



Bedrijfstakonderzoek
BTO 2024.006 | Februari 2024

Watersysteemmaatregelen voor het vergroten van de waterbeschikbaarheid:

**een verkenning voor casus
Roosendaal**

Colofon

Watersysteemmaatregelen voor het vergroten van de waterbeschikbaarheid: een verkenning voor casus Roosendaal

BTO 2024.006 | Februari 2024

Dit onderzoek is onderdeel van het thema-overkoepelende project Waterbeschikbaarheid en droogte lange termijn binnen het collectieve Bedrijfstakonderzoek van KWR, de waterbedrijven en Vewin.

Opdrachtnummer

402045/246

Projectmanager

Martin van der Schans

Opdrachtgever

BTO - Thematisch onderzoek - Themaoverstijgend

Auteurs

Arnaut van Loon, Esther Brakkee en Marjolein van Huijgevoort

Kwaliteitsborger

Ruud Bartholomeus

Verzonden naar

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten, het is openbaar.

Keywords

maatregelen waterbeschikbaarheid, voorraadvorming, Water en bodem sturend, infiltreren, landgebruik, bodembeheer

Jaar van publicatie
2024

Meer informatie

dr. ir. Arnaut van Loon
T +31 30 606 9550
E Arnaut.van.Loon@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl

KWR

Februari 2024©

Alle rechten voorbehouden aan KWR. Niets uit deze uitgave mag - zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van KWR - worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier.

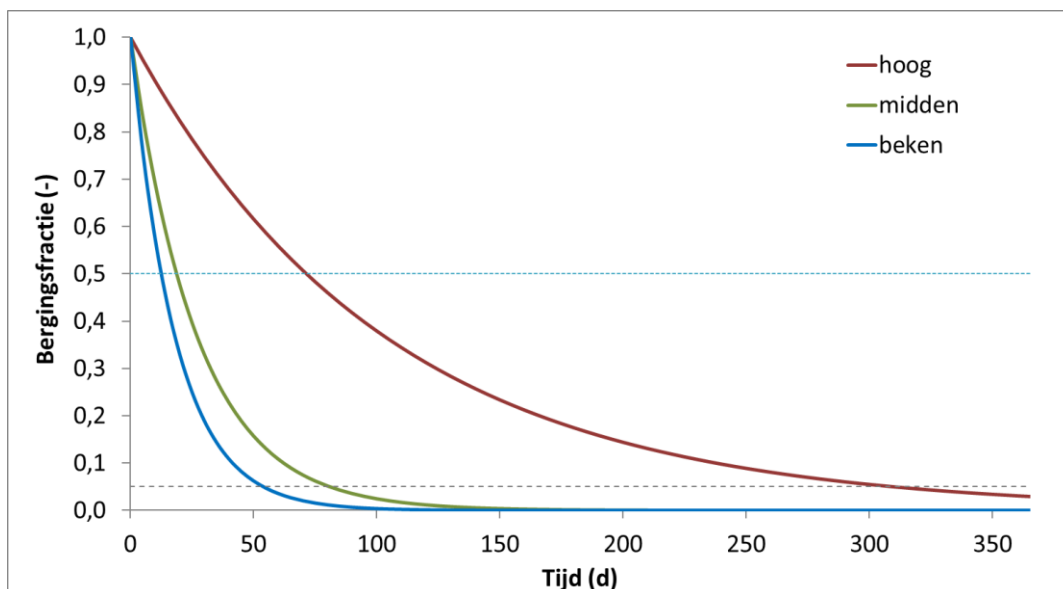
Managementsamenvatting

Zoetwatermaatregelen verkend voor verdere uitwerking van “Water en bodem sturend”

Auteurs Arnaut van Loon, Esther Brakkee en Marjolein van Huijgevoort.

Als gevolg van klimaatverandering en bevolkingsgroei is de beschikbaarheid van voldoende water voor de drinkwatervoorziening niet meer vanzelfsprekend in Nederland. Winbare volumes van grondwater staan in toenemende mate ter discussie omdat ze omgevingseffecten veroorzaken door verlaging van de grondwaterstand of afname van kwel. Verschillende maatregelen worden overwogen om de waterbeschikbaarheid te vergroten, zoals sloten dempen om water vast te houden en wateroverschotten actief te infiltreren. Verdere uitwerking en besluitvorming zijn nodig om gebieden zo in te richten dat grondwaterwinningen duurzaam zijn ingepast.

Aan de hand van de casus Roosendaal (Brabant Water) is met indicatieve berekeningen de potentie van een aantal maatregeltypen verkend. Voorraadvorming van grondwater is vooral effectief op hoger gelegen, droge gebieden met een trage response, o.a. door grote drainageafstanden. Infiltratie van oppervlaktewater en actief landschapsbeheer om verdamping te verminderen komen in aanmerking, maar zijn niet zonder meer toepasbaar vanwege ongewenste effecten op waterkwaliteit en omgeving. Het dichten van greppels en sloten is een effectieve maatregel om water op gebiedsniveau vast te houden. Deze maatregel wint aan effectiviteit als het landbouwkundig gebruik wordt omgevormd tot emissiearme en nat-tolerante vormen. Samenwerken met agrariërs aan duurzaam bodembeheer draagt indirect bij aan de bewustwording onder agrariërs over hun bijdrage aan de waterbeschikbaarheid.



Kenmerkend uitputtingsverloop, uitgedrukt in bergingsfractie, van een instantane aanvulling van de grondwateraanvoorraad in het freatisch pakket in drie deelgebieden van de casus Roosendaal. De hoge en droge zandgronden van de Rucphense bossen lenen zich voor seizoensopslag vanwege de grote drainageafstanden. De gedraineerde middenzone en het beekdal verliezen relatief snel water naar het oppervlaktewatersysteem en zijn met de huidige inrichting niet geschikt voor seizoensopslag.

Belang: Uitwerking “Water en bodem sturend” voor de drinkwaterfunctie

In de kamerbrief “Water en Bodem sturend” van 25 november 2022 legt het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat een aantal structurerende keuzes vast voor het borgen van de waterbeschikbaarheid voor drinkwaterproductie en andere functies. Deze structurerende keuzes hebben verdere uitwerking en besluitvorming nodig voor de drinkwaterfunctie.

Door de potentie van verschillende maatregeltypen in beeld te brengen, kunnen drinkwaterbedrijven hun visie en inzet bepalen.

Aanpak: Verkenning van de potentie van drie maatregeltypen

Om de gevoeligheid van het grondwatersysteem voor verschillende typen maatregelen in beeld te brengen zijn indicatieve berekeningen uitgevoerd

aan de hand van de casus Roosendaal (Brabant Water). Gekeken is naar de potentie van drie maatregeltypen: actieve infiltratie, aanpassen van het landgebruik en bewust bodembeheer. Het ging hier nadrukkelijk niet om een scenario- of impactanalyse.

Resultaten: “Water en bodem sturend”: ingrijpend en complex

Voorraadvorming van grondwater is vooral effectief op hoger gelegen, droge gebieden met minder intensieve ontwatering en grote drainageafstanden. Infiltratie van oppervlaktewater staat hiervoor in toenemende belangstelling, maar het is nog onvoldoende duidelijk onder welke voorwaarden een negatieve invloed op de grondwaterkwaliteit te voorkomen is.

Actief landschapsbeheer om de verdamping te verminderen (en de grondwateraanvulling te vergroten) kan een robuust alternatief voor actieve infiltratie zijn, maar heeft soms ongewenste gevolgen voor de beleving en biodiversiteit van het natuurgebied. Het dichten van greppels en sloten is een effectieve maatregel om water op gebiedsniveau vast te houden en wint aan effectiviteit als het landbouwkundig gebruik wordt omgevormd tot emissiearme en nat-tolerante vormen. Wel maakt het sommige bestaande vormen van landbouw onmogelijk en vraagt dus om omvormen van het landbouwkundig gebruik. Dit biedt kansen om landgebruik en beheer zo in te stellen dat zowel de waterkwaliteit wordt verbeterd als de verdamping wordt beperkt.

De effectiviteit van duurzaam bodembeheer is op watersysteemniveau beperkt en niet kwantificeerbaar. Voor drinkwaterbedrijven kan dit vooral

bijdragen aan bewustwording onder agrariërs over de eisen die de drinkwaterfunctie stelt aan het watersysteem en welke invloed agrarische activiteiten daarop kunnen hebben.

Toepassing: Samenwerking drinkwaterbedrijven en water-, land- en terreinbeheerders noodzakelijk

Hoger gelegen gebieden zijn kwantitatief het meest geschikt voor voorraadvorming van grondwater. Natuur en drinkwater stellen extra eisen aan de wijze van voorraadvorming. Er is een duidelijke en gedragen gebiedsvisie nodig om de functie-combinatie natuur en drinkwater duurzaam te kunnen versterken en ook andere functies een plaats te geven.

In de landbouwtransitie is het drinkwaterbelang gediend bij goede afspraken met land- en terreinbeheerders over waterbewust beheer van (voormalige) landbouwgronden ten gunste van grondwateraanvulling. Voordat dit in een convenant kan worden vastgelegd, moet eerst verder worden uitgewerkt wat ‘waterbewust beheer van (voormalige) landbouwgronden’ inhoudt. Overwogen kan worden om de terugkerende inspanning van de terreinbeheerder of landeigenaar als blauw-groene dienst te vergoeden. Het is belangrijk te blijven samenwerken met agrariërs voor bewust bodembeheer en met hen in gesprek te blijven over voortdurende verbetering van het waterbewustzijn in de agrarische praktijk.

Rapport

Dit onderzoek is beschreven in het rapport *Watersysteemmaatregelen voor het vergroten van de waterbeschikbaarheid: een verkenning voor casus Roosendaal* (BTO-2024.006).

Jaar van publicatie
2024

Meer informatie
Dr. ir. Arnaut van Loon

T 31 (0)30 60 69 550
E Arnaut.van.Loon@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl

KWR

Februari 2024 ©

Alle rechten voorbehouden aan KWR. Niets uit deze uitgave mag - zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van KWR - worden vervoelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier.

Keywords

maatregelen waterbeschikbaarheid,
voorraadvorming, Water en bodem sturend,
infiltreren, landgebruik, bodembeheer

Inhoud

Managementsamenvatting	2
1 Inleiding	4
1.1 Aanleiding	4
1.2 Water en bodem sturend	5
1.3 Doel en afbakening	6
1.4 Leeswijzer	7
2 Casus Roosendaal	8
2.1 Algemeen	8
2.2 Bodemopbouw en hydrologie	8
2.3 Waterbalans	13
3 Actieve infiltratie	16
3.1 Inleiding	16
3.2 Aanpak	16
3.3 Resultaten	19
3.4 Conclusies en discussie	27
4 Aanpassen landgebruik	28
4.1 Inleiding	28
4.2 Aanpak	28
4.3 Resultaten	33
4.4 Discussie en conclusies	37
5 Bewust bodembeheer	39
5.1 Inleiding en reikwijdte	39
5.2 Tegengaan bodemverdichting	40
5.3 Verhogen bodemorganische-stof	42
5.4 Conclusies en discussie	43
6 Conclusies en discussie	45
6.1 Aanpak	45
6.2 Inzichten voor casus Roosendaal	46
6.3 Inzichten voor Water en bodem sturend	47
6.4 Aanbevelingen voor vervolg	48
7 Literatuur	50
I Bijlage: Verdampingskarakteristieken	53
II Bijlage verantwoording waterbalansanalyse	54

II.I	Afbakening	54
II.II	Schematisering en data	55
II.III	Dataverwerking	57
III	Bijlage verantwoording analyse actieve infiltratie	59
III.I	Beschikbare hoeveelheid infiltratiewater	59
III.II	Scenario's actieve infiltratie	59
III.III	Uitputtingsverloop	61
III.IV	Ruimtelijke hydrologische effecten: ruimtelijk grondwatermodel	62
IV	Bijlage verantwoording analyse aanpassen landgebruik	64
	Onderzochte effecten en scenario's	64

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Als gevolg van klimaatverandering en bevolkingsgroei is de beschikbaarheid van voldoende water om te voorzien in de drinkwatervraag niet meer vanzelfsprekend in Nederland. Vooral in tijden van droogte wordt een toenemend faseverschil in waterbeschikbaarheid en drinkwatervraag verwacht, o.a. doordat de inname van oppervlaktewater bij een te lage afvoer gestaakt moet worden of de vergunningsruimte voor grondwateronttrekkingen niet voldoet om aan piekvragen te kunnen voldoen. Vanwege de grote voorraden en stabiele kwaliteit wint grondwater aan strategisch belang voor het zekerstellen van de drinkwatervoorziening. Echter, ook de winbare volumes van grondwater voor drinkwaterproductie staan in toenemende mate ter discussie vanwege ongewenste verlagingseffecten op functies in de omgeving (Van Loon e.a., 2023). In 2020 was er ongeveer 1,4 miljard kubieke meter water nodig voor de drinkwaterproductie in Nederland (Geudens en Kramer, 2022). Naar verwachting wordt dit in 2030 circa 100 miljoen kubieke meter water meer. Het is onzeker of er in 2030 voldoende water beschikbaar is, binnen acceptabele effecten op de omgeving, voor de productie van drinkwater (van Leerdam e.a., 2023).

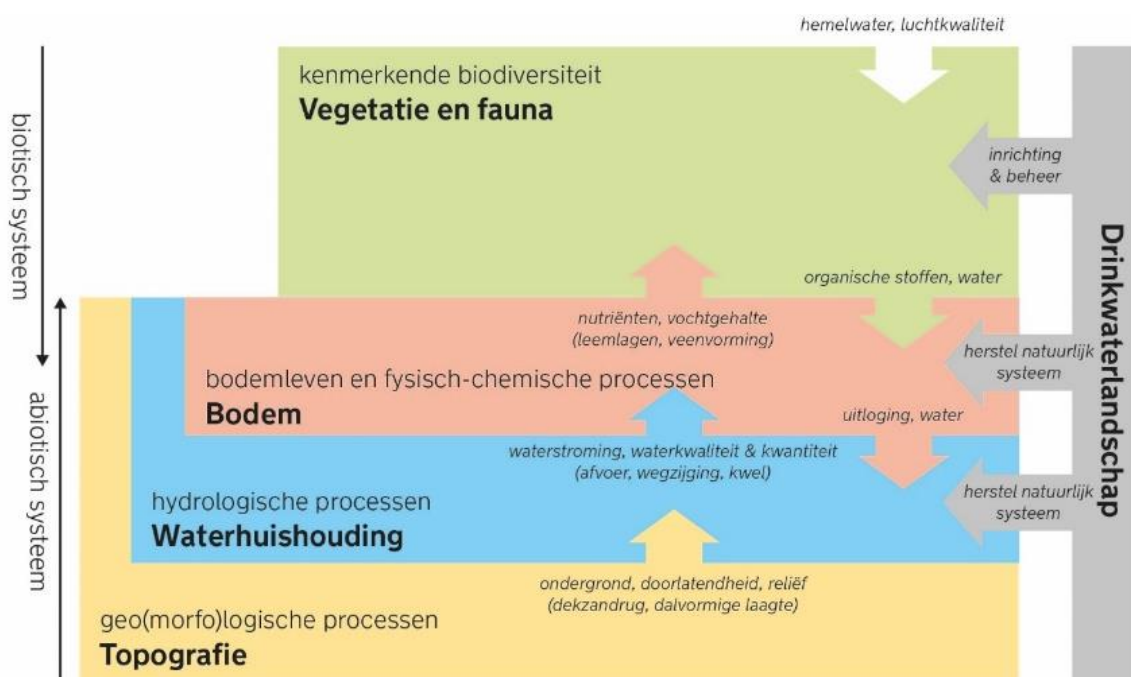
Voor het zekerstellen van de leveringszekerheid van drinkwater kunnen drinkwaterbedrijven inzetten op oplossingen binnen vier sporen, namelijk

- (1) Duurzame bronnen, c.q. voorraadvorming en impactreductie om bestaande of nieuwe winningen goed in te passen in omliggende functies;
- (2) Alternatieve bronnen, c.q. inzet van nu nog ongebruikelijke bronnen, zoals zeewater en restwater, voor drinkwaterproductie;
- (3) Waterbesparing, c.q. verminderen van de drinkwatervraag door burgers en bedrijven;
- (4) Assetmanagement, c.q. waarborgen van voldoende productie- en distributiecapaciteit om de groei in de drinkwatervraag op te kunnen vangen.

Dit rapport heeft betrekking op het eerste spoor “Duurzame bronnen”. Maatregelen binnen dit spoor liggen voor een groot deel buiten de verantwoordelijkheid en invloedssfeer van drinkwaterbedrijven. Drinkwaterbedrijven nemen hun deel van deze verantwoordelijkheid op om een bijdrage te leveren aan duurzaam ingepaste bronnen, zoals bijvoorbeeld uitgewerkt in het concept Drinkwaterlandschap van Brabant Water (zie Kader 1). Daarnaast kunnen de maatregelen regionaal grote consequenties hebben voor andere functies en is het perspectief voor drinkwaterbedrijf en omgeving niet altijd goed op voorhand in te schatten. Inzicht in de potentie van verschillende typen maatregelen op regionaal niveau kan bijdragen aan het ontwikkelen van visies op oplossingen, zodat drinkwaterbedrijven hun koers en standpunten voor oplossingen onderbouwd kunnen bepalen. Dit vereist locatie-specifiek onderzoek.

Kader 1: Drinkwaterlandschap

Brabant Water neemt de zorg voor de meest kwetsbare functies van het grondwatersysteem – drinkwaterproductie en natuur – serieus en heeft daarom de ambitie haar terreinen zo in te richten en te beheren dat beide functies zo goed mogelijk naast elkaar kunnen blijven bestaan en waar mogelijk elkaar versterken. Hiervoor heeft Brabant Water het concept Drinkwaterlandschap ontwikkeld (De Haan e.a., 2024). Dit is een landschap dat voldoende, kwalitatief hoogwaardig drinkwater uit grondwater levert en tegelijkertijd een hoge, kenmerkende biodiversiteit kent, met specifieke aandacht voor grondwateraanvulling door benutting van zijn natuurlijke kenmerken en eigenschappen. Het concept Drinkwaterlandschap beschouwt processen in verschillende compartimenten in samenhang en maakt gericht ingrijpen op verschillende componenten mogelijk (Figuur 1-1).



Figuur 1-1: Vereenvoudigd rangordemodell van de samenhang tussen biotische en abiotische onderdelen van het landschapsecologisch systeem. Getoond zijn de componenten waarop het concept Drinkwaterlandschap ingrijpt. Per component zijn de belangrijkste factoren benoemd. De opwaartse pijlen geven de dominante beïnvloeding tussen compartimenten, de neerwaartse de ondergeschikte. (Bron: De Haan e.a., 2024)

1.2 Water en bodem sturend

In de kamerbrief “Water en Bodem sturend” van 25 november 2022 legt het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat een aantal structurerende keuzes vast voor het borgen van de waterbeschikbaarheid voor drinkwaterproductie en andere functies. Deze structurerende keuzes vormen de landelijke kaders voor het nemen van maatregelen om doelen voor waterbeschikbaarheid, waterkwaliteit, natuurherstel en klimaatmitigatie te realiseren. De belangrijkste structurerende keuzes voor de drinkwatervoorziening uit grondwater zijn:

- Vertragen van afvoer en vergroten van de grondwateraanvulling door het dichtmaken van greppels en sloten
- Water beter vasthouden in de bodem door duurzaam bodembeheer

Het is aan provincies om deze structurerende keuzes verder uit te werken tot regionale gebiedsprogramma’s om doelen op het gebied van natuur, water en klimaat te realiseren. Hierbij wordt uitgegaan van het adagium “functie

volgt peil”, om aan te geven dat functiewijzigingen tot de mogelijkheden behoren indien dat doelrealisatie kansrijker maakt.

Naast “Water en Bodem sturend” lopen er in Nederland diverse andere trajecten voor een andere inrichting van het landelijk gebied. Zo wordt in het kader van het nitraatactieprogramma gesproken over de introductie van “landschapsgrond” als tussenvorm van cultuurgrond en natuurgrond en in het Nationaal Programma Landelijk Gebied wordt gesproken over “overgangsgebieden”. Met de introductie van deze gebiedstypen zouden stimuleringsmaatregelen, zoals compensatie voor het afwaarderen van grondprijzen, mogelijk worden met als doel het verlagen van de milieudruk van de agrarische sector. Dit beleid is nog volop onderwerp van discussie en heeft verdere uitwerking nodig. Om in de besluitvorming en uitvoering het drinkwaterbelang mee te nemen, is het nodig om relatie met de drinkwaterfunctie in beeld te brengen.

Waterschappen, provincies en watergebruikers denken ook na over actieve infiltratie van wateroverschotten om grondwatervoorraden aan te vullen met als doel het vergroten van de waterbeschikbaarheid in tijden van waterschaarste. Deze oplossingsrichting is echter nog niet in een beleids- of uitvoeringsprogramma vormgegeven. Deze trajecten kunnen voor drinkwaterbedrijven kansen bieden om winbare volumes veilig te stellen of zelfs te vergroten. Dit vereist wel inzicht in de effectiviteit van dergelijke maatregelen.

1.3 Doel en afbakening

Het doel van dit rapport is om op basis van casuïstiek de effectiviteit van een aantal watersysteemmaatregelen op regionaal niveau te verkennen en de uitkomsten in het perspectief van landelijke ontwikkelingen op het gebied van droogtemitigatie te plaatsen. De effectiviteit van maatregelen is hier uitgedrukt als de stijging van de grondwaterstand en/of de daaraan gerelateerde voorraadvorming. De resultaten zijn bedoeld om de gevoeligheid van het grondwatersysteem voor verschillende typen maatregelen in beeld te brengen. Ze zijn niet bedoeld als scenario- of impactanalyse.

In dit rapport komen de volgende drie maatregeltypen aan bod:

- (1) Actieve infiltratie van wateroverschotten, c.q. het actief aanvullen van het grondwater door middel van diepinfiltratie of door infiltratie via het aardoppervlak. Met actieve infiltratie wordt bedoeld dat water bewust wordt ingenomen, verplaatst en geïnfiltereerd ten behoeve van de grondwateraanvulling. Oevergrondwaterwinningen en andere MAR-systemen vallen buiten de reikwijdte van deze studie. Wateroverschotten zijn hier gedefinieerd als waterhoeveelheden die ongebruikt worden afgevoerd, rekening houdend met de minimale afvoer voor behoud van natuurfuncties (environmental flows). In dit rapport is er van uitgegaan dat (a) de nodige infrastructuur voor zuiveren, distribueren en infiltreren realiseerbaar en niet beperkend is, en (b) de waterkwaliteit geen beperkingen aan de infiltratiebaarheid oplegt.
- (2) Het omvormen van landbouwgronden tot landschapsgronden met een extensiever gebruik en hierdoor lagere verdamping (grotere grondwateraanvulling) en een hogere vochttoerantie (hogere slootpeilen). Dit maatregeltypen biedt de mogelijkheid om andere gewassen te telen en andere vormen van landbewerking toe te passen, zodat landbouw minder kritisch wordt voor de drooglegging. Door bij de gewaskeuze rekening te houden met de verdampingseigenschappen en een hoge vochttoerantie, biedt deze maatregel kansen om de grondwateraanvulling te vergroten en waterpeilen te verhogen.
- (3) Waterbewust bodembeheer, c.q. het beheer van agrarische bodems gericht op het vergroten van het vochtvasthoudend vermogen van bodems en/of het vergroten van de grondwateraanvulling door verminderde oppervlakteafvoer (run off). Hiermee wordt bedoeld dat het agrarisch bodembeheer gericht is op het leveren van waterfuncties, zoals het verhogen van het vochtvasthoudend vermogen en het verhogen van de infiltratiecapaciteit van bodems door het tegengaan of opheffen van bodemverdichting. Beiden kunnen

bijdragen aan het vergroten van de zelfvoorzienendheid van landbouwgewassen in de watervoorziening, waardoor de landbouw minder afhankelijk wordt van beregening. Daarmee zou de concurrentie om het schaars beschikbare water afnemen.

