieven tegen corrosie, biologische groei, slijtage en verstopping. De concentraties zijn erg laag, maar samenstelling is vaak niet bekend vanwege het bedrijfsgeheim, en kunnen zeer persistent en toxisch zijn.	momenteel worden geen eisen aan de additieven gesteld, hoewel enkele additieven wel verboden zijn [2]. Lekkages worden snel gedetecteerd omdat bij lekkage het systeem niet meer (goed) functioneert.
	Bij OBES kan schade aan de warmtewisselaar zorgen voor infiltratie van gebiedsvreemd water.	
vermenging, verspreiding en verdunning van grondwater	dit is alleen van toepassing bij OBES. Met name bij clusters en systemen met lange filterlengtes zullen verschillende grondwaterlagen met elkaar in vermenging raken [17]. Verontreinigingen kunnen op deze wijze weliswaar sterk verdund maar wel boven de normen voor drinkwater over een groter gebied uitgespreid worden. Theoretisch zou dit	

	kunnen leiden tot een snellere afname van de verontreiniging ten gevolge van verdunning en natuurlijke afbraak. Praktijkstudies laten deze effecten niet zien [2]. Eenzelfde effect kan theoretisch plaatsvinden bij GBES als gevolg van circulatie veroorzaakt door temperatuurverschillen. In de praktijk zijn deze effecten tot 30°C niet noemenswaardig [18].	
effecten temperatuur op chemische samenstelling	bij HTO systemen, welke in de huidige praktijk functioneren tot ca 450 meter diep en waar temperaturen tot 90°C verwacht kunnen worden, is in sommige gevallen mobilisatie van arseen, cesium, lithium, molybdeen en rubidium en versnelde reductie van ijzerhydroxiden te verwachten, mits deze metalen/sporenelementen zich ook in het sediment bevinden [19,20,21]. Mobilisatie van metalen en sporenelementen is ook reversibel, als het grondwater weer afkoelt hechten deze stoffen zich weer aan het sediment, waardoor deze effecten alleen in de hete zone rondom de hete bron te verwachten zijn. Daarnaast kan kalk gaan neerslaan door verminderde oplosbaarheid. Waar en in welke mate deze reacties plaatsvinden is sterk afhankelijk van de lokale geochemische condities.	om risico's te beperken nemen provincies in de omgevingsverordening op dat in bepaalde grondlagen geen verandering in temperatuur waargenomen mag worden [22];
effecten temperatuur op microbiologische	bij temperaturen tot 35°C is weinig verandering in samenstelling en diversiteit van bacteriën en microfauna te verwachten [21]. Bij temperaturen tussen de 30-40°C kunnen concentraties van groepen gaan veranderen. Temperaturen boven de 60°C kunnen leiden tot het verschuiven van soorten. Boven de 70-80°C is veelal geen activiteit door sterfte van populaties [23];	om risico's te beperken nemen provincies in de omgevingsverordening op dat in bepaalde grondlagen geen verandering in temperatuur waargenomen mag worden [22];
abandonnering		
achterlaten systeem	bij systemen die in onbruik zijn geraakt, of waar de eigenaar niet meer van weet, kunnen risico's ontstaan wanneer vloeistoffen nog in het systeem achter zijn gebleven en/of het systeem niet adequaat is afgewerkt. Zodat er kortsluitstroming ontstaat tussen verschillende lagen, inclusief het aardoppervlak.	Risico van toepassing op oude systemen. Huidige wetgeving schrijft voor dat putten leeggepompt dienen te worden en opgevuld worden met een ondoorlatend materiaal.

2.4 Adviezen vanuit literatuur

Vanuit de literatuur zijn diverse adviezen genoemd die de kwaliteit van de ondergrond kunnen waarborgen. Hierbij is de hoofdzaak om de (perceptie van de) pakkans bij overtredingen te vergroten door de mogelijkheid te geven aan omgevingsdiensten en gemeenten om actiever toezicht te houden [24]. Daarnaast is er noodzaak tot het verbeteren van de informatievoorziening door betere registratie van systemen en milieu incidenten. Veel adviezen zijn reeds in gang gezet of in de praktijk gebracht, maar nog niet in alle gevallen vastgelegd in wetgeving, regelingen, standaarden en/of protocollen.

De risico's van de bodemenergiesystemen op grondwater, met name ten behoeve van de drinkwatervoorziening, kunnen verder beperkt worden via verschillende sporen:

1 Inzetten op preventie om risico's tijdens uitvoering te reduceren:

- Het verplichten van boorbedrijven om locatie en tijd van de boring voor de toezichthouders inzichtelijk te maken, opdat beter toezicht gehouden kan worden [12, 52].
- Eisen stellen aan de samenstelling van cement/bentoniet mengsels gebruikt voor het afdichten van waterkerende lagen.
- Het verbieden van schadelijke smeermiddelen en het opnemen van milieuvriendelijke alternatieven in de protocollen [12].
- Het verbieden van schadelijke additieven als circulatiemedium en het opnemen van milieuvriendelijke alternatieven in de protocollen [2];
- Het vrijmaken van capaciteit voor toezicht en handhaving door bevoegd gezag.

- Preventie door ruimtelijke ordening en algemene wet- en regelgeving via functie scheiding:
 - Bij onvoldoende mogelijkheden tot preventie, instellen dieptebeperking boringen om doorboren scheidende lagen te voorkomen [12].
- 2 Monitoring en mitigatie restrisico: Goede monitoring in richten zodat de onwenselijke gebeurtenis snel wordt opgemerkt en zorgen dat mitigerende maatregelen beschikbaar zijn, mochten deze onwenselijke gebeurtenissen zich voordoen.