Deze inzichten over de effectiviteit van deze watersysteemmaatregelen kunnen door drinkwaterbedrijven benut worden om hun koers en standpunten voor watersysteemoplossingen te onderbouwen en bepalen.

Deze verkenning is uitgevoerd voor de casus Roosendaal, een middeldiepe tot diepe grondwaterwinning in het zuidwesten van Noord-Brabant. Deze casus is gekozen omdat (1) in de omgeving zowel landbouw, natuur als stedelijk gebied aanwezig is, en (2) er op dit moment nog geen knelpunten voor de winning spelen zodat een brede inventarisatie van mogelijke maatregeltypen in een constructieve sfeer kan plaatsvinden.

1.4 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 wordt eerst een kenschets van de casus Roosendaal gegeven. Daarna wordt in achtereenvolgende hoofdstukken de effectiviteit van drie verschillende maatregeltypen voor de casus Roosendaal verkend: in Hoofdstuk 3 betreft dat de maatregel “Actieve infiltratie”, in Hoofdstuk 4 “Aanpassen landgebruik” en in Hoofdstuk 5 “Bewust bodembeheer”. Ten slotte worden in Hoofdstuk 6 de belangrijkste conclusies van deze verkenning beschreven en in perspectief geplaatst.

2 Casus Roosendaal

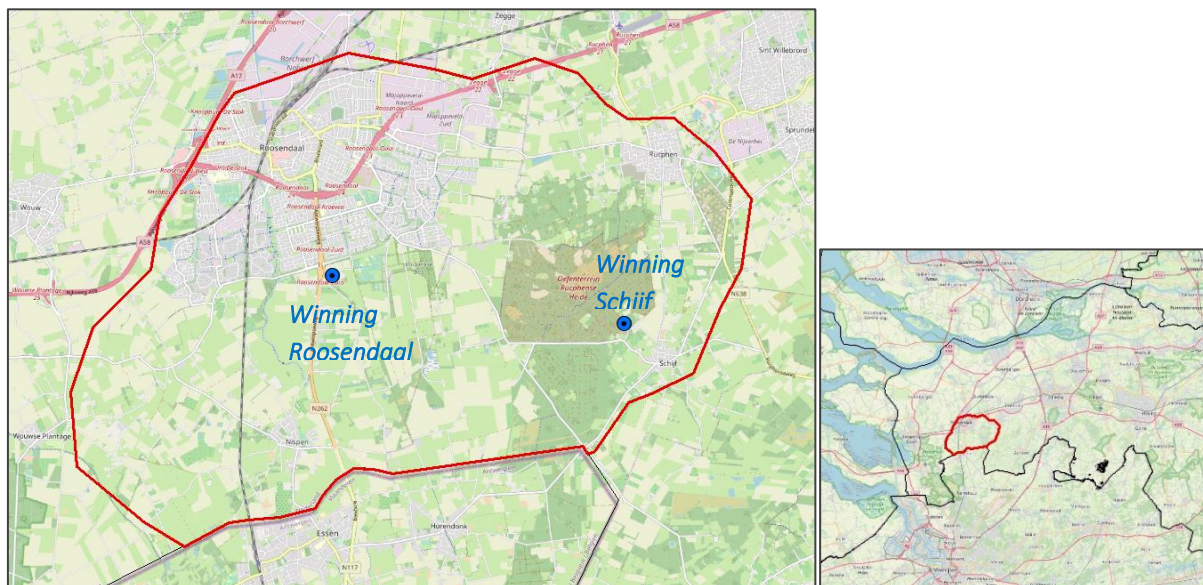
2.1 Algemeen

De winning Roosendaal is een grondwaterwinning ten zuiden van Roosendaal. Jaarlijks wordt zo'n 4 miljoen m³ grondwater gewonnen voor de drinkwatervoorziening van Roosendaal en Nispen. Het invloedsgebied van winning Roosendaal omvat ook de drinkwaterwinning Schiif (Neef, 2017; Figuur 2-1) de onttrekkingskegels van beide winningen overlappen elkaar. Dit invloedsgebied is gekozen als het studiegebied voor dit rapport.

Het grondwater uit winning Roosendaal wordt onttrokken uit middeldiepe en diepe watervoerende pakketten. Het middeldiepe pakket onder de Waalreklei en boven de Oosterhoutklei en wordt gevormd door de zandpakketten van de Formatie van Peize en Formatie van Waarle (Figuur 2-3 en Figuur 2-4). Het diepe watervoerende pakket bevindt zich onder de Oosterhoutklei en wordt gevormd door het zandpakket van de Formatie van Oosterhout (Figuur 2-4).

Het studiegebied omvat voornamelijk landbouwgebied, met een afwisseling van gras- en akkerland, het stedelijk gebied van Roosendaal, en enkele natuurgebieden, met de Rucphense bossen op de hogere rug in het oosten als grootste gebied. Het studiegebied kent een freatisch grondwaterpakket met op 10-20 m diepte een deels scheidende laag. De bodem bestaat uit zand met lager in het gebied iets lemig zand.

Het studiegebied watert af met verschillende (gekanaliseerde) beken, waarvan de Molenbeek veruit de grootste is. De Molenbeek voert niet alleen water af uit het studiegebied zelf, maar ontvangt ook water van bovenstrooms vanuit België.

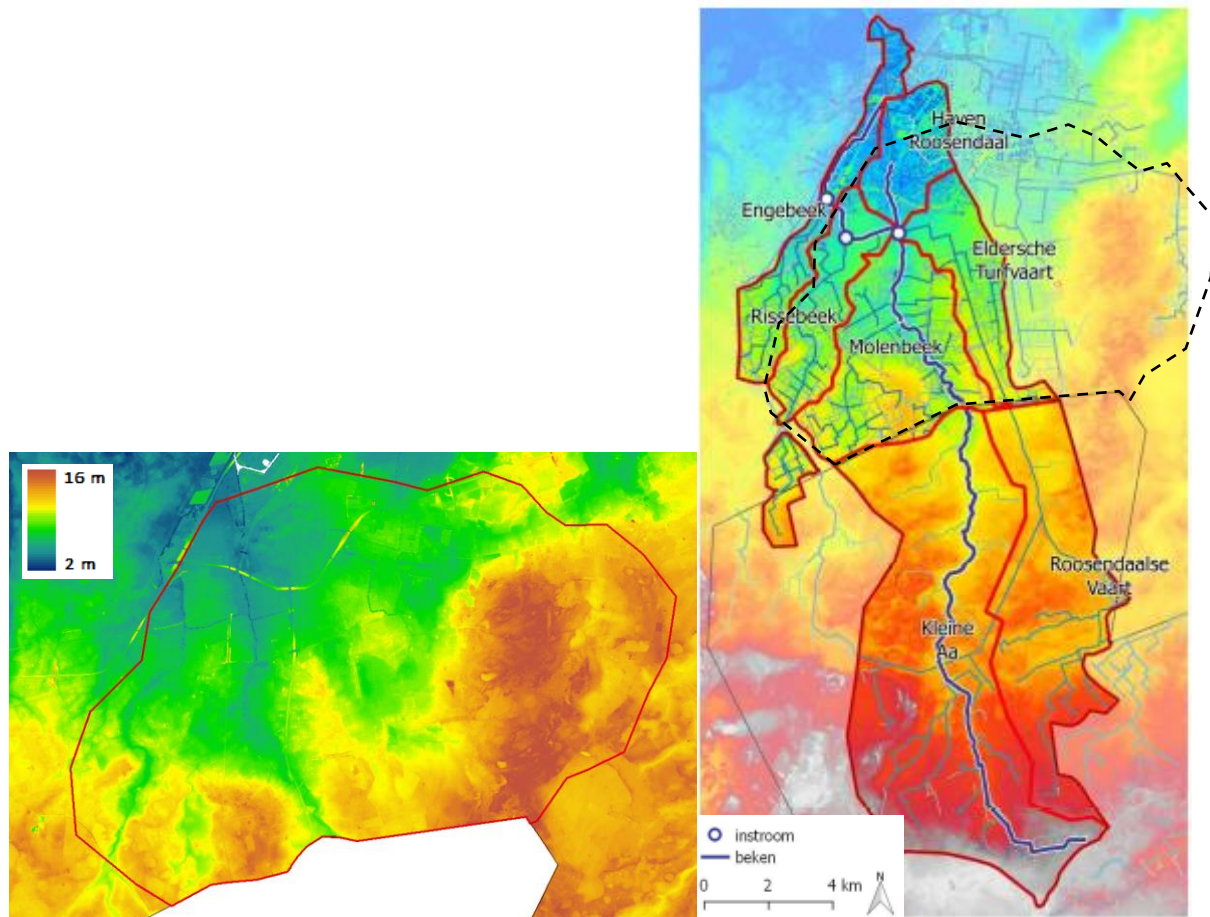


Figuur 2-1: Ligging van winning Roosendaal en het studiegebied.

2.2 Bodemopbouw en hydrologie

Het studiegebied wordt gevormd door een deel van het stroomgebied van enkele beken en de iets hoger gelegen rug van de Rucphense bossen in het oosten. Het maaiveld loopt af van het zuidoosten richting het noordwesten (Figuur 2-2). Van de beken is de Molenbeek verreweg de grootste; deze ontspringt in Vlaanderen en komt ten

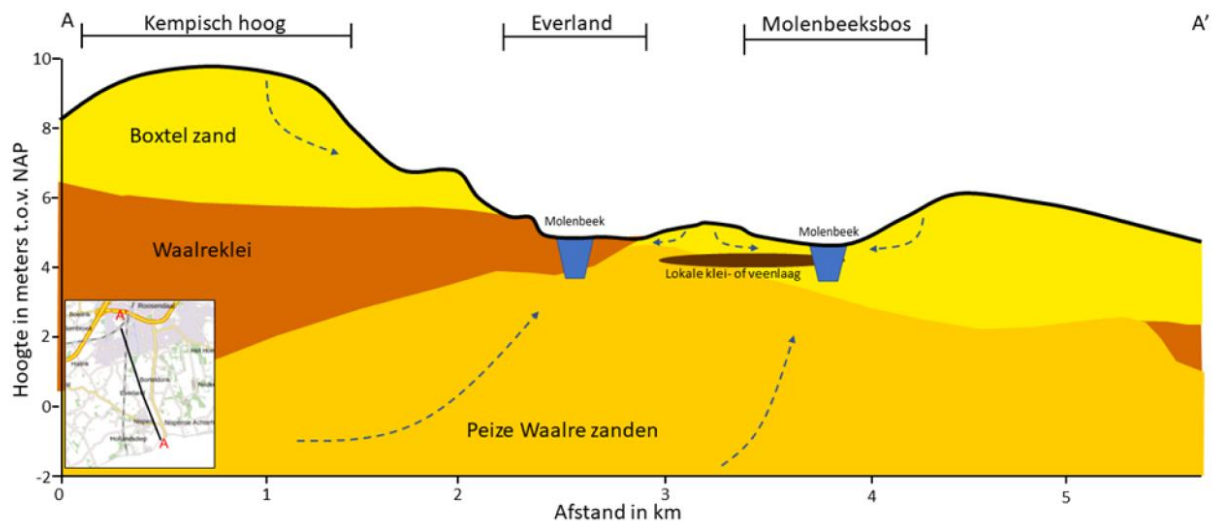
zuiden van de winning het gebied in. Tot aan Roosendaal heeft de Molenbeek een stroomgebied van zo'n 6300 ha, waarvan bijna driekwart in Vlaanderen ligt (Figuur 2-2). Bovenstrooms lozen twee RWZI's op de beek; bij de grens vormt het effluent zo'n 50% van de mediane afvoer (de Jong, 2018) en bij lage afvoeren waarschijnlijk nog meer. Onder normale omstandigheden stroomt het water van de meeste beken door Roosendaal naar het noordwesten. Bij hoge afvoeren kan een deel van de Molenbeek worden omgeleid richting de Rissebeek om wateroverlast in de stad te voorkomen (de Jong, 2018).



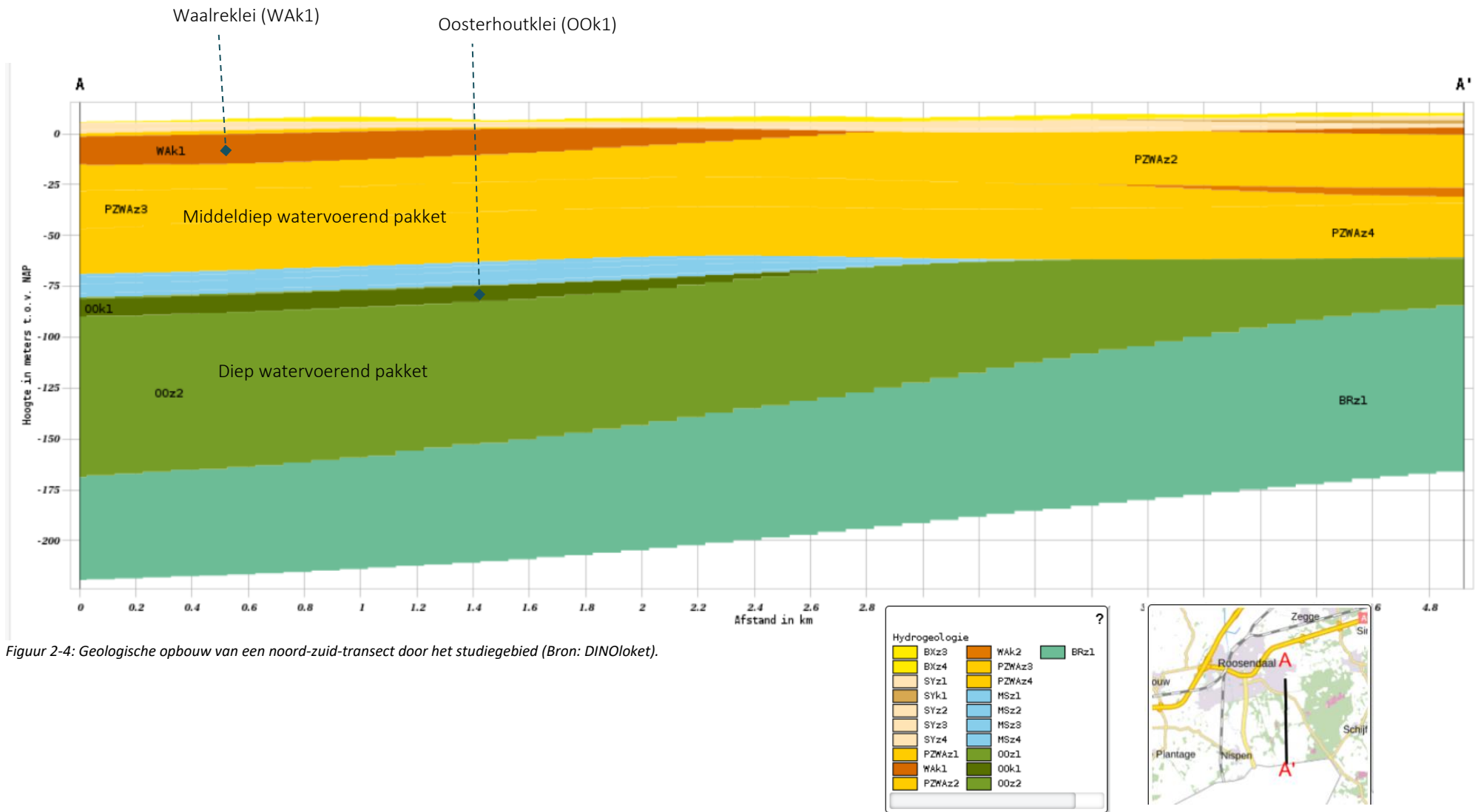
Figuur 2-2: Hoogteligging van het studiegebied (AHN, links) en het stroomgebied van de Molenbeek/Kleine Aa van de bron tot aan Roosendaal (de zwarte stippelijijn geeft het studiegebied aan). Kaarten ontleend aan (de Jong, 2018).

De bovengrond bestaat in het gehele gebied uit zand, met in het westen en langs de beken hier en daar meer lemige en moerige zandgronden. Op sommige plaatsen in het beekdal van de Molenbeek dagzoomt de Waalreklei. De Molenbeek is door deze kleilaag heen gesneden en staat daarmee in direct contact met het onderliggende watervoerende pakket (Figuur 2-3).

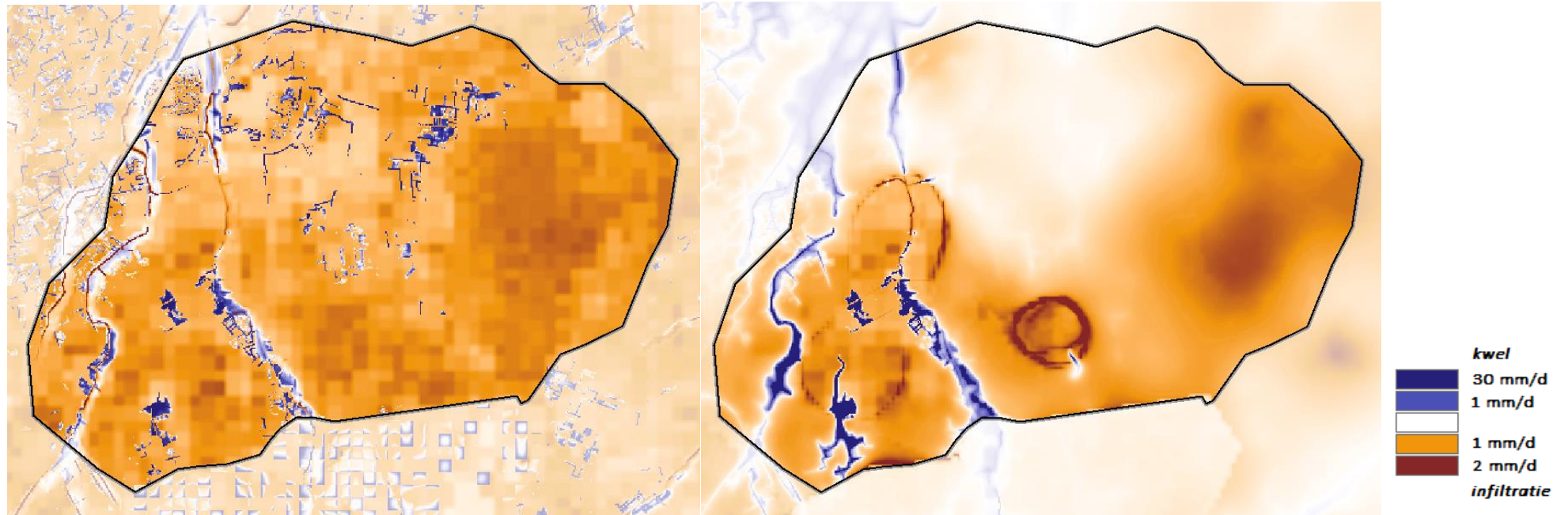
De diepere ondergrond bestaat uit een freatisch pakket en twee watervoerende pakketten (Figuur 2-4). Op een diepte van ongeveer 10-20 m onder maaiveld vormt de Waalre-klei een slechtdoorlatende laag. Ook op zo'n 80-90 meter zit een scheidende laag (Oosterhout-klei). De algemene grondwaterstroming in de diepe en middeldiepe pakketten is van zuidoost naar noordwest. In het studiegebied zelf infiltreert het water in de hogere delen in het zuiden en oosten en komt als kwel omhoog in de beekdalen (Figuur 2-5 en Figuur 2-3). Het noordelijk deel heeft een meer intermediair karakter (gemiddeld een zwakke infiltratiestroom). Hier is de dikte en weerstand van de eerste Waalre-kleilaag veel groter dan in het zuiden, zodat de grondwatersystemen daar ondieper zijn.



Figuur 2-3: Conceptuele weergave van de geohydrologische opbouw en grondwaterstroming in de ondiepe ondergrond langs een doorsnede van het Kempisch Hoog (zuid) via het Everland naar Molenbeekbos (Possen e.a., 2022).



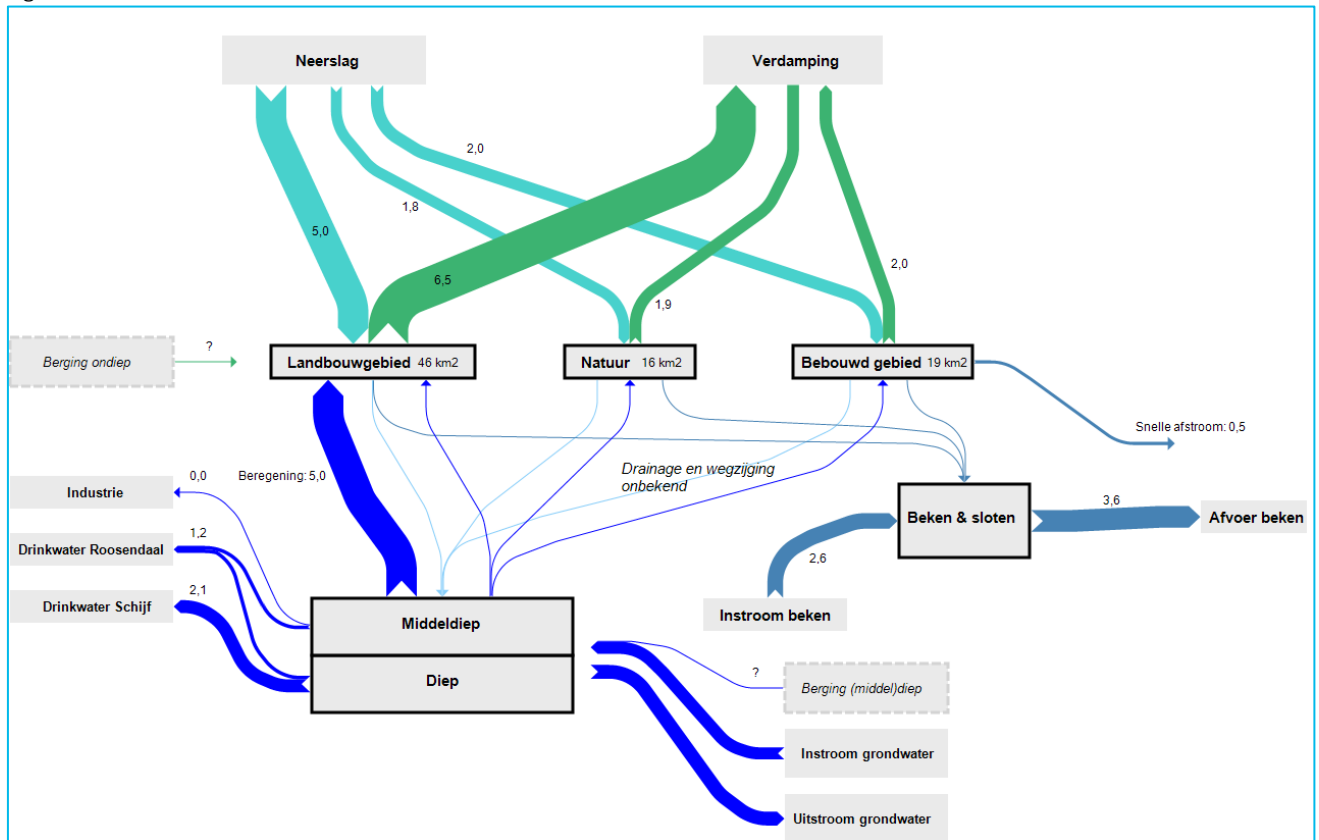
Figuur 2-4: Geologische opbouw van een noord-zuid-transect door het studiegebied (Bron: DINOloket).



Figuur 2-5: Kwel-infiltratiestromen in het studiegebied, op basis van stationaire modelberekeningen die zijn uitgevoerd in het kader van onderliggende studie. Links: kwel en infiltratie tussen modellaag 2 en 1. Rechts: kwel (opwaartse flux) en infiltratie (neerwaartse flux) over de Waalre-klei (tussen modellaag 8 en 9). Volgens het grondwatermodel leidt het bekensysteem tot opwaartse grondwaterstroming over de Waalre klei. Detailontwatering leidt plaatselijk ook tot opwaartse grondwaterstroming maar niet over de Waalreklei. Het model bevestigt dat de rug onder de Rucphense bossen een regionaal infiltratiegebied is met neerwaartse stroming tot in het middeldiepe watervoerende pakket waaruit grondwater wordt gewonnen.

2.3 Waterbalans

Figuur 2-6



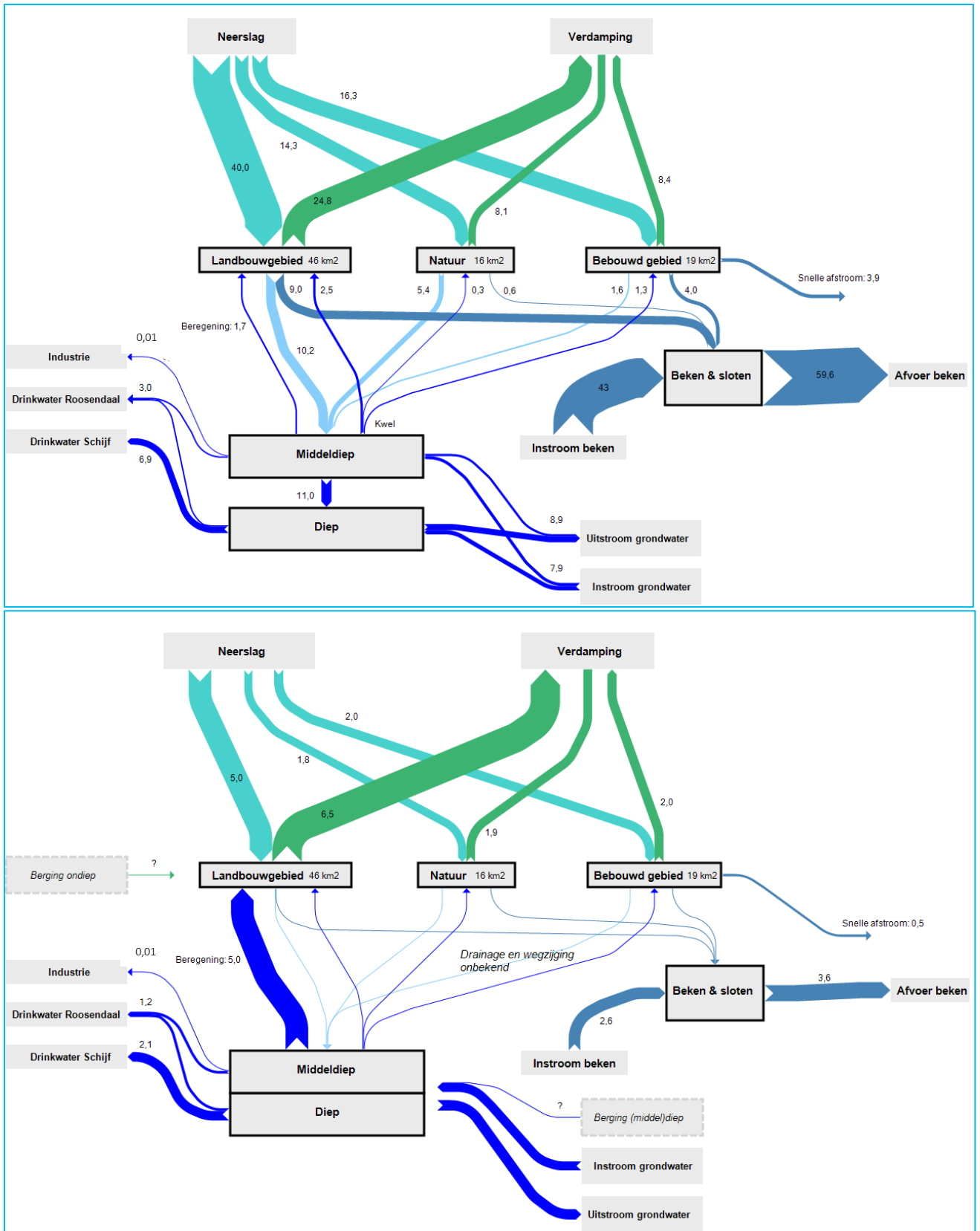
Figuur 2-6 geeft een beeld van de omvang en interactie van verschillende waterbalanstermen voor het vanggebied van de winningen Roosendaal en Schijf voor de periode 2011-2016. In deze figuur is onderscheid gemaakt tussen de waterbalans voor deze hele vijfjarige periode (a) en voor de droge zomerperiode juni t/m augustus 2018 (b). De omvang van de balanstermen is ontleend aan een uitsnede van een tijdsafhankelijk grondwatermodel, het Brabant Model. Details over dit grondwatermodel en de analyse van gesimuleerde balanstermen zijn in Bijlage II opgenomen.

Aan Figuur 2-6 kan de volgende informatie over de belangrijkste balanstermen en mogelijkheden voor optimalisatie van het watersysteem worden ontleend:

- Na neerslag, is de instroom van water via de beken gemiddeld genomen de grootste aanvoerpost voor het vanggebied van de winningen Roosendaal en Schijf. Dit water wordt ongebruikt afgevoerd, maar kan een ecologische functie hebben (environmental flow). Het is echter niet permanent beschikbaar omdat de afvoer tijdens droge zomers ver afneemt, waardoor RWZI-effluent de overhand krijgt in de waterkwaliteit. Door in tijden van voldoende afvoer een deel van de waterafvoer van de Molenbeek te bergen door actieve infiltratie kan de grondwatervoorraad tijdelijk verhoogd worden, zodat periodes met verminderde waterbeschikbaarheid mogelijk overbrugd kunnen worden. Deze maatregel wordt verder verkend in Hoofdstuk 3.
- Verdamping vormt jaarrond een grote verliespost van water uit het studiegebied. Verliezen door drainage zijn gemiddeld 30% van de jaarlijkse verdamping. Vanwege het grote areaal, hebben beide verliesposten vooral betrekking op landbouwgewassen en in mindere mate op bebouwd gebied. De inrichting van deze gebieden is dus ongunstig voor voorraadvorming van grondwater. Het verminderen van verdamping en/of drainage heeft de potentie om een deel van deze verliesposten ten goede te laten komen aan de aanvulling van het middeldiepe pakket, zodat verlagingseffecten door de winning van grondwater

verkleind worden. Hiervoor is aanpassing van het agrarisch landgebruik noodzakelijk. Deze maatregel wordt verder verkend in Hoofdstuk 4.

- Tijdens droge periodes vormt beregening van landbouwgebied een bijna twee keer grotere verliespost dan de winningen Roosendaal en Schijf tezamen (5 miljoen versus 3,3 miljoen m³/maand). Deze beregeningshoeveelheid is bijna de helft van de gemiddelde jaarlijks onttrokken hoeveelheid grondwater voor drinkwaterproductie (5,0 versus 9,9 miljoen m³/maand). Maatregelen om beregening te beperken hebben daarom potentie om water langer vast te houden in droge periodes. Dit kan gerealiseerd worden door verandering van het landgebruik (zie Hoofdstuk 4). Dit is echter een zeer ingrijpende maatregel waarvoor op dit moment landelijk nog weinig draagvlak voor lijkt te bestaan. Een minder ingrijpende en breed gedragen maatregel om de beregeningsvraag te verminderen is mogelijk het verbeteren van het vochtleverend vermogen van landbouwbodems door waterbewust bodembeheer. Deze maatregel wordt verder verkend in Hoofdstuk 5
- De gemiddelde volumes onttrokken grondwater komen wat ordegrootte betreft overeen met de hoeveelheid water dat infiltreert van het freatische pakket naar het middeldiepe pakket. Zonder de winning, zou dit grondwater waarschijnlijk kwelgebieden in beekdalen voeden en/of door de beken en sloten afgevoerd worden, en aldus bijdragen tot afvoer in benedenstrooms gelegen waterlopen. Verminderen van de drinkwaterwinning door drinkwaterbesparing heeft de potentie om water in het freatische pakket beter vast te houden, en kwelgebieden robuuster te maken. Deze maatregel wordt verder verkend in Hoofdstuk **Error! Reference source not found.**



Figuur 2-6: Waterstromen (miljoen m³/maand) voor het studiegebied in een gemiddeld jaar op basis van 2011-2016 (a) en voor de droge zomermaanden juni t/m augustus 2018.

3 Actieve infiltratie

3.1 Inleiding

In Hoofdstuk 2 is beschreven dat op jaarbasis een relatief grote hoeveelheid oppervlaktewater en hemelwater uit stedelijk gebied wordt afgevoerd. Dit roept de vraag op of het effectief is om deze wateroverschotten in te zetten voor het actief aanvullen van de grondwatervoorraad, zodat verlagings-effecten van grondwaterwinningen op omliggende functies afnemen. Met actieve infiltratie wordt bedoeld dat water bewust wordt ingenomen, verplaatst en geïnfiltreerd via infiltratiepanden of -putten. Oevergrondwaterwinningen en andere vormen van Managed Aquifer Recharge (MAR) vallen buiten de reikwijdte van dit rapport. In dit rapport is er van uitgegaan dat de nodige infrastructuur voor zuiveren, distribueren en infiltreren realiseerbaar is. Wateroverschotten zijn hier gedefinieerd als waterhoeveelheden die ongebruikt worden afgevoerd, rekening houdend met de minimaal benodigde afvoer van beken (environmental flow). In dit rapport is er vanuit gegaan dat de waterkwaliteit geen beperkingen aan de infiltratieerbaarheid oplegt.

Volgens de definities in dit rapport kan actieve infiltratie vormgegeven worden door middel van infiltratiepanden of vloeivelden, i.e. infiltratie vanuit het landoppervlak, of door middel van infiltratieputten, i.e. diepinfiltratie. Hoewel de benodigde infrastructuur en de kenmerkende waterstromen voor beide strategieën wezenlijk verschillen, hebben ze met elkaar gemeen dat voorraadvorming hoofdzakelijk voortkomt uit een stijging van de grondwaterstand. Dit komt omdat afgesloten pakketten nauwelijks bergingscapaciteit hebben doordat de poriën al geheel gevuld zijn met grondwater. In freatische pakketten met een vrij bewegende grondwaterspiegel is daar geen sprake van; een stijging van de grondwaterstand is het gevolg van het vullen van (gedeeltelijk) luchtgevulde poriën en leidt dus tot berging. Om deze reden hebben freatische pakketten normaal gesproken een relatief hoge bergingscapaciteit van 0,1-0,15 m³ water per m³ grond.

Om de effectiviteit van actieve infiltratie van wateroverschotten voor voorraadvorming in beeld te brengen, zijn drie factoren van belang:

- (1) Hoeveel grondwater kan geborgen worden in tijden van wateroverschot met een relatief hoge grondwaterstand?
- (2) Binnen welke termijn gaat het extra grondwatervolume weer verloren als gevolg van afvoer?
- (3) In hoeverre stijgen grondwaterstanden en kwelfluxen in de omgeving?

In dit hoofdstuk wordt de potentie van actieve infiltratie van wateroverschotten ten behoeve van voorraadvorming verkend op basis van deze drie factoren. We maken hierbij onderscheid tussen infiltratie op drie wezenlijk verschillende locaties: in het beekdal van de Molenbeek, in de hydrologisch intermediaire zone (gedraineerd gebied) en in het drogere gebied zonder drainage. Daarnaast maken we onderscheid tussen drie niveaus van infiltratie: maximale infiltratie van al het beschikbare oppervlaktewater en hemelwater op jaarbasis, middelhoge infiltratie op basis van de laagste maandhoeveelheid, en een infiltratiehoeveelheid van 1 mm/dag die reëel wordt geacht voor praktijksituaties.

3.2 Aanpak

3.2.1 Overzicht

De potentie van infiltratie van wateroverschotten is verkend op basis van de drie bepalende factoren:

- (1) De hoeveelheid grondwater die kan worden geborgen is gelijk gesteld aan de beschikbare bergingsruimte in de onverzadigde zone, i.e. in het freatische pakket, uitgaande van de gemiddelde grondwaterstand.

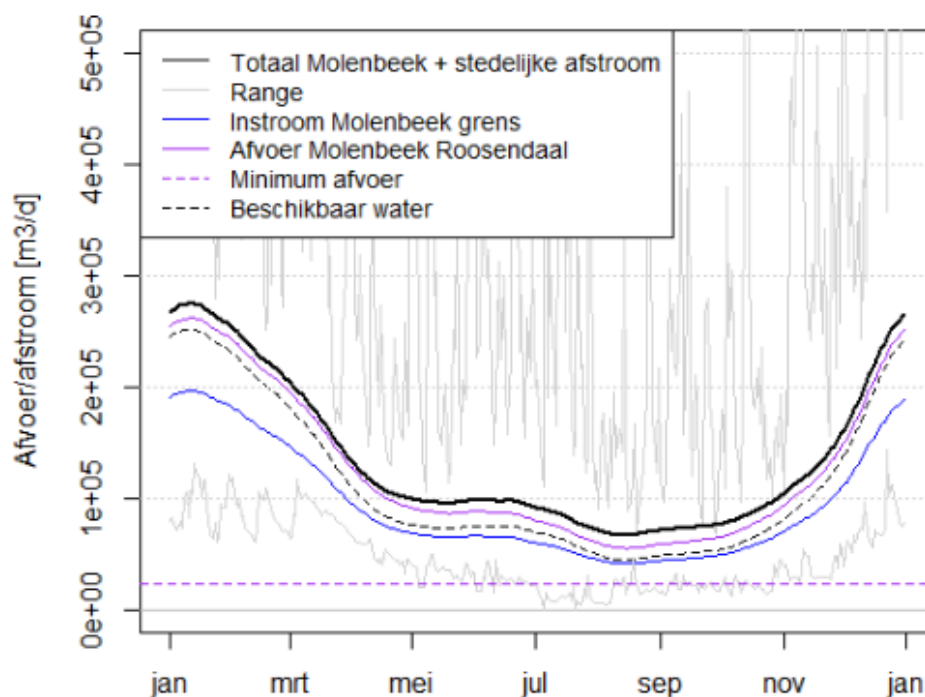
Hiervoor is uitgegaan van de bodemvocht karakteristieken voor leemarm fijn zand uit de Staring-reeks (Heinen et al., 2020). Met deze bodemvocht karakteristieken is het verschil tussen het bodemvochtgehalte bij verzadiging en het berekende bodemvochtprofiel tussen maaiveld en de grondwaterspiegel uitgaande van een evenwichtssituatie berekend. Aangenomen is dat de bergingsruimte in de afgesloten pakketten onder de Waalre-klei verwaarloosbaar klein is, omdat alle poriën daar al gevuld zijn met water. Berging is alleen mogelijk door het korrel skelet in te drukken. Dit uit zich in een lage bergingscoëfficiënt van grootteorde $10^{-5} - 10^{-6}$ (-).

- (2) De termijn waarop het extra grondwatervolume weer is afgevoerd is berekend op basis van de drainageformule van Kraijenhoff-Van de Leur. Deze drainageformule beschrijft de afname van de grondwaterberging in de tijd (het uitputtingsverloop van de berging) als gevolg van drainage door twee oneindig evenwijdige sloten. De snelheid van afname van de berging is een functie van de slootafstand, het doorlaatvermogen van de ondergrond en de freatische bergingscoëfficiënt. De wijze waarop het uitputtingsverloop in beeld is gebracht is beschreven in bijlage III.III
- (3) De ruimtelijke effecten van grootschalige infiltratie op grondwaterstanden en kwel fluxen zijn voor een gemiddelde situatie berekend met een stationair 3D grondwatermodel. Dit model betreft een uitsnede van het Brabant Model, dat ontwikkeld is door RHDHV, en lokaal is gekalibreerd voor het Roosendaal-gebied. Meer informatie over de werkwijze is opgenomen in bijlage III.II en III.IV.

3.2.2 Uitgangspunten

Uitgangspunt voor deze verkenning is dat de Molenbeek en afstroom van hemelwater uit verstedelijkte gebieden als bron voor infiltratie worden gebruikt. Beperkingen aan de waterbeschikbaarheid als gevolg van waterkwaliteit en infrastructuur zijn niet meegenomen, maar een minimaal benodigde afvoer voor natuurfuncties (environmental flows) is wel meegenomen. In bijlage III.I is meer informatie opgenomen over de wijze waarop de beschikbaarheid van water voor actieve infiltratie is geschat.

Figuur 3-1 geeft een overzicht van gemiddelde afvoer van de Molenbeek, inclusief en exclusief de afstroming van hemelwater uit stedelijk gebied, voor de periode 2011-2021. In Tabel 3-1 staan de maandsommen en jaartotalen weergegeven. Op jaarbasis voert de Molenbeek 45 miljoen m^3 /jaar af, met het zwaartepunt in het winterseizoen. Vanuit kwantitatief oogpunt is het ongewenst om het gehele debiet in te nemen voor infiltratie, omdat daarmee de afvoer weg zou vallen. Ervan uitgaande dat de afvoer niet verder af mag nemen dan het 5%-percentiel van de afvoer, bedraagt de waterbeschikbaarheid op jaarbasis 37 miljoen m^3 /jaar. Tellen we daar de afstroming van verhard oppervlak bij op (4 miljoen m^3 /jaar), dan volgt dat maximaal 41 miljoen m^3 /jaar beschikbaar is voor infiltratie. De hoeveelheid varieert echter wel over het jaar. In de tijdsperiode 2011-2021 varieerde de waterbeschikbaarheid op maandbasis van 8 miljoen m^3 in januari tot 1,3 miljoen m^3 in augustus (Tabel 3-1).



Figuur 3-1: Seizoensafhankelijkheid van de hoeveelheid beschikbaar water uit de Molenbeek + stedelijke afstroom en verschillende componenten, gemiddeld over 2011-2021.

Tabel 3-1: Gemiddelde maandelijkse waterstromen (2011-2021) die benut kunnen worden voor infiltratie: Afvoer van de Molenbeek, afstroom van verhard stedelijk oppervlak, minimum afvoer (5% percentiel) die in de Molenbeek achter wordt gehouden, en het resulterende totaal.

Maand	Afvoer Molenbeek Roosendaal [miljoen m ³]	Over te houden debiet Molenbeek [miljoen m ³]	Afstroming verhard oppervlak [miljoen m ³]	Totaal beschikbaar [miljoen m ³]
1	8,3	0,7	0,4	8,0
2	6,1	0,7	0,3	5,8
3	5,2	0,7	0,2	4,7
4	3,0	0,7	0,2	2,5
5	2,7	0,7	0,3	2,3
6	2,6	0,7	0,3	2,3
7	2,2	0,7	0,4	2,0
8	1,7	0,7	0,4	1,3
9	1,8	0,7	0,3	1,5
10	2,3	0,7	0,3	1,9
11	3,4	0,7	0,4	3,1
12	6,2	0,7	0,4	5,9
TOT	45,5	8,4	3,9	41,3

In

Infiltratie-intensiteit	Hoeveelheid per jaar [miljoen m ³ , % max beschikbaar]	Hoeveelheid per maand [miljoen m ³]	Hoeveelheid per dag [m ³]	Benodigd oppervlak infiltratieplassen [ha] bij infiltratiesnelheid van 0,5 m/dag
Maximale infiltratie	41,3 (100%)	3,4	113.000	23
Middelhoge infiltratie	15,6 (38%)	1,3	43.000	9

zijn twee van de drie beschouwde infiltratieniveaus weergegeven op basis van de hoeveelheden voor verschillende tijdsperiodes. Om deze hoeveelheden in perspectief te plaatsen zijn ze vergeleken met infiltratie-intensiteiten in bestaande systemen van actieve grondwateraanvulling door oppervlakte-infiltratie. De infiltratievoorziening van Vitens op de Veluwe bij Epe is bijvoorbeeld ingericht om 6 miljoen m³/jaar te infiltreren, verdeeld over 7 maanden, ofwel zo'n 29.000 m³/dag. Dit gebeurt op 4,5 ha aan infiltratievelden. Deze infiltratie-intensiteit ligt in dezelfde ordegrootte als in de "middelhoge" infiltratie-intensiteit in dit onderzoek, die zou liggen op zo'n 43.000 m³/dag. Het scenario "maximale infiltratie" is in vergelijking hiermee dus zeer ambitieus.

Uit waterbalansberekeningen in duininfiltratiegebieden blijkt de infiltratiesnelheid in infiltratieplassen in gunstige gevallen tot 0,5 m/dag te zijn, maar vaak veel lager, namelijk enkele cm/dag. Voor de maximale infiltratie-intensiteit van 41,3 miljoen m³/jaar, ervan uitgaand dat dit constant over de tijd kan gebeuren, zou in het gunstigste geval zo'n 0,3% van het totale studiegebied ingericht moeten worden als infiltratieplas (23 ha) (

Infiltratie-intensiteit	Hoeveelheid per jaar [miljoen m ³ , % max beschikbaar]	Hoeveelheid per maand [miljoen m ³]	Hoeveelheid per dag [m ³]	Benodigd oppervlak infiltratieplassen [ha] bij infiltratiesnelheid van 0,5 m/dag
Maximale infiltratie	41,3 (100%)	3,4	113.000	23
Middelhoge infiltratie	15,6 (38%)	1,3	43.000	9

). Voor de middelhoge infiltratie-intensiteit zou het gaan om rond de 9 ha.

Tabel 3-2: Overzicht van de maximale en middelhoge infiltratie-intensiteiten.