2.5 Kennisleemten

De specifieke kennisleemten voor BES zijn:

- Verwachting voor de hoeveelheid bodemenergiesystemen, het bijkomende bodemgebruik en cumulatieve risico's. Hierbij wordt opgemerkt dat het voor de effectiviteit van BES zelf ook belangrijk is dat er voldoende tussenruimte is, waardoor het cumulatieve effect mogelijk gering is;
- Gebrek aan kwantitatief inzicht in de fouten bij aanleg en faalkansen van individuele systemen om milieurisico's bij grootschalige toepassing van systemen te kunnen beoordelen (voornamelijk de frequentie van kortsluitstroming waarbij grondwater uit verschillende grondlagen met elkaar kunnen mengen);
- Mogelijkheden tot achteraf kunnen controleren en waarborgen van een deugdelijke afdichting. Bijvoorbeeld door het ontwikkelen van meettechnieken om lekstromen waar te kunnen nemen;
- Ontbreken van praktijk data/statistieken over lekkages bij GBES systemen;
- Weinig bekend over toepassing van sterk toxische additieven en de haalbaarheid om de toepassing hiervan te verbieden;
- Inzicht in risico's van verspreiding van verontreinigingen door clusters OBES en hoe hiermee om te gaan.

3 GEOTHERMIE

3.1 Introductie

Een geothermie systeem gebruikt twee of meerdere putten waarbij op een diepte van 500 m tot enkele kilometers onder het maaiveld warm formatiewater wordt opgepompt en via de tweede put geretourneerd wordt (doublet). In Nederland waren er in 2020 24 operationele systemen [26]. Hiervan opereert één systeem op een diepte van 750 meter onder maaiveld als lage temperatuur aardwarmte (LTA) [27]. De overige systemen werken op dieptes van ongeveer 1,5 tot 3 kilometer. Deze systemen worden vooral toegepast voor de glastuinbouw, maar in de toekomst wordt een toename in de gebouwde omgeving voorzien. De ambitie gepresenteerd in het Masterplan Aardwarmte in 2018 (opgesteld door onder meer het EBN) is dat er voor 2050 700 systemen aanwezig zullen zijn [3].

Omdat er op grote diepte wordt geopereerd is het water veel zouter (5-6x zeewater concentratie) dan in de eerste grondlagen onder maaiveld. Daarnaast kan het formatiewater zware metalen, ammonium, radioactiviteit, opgeloste gassen (zoals CH₄ en CO₂) en olie bevatten. Deze concentraties variëren behoorlijk in de ondergrond en zijn sterk afhankelijk van de diepte, geologische geschiedenis en type reservoir waaruit gewonnen wordt.

3.2 Wet- en regelgeving

De belangrijkste wet- en regelgeving ten aanzien van geothermie is samengevat in tabel 3.1. Naast het huidige beleidskader wordt voor de volledigheid ook een doorkijk gegeven naar de relevante wet- en regelgeving ten aanzien van geothermie onder de Omgevingswet. Geothermie wordt gereguleerd door de Mijnbouwwet. Een vergunning krachtens de Mijnbouwwet is namelijk vereist, indien de warmte op een diepte groter dan 500 meter wordt gewonnen. Daarnaast kunnen andere vergunningen nodig zijn, zoals een omgevingsvergunning op grond van de Wabo. De vier fases van geothermische projecten zijn weergegeven in tabel 3.2 [33]. Er wordt gewerkt aan de wijziging van de Mijnbouwwet ten behoeve van de Geothermie. De voorgestelde veranderingen met betrekking tot het vergunningproces zijn weergegeven in tabel 3.3.

Ook provincies stellen in verordeningen regels aan geothermie, waarin opgenomen is waar en onder welke voorwaarden geothermie toegepast mag worden. Naast de bestaande drinkwaterwinningen wijzen provincies Aanvullende Strategische Voorraden (ASV's) aan en formuleren daarvoor het beschermingsbeleid, waarbij veelal functiescheiding het uitgangspunt is.

Naleving van de wet- en regelgeving wordt gecontroleerd en gehandhaafd door het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM). De Nederlandse mijnbouwwetgeving maakt gebruik van doelstellende bepalingen waarmee het makkelijker is in te spelen op gebeurtenissen en ontwikkelingen. Daarmee ligt de verantwoordelijkheid voor naleving bij de vergunninghouder.

Het SodM heeft geconstateerd dat er een aantal open normen zonder duidelijke invulling zijn, terwijl deze invulling wel gewenst wordt. Om de geothermiesector verder te professionaliseren is een leidraad voor het ontwerp van geothermieputten met onder meer de best beschikbare technieken (BBT) opgesteld door onder meer Geothermie Nederland en Energiebeheer Nederland (EBN) [36]. Daarnaast wordt is gewerkt aan een wijziging van de Mijnbouwwet welke meer toegespitst is op de praktijk van de winning van aardwarmte en waarin de normen uit de industriestandaard putontwerp zijn opgenomen [34]. Gezien de ontwikkeling van de sector zullen regels en standaarden komende tijd waarschijnlijk verder voortschrijdend worden aangepast aan de stand van de techniek.

Tabel 3.1. Overzicht relevante wetgeving geothermie

Diepte van opsporing / winning	> 500 meter
Wet- en regelgeving van toepassing	uiteengezet in: - Mijnbouwwet - Mijnbouwbesluit - Mijnbouwregeling - Provinciale Omgevingsverordening / Milieuverordening specifiek per fase (zie tabel 3.2) van toepassing tot de inwerkingtreding van de gewijzigde Mijnbouwwet: - verkenning eventueel omgevingsvergunning en provinciale ontheffing - opsporen opsporingsvergunning en omgevingsvergunning - winning winningsvergunning, omgevingsvergunning, winningplan - sluiting sluitingsplan en een werkprogramma sluiting
Belangrijkste restricties	Beschermingszones voor grondwater voor de drinkwatervoorziening Geen beperkingen zoals voor ondiepe HTO
Bevoegd gezag	Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
Toezicht	De toezichthouder is Staatstoezicht op de Mijnen (SodM)
Handhaving	De handhaving ligt bij Staatstoezicht op de Mijnen (SodM)
Omgevingswet	In artikel 4.12, eerste lid, aanhef en onder a sub 1, Ow is het Rijk het bevoegd gezag met betrekking tot milieubelastende activiteiten met betrekking tot een mijnbouwwerk. Op grond van artikel 13.3 Ob, is de minister van EZK eveneens het bevoegd gezag voor handhaving- en uitvoeringstaken. Dit zal in de praktijk bij SodM worden belegd.