Infiltratie-intensiteit	Hoeveelheid per jaar [miljoen m ³ , % max beschikbaar]	Hoeveelheid per maand [miljoen m ³]	Hoeveelheid per dag [m ³]	Benodigd oppervlak infiltratieplassen [ha] bij infiltratiesnelheid van 0,5 m/dag
Maximale infiltratie	41,3 (100%)	3,4	113.000	23
Middelhoge infiltratie	15,6 (38%)	1,3	43.000	9

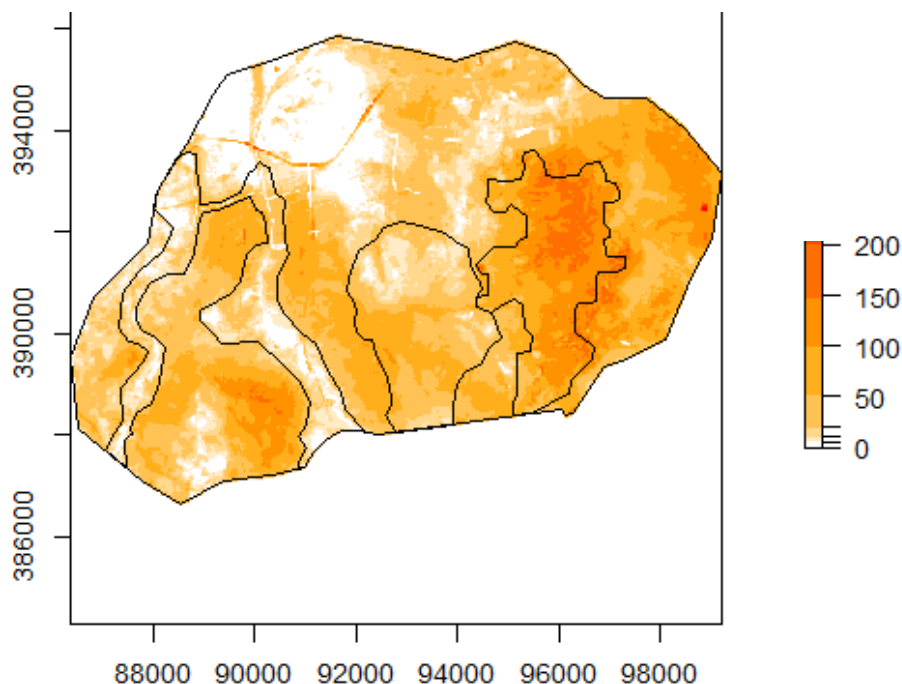
3.3 Resultaten

3.3.1 Beschikbare bergingsruimte in de onverzadigde zone

De bergingsruimte in de onverzadigde zone is hier gedefinieerd als de hoeveelheid water dat geborgen kan worden tot het punt dat de grond tot aan het maaiveld verzadigd is. In de praktijk is dit echter niet overal mogelijk, doordat in elk landschap drainerende elementen actief worden zodra de grondwaterstand het maaiveld nadert. Voorbeelden van dergelijke drainerende elementen zijn drooggevallen sloten, slenken en lokale laagtes. Hierdoor is volledige grondwaterverzadiging op landschapsschaal in de praktijk niet haalbaar. Tegelijkertijd zal bij vergaande vernatting ook steeds meer water op het maaiveld geborgen worden. In laagtes is daarom meer berging mogelijk dan de bergingsruimte in de onverzadigde zone zoals die in dit rapport is berekend. Een gedetailleerdere schatting van het bergingspotentieel vereist daarom om zowel rekening te houden met de opbolling van de grondwaterstand en met de bergingsmogelijkheden op het maaiveld.

Binnen het studiegebied varieert de gemiddelde grondwaterstand sterk, en daarmee ook de gemiddeld beschikbare bergingsruimte (Figuur 3-2). Onder de hoger gelegen Rucphense bossen is door de diepe grondwaterstand de bergingsruimte het grootst. In het stedelijk gebied en langs de beken biedt de ondergrond, vanwege ondiepe grondwaterstanden, minder ruimte om water te bergen. Tabel 3-3 geeft een indicatie van de totale maximale bergingsruimte binnen de begrenzing van elk van de drie infiltratiezones.

De beschikbare bergingsruimte in de ondergrond varieert in de tijd als gevolg van de fluctuatie van de grondwaterstand onder invloed van temporele variaties in neerslag en verdamping. Hierdoor neemt de bergingsruimte toe in periodes met een neerslagtekort (zomerseizoen) en neemt deze af in periodes met een neerslagoverschot (winterseizoen). In deze studie is deze detaillering niet verder onderzocht. Het meenemen van tijdsafhankelijkheid is wel belangrijk voor het in beeld brengen van de potentie en ontwerpen van infiltratiemaatregelen, omdat daarbij temporele variaties in waterbeschikbaarheid, bergingsruimte en watervraag in de tijd met elkaar in balans moeten worden gebracht.



Figuur 3-2: Gemiddelde bergingsruimte [cm water] in de onverzadigde zone op basis van gemodelleerde gemiddelde grondwaterstanden. De bergingsruimte geeft de waterkolom die nog in de onverzadigde zone kan worden geborgen tot het punt dat de grond tot aan het maaiveld verzadigd is.

Tabel 3-3: Geschatte gemiddelde bergingsruimte voor water in de onverzadigde zone in de deelgebieden op basis van de gemodelleerde stationaire grondwaterstand. De deelgebieden hebben gelijke oppervlakte.

Gebied	Oppervlak (ha)	Gemiddelde bergingsruimte onverzadigde zone (cm)	Totale bergingsruimte onverzadigde zone (miljoen m ³)
Studiegebied		47	38
Hoge zone	810	112	9,0
Middenzone	810	35	2,8
Bekenzone	810	16	1,3

3.3.2 Uitputtingsverloop

In Tabel 3-4 staan de berekende reservoircoëfficiënten met bijhorende karakteristieke buffertijden voor de drie deelgebieden weergegeven. Deze karakteristieke buffertijden zijn afgelezen van het berekende uitputtingsverloop (Figuur 3-3). De reservoircoëfficiënten komen wat grootteorde betreft overeen met eerder gerapporteerde waarden voor soortgelijke gebieden, zoals de Utrechtse Heuvelrug ($j = 180$ d, Van Loon e.a., 2019)

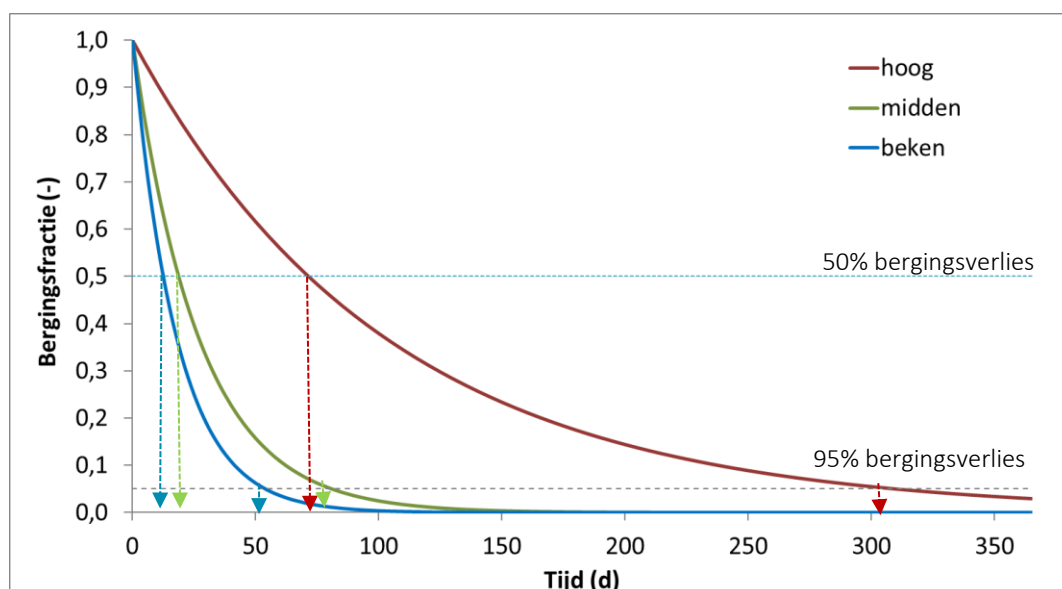
Uit Tabel 3-4 blijkt dat voor de Middenzone en de Bekenzone een onderling vergelijkbare reservoircoëfficiënt is berekend, en dat voor de hoge zone een duidelijk hogere reservoircoëfficiënt is berekend. Deze verschillen worden hoofdzakelijk bepaald door de kenmerkende drainageafstanden van deze gebieden. In de Middenzone en de Bekenzone bedraagt de slootafstand 60-80 m, terwijl in de Hoge zone de slootafstand zo'n 500 m bedraagt. Door deze grotere slootafstand neemt de omvang, en daarmee de traagheid van het grondwatersysteem toe. Dit uit zich in een langzamer uitputtingsverloop, zodat grondwater langer kan worden vastgehouden.

Uit de berekende reservoircoëfficiënten volgt dat in de Middenzone en Bekenzone met de huidige drainage intensiteit een extra grondwatervoorraad binnen 20 dagen met 50% is afgenomen, en binnen 55-75 dagen met 95%. De overbruggingsperiodes van deze gebieden bedraagt dus enkele weken. Het bergen van wateroverschotten tijdens het winterseizoen om ze beschikbaar te houden voor watergebruik tijdens droge zomerperiodes is in deze zones dus niet efficiënt zo lang het drainagesysteem niet wordt aangepakt. Door de drainage-intensiteit te verlagen zal de overbruggingsperiode toenemen.

Volgens de berekeningen is in de Hoge zone een extra grondwatervoorraad na 70 dagen met 50% afgenomen en na 310 dagen met 95%. Deze nalevering duurt lang genoeg om in droge tijden door te kunnen werken op de omgeving, met o.a. een hogere basisafvoer en stabielere kwelfluxen tot gevolg.

Tabel 3-4: Berekende reservoircoëfficiënten met kenmerkende buffertijden voor de drie onderscheiden gebieden.

	Reservoircoëfficiënt (d)	Verstreken tijd na 50% bergingsverlies (d)	Verstreken tijd na 95% bergingsverlies (d)
Hoge zone	103	71	310
Midden zone	27	19	75
Bekenzone	18	12	55



Figuur 3-3: Kenmerkend uitputtingsverloop van de berging, uitgedrukt in de bergingsfractie, in een freatisch pakket onder de drie onderscheiden deelgebieden. Een bergingsfractie van 1 (-) is gedefinieerd als de grondwatervoorraad zodra de aanvulling is gestopt.

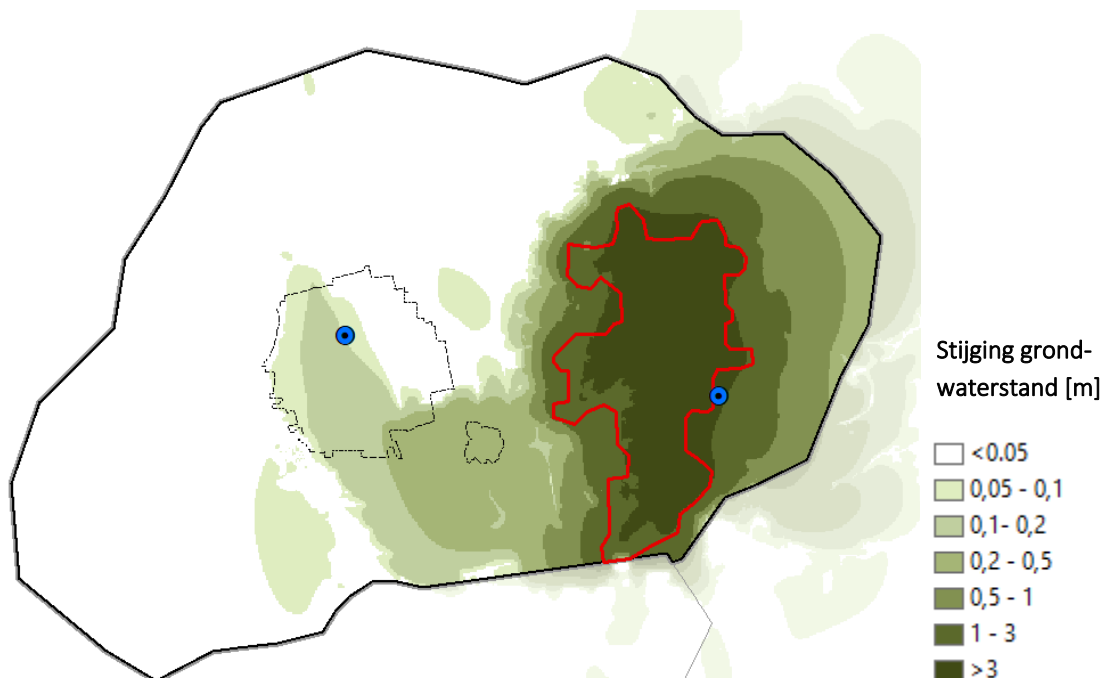
3.3.3 Ruimtelijke hydrologische effecten

De beschikbare bergingsruimte en het uitputtingsverloop geven geen inzicht in de ruimtelijke effecten van de infiltratiescenario's op grondwaterstanden en kwel. Deze ruimtelijke effecten zijn met een stationair grondwatermodel verkend. De resultaten geven een indruk van ruimtelijke hydrologische effecten van actieve infiltratie voor een gemiddelde situatie. Hierbij is geen rekening gehouden met temporele variaties in de beschikbaarheid van water en grondwaterstanden, en de resultaten geven geen beeld van de duur en omvang van nalevering naar de omgeving.

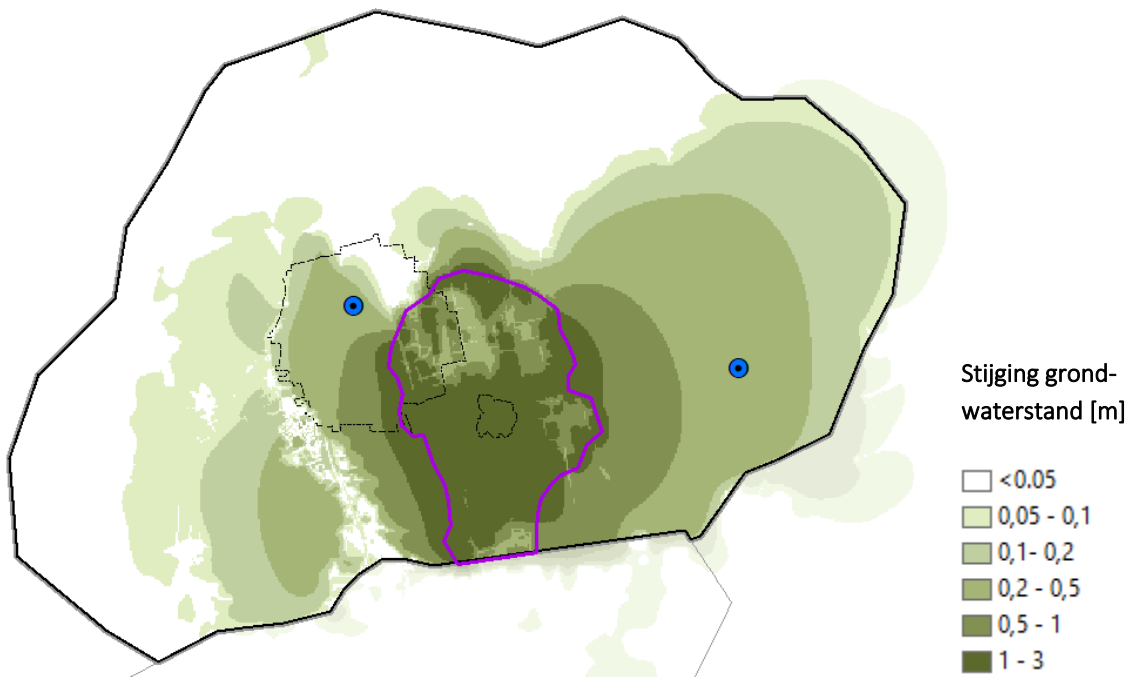
Effecten van actieve infiltratie in infiltratiezones op grondwaterstanden

Figuur 3-4 t/m Figuur 3-8 laten de gemodelleerde stijging in grondwaterstand zien door actieve infiltratie in achtereenvolgens de Hoge infiltratiezone, de Middenzone en de Bekenzone, uitgaande van de Middelhoge infiltratie-intensiteit (15,6 miljoen m³/jaar, 38%).

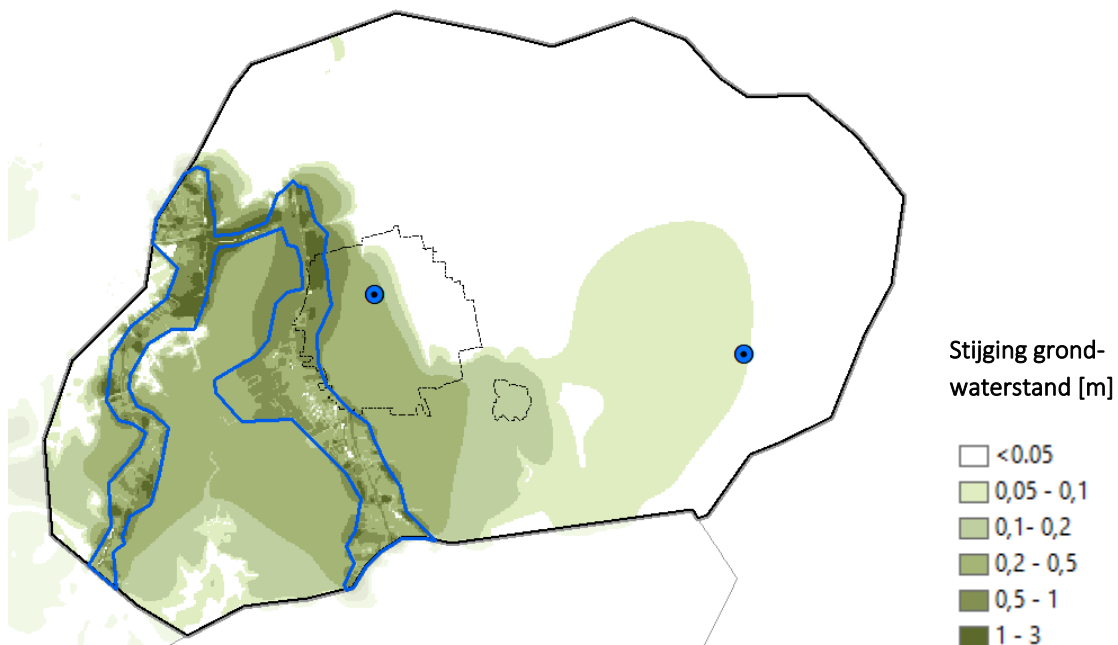
Figuur 3-7 geeft een overzicht van het effect van extra infiltratie op de grondwaterstijghoogtes over het studiegebied als geheel, bij verschillende infiltratielocaties en infiltratie-intensiteiten. Uit de modelresultaten van het stationaire model blijkt dat actieve infiltratie een substantieel effect kan hebben op de freatische grondwaterstanden en diepere stijghoogtes in het studiegebied. De effecten zijn het grootst bij infiltratie in het hoger gelegen gebied, doordat de grondwaterstand daar door de afwezigheid van drainage verder kan stijgen dan in de andere deelgebieden. In het hoger gelegen gebied kan ook een redelijk kleine hoeveelheid extra infiltratie een duidelijk effect hebben op de grondwaterstanden op de schaal van het gehele studiegebied. Bij infiltratie in de Middenzone (tussen de Rucphense bossen en de Molenbeek), of in de Bekenzone (langs de beken zelf) zijn de grondwaterstandsstijgingen kleiner, doordat het drainagesysteem de stijgingen afvlakt.



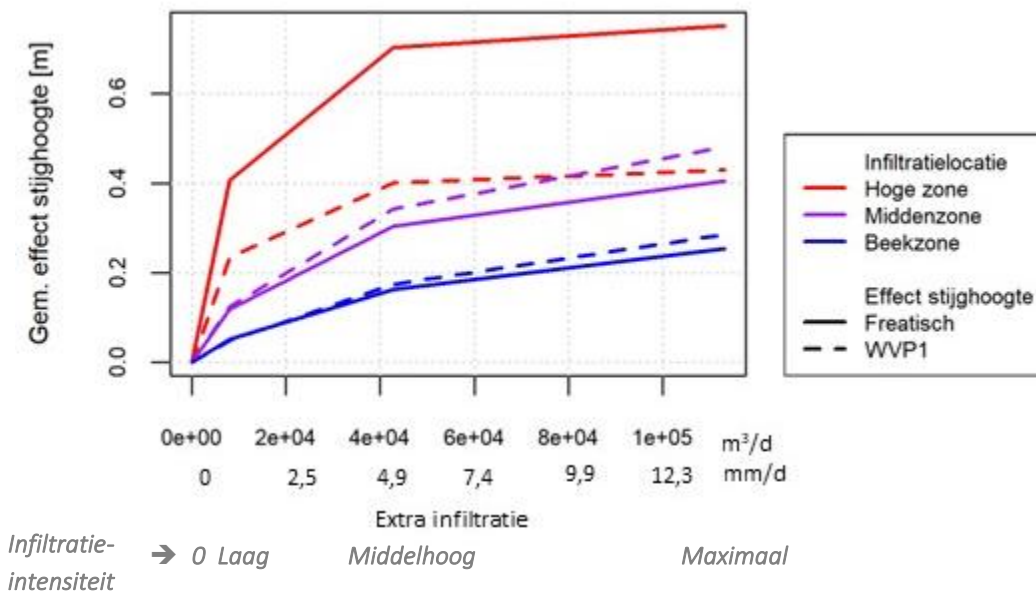
Figuur 3-4: Middelhoge infiltratie in de Hoge zone, gemodelleerd effect op de freatische grondwaterstand. Stippellijnen: grondwaterbeschermingsgebied en Rozenven-gebied. Middelhoge infiltratie is gedefinieerd als 38% van maximale beschikbaarheid van oppervlaktewater en hemelwater op jaarbasis (Tabel 3-1).



Figuur 3-5: Middelhoge infiltratie in de Middenzone, gemodelleerd effect op de freatische grondwaterstand. Stippellijnen: grondwaterbeschermingsgebied en Rozenven-gebied. Middelhoge infiltratie is gedefinieerd als 38% van maximale beschikbaarheid van oppervlaktewater en hemelwater op jaarbasis (Tabel 3-1).



Figuur 3-6: Middelhoge infiltratie in de Bekenzone, gemodelleerd effect op de freatische grondwaterstand. Stippellijnen: grondwaterbeschermingsgebied en Rozenven-gebied. Middelhoge infiltratie is gedefinieerd als 38% van maximale beschikbaarheid van oppervlaktewater en hemelwater op jaarbasis (Tabel 3-1).



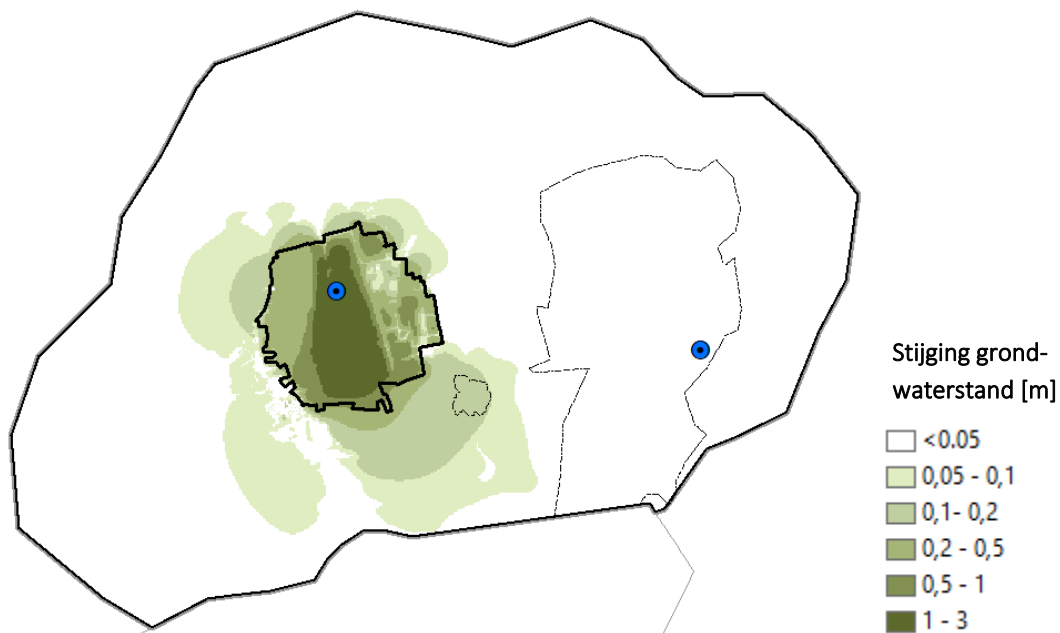
Figuur 3-7: Berekende stijging in grondwaterstanden en diepe stijghoogtes (gemiddeld effect over gehele studiegebied) door extra infiltratie in de landschapszones met drie verschillende infiltratie-intensiteiten. De x-as geeft de opgelegde hoeveelheid extra aanvulling door actieve infiltratie in m^3/d , oplopend van links naar rechts van nul (referentie) naar laag, middelhoog en maximale infiltratie. De y-as geeft het berekend effect op de stijghoogte. De gekleurde lijnen geven het effect bij toenemende hoeveelheden infiltratie in de Hoge zone (rood), de Middenzone (paars) en in de Beekzone (blauw).

3.3.4 Concrete infiltratielocaties en doelgebieden

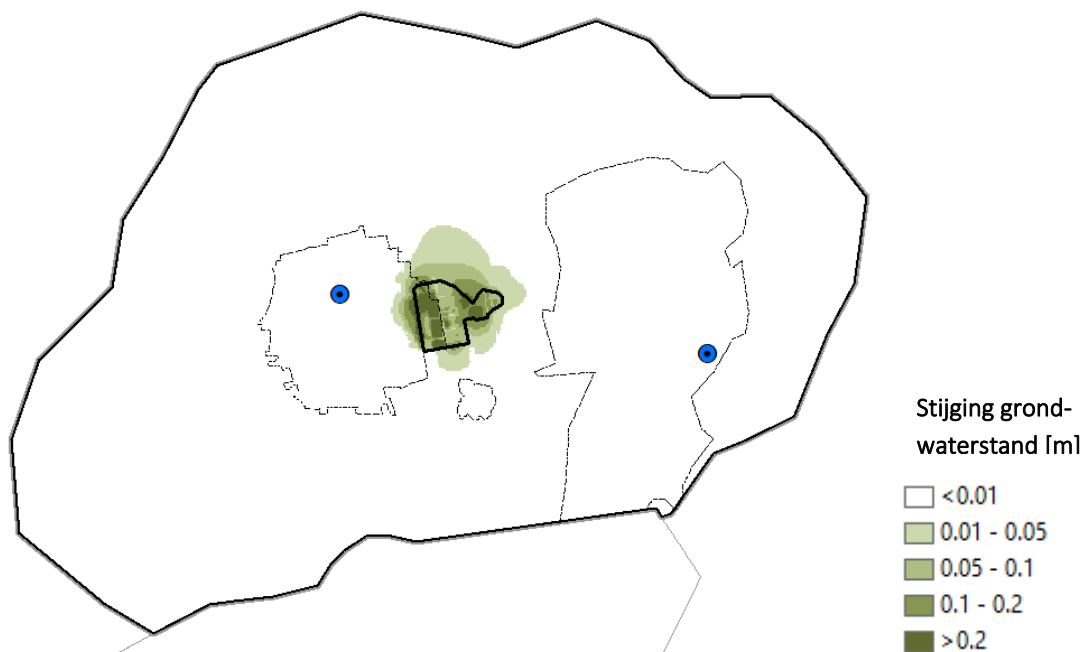
Grondwaterbeschermingsgebied en voormalige vennen

Figuur 3-8 en Figuur 3-9 laten het effect zien van actieve infiltratie in het grondwaterbeschermingsgebied bij de winning Roosendaal (Figuur 3-8) en in de voormalige vennen (Figuur 3-9). In de figuren is uitgegaan van de lage infiltratie-intensiteit van één millimeter per dag over het hele infiltratiegebied. De resultaten laten zien dat extra aanvulling in het grondwaterbeschermingsgebied een aanzienlijk effect heeft op de grondwaterstanden, dat ook buiten het grondwaterbeschermingsgebied doorwerkt. Dicht bij de winning is het effect op grondwaterstanden het grootst, doordat het grondwaterbeschermingsgebied qua omvang groter is dan de voormalige vennen en de invloed van drainage in het grondwaterbeschermingsgebied klein is door het ontbreken of beperkte aanwezigheid van drainage.

Actieve infiltratie in het gebied van de voormalige vennen (Figuur 3-9) heeft een veel kleiner en vrij lokaal effect. Dit gebied is intensief ontwaterd, waardoor het aangevulde grondwater snel wordt afgevoerd en dus weinig aan voorraadvorming kan bijdragen. Het lijkt er dus op dat actieve infiltratie in deze zone pas zinvol is wanneer ook de drainage-intensiteit wordt verminderd door het dempen van sloten en het blokkeren van drains.



Figuur 3-8: Effect van actieve infiltratie met 1 mm/dag in het grondwaterbeschermingsgebied op de freatische grondwaterstanden. Deze infiltratieflux is equivalent aan 5% van het maximaal beschikbare oppervlaktewater en hemelwater op jaarbasis (Figuur 3-1). De stippellijnen geven het Rozenven en de Rucphense bossen.

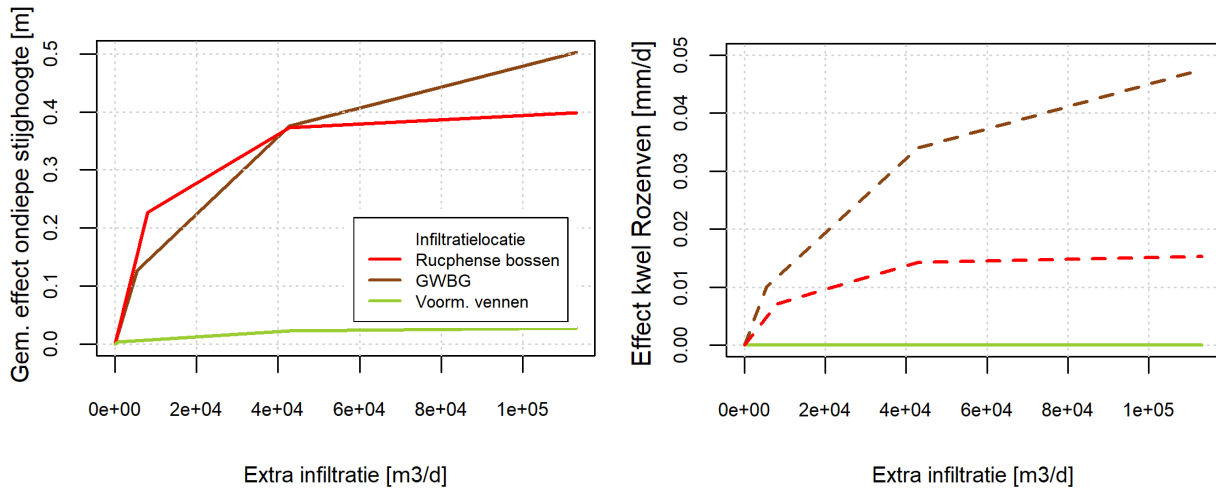


Figuur 3-9: Effect van actieve infiltratie met één mm per dag in het gebied van twee drooggelegde vennen (Snolleven en Katteven) op de freatische grondwaterstanden. Deze infiltratieflux is equivalent aan 0,7% van het maximaal beschikbare oppervlaktewater en hemelwater op jaarbasis (Figuur 3-1). De stippellijnen geven het Rozenven en de Rucphense bossen.

Rozenven

Het Rozenven is een kwetsbaar natuurgebied waar stijging van grondwaterstanden en een toename van de aanvoer van grondwater uit omliggende dekzandruggen een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan de natuurkwaliteit. Volgens Paternotte en Wachtendonk (2022) wordt het Rozenven plaatselijk gevoed met grondwater uit omliggende dekzandruggen en is er geen sprake van aanvoer van grondwater uit het eerste watervoerende pakket (kwel). In het Rozenven is overwegend sprake van infiltratie.

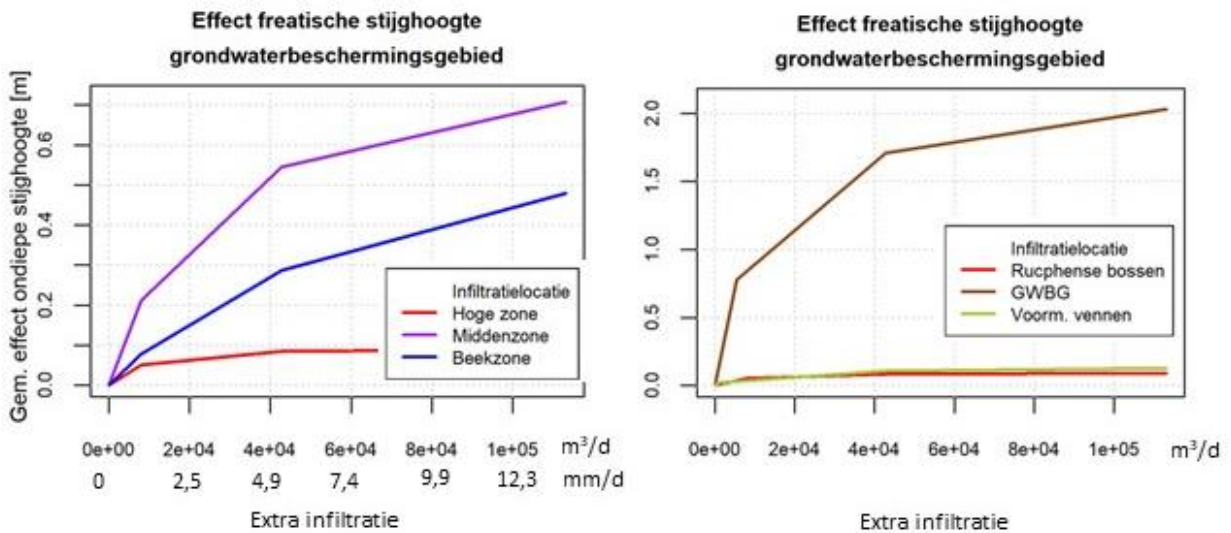
De berekende verandering in kwelfluxen is met maximaal 0,05 mm/d echter zeer klein en daardoor niet significant voor het gebruikte grondwatermodel. De modelresultaten laten zien dat extra infiltratie in de Rucphense bossen (Winning Schijf) en in het grondwaterbeschermingsgebied bij Roosendaal tot een duidelijke stijging in grondwaterstanden in het Rozenven kan leiden en een kleine stijging in de kwelflux (Figuur 3-10). De kwelflux in het Rozenven lijkt meer te profiteren van infiltratie in het (benedenstroomse) grondwaterbeschermingsgebied dan in de (bovenstroomse) Rucphense bossen, terwijl de oppervlakte van het grondwaterbeschermingsgebied kleiner is.



Figuur 3-10: Effect van actieve infiltratie in drie infiltratiegebieden op de grondwaterstanden (links) en kwel (van WVP2 naar WVP1, rechts) in en rondom het Rozenven.

Grondwaterbeschermingsgebied

Actieve infiltratie zou een strategie kunnen zijn om de effecten van grondwaterwinning in het gebied direct rond de winning te mitigeren. Uit de modelresultaten blijkt dat de grondwaterstanden in het gebied rond de winning het meest profiteren van actieve infiltratie in het grondwaterbeschermingsgebied bij de winning Roosendaal zelf, maar dat ook extra infiltratie rondom de beken en in de middenzone tussen de Rucphense bossen en de Molenbeek een duidelijke positieve bijdrage kunnen leveren (Figuur 3-11). Infiltratie in de Hoge zone heeft hier ook een positief effect, maar dit is een stuk kleiner.



Figuur 3-11: Effect van actieve infiltratie in drie landschapszones (links) en twee concrete infiltratielocaties (rechts) op de grondwaterstanden in het grondwaterbeschermingsgebied van winning Roosendaal. Let op: de y-assen hebben niet hetzelfde bereik.

3.4 Conclusies en discussie

In dit onderzoek is een verkenning gemaakt van de mogelijkheden, effecten en mechanismen van actieve infiltratie van oppervlaktewater in het gebied rond de winning Roosendaal.

- Voor het verkennen van de potentie van actieve infiltratie van waterschotten is de volgende gebiedsinformatie minimaal nodig:
 - De omvang en timing van wateroverschotten
 - De beschikbare bergingsruimte in de ondergrond als functie van grondwaterstand
 - De buffertijden als functie van doorlaatvermogen en drainageafstand
 - De uitstralingseffecten naar de omgeving van de infiltratievoorziening.Op basis van karteerbare kenmerken en resultaten van standaard beschikbare stationaire grondwatermodellen kan met beperkte inspanningen een eerste indruk van de effectiviteit en zoekgebieden worden verkregen.
- In het studiegebied is voldoende oppervlaktewater en hemelwater aanwezig om actieve infiltratie ten behoeve van voorraadvorming te overwegen, mits afwenteling op de grondwaterkwaliteit kan worden voorkomen. Deze randvoorwaarde voor kwaliteit is cruciaal voor zowel bescherming van ruwwaterkwaliteit voor drinkwaterproductie als voor natuurwaarden die onder invloed staan van het infiltrerende water (direct of indirect via kwel). Infiltratie van enkele tientallen procenten van de jaarlijkse beschikbaarheid van deze waterbronnen kan al een bijdrage leveren aan het aanvullen van de grondwatervoorraad en stijging van de grondwaterstand.
- De locatie van infiltratie is sterk bepalend voor de bijdrage aan voorraadbeheer. Vooral de drainage-eigenschappen bepalen de effectiviteit van deze strategie. Hoog gelegen en niet-gedraineerde gebieden bieden meer bergingsruimte en buffertijd dan laag gelegen, intensief gedraineerde gebieden. Voor de hier beschouwde casus Roosendaal is infiltratie in de Rucphense bossen ten behoeve van het vergroten van de waterbeschikbaarheid effectiever dan in het beekdal en in het gebied van het Rozenven. Geborgen water kan in de Rucphense bossen tot enkele maanden lang worden vastgehouden. Om bij gebruik van oppervlaktewater voor infiltratie afwenteling op de grondwaterkwaliteit te voorkomen is waarschijnlijk intensieve voorzuivering vereist, o.a. vanwege de negatieve invloed van RWZI-effluent en agrarische activiteiten op de waterkwaliteit. Om deze reden kan ook overwogen worden om direct drinkwater te produceren uit oppervlaktewater of oevergrondwater onder de Molenbeek, of om voor een alternatieve wijze van voorraadvorming te kiezen, zoals bosvorming gericht op beperken van verdamping, die beter past binnen de kaders voor waterkwaliteit.
- Actieve infiltratie kan ook ingezet worden om ongewenste verlagingseffecten op specifieke functies te beperken, mits afwenteling op de grondwaterkwaliteit wordt gemitigeerd door voldoende voorzuivering. Het stationaire grondwatermodel geeft aanwijzingen dat infiltratie van enkele procenten van het jaarlijks beschikbare oppervlaktewater in het grondwaterbeschermingsgebied van de winning Roosendaal leidt tot een sterkere impactreductie van grondwaterstandsverlagingen dan bij infiltratie in de Rucphense bossen. Hoewel de volumes en buffertijden kleiner zijn, geeft dit aanwijzingen dat een gerichte inzet van watersysteemmaatregelen bij kan dragen aan het combineren van droogtegevoelige functies met grondwaterwinning. Omdat relatief kleine volumes infiltratiewater volstaan, kunnen ook andere, kleinere waterbronnen, zoals onderbemalingen, in beeld komen. Een belangrijk aandachtspunt hierbij is dat actief infiltreren van wateroverschotten uit oppervlaktewater of hemelwater zuivering behoeft om verstopping van putten en dichtslibben van infiltratieplassen te voorkomen, en om ongewenste kwaliteitseffecten op grondwater voor drinkwaterproductie en natuur te voorkomen. Een afwegingskader voor het beoordelen van kwaliteitseffecten van actieve infiltratie (zonder terugwinning) is nodig om afwenteling op de grondwaterkwaliteit en natuurwaarden te voorkomen, en waar mogelijk deze waarden te versterken.

4 Aanpassen landgebruik

4.1 Inleiding

Recent zijn door verschillende partijen visies ontwikkeld voor een grootschalige herinrichting van het Nederlandse landelijk gebied, met name van voor gronden met landbouwgebruik. De achtergrond is het groeiende inzicht dat verschillende grote uitdagingen, waaronder het reduceren van stikstofdepositie op natuurgebieden, water vasthouden in het landschap, het verbeteren van de oppervlakte- en grondwaterkwaliteit, ambities voor bosuitbreiding en verbinden en versterken van natuurgebieden, alleen aangepakt kunnen worden door aanpassing en herverdeling van het landgebruik op landschapsschaal (van Huijgevoort, 2020; Baptist et al., 2019; Maas et al., 2022; Rijksoverheid, 2022). Binnen het Nationaal Programma Landelijk gebied zijn provincies verantwoordelijk voor het opstellen van gebiedsplannen waarin de doelen voor stikstof, klimaat, waterkwaliteit en natuur centraal staan, op basis van het landelijke beleid (Min. LNV, 2022).

Een discussiepunt in de inrichtingsvisies is in hoeverre omvorming van landbouwgebruik van intensieve landbouw naar een extensievere vorm of naar natuur bijdraagt aan de regionale natuurkwaliteit, waterkwaliteit en -kwantiteit, of andere doelen. Vanuit de stikstofproblematiek is recent het concept van omvorming van landbouwgrond naar “landschapsgronden” geïntroduceerd (Rijksoverheid, 2022). Landschapsgronden zijn een tussenvorm tussen landbouw en natuur; ze houden in principe een landbouwfunctie, maar in een extensievere vorm, met een beperkt mestgebruik of veedichtheid. In het Nationaal Programma Landelijk Gebied worden zgn. “overgangsgebieden” als instrument overwogen. In deze overgangsgebieden worden beperkingen aan het landgebruik opgelegd om de doelen voor natuur, waterkwaliteit en klimaat te realiseren. Beide instrumenten zijn nog onderwerp van discussie en moeten nog verder uitgewerkt worden. In principe kunnen landschapsgronden en overgangsgebieden op allerlei verschillende manieren worden ingericht – het kan gaan om extensief halfnatuurlijk grasland of een voedselbos, maar ook bijvoorbeeld om natte landbouw of bepaalde vormen van biologische teelten.

De omvorming van landbouwgronden naar een extensiever gebruik kan een bijdrage leveren aan de waterbeschikbaarheid, maar de mate waarin is afhankelijk van de locatie waar dit gebeurt en de inrichting. Om als waterbedrijf in te spelen op de lopende ontwikkelingen rond omvorming van landbouwgrond naar extensiever gebruik, en om invloed uit te kunnen oefenen op de ontwikkeling van het concept landschapsgrond, is inzicht nodig in de mogelijke effecten op de waterbeschikbaarheid.

Het doel van dit hoofdstuk is om een eerste beeld te vormen van hoe omvorming van landbouwgronden naar een extensief of halfnatuurlijk gebruik bij zou kunnen dragen aan de regionale waterbeschikbaarheid. We kijken naar enkele verschillende vereenvoudigde, theoretische scenario's van omvorming van agrarische gronden naar halfnatuurlijke typen gebruik. Daarbij ligt de focus, net als bij de maatregel Actieve infiltratie (Hoofdstuk 3), op een globaal beeld te krijgen van de ordegrottes van mogelijke effecten op gebied van waterkwantiteit en de mechanismen die de potentie van de maatregel bepalen.