Tabel 3.2 Overzicht fases geothermische winning [33], van toepassing tot de inwerkingtreding van de gewijzigde Mijnbouwwet

onderdeel	opmerkingen
verkenning	Tijdens de verkenning wordt gekeken of uitvoering van geothermie toepasbaar is (technisch, economisch en veiligheid). Voor de start van deze fase dient het SodM ingelicht te worden en een jaar na uitvoering moet bij EZK de resultaten worden opgeleverd. TNO controleert en beheert de gegevens. Bij een volledige desktop-studie is dit niet nodig.
opsporen	Tijdens het opsporen wordt een boring uitgevoerd in het eerder gekozen gebied. Wanneer de resultaten van de boring overeenkomstig de verwachting uit het onderzoek van de verkenningfase zijn, kan de doublet geboord worden. Tijdens dit proces geven SodM, TNO-AGE, RVO, Technische commissie bodembeweging (Tcbb), decentrale overheden en de Mijraad advies aan het ministerie van Economische Zaken en Klimaat.
winning	Tijdens de winning is de bron operationeel. De uitvoerder moet van de toezichthouder (SodM) aantonen dat ze voldoet aan de zorgplicht en dat er alles aan gedaan wordt om schade te voorkomen.
sluiting	Afsluiten van de doublet door het aanbrengen van cementpluggen van tientallen meters en het terugbrengen van het maaiveld in oorspronkelijke staat

Tabel 3.3. Aanpassing vergunningstelsel geothermie - wijziging Mijnbouwwet

onderdeel	omschrijving
toewijzing zoekgebied	Beoordeling of er sprake is van een serieus plan, voldoende zicht is op adequate uitvoering en organisatie en financiering van het opsporen en winning (marktorderingsvergunning). Het opsporen en winnen van aardwarmte is pas met een startvergunning mogelijk welke binnen twee jaar aangevraagd dient te worden. De betrokken provincie(s), gemeente(n) en waterschap(pen) wordt om advies gevraagd.
startvergunning	De startvergunning wordt afgegeven voor aanvang van boren, testen en de eerste periode van winning. Deze drie fases zijn ondergebracht in één vergunning. De aanvraag wordt beoordeeld op technische capaciteiten, financiële mogelijkheden en of activiteiten op de beoogde locatie veilig plaats kunnen vinden. Op de aanvraag van een startvergunning is zoals de uniforme openbare voorbereidingsprocedure (afdeling 3.4 van de Algemene wet bestuursrecht) van toepassing. Naast een startvergunning is ook een omgevingsvergunning nodig voor het aanleggen van de boorgaten en de winningsinstallatie
vervolgvergunning	De vervolgvergunning wordt aangevraagd met het oog op definitieve vaststelling van het grootte van het winningsgebied en wordt bepaald onder welke voorwaarden en voor hoe lang de houder aardwarmte mag winnen in dat toegewezen gebied. Het gaat dan om de exploitatieduur, de hoeveelheden formatiewater die uit en in de ondergrond worden gepompt, de verwachte afkoeling en maximale injectiedruk en daarvan afgeleid de verwachte invloedssfeer. Wanneer er op grond van de eerste periode van winning of aan de hand van nieuwe inzichten, nadeligere effecten worden verwacht die eerder ten tijde van de startvergunning niet waren voorzien, zal ook voor de vervolgvergunning, net als bij de startvergunning de uniforme openbare voorbereidingsprocedure (afdeling 3.4 van de Algemene wet bestuursrecht) worden gehanteerd.

3.3 Risico's

In 2017 stelde het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) [35] dat de veiligheidscultuur in de sector geothermie nog zwak ontwikkeld is en het omgaan met mijnbouwrisico's met betrekking tot milieu niet in de genen zit van de sector. In september 2021 heeft het SodM aangegeven dat het verscherpt toezicht op de gehele sector los kan worden gelaten. De verbeteringen van enkele bedrijven en de ingezette trend qua professionalisering laten dit toe. Wel geeft het SodM aan dat de naleving van wet- en regelgeving nog niet op alle onderdelen op het gewenste niveau is [26].

In onderstaande tabel zijn de mogelijke risico's van geothermie weergegeven. Het risico is het product van kans en gevolg. Van de meeste van onderstaande incidenten is de kans én het gevolg niet goed bekend en daarmee ook niet het risico.

Bij het SodM ontbreken gegevens of er in Nederland werkelijk lekkages bij geothermie zijn opgetreden en wat de impact op het grondwater is geweest [38]. Wel is er een voorbeeld van een drinkwaterwinning (tot 40 m diep) boven een mijnbouwactiviteit (gaswinning bij gasvoorkomen Waalwijk-Noord - 2700 m diep), waar dit goed samengaat. Tot nu toe zijn de gasproductie en de drinkwaterwinning tegelijkertijd uitgevoerd zonder elkaar te beïnvloeden.

Het SodM heeft wel meermaals bij bestaande installaties problemen geconstateerd die op lekkage kunnen wijzen. Voornamelijk gebreken aan buizen ten gevolge van corrosie. In 2019 en 2020 is door SodM onderzoek uitgevoerd en zijn bij enkele controles gaten in buizen aangetroffen. Ook zijn er drie putten voor langere tijd stilgelegd vanwege waarschijnlijke lekkages [57]. Er zijn geen meldingen van vervuiling van grondwater tbv drinkwatervoorziening door geothermie. De kans op lekkage uit een productieput is laag vanwege de aanwezige onderdruk. Het SodM eist bij enkelwandige putten (zogenaamde 1e generatie putten) regelmatige putinspecties (elke 1-3 jaar). Tweede generatie putten volgens de nieuwe industriestandaard met dubbele wanden zijn speciaal gericht op het mitigeren van dit risico.

Overzicht potentiële risico's geothermie

Hieronder volgt een opsomming van potentiële oorzaken van grondwaterverontreiniging. Van de meest van onderstaande risico's is de kans én het gevolg niet goed bekend en daarmee ook niet de ernst van het risico.

Tabel 3.3. risico's en mitigerende maatregelen bodemenergiesystemen

risico	omschrijving	mitigerende maatregel en restrisico
Planfase		
Bescherming (toekomstige) drinkwatervoorraden	De verwachting is dat meer geothermiesystemen worden opgezet, echter niet alle toekomstige drinkwatervoorraden zijn nog officieel aangewezen en worden daarom niet als zodanig beschermd.	De aanwijzing van toekomstige grondwatergebieden loopt nog in een aantal provincies. Dit kan leiden tot een conflict in bodemgebruik [38]. Daarnaast zijn geothermie en drinkwater voor het nationale ruimtelijk beleid (STRONG) voor de ondergrond van nevenschikt belang, terwijl voor drinkwater in de Drinkwaterwet een zwaarwegend belang wordt toegekend. Hierdoor is volgens de Algemene Rekenkamer het uitgangspunt voor de bescherming van ondergrondse drinkwaterbronnen en toelaatbare risico's in het geothermiebeleid onduidelijk [38].
Aanlegfase		
Vermorsing en lekkages mijnbouw hulpstoffen en andere stoffen op maaiveld	Lekkage van formatiewater uit opslagbassins op maaiveld [37].	Wordt gemitigeerd door het aanleggen van een vloeistofdichte werkvloer. In de periode 2010-2019 zijn 16 incidenten naar voren gekomen bij de SodM waar lekkages en vermorsingen van zeer geringe hoeveelheden (spetters tot enkele m ³)[3]. Onbekend is of deze vermorsingen het aardoppervlak hebben bereikt
Optreden van een blow-out	Een blow-out is een ongecontroleerde uitstroom van gas en/of vloeistof uit de boorput. Doordat voor geothermie wordt geboord naar water, is de kans op overdruk kleiner dan wanneer er naar olie en gas wordt geboord.	Het gebruik van BOP (blow-out preventor) is verplicht in Nederland en mitigeert dit risico [3].
Kortsluiting	Kortsluitstroming van vloeistoffen en gasen als gevolg van het doorboren en onvoldoende afdichten van scheidende lagen.	Volumes van de lekkages ten gevolge van onvoldoende afgedichte scheidende lagen, zijn theoretisch gezien zeer gering [39].
Productiefase		
Waterkwaliteitsverandering door temperatuuruitstraling	Door een stijging in temperatuur in bovenliggende lagen kunnen evenwichten op een andere plek komen te liggen wat voor een afname of toename van stofconcentraties kan leiden. Daarnaast kunnen lokale temperatuurveranderingen leiden tot convectie [3]	Vooralsnog is deze warmteuitstraling enkel modelmatig onderzocht. KIRA praktijkonderzoek is in de opstartfase [3].
Put integriteit	Lekkage van onvoldoende integrale injecterende putten: door het sterk corrosieve karakter van het formatiewater kan de integriteit van de putwand in het geding raken.	Deze risico's bestaan vooral bij putten gerealiseerd voor 2016 en worden tegenwoordig gemitigeerd bij het volgen van de industriestandaard putontwerp [3]. Well Integrity Management System (WIMS) en Well Integrity Management Plan (WIMP) worden in de geactualiseerde Mijnbouwwet opgenomen.
Abandonnering		

Lekkage van vloeistoffen en/of gassen	Na abandonnering dient de put volgens internationale 'best practices' zijn verlaten (toepassen cementpluggen). Over tijd neemt de integriteit hiervan echter af waardoor lekkages kunnen ontstaan.	De kans op falen is moeilijk te kwantificeren, maar risico lijkt geen rol van betekenis te vormen. Gezien de hoge dichtheid van het formatiewater is de risico op het vrijkomen van formatiewater uit een geabandonneerde put zeer klein [40,41,42]. De aanpassing van de Mijnbouwwet zal nieuwe regelingen voor het verwijderen van mijnbouwwerken bevatten.
---------------------------------------	--	---

3.4 Adviezen vanuit literatuur

In de literatuur zijn verschillende adviezen te vinden over het beperken van de risico's op vervuiling van? grondwater bij geothermie. Veel van deze adviezen zijn reeds in gang gezet of in de praktijk gebracht, maar nog niet in alle gevallen vastgelegd in wetgeving, regelingen, standaarden en/of protocollen:

1 Preventie in ruimtelijke ordening en algemene wet- en regelgeving:

- Het zwaarwegende belang van drinkwatervoorziening ten opzichte van andere belangen zou uitgewerkt moeten worden in een afwegingskader om een effectieve bescherming van drinkwaterbronnen te waarborgen [38];
- Versterken en stroomlijnen van de regie op het beheer van de ondergrond en het wegnemen van tegenstrijdigheden over het belang van grondwater in de wet- en regelgeving [38];
- Verbeteren vergunningverlening, toezicht en handhaving (VTH) [25], waarbij opgemerkt wordt dat dit advies is uitgebracht in 2020, maar een jaar later door het SodM is geconstateerd dat het verscherpt toezicht op de gehele sector los kan worden gelaten ;
- Toevoegen van geothermie aan de standaarden van de praktijkstandaard voor olie- en gaswinning (NOGEPA Industriestandaard 41) en aan de richtlijnen voor ondiepe boringen (BRL 2100) ter voorkoming van de verspreiding van verontreinigingen ten gevolge van doorboring [3].
- Verbeteren van de vergunningverlening door specifiek stil te staan bij de risico's voor grond- en drinkwater door het formaliseren van het adviesrecht van provincies [38]. Dit is reeds opgenomen in de geactualiseerde Mijnbouwwet.
- Creëren van meer samenhang in de wetgeving, uitwerking van de preventieladder voor drinkwater (voorkomen van ontstaan van verontreinigingen, voorkomen dat verontreinigingen in het milieu terechtkomen, voorkomen dat verontreinigingen drinkwaterbronnen bereiken, monitoren van de omgeving op verontreinigingen, en waarborgen dat drinkwater na verontreiniging extra wordt gezuiverd) in het geothermiebeleid en wettelijke eisen aan de kwaliteit van boorputten [38]. De eisen aan de kwaliteit van boorputten zijn opgenomen in de geactualiseerde Mijnbouwregelgeving.
- Actief betrekken van decentrale overheden bij de advisering en afstemmen over de voorwaarden van de vergunningverlening [38]. Decentrale overheden hebben adviesrecht bij de vergunningverlening voor geothermie onder de Mijnbouwwet, zowel onder de huidige mijnbouwregelgeving als toekomstige regelgeving.

2 Inzetten op voorzorgsmaatregelen om risico's tijdens uitvoering te reduceren:

- Onderzoek naar effectiviteit van cement als isolatiemiddel van watervoerende pakketten voor de eeuwigheid. Lekkage van vloeistoffen uit Nederlandse geothermische reservoirs lijkt na abandonneren geen risico van betekenis te vormen. [3].

Monitoring en mitigatie: als het mis gaat, moet het mogelijk zijn zo snel mogelijk in te grijpen. Daarnaast geeft monitoring de mogelijkheid tot co-existentie met andere ondergrond belangen.

Daarnaast wordt geadviseerd veldverificaties van modelstudies uit te voeren naar de temperatuureffecten op microbiologische en hydrogeochemische processen [3]. Onderzoek laat zien dat de theoretische thermisch gedreven stromingen veelal beperkt blijven tot 100 meter van het putsysteem en geochemische en microbiologische veranderingen theoretisch tot enkele tientallen meters [53].

3.5 Kennisleemten

Specifieke leemtes voor de geothermie:

- Integriteit van afdichting van doorboorde kleilagen met cement in plaats van bentoniet en mogelijkheden tot achteraf kunnen controleren en waarborgen van een deugdelijke afdichting.
- Gedrag en verspreiding van formatie water in ondiepe aquifers bij lekkage uit een injectieput (momenteel wordt dit uitgezocht binnen WarmingUP [43]).
- Effecten van opwarming op microbiologische en hydrogeochemische processen in grondwater nabij de put [3, 53], momenteel wordt hiervoor onderzoek uitgevoerd door KIRA.
- De lange termijn integriteit en risico's van putconstructie onder huidige industriestandaard;
- De lange termijn integriteit en risico's van geabandonneerde boorgaten; welk materiaal kan het beste worden gebruikt voor het vullen van het boorgat?
- Nieuwe (goedkopere) technieken voor het detecteren van lekkage. Bijvoorbeeld gestoeld op distributed temperature sensing (DTS) , welk onderzocht wordt in het KIRA project (inclusief veldonderzoek bij het geothermieproject Trias Westland) of elektromagnetisme (EM) inductie.

4 CHEMISCHE EN MECHANISCHE OPSLAG

4.1 Introductie

De Nederlandse ondergrond is geschikt en biedt mogelijkheden om energie op te slaan. Momenteel wordt aardgas opgeslagen in zoutcavernes en gasvelden. Daarnaast zijn er plannen om waterstof (chemisch) en perslucht (mechanisch) op te gaan slaan. Ondergrondse energieopslag is noodzakelijk om schommelingen in de energievraag op te kunnen vangen en om grote afhankelijkheid van het buitenland te voorkomen.

Bij energieopslag wordt een energiedrager, zoals aardgas, waterstof of perslucht in ondergrondse reservoirs opgeslagen. Oude gasvelden en zoutcavernes kunnen hiervoor (mogelijk) worden gebruikt. Deze zoutcavernes en gasvelden bevinden zich over het algemeen op een diepte van rond de 700 tot 3500 meter onder maaiveld. De opslag van aardgas zal volgens het TNO/EBN onderzoek [44] in 2030 nog een belangrijk onderdeel van het energiesysteem zijn. Waterstof is belangrijk voor nationale leveringszekerheid. Afhankelijk van de ontwikkeling van waterstofopslag zullen er tussen de 0 en 6 gasvelden en tussen de 10 en 65 zoutcavernes nodig zijn voor waterstofopslag in 2050. Perslucht (alleen zoutcavernes) is mogelijk interessant voor regionale opslag.

In Zuid-Limburg wordt de mogelijkheid van een water batterij onderzocht, hierbij wordt water uit de ondergrond omhoog gepompt of stroomt juist naar beneden om stroom te genereren.

4.2 Wet- en regelgeving

In Nederland worden al sinds enkele decennia stoffen in de ondergrond opgeslagen. Hierbij gaat het om zeven locaties voor de opslag van aardgas, stikstof en gasolie (diesel). Opslag van andere stoffen zoals waterstof vindt nog niet plaats in Nederland. Om een stof ondergronds te mogen opslaan is een goedgekeurd opslagplan nodig. SodM adviseert de minister van Economische Zaken en Klimaat of een ingediend opslagplan voldoet aan de in de Mijnbouwwet gestelde eisen. Werkzaamheden dienen te voldoen aan de Mijnbouwwet, SodM houdt toezicht op de veiligheid van ondergrondse opslagen.