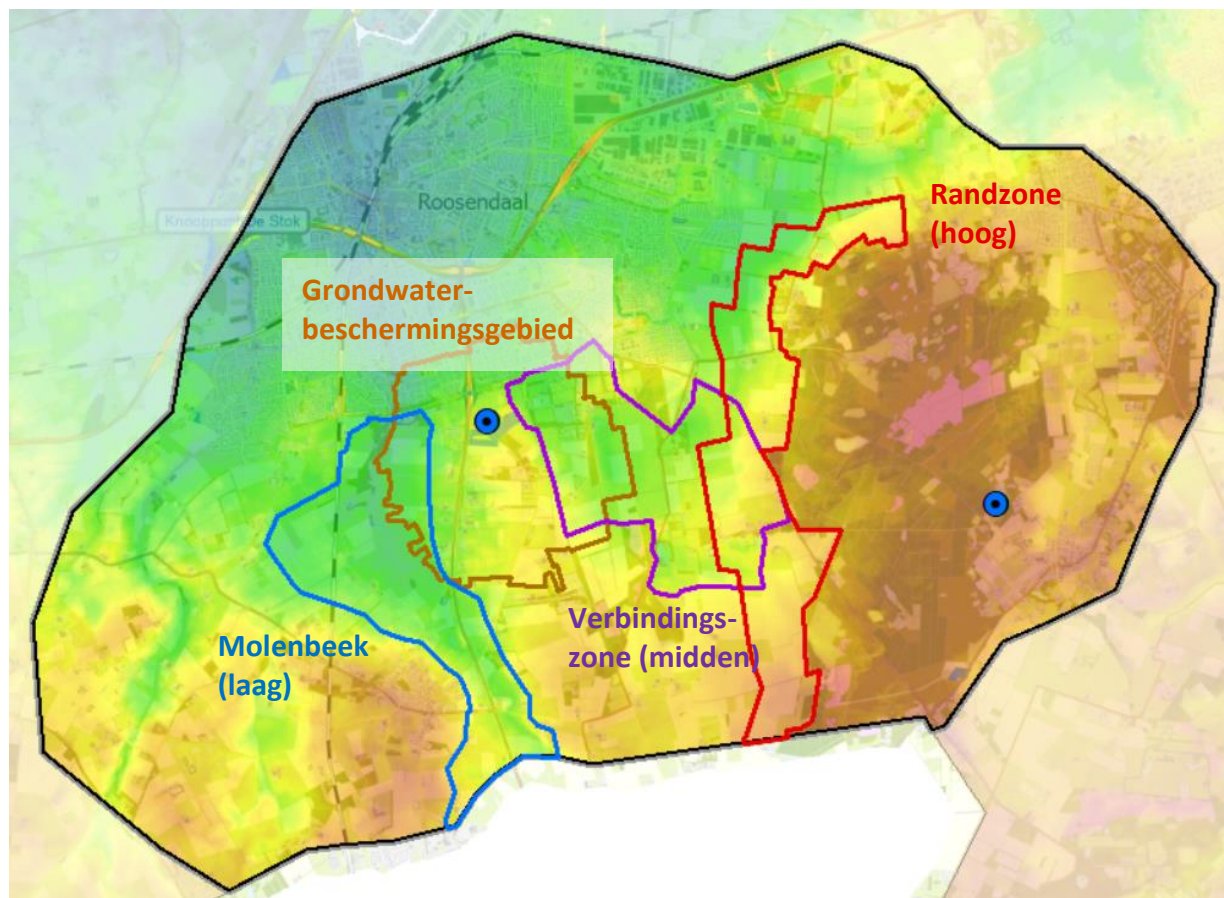
4.2 Aanpak

4.2.1 Uitgangspunten

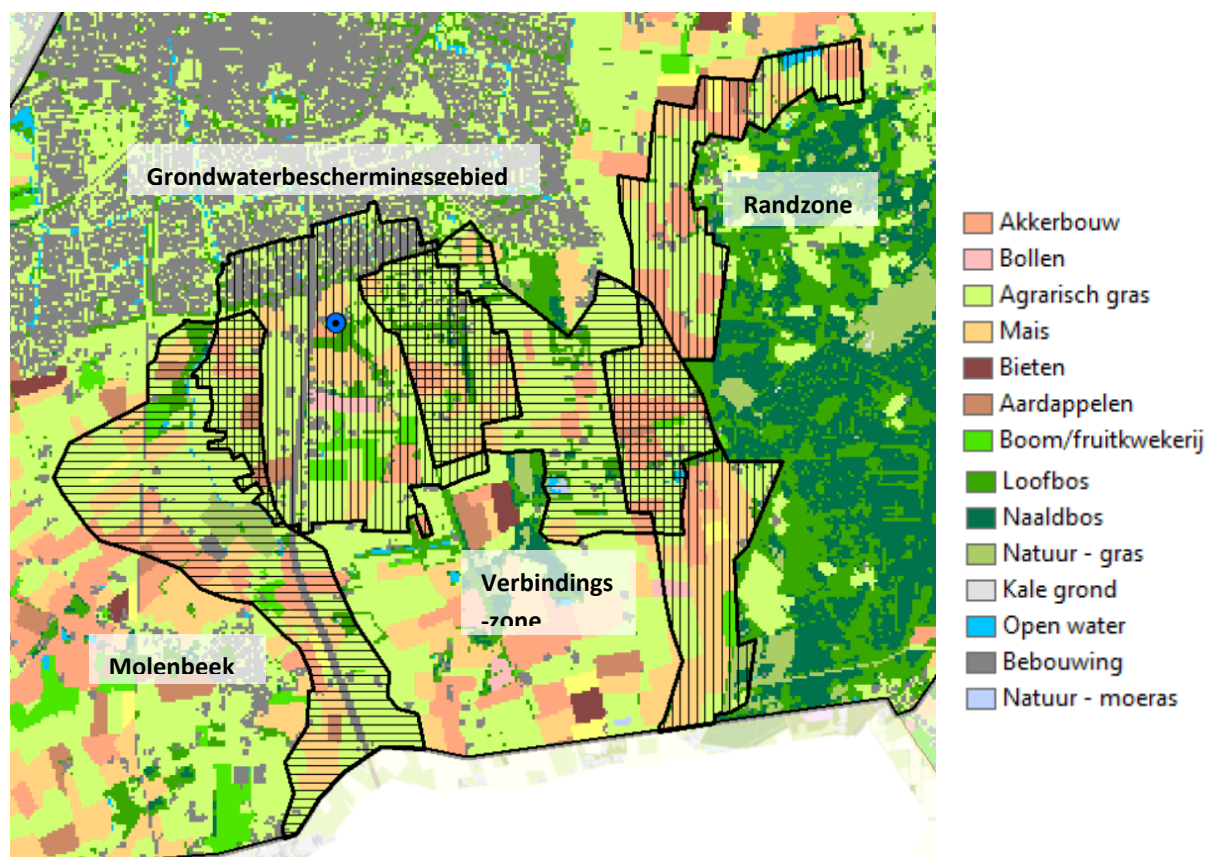
De effecten van omvorming van landbouwgrond naar halfnatuurlijk gebruik zijn zowel afhankelijk van wat deze omvorming precies inhoudt, als op welke schaal en posities in het watersysteem dit gebeurt. Hier beschouwen we het omvormen van het land- en watergebruik voor de volgende vier zones (zie ook Figuur 4-1 en Figuur 4-2):

- Molenbeek (laag): omvorming van landbouwgrond in de laagste zone rond de Molenbeek, tussen de Belgische grens en de zuidrand van Roosendaal. Dit zou bij kunnen dragen aan natuurontwikkeling en waterberging rond de beek, en aan een verminderd drainerend effect van de beekzone als de omvorming samengaat met aanpassing van de drainage in het beekdal;
- Verbindingszone (midden): bossen en de vennen en landgoederen in het middengebied. Dit is op dit moment een intensief gedraineerd gebied, waarbinnen een aantal versnipperde natuurgebieden en (deels voormalige of verdroogde) vennen liggen. Hier zou omvorming van intensieve naar extensieve landbouw een kans zijn om zowel drainage te beperken als natuurgebieden met elkaar te verbinden.
- Randzone (hoog): een bufferzone langs de rand van de Rucphense bossen. Vorming van landschapsgroten of andersoortige bufferzones rond natuur wordt vaak als optie genoemd om stikstofdepositie te beperken, natuur/bosgebieden te vergroten en mogelijk ook hydrologische condities te verbeteren.
- Grondwaterbeschermingsgebied (excl. Stedelijke zone): omvorming rond de drinkwaterwinning Roosendaal. Doel hiervan zou zijn om (schone) aanvulling van de grondwatervoorraad te versterken en de grondwaterstandsverlaging door de winning te mitigeren.

Deze vier zones zijn zo begrensd, dat ze elk 450 ha groot zijn en vooral landbouwgrond omvatten. De zones corresponderen met de zones gebruikt in het onderdeel Actieve infiltratie (Hoofdstuk 3), maar zijn aangepast om relevante agrarische gronden te omvatten. Naast de vier omvormingszones is een scenario doorgerekend met omvorming van alle landbouwgronden in het gebied (scenario 'Overall'). Dit is vooral een theoretisch scenario om de mechanismen van de effecten op de waterhuishouding te begrijpen. In bijlage IV is meer informatie over de onderzochte effecten en scenario's opgenomen.



Figuur 4-1: Zones die zijn gedefinieerd en gebruikt voor het verkennen van de waterhuishoudkundige effecten van omvorming van (water)intensieve landbouw naar (water)extensievere landbouw, met op de achtergrond de maaiveldhoogten.



Figuur 4-2: De vier voor deze studie gedefinieerde omvormingszones en het huidige landgebruik in het Brabant Model.

4.2.2 Verandering grondwateraanvulling

We hebben de potentiële veranderingen in grondwateraanvulling door omvorming van het landgebruik in beeld gebracht op basis van kengetallen uit de literatuur (Bijlage I). Voor 'grondwateraanvulling' worden verschillende definities aangehouden, waarbij ondiepe afstroming en/of drainage hier soms wel en soms niet in worden meegeteld. Omdat we werken met een grondwatermodel dat in principe de (snelle) afvoer zelf uitrekent, is het effect van aanpassing van het landgebruik op de grondwateraanvulling hier gedefinieerd als de verandering van de actuele verdamping als gevolg van verschillen in de verdampingseigenschappen tussen de huidige en toekomstige begroeiing.

Uit de literatuur zijn voor verschillende agrarische landgebruikstypen en voor natuurlijke graslanden gegevens verzameld van de jaarlijkse verdamping en/of grondwateraanvulling (Bijlage **Error! Reference source not found.**). Goede gegevens over verdamping van verschillende typen begroeiing zijn beperkt beschikbaar (zie Bijlage I). Binnen vegetatie- en gewastypen bestaan grote verschillen in verdamping, afhankelijk van de locatiecondities, met name de vochtbeschikbaarheid en de dichtheid en hoogte van de vegetatie. Hier nemen we het effect van vochtcondities op verdamping niet mee, omdat dit een ruimtelijke analyse zou vereisen. Dit betekent dat we aannemen dat de vochtcondities niet bepalend zijn voor het effect van omvorming op de verdamping: op vochtige locaties blijft de verdamping voor en na omvorming relatief hoog, op droge locaties relatief laag. Ook kijken we alleen naar vorming tot halfnatuurlijk grasland, en geven we een schatting van de mogelijke range in verdamping voor elk begroeiingstype. Op basis van de bij elkaar gebrachte getallen is voor alle relevante omvormingen van verschillende landbouwtypen naar halfnatuurlijk grasland een schatting gegeven van het gemiddelde effect op de jaarlijkse werkelijke verdamping (Tabel 4-1), en de onzekerheidsrange. De verdamping is direct aan laag 1 van het Brabant Model toegekend, omdat dit model geen onverzadigde zone module bevat waarmee de grondwateraanvulling berekend kan worden.

De berekende veranderingen in grondwateraanvulling omvatten een grote onzekerheid. Voor natuurgrasland is in de literatuur een verdamping van gemiddeld zo'n 450-500 mm/j gerapporteerd, met een grote spreiding van ruim 150 mm/j naar beide kanten (Bijlage I). Ook binnen agrarische landgebruikstypen is de variatie groot. Daarom zullen de veranderingen in grondwateraanvulling als gevolg van omvorming in de praktijk zeer uiteenlopen. Voor de scenario's die met de modellen zijn doorgerekend is uitgegaan van de gemiddelde verdampingswaarden voor alle vegetatietypen ('gemiddelde variant', Tabel 4-1). Daarnaast is één 'negatieve variant' doorgerekend, waarbij alle veranderingen in grondwateraanvulling zoals gegeven in Tabel 4-1 met 100 mm/j zijn verminderd. Qua orde grootte zou dit overeen kunnen komen met het verschil tussen de ontwikkeling van een zeer productief grasland en dat van een schraal natuurgrasland. Op deze manier wordt een inschatting gegeven van de onzekerheidsmarge in de effecten van omvorming als gevolg van onzekerheid in de verdampingseffecten.

Tabel 4-1: Vereenvoudigde geschatte effecten van omvormingen van gewassen naar natuurgrasland op de grondwateraanvulling (P-ETa).

Overgang	Range (mm/j) ¹⁾	Witte e.a. 2019 ²⁾	Gekozen (mm/j)
Agrarisch gras → natuurgras	-140 - +330	-70	+90
Mais → natuurgras	-270 - +250		+0
Aardappel → natuurgras	-340 - +150	-148	-70
Akkerbouw overig → natuurgras	-410 - +230	-162	-30
<i>Vochtige vs droge vegetatie</i>			- 50
<i>Dichte/hoge vs lage/schrale vegetatie</i>			- 70

¹⁾Op basis van kentallen uit Nederlandse literatuur, zie bijlage I. ²⁾ geschat voor Noord-Brabant op basis van gewasopbrengsten en met als referentie natuur in plaats van natuurgras.

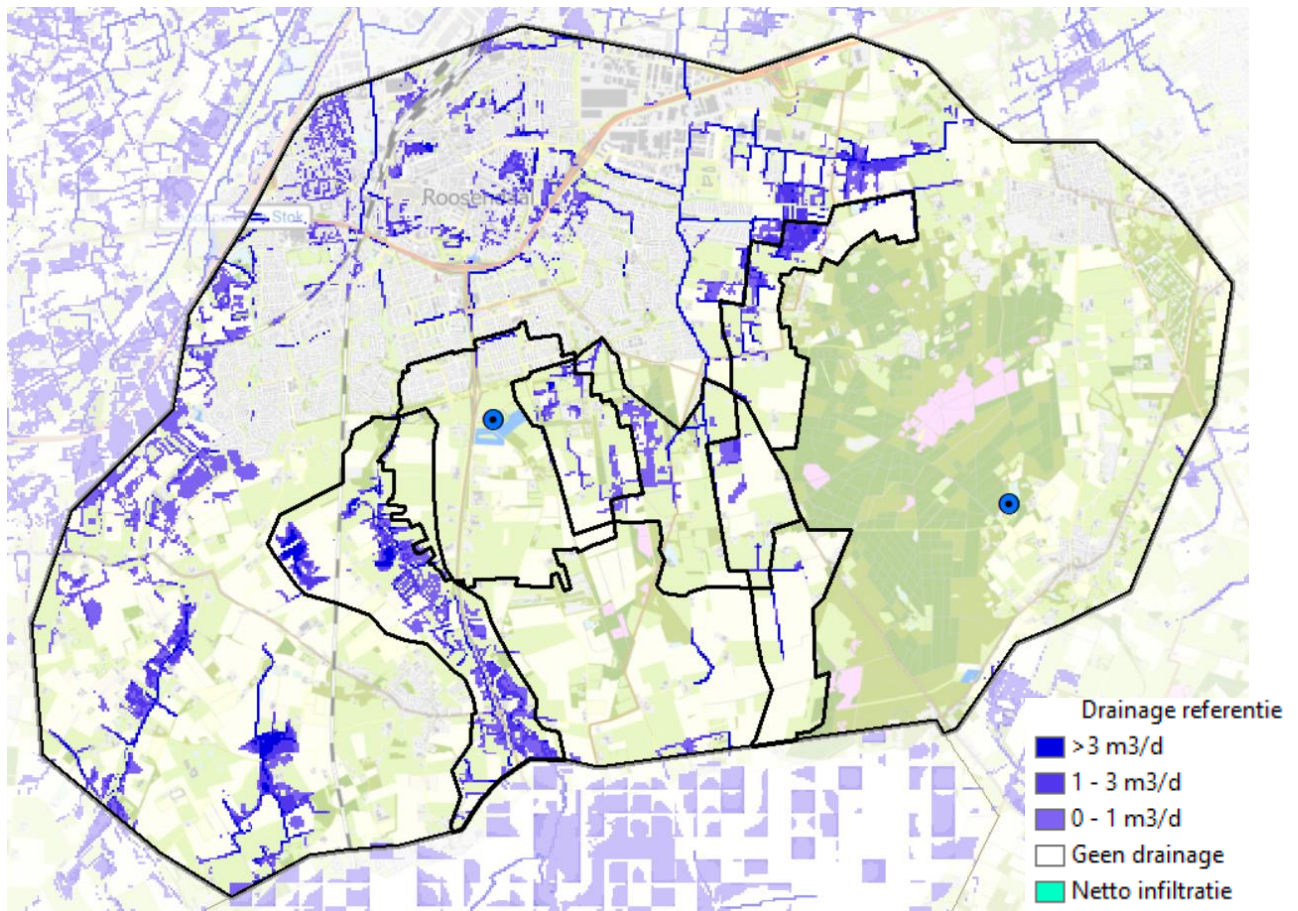
4.2.3 Verlagen van de drainage-intensiteit

Het omvormen van landbouwgrond naar extensieve landbouw of natuur maakt het mogelijk de drainage-intensiteit te verminderen en zo meer water vast te houden. Het verminderen van de drainage is mogelijk door het dempen of verondiepen van sloten en andere waterlopen, het peil te verhogen, of door buisdrainage te verwijderen of afsluiten. Het reduceren van drainage is in de praktijk nog vooral gedaan in natuurgebieden. Hierbij zijn vaak de kleinere sloten volledig gedempt, en in grotere waterlopen zoals beken de peilen verhoogd, afhankelijk van de functie voor omliggende landbouwgebieden (Verdonschot et al., 2017). In het geval van omvorming naar extensieve landschapsgronden zal mogelijk niet alle drainage worden verwijderd, maar zal deze alleen minder intensief worden gemaakt.

Een aanpassing van het drainagesysteem kan in modellen en berekeningen worden benaderd door verhoging van de drainagepeilen (peilverhoging), een vergroting van de drainageweerstand (door dempen van een deel van de sloten) of door verhogen van de waterbodemoogte (verondiepen). In van den Eertwegh et al. (2021) zijn bijvoorbeeld modelberekeningen uitgevoerd waarin het drainageniveau/peil van de kleine en grote waterlopen met 30 cm zijn verhoogd. In Stuurman et al. (2020) zijn modelberekeningen gedaan voor verschillende hypothetische vernattingsscenario's, waaronder het verhogen van het drainageniveau in en rond natuurgebieden met 20 cm en het dempen van alle kleinere watergangen.

In deze studie gaan we uit van de volgende aanpassingen in drainage bij omvorming van het landgebruik:

- Verhogen van peilen in alle drainage en waterlopen met 20 cm;
- Vergroten van de drainageweerstand met een factor 2. Dit simuleert het effect van het verwijderen van ongeveer de helft van de sloten.



Figuur 4-3: Drainageflux zoals berekend door het stationaire model in de referentiesituatie (RIV + DRN-fluxen).

4.2.4 Grondwatermodellering

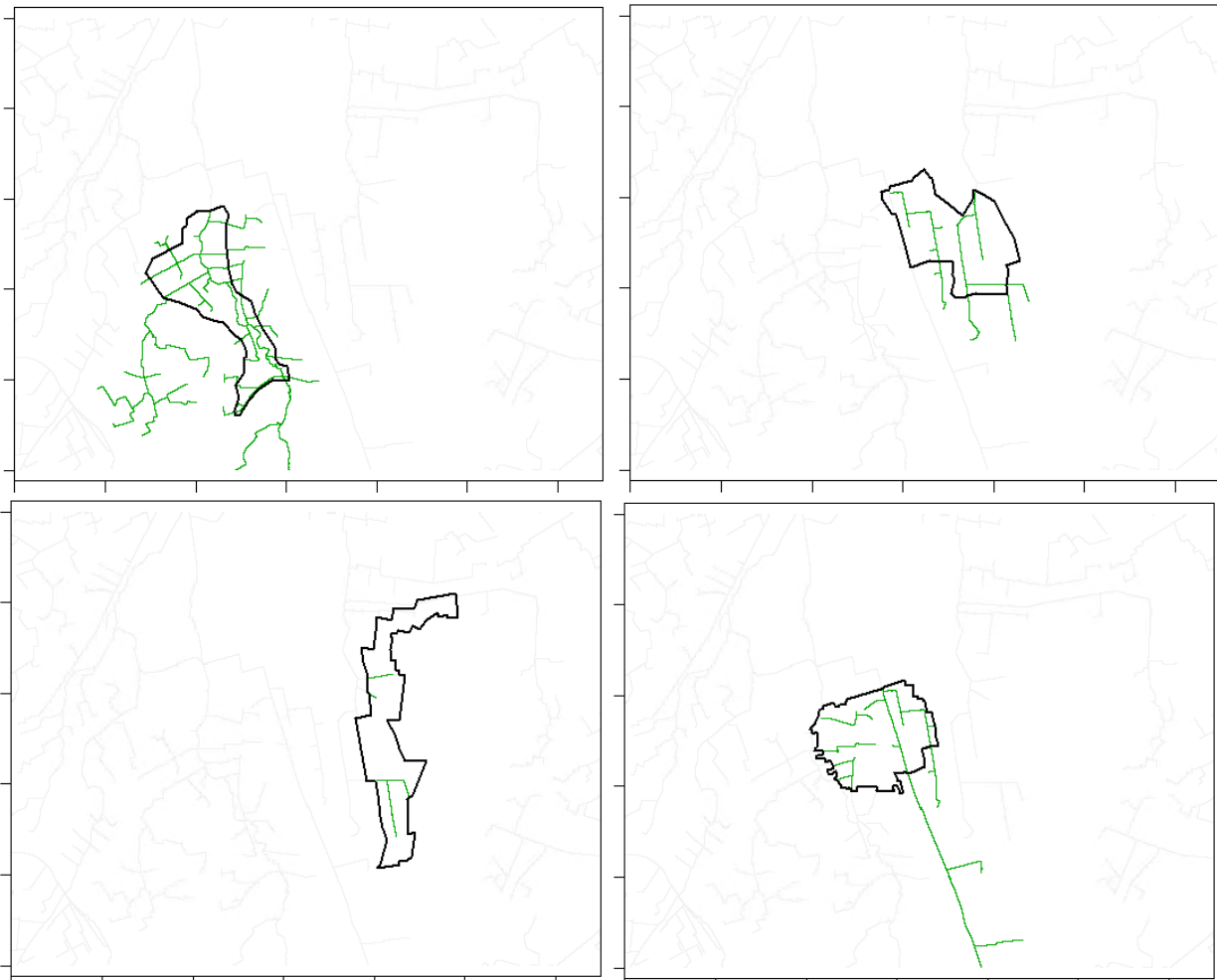
De verschillende omvormingsscenario's zijn doorgerekend met een stationair ruimtelijk grondwatermodel. Het gaat om een uitsnede van het Brabant Model, gekalibreerd door Brabant Water. Daarbij zijn de effecten op grondwaterstanden in beeld gebracht voor de verandering in grondwateraanvulling, de verandering in drainage-intensiteit en beiden gecombineerd. Details over deze aanpak zijn opgenomen in bijlage **Error! Reference source not found.**

De grondwateraanvulling wordt in het stationaire grondwatermodel meegenomen als invoer in de vorm van een grondwateraanvulling-gridkaart, die van tevoren met een onverzadigde zone-model is gemaakt. We hebben hier de geschatte veranderingen in grondwateraanvulling voor de verschillende landgebruikstypen direct opgeteld aan dit grid, en deze nieuwe kaarten als modelinvoer toegepast.

De drainage is in het gebruikte grondwatermodel geschematiseerd door grids die per modelcel de intensiteit van drainage weergeven. De grids geven het drainageniveau/waterpeil van de drainage of het waterlichaam; en de weerstand tussen het grondwater en het drainagesysteem, die onder andere wordt bepaald door de dichtheid van het drainagenetwerk (DRN- en RIV-packages). Om de extensivering van de drainage in de omgevormde zones te simuleren, zijn in de modellen de volgende veranderingen aangebracht:

- Kleine waterlopen en drainage (DRN-package): verhogen van het drainageniveau met 20 cm en verdubbelen van de drainageweerstand (halveren van de drain conductance).
- Grotere waterlopen (RIV-package): verhogen van het gemiddelde waterpeil met 20 cm.

Voor de lokale drainage (DRN) zijn de aanpassingen telkens gedaan binnen het gehele oppervlak van de gekozen zones. In de grotere waterlopen is de peilverhoging doorgevoerd in het gehele 'stroomgebied', ofwel in de omvormingszone en de bovenstrooms liggende delen van de waterlopen (Figuur 4-4). Op deze manier wordt voorkomen dat het waterpeil in een waterloop benedenstrooms hoger kan worden dan bovenstrooms.