4.3 Risico's en kennisleemten

TNO en Deltares voeren gezamenlijk onderzoek uit naar de (lange-termijn) effecten van uitgedruceerde gasvelden als onderdeel van het KEM programma [45]. Er wordt onder meer gekeken naar put integriteit en hoe om te gaan met dreigings- en risico-analyses. Halverwege 2022 worden de resultaten verwacht. Andere (inter-)nationale onderzoeksprogrammas zijn onder andere LSES, HyStorPor, HyStoreReact en HyPreUs, waarbij o.a. door TNO onderzoek wordt gedaan naar de risico's van het toepassen van ondergrondse waterstofopslag.

5 ONDERGRONDS RUIMTEBESLAG

5.1 Ruimtebeslag

Tabel 5.1 toont het ondergronds ruimtebeslag in de ondergrond met betrekking tot de energietransitie. Wetende dat drinkwaterbedrijven het grondwater winnen op een diepte variërend van circa 50 tot meer dan 200 meter [46], kunnen met name de bodemsystemen conflicteren met de drinkwaterbronnen. Diepere systemen kunnen met de drinkwatervoorziening interfereren wanneer lekstromen ontstaan. Verder is uitgesloten dat zogenaamde mijnbouwactiviteiten, waaronder geothermie plaatsvinden in waterwingebieden, grondwaterbeschermingsgebieden en boringvrije zones rondom bestaande grondwaterwinningen voor de drinkwatervoorziening [32]. STRONG geeft de mogelijkheid om schuin te boren naar onder een beschermingsgebied, mits er geen gevolgen zijn voor de kwaliteit van het grondwater.

Tabel 5.1. Bodemgebruik voor verschillende (energie)systemen (bronnen zijn in de linker kolom vermeld)

Type energie in ondergrond	Diepterange [m-mv]	Huidige systemen en totale capaciteit	Verwachte systemen en totale capaciteit 2050	Type locaties
Bodemenergiesystemen (OBES, GBES, HTO) [43,45,47]	HTO: 50-500 m OBES: 50-250 m GBES: 150-300 m	ca. 55.000 bodemenergiesystemen in Nederland in 2021, 0,1 - 3,5 PJ per jaar; ruimtebeslag niet bekend.	125-170 PJ per jaar (realistisch potentieel 300 PJ per jaar), 100-200 warmte opslag zoals HTO	dichtbij warmtevragers, dus in bebouwd gebied en bij landbouw en warmtenetten
Geothermie [35,44,45,46]	Van 500 tot 4000 m diepte ¹	24 locaties (5,6 PJ). Voornamelijk glastuinbouw	ca. 700 systemen. 55-90 PJ (max 100 PJ) grote toename verwacht in gebouwde omgeving	landbouw, collectieve verwarming/stadswarmte en industrie.
CH ₄ /H ₂ /perslucht opslag [43,46]	zoutcavernes en gasvelden op 700-3500 m	naast de huidige gasopslag is er geen sprake van ondergrondse energieopslag (H ₂ , perslucht) in 2021	tijdelijke capaciteitsopslag aardgas en stikstof: 130 PJ Waterstof: 1,3-32,9 TWh (=0,43-11 mjd m3) Waterstof geschat technisch werkvolume 119 mjd m3 in gasvelden cavernes: 43 TWh waterstof of 0,58 TWh perslucht voor elektriciteit Verwachting gebruik van zes tot zeven locaties H ₂	uitgeproduceerde gasvelden zoutcavernes

5.2 Praktijkvoorbeelden

Via ruimtelijke ordening kan gestuurd worden op bescherming van het grondwater. Hierbij is het zoeken naar een balans tussen benutting en bescherming van de ondergrond.

In de planMER voor de Aanvullende Strategische Voorraden van provincie Gelderland [49] is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd naar de overlap van de gedefinieerde grondwaterbouwstenen en bodemenergie:

- De overlap tussen de gebieden met ontwikkelpotentie voor geothermie en de grondwaterbouwstenen is kleiner dan 50 %. Dit betekent dat binnen alle grondwaterbouwstenen in principe ruimte is om bij concrete

¹ Ultra Diepe Geothermie, dieper dan 4000 meter, wordt momenteel verkend in het programma UDG van EBN.

initiatieven met de voorgestane adaptieve planning te schuiven of begrenzingsen aan te passen, waardoor er een ruimtelijk spanningsveld tussen deze beide functies is.

- De toepassing van OBES en GBES is mogelijk boven afsluitende kleilagen als grondwaterbouwstenen onder die betreffende kleilagen zijn aangewezen, zodat er scheiding van functies is. Bij de overige bouwstenen is sprake van overlap. Het verschil is dat GBES relatief weinig ruimte vragen.

In Veenendaal [50] is een verkenning uitgevoerd naar de mogelijke combinatie van drinkwaterwinning en bodemenergie binnen de bebouwde kom van de gemeente. Binnen de huidige boringsvrije zone kan slechts 20 procent van de warmtevraag worden ingevuld door bodemenergiesystemen. Na vervanging van een ondiepe drinkwaterwininput door een diepe kan de boringsvrije zone verdiept kan worden zonder extra risico voor de drinkwaterwinning. Het uitgangspunt van functiescheiding tussen drinkwater en bodemenergie is hierbij het uitgangpunt gebleven. Hierdoor stijgt de potentie voor bodemenergiesystemen van 20 naar 70 % van de warmtevraag. Overigens wordt 100 % van de warmtevraag niet nodig geacht vanwege de alternatieven voor duurzame warmte.

In Zwolle [44] heeft de provincie de begrenzing van de boringsvrije zone Sallands diep bijgesteld op grond van hydrologische data en de gewenste ontwikkelruimte voor energie uit de ondergrond. Het voornemen is om dat voor de andere delen van de begrenzing ook opnieuw te bekijken.