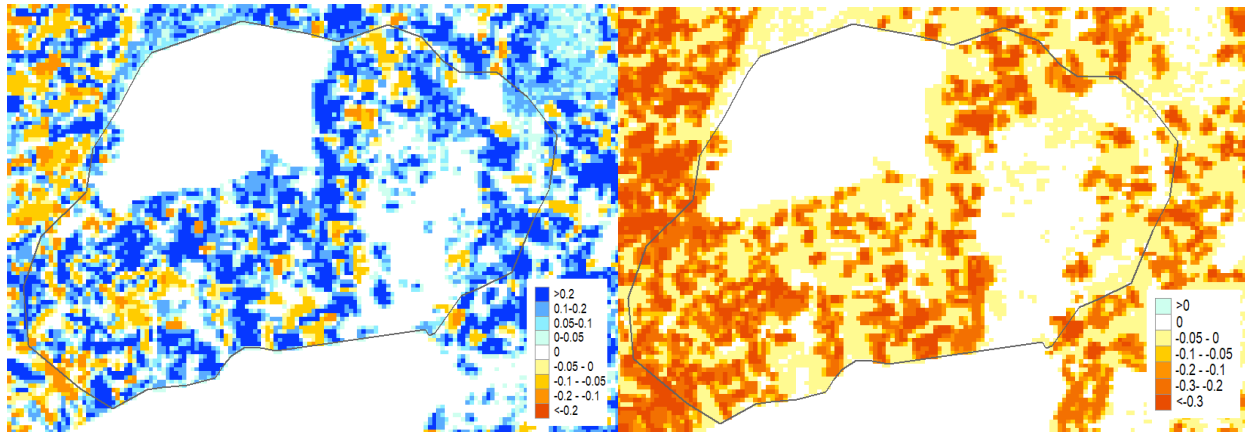
Figuur 4-4: Toegepaste peilverhoging in de grotere waterlopen (RIV) in de drie omvormingszones. Groen: Peilverhoging 20 cm; grijs: geen verandering.

4.3 Resultaten

4.3.1 Effect van verandering van de grondwateraanvulling

De geschatte veranderingen in jaarlijkse verdamping als gevolg van omvorming van landbouwgrond, zoals beschreven in paragraaf 4.2.2, zijn met de landgebruikskaat vertaald naar een ruimtelijk beeld. Hierbij dient opgemerkt te worden dat dit globale schattingen zijn, vanwege het beperkte aantal gegevens over verdamping en het negeren van ruimtelijke variaties als gevolg van o.a. de vochtbeschikbaarheid (grondwaterstand) en bodemvruchtbaarheid. Figuur 4-5 (links) geeft de geschatte veranderingen in de grondwateraanvulling als alle landbouwgrond naar natuurgrasland zou worden omgevormd, waarbij is uitgegaan van gemiddelde verdampingswaarden voor alle landgebruikstypen (Tabel 4-1). Volgens deze schatting neemt de grondwateraanvulling bij omvorming van agrarisch grasland gemiddeld toe, en bij akkerbouwgewassen af. Om de onzekerheid van deze berekeningen aan te geven, is in het rechterpaneel van de figuur weergegeven de geschatte veranderingen van de grondwateraanvulling op basis van een hoge inschatting van de verdamping van

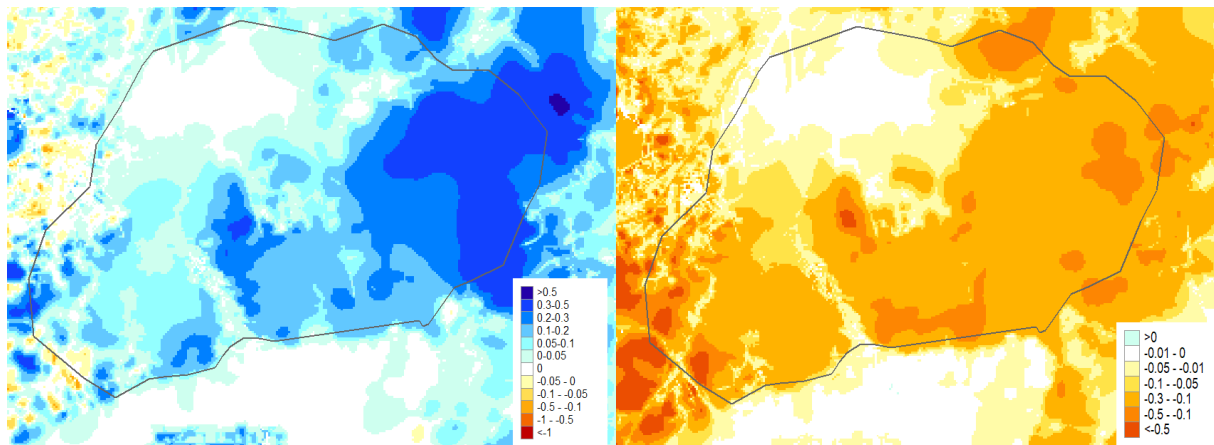
natuurgrasland. In dat geval is de verdamping van natuurgrasland hoger dan dat van grasland en akkerbouwgewassen, zodat onder alle omgevormde landbouwgronden de grondwateraanvulling afneemt. De analyse geeft zo een range aan mogelijke verdampingswaarden, die, vanwege onzekerheden uit de literatuur, zowel positief als negatief kunnen uitpakken voor de grondwateraanvulling.



Figuur 4-5: Ingeschatte verandering in grondwateraanvulling (mm/d) als gevolg van omvorming van alle landbouwgrond naar halfnatuurlijk grasland. Links: effect voor gemiddelde verdampingswaarden per landgebruikstype (gemiddeld Roosendaal +0,061 mm/d); rechts met een verdampingswaarde voor natuurgrasland hoog in de range van gemeten waarden (gemiddeld Roosendaal -0,081 mm/d).

Het effect van mogelijke verandering in de grondwateraanvulling op de gemiddelde grondwaterstand is voor twee varianten doorgerekend met een stationair grondwatermodel (het Brabant Model). Bij de eerste variant is uitgegaan van de gemiddelde verdamping van natuurgrasland, waardoor de grondwateraanvulling onder akkerbouw afneemt, en onder grasland toeneemt (Tabel 4-1). Het model laat zien dat onder dit scenario de grondwaterstand onder de Hoge zone met enkele decimeters zal stijgen, ondanks dat in dit gebied nauwelijks sprake is van landbouw. De berekende stijging van de grondwaterstand onder stedelijk gebied en het beekdal van de Molenbeek is (veelal) kleiner dan 5 cm, en onder het landbouwgebied maximaal 20 cm. Deze kleinere stijgingen hangen samen met het dempende effect van lokale drainage; met een relatief kleine stijging van de grondwaterstand stelt zich een nieuw evenwicht tussen grondwateraanvulling en drainage in (Figuur 4-6, linker panel).

Bij de tweede variant is uitgegaan van een hoge inschatting van de verdamping van natuurgrasland, waardoor de grondwateraanvulling onder het hele landbouwgebied afneemt. Onder dit scenario is een vrijwel vlakdekkende daling van de grondwaterstand van meerdere decimeters berekend (Figuur 4-6, rechter panel). Waarschijnlijk speelt ook hier het oppervlaktewatersysteem een bepalende rol in de effecten; in de gebieden zonder wateraanvoer worden de verlagingen niet gemitigeerd door extra infiltratie van oppervlaktewater.



Figuur 4-6: Effect van omvorming op de grondwaterstanden, alleen verandering van de grondwateraanvulling. Links met gemiddelde verdampingswaarden voor de landgebruikstypen, rechts met een hoge inschatting van de verdamping (en dus lagere grondwateraanvulling) van het ontwikkelde natuurgrasland.

4.3.2 Effect van veranderde grondwateraanvulling en extensiveren drainage

Grootschalige omvorming van landbouwgrond naar natuurgrasland biedt niet alleen kansen om de grondwateraanvulling te verhogen, maar ook om drainageverliezen te beperken. Natuurgrasland hoeft immers niet gedraineerd te worden. Figuur 4-7 geeft de berekende veranderingen van de gemiddelde grondwaterstand weer indien de grondwateraanvulling toeneemt, en drainage-intensiteit wordt verminderd in de vier gekozen omvormingszones. Tabel 4-2 (linker kolom) geeft de bijbehorende gemiddelde grondwaterstandsverandering over het gehele Roosendaal-gebied.

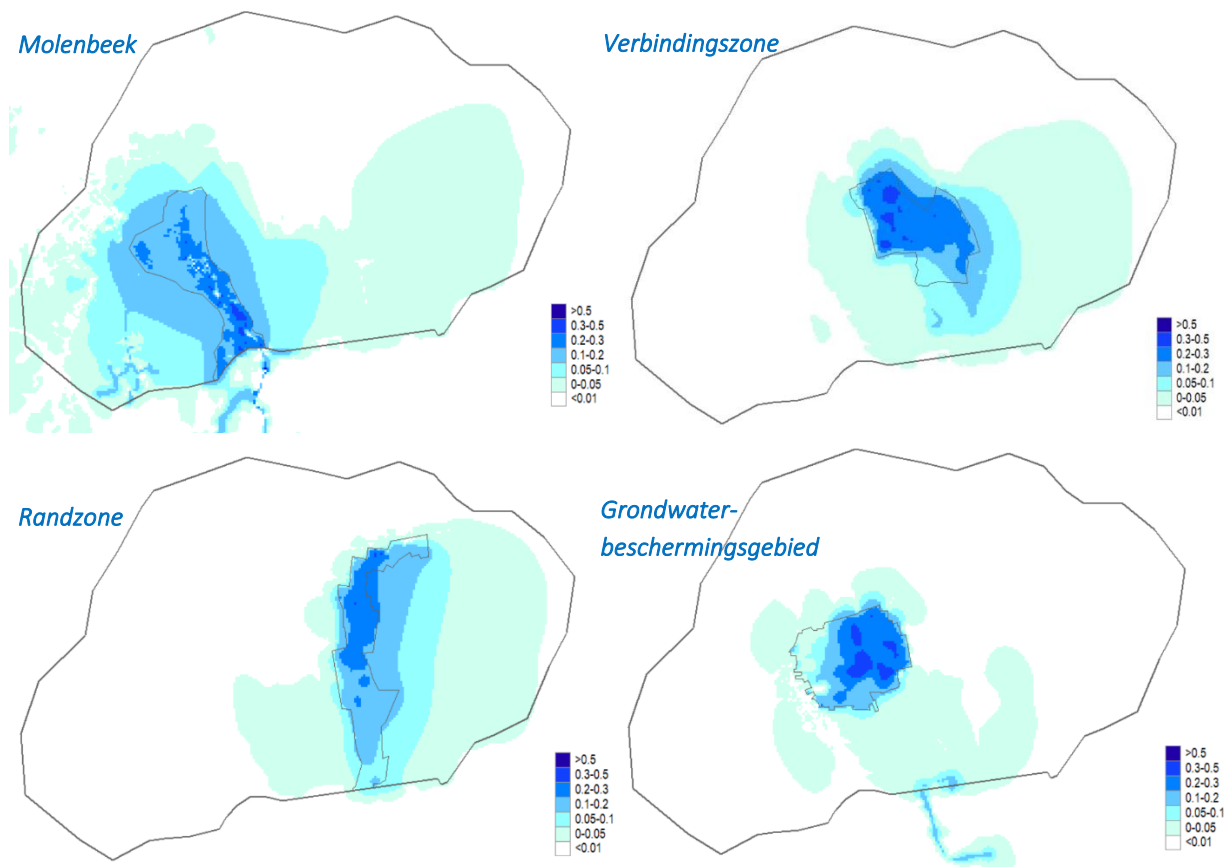
Het valt op dat de omvorming van landbouwgronden rond de Molenbeek relatief veel effect heeft op de grondwaterstanden, zowel absoluut als in de ruimte. Dit komt doordat in het doorgerekende scenario in dit deelgebied niet alleen lokale drainage is verminderd, maar ook het peil van de gehele Molenbeek is verhoogd. Reductie van de drainage-intensiteit in dit deelgebied werkt dan ook ver door. Voor de andere omvormingszones is het effect op de grondwaterstanden wat lokaler.

De rechter kolommen in Tabel 4-2 Tabel 4-2 geven de gemodelleerde verandering in grondwaterstanden wanneer alleen de grondwateraanvulling of alleen de drainage-eigenschappen veranderen. Voor de meeste omvormingszones is het berekende effect van de drainage-aanpassingen groter dan het effect van veranderde grondwateraanvulling. In de praktijk zal dit nog sterker gelden, omdat bij verruiging van natuurgraslanden de verdamping hoger kan zijn dan gemiddeld als gevolg van productiviteitstoename en eventueel vernatting.

Voor de verschillende omvormingsgebieden verschilt de verhouding tussen de effecten van veranderde grondwateraanvulling en drainage-aanpassingen.

- In de zone rond de Molenbeek levert extra grondwateraanvulling een relatief kleine stijging van de grondwaterstand, en daarmee voorraadvorming, op. De drainage-aanpassing levert juist veel op, doordat hier de drainage in de uitgangssituatie veel invloed heeft.
- Bij omvorming in het grondwaterbeschermingsgebied is het effect van grondwateraanvulling juist relatief groot en het effect van drainagereductie klein. Mogelijk komt dit doordat dit gebied iets minder intensief gedraineerd is en/of onder invloed van de drinkwaterwinning staat, waardoor relatief weinig van de extra grondwateraanvulling als drainage verdwijnt.

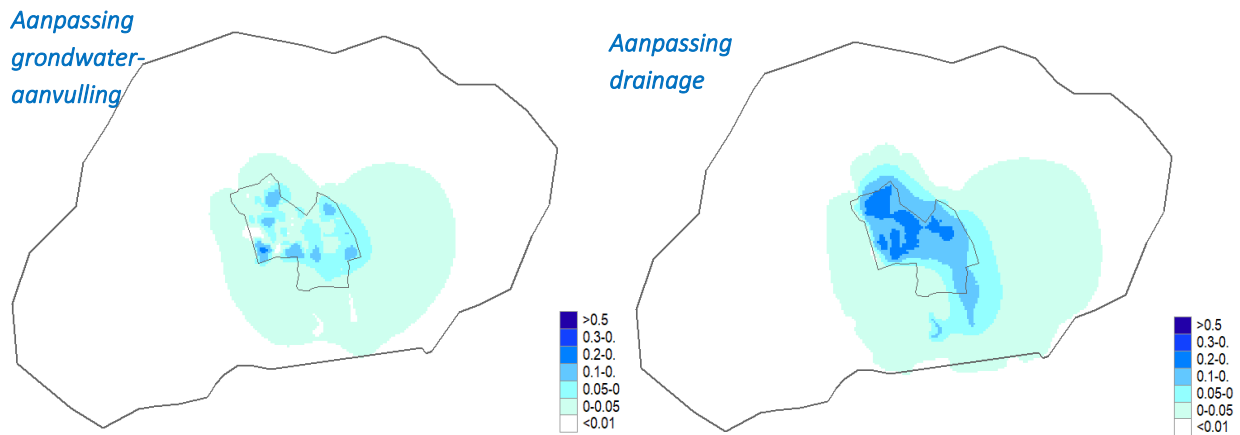
- De effecten van omvorming in de Verbindingszone en de Randzone liggen hier tussenin, waarbij het gemodelleerde effect van drainagereductie iets groter is dan het effect van veranderde grondwateraanvulling (zie ook Figuur 4-8 Figuur 4-8).



Figuur 4-7: Verandering grondwaterstanden (m) door omvorming van landbouwgrond naar natuurgrasland in de vier gekozen gebieden, waarbij zowel de grondwateraanvulling is verhoogd op basis van gemiddelde verdampingswaarden voor natuurgrasland, als de drainage-intensiteit is verlaagd.

Tabel 4-2: Gemiddeld effect van de omvormingsscenario's op freatische grondwaterstand (stijghoogte modellaag 1 in cm). Gemiddelde effect over het gehele Roosendaal-studiegebied voor alle omvormingszones (rijen). In de kolommen het effect bij aanpassing van grondwateraanvulling (gwa) én drainage (drain), en grondwateraanvulling en drainage apart.

Scenario	Gemiddeld effect freatische gws heel Roosendaal-gebied [cm]		
	Aanpassing gwa + drain	Aanpassing gwa	Aanpassing drain
Randzone	2,5	0,9	1,5
Verbindingszone	2,8	0,9	1,9
Molenbeek	3,8	0,4	3,4
Grondwater-beschermingsgebied	1,8	1,1	0,7
Studiegebied	29,4	13,3	16,1
Studiegebied, negatieve variant		-16,3	



Figuur 4-8: Verandering grondwaterstanden [m] bij omvorming in het Verbindingszone-deelgebied, door verandering van de grondwateraanvulling (links) en drainage-intensiteit (rechts).

4.4 Discussie en conclusies

In dit hoofdstuk zijn de resultaten gepresenteerd van een grove scenario-analyse voor het omvormen van landbouwgronden naar semi-natuurlijk grasland. Hiervoor is gebruik gemaakt van een steady-state 3D grondwatermodel. De resultaten laten zien dat omvormen van landbouwkundig gebruik een substantieel positief effect kan hebben op de grondwaterstanden en grondwateraanvulling, ook wanneer dit in een deel van een stroomgebied wordt gedaan. De grootte en richting van de effecten is afhankelijk van de uitgangssituatie én van manier waarop de omvorming plaatsvindt:

- De verdamping van de huidige gewassen ten opzichte van de nieuwe vegetatie;
- De mate waarin beregening wordt teruggebracht;
- De schaal en mate waarin sloten worden verondiept of gedempt en peilen worden verhoogd;
- De locatie en schaal van de omvormingen.

De verandering in vegetatie van een productief gewas of grasmat naar semi-natuurlijk grasland kan zorgen voor een vermindering in verdamping en daarmee voor een verhoging van de grondaanvulling. Dit effect is echter met een grote onzekerheid omgeven, omdat de productiviteit en het beheer van de vegetatie op voormalig intensief gebruikte landbouwgrond niet in algemene zin te voorzien is. Witte e.a. (2019) laten bijvoorbeeld zien dat een toename van de landbouwproductiviteit heeft geleid tot een toename van de verdamping, met een daling van de gemiddelde grondwaterstand in Brabant met 20-30 cm in 60 jaar tijd tot gevolg (1950-2010). Het is daarom waarschijnlijk dat omvormingen van landbouwgrond naar natuurlijker vegetatie op verschillende locaties tot zeer uiteenlopende effecten op de grondwateraanvulling zal leiden, variërend van afnames tot toenames. Dit zal deels worden bepaald door de inrichting en het beheer na omvorming. Bij omvorming in combinatie met vershraling is een toename van de grondwateraanvulling mogelijk; bij bijvoorbeeld vernatting of vorming van ruigte of bos is een afname van de grondwateraanvulling waarschijnlijker. Opgemerkt moet worden dat metingen van de werkelijke verdamping van verschillende begroeiingstypen nauwelijks beschikbaar zijn. Gezien het effect van verdamping op het watersysteem is het van belang hier in onderzoek meer aandacht aan te besteden, zodat de effectiviteit van maatregelen ook beter in beeld kan worden gebracht.

In de berekeningen is enkel gekeken naar de respons van het grondwatersysteem op veranderingen in landbedekking via de langjarig gemiddelde verdamping. Omvorming van landbouwgrond heeft daarnaast een positief effect op de grondwatervoorraden wanneer beregening wordt verminderd of gestopt, waarmee de druk op het grondwater juist in droge periodes vermindert (de Louw et al., 2022). De verliezen die met beregening gepaard gaan, zijn in de hier gepresenteerde berekeningen niet meegenomen. Omdat beregening juist plaatsvindt in tijden

van waterschaarste is het nuttig om naast een omslag naar water-extensieve teelten ook de berekening terug te dringen.

Wanneer omvorming van landbouwgrond naar extensief natuurgrasland wordt gecombineerd met een extensivering van de drainage, dan werkt dit positief uit voor de grondwaterstanden, ook wanneer de drainage niet volledig wordt verwijderd. De resultaten suggereren daarbij dat drainage-reductie mogelijk een belangrijker effect heeft dan veranderingen in grondwateraanvulling. Andersom geldt dat het verhogen van de grondwateraanvulling effectiever wordt naar mate het gebied extensiever gedraineerd is. Dit impliceert een wenselijke volgordelijkheid in het huidige, veelal sterk gedraineerd landelijk gebied: richt eerst aandacht op extensivering van drainage en koppel aanvullend hieraan maatregelen voor grondwateraanvulling. In deze studie is gewerkt met omvorming van landbouwgronden in relatief grote, aaneengesloten deelgebieden. In de praktijk zal omvorming van landbouwgronden mogelijk vaak kleinschaliger en meer versnipperd gebeuren, waarmee het veel moeilijker zal zijn om de drainagesystemen structureel aan te passen. Uit de modelanalyses bleek dat drainagereducties rond grotere waterlopen, waar een sterke invloed is van drainagemiddelen, een relatief sterk effect heeft op grondwaterstanden, die ook ver in de omgeving uitstraalt. Veranderingen in grondwateraanvulling hebben hier juist relatief weinig invloed. Op locaties met diepere grondwaterstanden waar drainage minder invloed heeft, heeft een aanpassing in drainage-intensiteit minder effect ten opzichte van veranderingen in grondwateraanvulling. Dit betekent dat de 'optimale' manier van omvorming van landbouwgronden gezien vanuit de waterbeschikbaarheid op verschillende landschapsposities anders zal zijn.

5 Bewust bodembeheer

5.1 Inleiding en reikwijdte

Landbouwopbrengsten zijn mede afhankelijk van de vochtomstandigheden in de wortelzone. Deze zijn in Nederland niet altijd optimaal. In tijden van hoge gewasverdamping kan het vochtleverend vermogen van bodems onvoldoende zijn om in de watervraag van het gewas te voorzien. In deze situatie is sprake van landbouwschade als gevolg van een vochttekort, ofwel droogteschade. Daarnaast kunnen bodems in tijden met veel neerslag zo ver verzadigd raken met water, dat de zuurstofvoorziening van bodem beperkt wordt en plantenwortels een zuurstoftekort ondervinden. In dit geval is sprake van landbouwschade als gevolg van te veel water, ofwel natschade. Beide vormen van landbouwschade hangen samen met de grondwaterstand; bij een diepere grondwaterstand zal eerder en grotere droogteschade optreden, en bij een ondiepere grondwaterstand eerder en grotere natschade (Bartholomeus e.a., 2013).

Grondwaterwinningen hebben invloed op de grondwaterstand, en kunnen daarmee droogteschade verergeren en natschade verminderen. Om agrariërs voor deze schade te compenseren, zijn bij diverse grondwaterwinningen schaderegelingen van kracht. Dit houdt in dat agrariërs in de omgeving van grondwaterwinningen financieel worden gecompenseerd voor de schade die de grondwaterwinning veroorzaakt aan agrarische gewassen. Deze kosten worden doorbelast in de drinkwaterprijs en zijn daarom onderdeel van de maatschappelijke kosten voor drinkwatervoorziening. De huidige tendens is echter dat droogteschade steeds minder financieel wordt gecompenseerd, en steeds vaker wordt gemitigeerd door het nemen van maatregelen. Maatregelen ter verbetering van het vochtleverend vermogen van bodems kunnen daar een bijdrage aan leveren.

Het vochtleverend vermogen van bodems is gedefinieerd als de hoeveelheid water dat een gewas aan de bodem kan onttrekken uit hangwater of door capillaire levering uit het grondwater. De hoeveelheid hangwater en capillaire eigenschappen van bodems zijn nauwelijks te beïnvloeden. Het verbeteren van het vochtleverend vermogen van bodems hangt daarom vooral samen met het bevorderen van de doorwortelbaarheid van bodems, zodat gewassen tot grotere diepte vocht kunnen opnemen (Snellen, 2011). Toch zijn bodemmaatregelen potentieel interessante maatregelen vanwege de synergie met landbouwbelangen; samenwerken aan het verbeteren van de bodemkwaliteit biedt de gelegenheid om het gesprek met agrariërs over verduurzaming van hun bedrijfsvoering aan te gaan. Daarom is het nuttig om kennis over de mechanismen en effectiviteit van bodemmaatregelen in beeld te hebben.