5.3 Kennisleemtes

Er zijn onderzoeken gedaan naar potentie van verschillende energiebronnen, maar geen onderzoek naar impact van de uitvoering van deze energietransitieplannen op het bodemgebruik en de precieze spanning op het grondwater en drinkwatervoorziening;

Daarnaast zijn individuele kaarten, vaak op landelijk niveau, beschikbaar met potentie van geothermische, BES, chemische en mechanische energie opslag locaties. De potentiëkaarten kunnen gecombineerd worden met de boringsvrije zones en drinkwaterwingebieden (verticaal en horizontaal) om inzicht te krijgen in mogelijke risico gebieden. Beperking hierbij is dat de potentiële toepassing van geothermische, BES en energie opslag bepaald wordt echter bepaald door de warmtevraag. Provincie Utrecht en Gelderland werken momenteel aan een verbeterde regionale geothermie potentie kaart geïntegreerd met belemmeringen zoals boringsvrije zones en drinkwaterwingebieden.

6 REFERENTIES

- 1 RIVM (2015), Scenario's drinkwatervraag 2015-2040 en beschikbaarheid bronnen. Verkenning grondwatervoorraden voor drinkwater. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2015-0068.pdf>
- 2 Stowa (2021), Deltafact kennisimpuls waterkwaliteit: Effecten van bodemenergiesystemen op de grondwaterkwaliteit
- 3 Stowa (2020), Deltafact kennisimpuls waterkwaliteit: Mogelijke lange-termijn effecten van grootschalige geothermie op grondwaterkwaliteit
- 4 Nationaal Warmtepomp Trendrapport 2021 (duurzaamverwarmd.nl/trendrapport)
- 5 Naber, N., et al. (2016), Een klimaatneutrale warmtevoorziening voor de gebouwde omgeving – update 2016. Delft, CE-Delft. 16.3I28.68. <https://www.ce.nl/publicaties/download/2166>
- 6 M. Bloemendal (2018), The hidden side of cities, <https://doi.org/10.4233/uuid:0c6bcdac-6bf7-46c3-a4d3-53119c1a8606/>
- 7 Ministerie van IenW (bezocht: 16 december 2021), Wet- en Regelgeving bodemenergie, <https://www.bodemplus.nl/onderwerpen/wet-regelgeving/bodemenergie/>
- 8 SIKB, vergunningverlening OBES, <https://www.sikb.nl/bodembeheer/toezicht-en-beoordelen/bum-bodemenergie/bum-bodemenergie-bum-be-1>
- 9 SIKB (2018), BRL 2100 en protocol 2101 (Mechanisch Boren). <https://www.sikb.nl/bodembeheer/richtlijnen/brl-sikb-2100>
- 10 SIKB (2014), BRL 11000 en protocol 11001 (Ondergronds deel installaties bodemenergie). <https://www.sikb.nl/bodembeheer/richtlijnen/brl-sikb-11000>
- 11 IPLO (bezocht: 16 december 2021) Bodemenergie: dit verandert er <https://iplo.nl/thema/bodem/regelgeving/omgevingswet/verandert/bodemenergie-verandert/>
- 12 Inspectie Leefomgeving en Transport (2021), Signaalrapportage - Risico's bij de aanleg van gesloten bodemenergiesystemen
- 13 Ministerie Infrastructuur en Waterstaat (2018). Kamerbrief over effecten van handhaving ILT bij bodemenergiesystemen. ILT-2019/3440
- 14 Inspectie Leefomgeving en Transport (2018). Bedrijven nemen onaanvaardbare risico's bij aanleg gesloten bodemenergiesystemen. Nieuwsbericht , 30-05-2018 <https://www.ilent.nl/actueel/nieuws/2018/05/30/index>
- 15 TNO (2021), Grondwaterkwaliteitsrisico's van bodemenergiesystemen door doorboren van kleilagen in de Brabantse situatie, TNO 2021 R11454
- 16 KWR, IF Technology (2013). Effecten en risico's van gesloten bodemenergiesystemen. <https://edepot.wur.nl/396258>
- 17 Bonte, M., Stuyfzand, P. J., Van Den Berg, G. A., & Hijnen, W. A. M. (2011b). Effects of aquifer thermal energy storage on groundwater quality and the consequences for drinking water production: A case study from the Netherlands. *Water Science and Technology*, 63(9), 1922–1931. <https://doi.org/10.2166/wst.2011.189>
- 18 MMB (2012). Meert met bodemenergie: Rapport 6 – Hogetemperatuuropslag. Bioclear, Deltares, IF Technology & Wageningen Universiteit. <https://soilpedia.nl/Bikiviki%20documenten/Meer%20met%20Bodemenergie/>
- 19 Bonte, M., van Breukelen, B. M., & Stuyfzand, P. J. (2013). Temperature-induced impacts on groundwater quality and arsenic mobility in anoxic aquifer sediments used for both drinking water and shallow geothermal energy production. *Water Research*, 47(14), 5088–5100. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.05.049>
- 20 Bonte, M., Stuyfzand, P. J., & Breukelen, B. M. V. (2014). Reactive transport modeling of thermal column experiments to investigate the impacts of aquifer thermal energy storage on groundwater quality. *Environmental Science and Technology*, 48(20), 12099–12107. <https://doi.org/10.1021/es502477m>
- 21 KWR (2019). Prestaties en effecten van ondergrondse warmteopslag. Een verkenning voor het P2X project. <https://library.kwrwater.nl/publication/60827901/>
- 22 Provincie Drenthe (2021), Temperatuur Opslag <https://www.provincie.drenthe.nl/bodemenergie/bodemenergiesystemen/temperatuur-opslag/>
- 23 KWR (2020) Effecten van hoge temperatuur warmteopslag op grondwaterkwaliteit, KWR 2020.147
- 24 Graaf, A.d., Bloemendal, M., Schans, M.v.d., (2021) Aanvullen van boorgaten voor gesloten bodemenergiesystemen: Verkenning van en voorstellen tot verbetering van de kwaliteitsborging, KWR 2021.004, KWR, Nieuwegein. <https://library.kwrwater.nl/publication/61812832/>

- 25 Berenschot en Arcadis (2020), De organisatie en uitvoering van de VTH-taken op het gebied van waterkwaliteit
- 26 SodM (2021), Evaluatie aanbevelingen Staat van de Sector Geothermie
- 27 Geothermie Nederland, Lage Temperatuur Aardwarmte Zevenbergen, <https://geothermie.nl/index.php/nl/geothermie-aardwarmte/geothermie-in-nederland/projectoverzicht/231-greenbrothers-zevenbergen> (bezocht 7 januari 2022)
- 28 Rijksoverheid (2021) Mijnbouwwet, <https://wetten.overheid.nl/BWBR0014168/2021-07-01>
- 29 Rijksoverheid (2017) Mijnbouwbesluit, <https://wetten.overheid.nl/BWBR0014394/2017-07-01>
- 30 Rijksoverheid (2021) Mijnbouwregeling, <https://wetten.overheid.nl/BWBR0014468/2021-07-01>
- 31 Rijksoverheid (2021) Besluit algemene regels milieu mijnbouw, <https://wetten.overheid.nl/BWBR0023771/2021-07-01>
- 32 Rijksoverheid (2018), structuurvisie ondergrond, <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2018/06/11/structuurvisie-ondergrond>
- 33 EBN (bezocht: 16 december 2021) <https://hoewerkaardwarmte.nl/>
- 34 Tweede Kamer, Wijziging van de Mijnbouwwet (aanpassing van het vergunningsstelsel voor opsporen en winnen van aardwarmte) <https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/wetsvoorstellen/detail?id=2020Z14083&dossier=35531>
- 35 SodM (2017), Staat van de Sector Geothermie
- 36 Geothermie Nederland (2021) Industriestandaard Duurzaam Putontwerp voor aardwarmte
- 37 Hartog, N. & Cirkel D.G. (2015) Geothermie en HTO: Evaluatie van de risico's voor grondwaterkwaliteit. KWR 2015.037, KWR Nieuwegein
- 38 Algemene Rekenkamer (2021) Bescherming ondergrondse drinkwaterbronnen
- 39 Casasso, A., Ferrantello, N., Pescarmona, S., Bianco, C., & Sethi, R. (2020). Can Borehole Heat Exchangers Trigger Cross-Contamination between Aquifers? Water, 12(4), 1174. <https://doi.org/10.3390/w12041174>
- 40 Benedictus, T. et al., 2009. Well Abandonment: Long-term integrity for CO2 storage, TNO-034-UT2009-01427
- 41 Celia, M.A., Bachu, S., Nordbotten, J.M., Kavetski, D., Gasda, S.E., 2005. Modeling Critical Leakage Pathways in a Risk Assessment Framework: Representation of Abandoned Wells Paper presented at Fourth Annual Conference on Carbon Capture and Sequestration DOE/NETL
- 42 Cirkel, D.G. (2014) Lange termijn integriteit en monitoring van verlaten diepe putten. BTO 2014.017 KWR, Nieuwegein
- 43 WarmingUP, <https://www.warmingup.info/thema/5/ondergrondse-warmteopslag>
- 44 TNO en EBN (2021), Ondergrondse Energieopslag in Nederland 2030 – 2050 (I): Technische evaluatie van vraag en aanbod, TNO2021 R11125
- 45 KEM programma, <https://kemprogramma.nl/>
- 46 Ministerie van IenW en EZK (augustus 2018). Infoblad Grondwaterwinning
- 47 ECOFYS (2015), Verkenning ondergrondse ruimtevrage voor energie
- 48 Ministerie van IenW (2018). Infoblad CO₂-opslag
- 49 Provincie Gelderland, Tauw (2021), planMER ASV
- 50 H2O waternetwerk (2021) Bodemenergie en een veilige drinkwaterwinning in de stedelijke ondergrond
- 51 Heatstore (2019), State of the art HT-ATES in the Netherlands [https://www.heatstore.eu/documents/HEATSTORE_D1.1_Appendix_I_final_16-04-2019\(002\).pdf](https://www.heatstore.eu/documents/HEATSTORE_D1.1_Appendix_I_final_16-04-2019(002).pdf)
- 52 KRW (2021), Aanvullen van boorgaten voor gesloten bodemenergiesystemen: Verkenning van en voorstellen tot verbetering van de kwaliteitsborging
- 53 TNO (2021), Rapportage milieuhygiënische risico's thermische vervuiling nabij geothermieputten, AGE 21-10.017
- 54 Informatiepunt Leefomgeving (bezocht: 27 januari 2022) <https://iplo.nl/regelgeving/regels-voor-activiteiten/milieubelastende-activiteiten-hoofdstuk-3-bal/activiteiten/bodemenergiesysteem/>
- 55 Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2021) Reactie op het signaalrapportage over 'risico's bij de aanleg van gesloten bodemenergiesystemen'
- 56 WarmingUP (2021), Voorlopig afwegingskader voor vergunningverlening HTO
- 57 Staatstoezicht op de Mijnen (2020, Inspectie putintegriteit geothermie 2020

COLOFON

Auteurs:

- G.H. Gerritsen (Witteveen+Bos)
- I.H. Phernambuqc (Witteveen+Bos)
- G.C.M. Wiersma (Witteveen+Bos)
- H.J. Mondeel (Witteveen+Bos)
- Y. A'Campo (Witteveen+Bos)
- T. Nederstigt (Witteveen+Bos)
- D. Rits (Witteveen+Bos)
- J. Tuit (Witteveen+Bos)

Klankbordgroep:

- M. Bloemendal (KWR)
- R. Eijsink (VEWIN)
- J. Hoekstra (Ministerie EZK)
- C. de Kruijk (Ministerie EZK)
- R. Nap (Rijkswaterstaat)
- A. Potze (EBN)
- P. Vlierhuis (Ministerie I&W)

8 februari 2022