Bodemmaatregelen kunnen bijdragen aan het verminderen van de droogtegevoeligheid van de hooggelegen zandgronden indien ze bijdragen aan een vollediger benutting door gewassen van regenwater dat in de bodem vastgehouden wordt. Immers, naarmate het lokale neerslag beter beschikbaar blijft voor gewassen, zal de droogteschade als gevolg van meteorologische droogte of grondwateronttrekkingen afnemen, en neemt de behoefte aan de beregening van gewassen af. Omdat de vochtvoorziening van gewassen via de bodem verloopt, biedt de bodem mogelijk een aantal stuurmechanismen. Deze mogelijke stuurmechanismen zijn:

- Het bevorderen van de infiltratie van neerslagwater door het verminderen van regenwaterafvoer via oppervlakteafvoer (over het maaiveld) en oppervlakkige afvoer (vlak onder het maaiveld, bijvoorbeeld over storende lagen) naar het oppervlaktewater. Doordat een groter deel van de lokale neerslag in de bodem wordt opgenomen kan (in principe) de waterbeschikbaarheid van gewassen toenemen.
- Het verhogen van het vochtleverend vermogen van bodems, zodat neerslag beter wordt vastgehouden in of vlak onder de wortelzone en daardoor langer beschikbaar blijft voor gewasopname.

- Het bevorderen van de doorwortelbaarheid van de bodem, zodat gewassen dieper kunnen wortelen. Hierdoor beschikken planten over een grotere bodemvochtvoorraad en wordt bij een niet al te diepe grondwaterstand de capillaire nalevering uit het grondwater verhoogd.

Door deze mechanismen te beïnvloeden kunnen agrariërs opbrengstderving als gevolg van droogteschade geheel of gedeeltelijk opheffen. Hiervoor zijn de volgende maatregelen beschikbaar:

- Tegengaan van bodemverdichting. Bodemverdichting kan leiden tot een afname van de infiltratiecapaciteit van bodems, vermindert de doorlatendheid van bodems en beperkt de beworteling van gewassen. Door bodemverdichting tegen te gaan kan nat- en droogteschade worden voorkomen (Zwart e.a., 2011).
- Verhogen van het organische-stofgehalte in de bodem (Wösten en Groenendijk, 2019). Het organische-stofgehalte is een van de bodemeigenschappen die het vochtleverend vermogen van bodems bepaalt, doordat het op zichzelf goed vocht vasthoudt én de capillaire eigenschappen (poriënstructuur) verbetert. Volgens Wösten en Groenendijk (2019) kan daarmee op zandgronden maximaal 1 beregeningsbeurt worden uitgespaard tijdens een matig natte zomer met geregeld een bui. Tijdens een extreem droge zomer wordt het bodemvocht niet tussentijds aangevuld, zodat deze maatregel nauwelijks bijdraagt aan de waterbeschikbaarheid voor gewassen. Daarnaast is het organische-stofgehalte een van de factoren die de doorwortelbaarheid van bodems bepaalt; in de regel brengt een hoger organische-stofgehalte meer bodemleven met zich mee, zodat de bodem lossere en daarmee beter doorwortelbaar wordt. Ten slotte levert speelt kwalitatief hoogwaardig organische stof met een hoog C:N-verhouding (zoals compost en andere “langzame meststoffen”) een belangrijke rol in het vasthouden van stikstof in de bodem en het creëren van condities voor een rijk bodemleven.

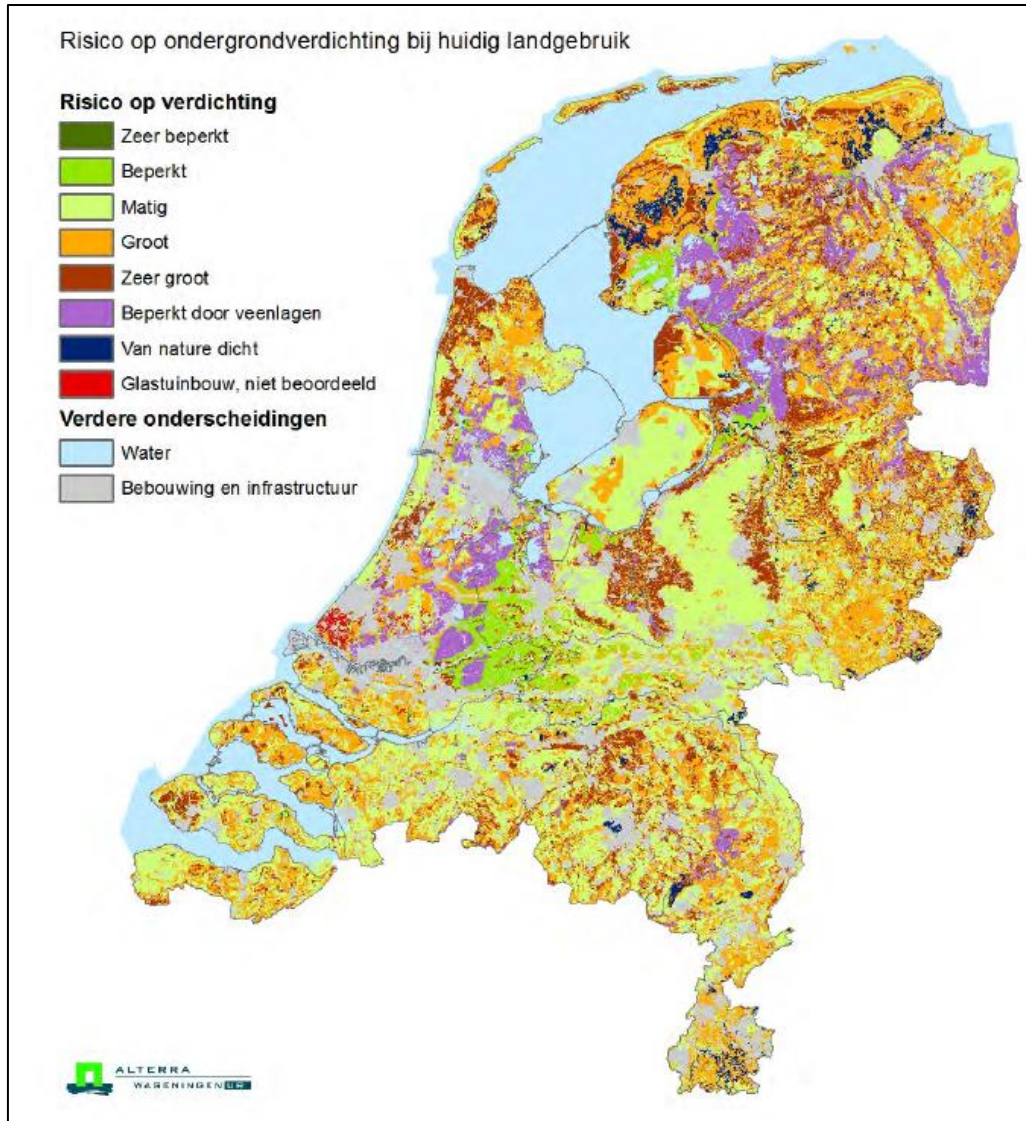
5.2 Tegengaan bodemverdichting

De structuur van landbouwbodems is mede bepalend voor de doorwortelbaarheid en het vochtregulerend vermogen van bodems. De bodemstructuur wordt door diverse factoren bepaald, o.a. door het organische-stofgehalte, de activiteit van bodemleven, de bewerkingen op het land en het type bouwplan. Bodemverdichting is een vorm van structuurbederf van landbouwbodems waarbij bodemporiën worden dichtgedrukt. Meestal wordt dit veroorzaakt door grondbewerking onder natte condities, zware wiellast en een hoge bandspanning. Volgens Van den Akker e.a. (2013) is ongeveer 45% van de Nederlandse landbouwgronden verdicht en is een groot deel van de zand- en lössregio's onder het huidig landgebruik gevoelig voor ondergrondverdichting (Figuur 5-1). Volgens deze auteurs is de omgeving van de winning Roosendaal matig gevoelig voor ondergrondverdichting.

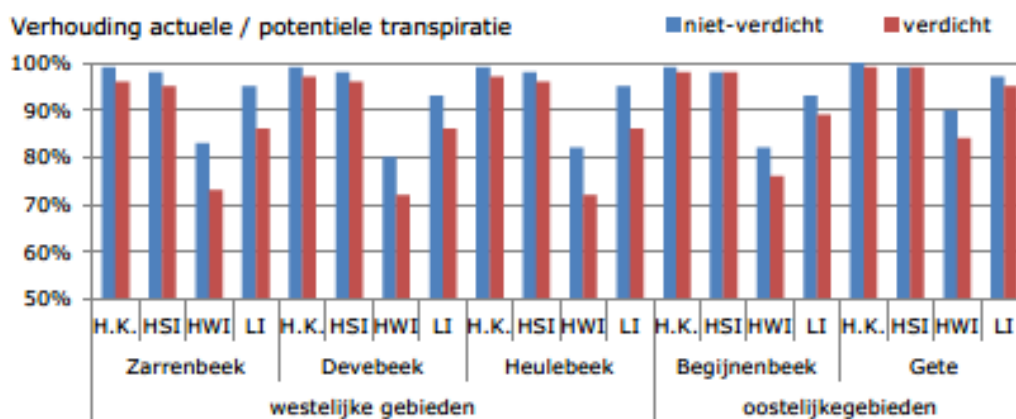
Groenendijk e.a. (2017) simuleerden het effect van bodemverdichting op de verdampingsreductie op basis van gegevens uit het project Vruchtbare Kringloop. Volgens deze auteurs was ruim de helft van de landbouwbodems van deelnemers van dit project verdicht. Dit leidde tot een (extra) verdampingsreductie van 13-56 mm/j voor grasland en 46-55 mm/j voor snijmaïs. Volgens Groenendijk e.a. (2017) is deze verdampingsreductie vooral het gevolg van natschade, en is onduidelijk in hoeverre droogteschade daar een aandeel in heeft. Van der Bolt e.a. (2016) bevestigden met modelonderzoek, met als basis een Vlaamse dataset, het beperkte aandeel (<2%) van bodemverdichting op de transpiratiereductie onder het huidige klimaat. Dit geeft aanwijzingen dat bodemverdichting thans een beperkt aandeel in de droogteschade aan landbouwgewassen heeft.

Het modelonderzoek van Van der Bolt e.a. (2016) laat tevens zien dat klimaatverandering leidt tot een grotere toename van de droogteschade aan gewassen op verdichte bodems dan op onverdichte bodems (Figuur 5-2). Afhankelijk van het klimaatscenario neemt de transpiratiereductie als gevolg van droogteschade bij een verdichte bodem tot 10% toe ten opzichte van een onverdichte bodem. Hieruit blijkt dat bodemverdichting leidt tot een grotere gevoeligheid voor meteorologische droogte en mogelijk ook voor andere invloeden, zoals

grondwaterwinning. Dit zou betekenen dat het opheffen van bodemverdichting enige bijdrage kan leveren aan droogtemitigatie als gevolg van grondwaterwinning.



Figuur 5-1: Risico op ondergrondverdichting bij huidig landgebruik volgens Akker e.a., 2013.



Figuur 5-2: Verhouding tussen de actuele en potentiële transpiratie voor verdichte en niet-verdichte bodems bij huidig klimaat (H.K.) en de klimaatscenario's 'high summer' (HSI), 'high winter' (HWI) en 'low' (LI) voor een aantal gebieden in België. Bron: van der bolt e.a., 2016.

5.3 Verhogen bodemorganische-stof

Organische stof is een verzamelnaam voor allerlei verbindingen waarin koolstof de basis vormt, van kleine oplosbare moleculen tot houtige plantendelen. Het uitgangsmateriaal van organische stof in de bodem is vers organisch materiaal, zoals gewasresten, mest en compost. In de bodem wordt het verse organische materiaal afgebroken door verschillende micro-organismen (mineralisatie). Mineralisatie is in hoofdzaak een biologisch proces, dat afhankelijk is van diverse factoren, zoals vochtgehalte, temperatuur, zuurstofvoorziening, bodemtextuur, bemestingsgeschiedenis en de hoeveelheid labiele en stabiele organische stof.

De meeste Nederlandse landbouwbodems op zandgrond bevatten 2 tot 6% organische stof, ofwel ongeveer 70 tot 210 ton per hectare (Van Eekeren e.a., 2018). In lössgrond is het organische-stofgehalte doorgaans lager. Het organische-stofgehalte in landbouwbodems is een resultante van aanvoer (via o.a. dierlijke mest of compost), productie door het gewas (o.a. wortels) en afbraak door micro-organismen (mineralisatie). Vooral de aanvoer van gewasresten is sterk verschillend voor grasland en bouwland. Volgens Eekeren e.a. (2018) is de aanvoer van organische stof via gewasresten bijna vier keer groter voor grasland dan voor bouwland (Tabel 5-1). Het verhogen van het organische-stofgehalte onder bouwland vereist daarom in de regel een grotere inspanning dan onder blijvend grasland. De afbraak en aanvoerposten zijn overigens wel klein ten opzichte van de totale organische-stofvoorraad in zandbodems.

Tabel 5-1: Voorbeeld van een organische-stofbalans voor grasland en bouwland bij 4% organische stof in de bodem in 0-25 cm (Van Eekeren e.a., 2018)

OS-balans	Blijvend grasland (kg/ha)	Bouwland (mais + groenbemester, kg/ha)
Voorraad OS in laag 0-25 cm	140.000	140.000
Afbraak (2%)	-2800	-2800
Aanvoer gewasresten (EOS ¹)	+3975	+1095
Aanvoer drijfmest (EOS ¹)	+1350	+1050
Netto effect	+2525	-655

¹) EOS staat voor effectieve organische stof, dat is gedefinieerd als de hoeveelheid organische stof die na 1 jaar nog in de bodem aanwezig is.

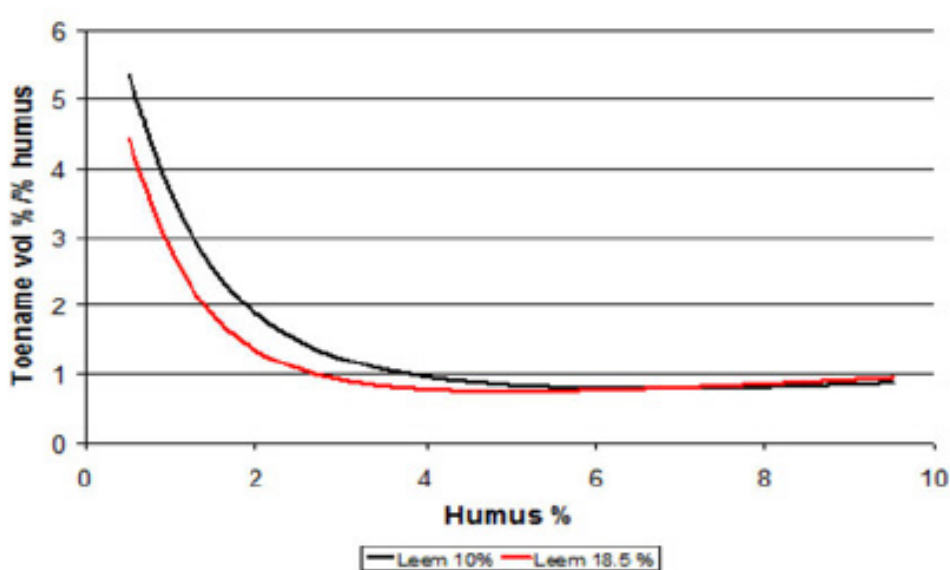
Bodemorganische-stof kan op verschillende manieren invloed hebben op het vochtleverend vermogen van bodems. Het directe effect van organische stof op het vochtleverend vermogen van bodems is afhankelijk van het bodemtype. Volgens Loveland en Webb (2003) nemen variaties in het organische-stofgehalte ongeveer 15% van de variatie in bodemvocht in zandgronden voor hun rekening. Daarnaast heeft het organische-stofgehalte indirect invloed op het vochtleverend vermogen van bodems, namelijk doordat bodemorganische stof via fysisch chemische en biologische processen ook invloed kan hebben op de bodemtextuur en –structuur.

Het vochtleverendvermogen van bodems wordt o.a. bepaald door de structuur (omvang en samenhang van bodemporiën), textuur (grootte en vorm van bodembestanddelen) en het organische-stofgehalte. Deze bodemeigenschappen zijn het netto resultaat van eeuwenlange bodemvormende processen en decennialange menselijke activiteiten zoals bodembewerking, -benutting en -verbetering. Eerdgronden vormen een voorbeeld van bodems die thans een zeer goed vochtleverend vermogen hebben doordat de bodem eeuwen achtereen is opgehoogd met humushoudend materiaal, zoals plaggenmest.

Het verhogen van het organische-stofgehalte ten behoeve van het verhogen van het vochtleverend vermogen biedt daarom perspectief voor

- (1) Bodems waar het organische-stofgehalte is gedaald onder invloed van intensief landbouwkundig gebruik. Volgens Groenendijk e.a. (2017) zijn dit vooral zandbodems die gebruikt worden voor maisteelt of ander bouwland. Volgens deze auteurs is het organische-stofgehalte van bodems op nationale schaal echter niet achteruitgegaan. Bodemmaatregelen kunnen mogelijk bijdragen het oorspronkelijke vochtleverendvermogen van bodems te herstellen.
- (2) Bodems die arm zijn aan leem en organische stof, c.q. bodems die van nature/oudsher droog zijn en een beperkte biomassaproductie hadden. Bodemmaatregelen kunnen mogelijk het vochtleverend vermogen van bodems verhogen ten opzichte van de oorspronkelijke bodem.

Wösten e.a. (2001) gebruikten een theoretische benadering voor het beschrijven van de relatie tussen de toename van de maximale hoeveelheid beschikbaar vocht als functie van het humusgehalte in de bodem (Figuur 5-3). De afgeleide relatie is geheel theoretisch en niet geverifieerd aan meetgegevens, maar is wel zuiver wat betreft de invloed van organische stof op het vochtleverend vermogen. Uit de berekeningen van Wösten e.a. (2001) blijkt dat het vochtleverend vermogen van leemarme zandbodems met een humusgehalte hoger dan 2 à 3 % nauwelijks te verhogen is via het bodemorganische-stofgehalte; het verhogen van het bodemorganische-stofgehalte in deze bodems met 1 % levert minder dan 1 vol% extra bodemvocht op. Dit is equivalent aan ongeveer 4 mm extra bodemvocht bij een wortelzone van 30cm diep. Het vochtleverend vermogen van schralere zandbodems (<2% organische stof) is iets gevoeliger voor veranderingen in het organische-stofgehalte. In deze bodems bedraagt de maximale toename van het bodemvocht ongeveer 5 vol% vocht per procent extra organische stof, i.e., ongeveer 20 mm extra bodemvocht bij een wortelzone van 30 cm. Dit rendement geldt voor zandbodems met een extreem laag organische-stofgehalte (0,5%). Merk op dat het werkelijke rendement hoger kan zijn, doordat een verhoging van het organische-stofgehalte ook indirect kan bijdragen aan het vochtleverend vermogen van bodems. Deze effecten zijn echter niet kwantificeerbaar.



Figuur 5-3: Toename van het beschikbare vocht per procent humustoename als functie van het humuspercentage, afgeleid van pedotransferfuncties (Wösten e.a., 2001).

5.4 Conclusies en discussie

Bodemmaatregelen omvatten een grote verscheidenheid aan maatregelen die in toenemende mate worden ingezet om de droogtegevoeligheid van bodems en de uitspoeling van stikstof en gewasbeschermingsmiddelen naar het grondwater te verminderen. Uit dit rapport blijkt dat met bodemmaatregelen inderdaad mechanismen kunnen worden beïnvloed die bijdragen aan het verhogen van de droogterobuustheid van landbouwbodems, het verminderen van de uitspoeling van stikstof en gewasbeschermingsmiddelen naar het grondwater en een rijk

bodemleven. De effectiviteit en mogelijkheden zijn echter sterk locatie-specifiek, i.e. afhankelijk van o.a. bodemsoort, teelten, bedrijfstypen en de bodemkwaliteit. Daarom vereist de selectie en toepassing van bodemmaatregelen maatwerk op basis van lokale kennis en informatie. Bovendien vereisen de meeste maatregelen een structurele aanpassing van de agrarische bedrijfsvoering om een goede bodemkwaliteit te realiseren en te behouden, en om de maatregelen voldoende te laten renderen. Bodemmaatregelen zijn van zowel van belang in de beschermingsstrategie van drinkwaterbronnen (waterkwaliteitsaspect) en voor een duurzamere landbouw. Hoewel er op lokale schaal synergie kan zijn, hebben bodemmaatregelen geen kwantificeerbaar effect op de grondwaterbeschikbaarheid en de waterbalans op watersystemschaal.

6 Conclusies en discussie

6.1 Aanpak

In dit rapport zijn de resultaten van een aantal indicatieve berekeningen beschreven met als doel de gevoeligheid van het grondwatersysteem rond de winning Roosendaal voor een aantal watersysteemmaatregelen op regionaal niveau te verkennen. De berekeningen zijn uitgevoerd met sterk vereenvoudigde benaderingen van de werkelijkheid of 3D steady-state modellen. Daarnaast zijn de beschouwde watersysteemmaatregelen slechts grof uitgewerkt en omgezet in modelinput. Vooral met betrekking tot de verdamping van verschillende begroeiingstypen dient opgemerkt te worden dat betrouwbare data over de werkelijke verdamping schaars zijn, en dat de relatie tussen verdamping en veranderende abiotische omstandigheden, zoals bodemvruchtbaarheid en grondwaterstand, nog onvoldoende bekend is om deze processen te kunnen beschrijven met modellen. De resultaten beschrijven daarom geen scenario's die in de praktijk gebracht kunnen worden of met de omgeving gedeeld kunnen worden. Vanwege de grove opzet, hebben de uitkomsten het karakter van een gevoeligheidsanalyse. De resultaten leveren daarom ook globale inzichten in de effecten van watersysteemmaatregelen die niet zijn doorgerekend in het perspectief op voorraadvorming en impactreductie in soortgelijke gebieden. Ze kunnen daarmee richting geven aan discussies over wat mogelijk is in andere gebieden.

In dit rapport is de effectiviteit van maatregelen uitgedrukt als de stijging van de grondwaterstand en/of de daaraan gerelateerde voorraadvorming van grondwater. Voorraadvorming maakt watersystemen robuuster voor droogte en onttrekkingen, zodat watervragende functies beter met elkaar gecombineerd kunnen worden in een gebied. De effectiviteit van maatregelen is daarbij afhankelijk van het extra grondwatervolume dat geborgen wordt en de snelheid waarmee het grondwater vervolgens wordt afgevoerd door drainage (het uitputtingsverloop). Omdat in deze studie grotendeels is uitgegaan van stationaire grondwatermodellen, is het uitputtingsverloop alleen op basis van een analytische benadering in beeld gebracht. Deze aanpak is alleen geschikt om globale patronen in beeld te brengen en daaruit conclusies te trekken over de gebieden die zich het beste lenen voor watersysteemmaatregelen ten behoeve van voorraadvorming. Om de effecten van watersysteemmaatregelen breder en gedetailleerder in beeld te brengen is het nodig om berekeningen met een 4D-grondwatermodel uit te voeren.

Naast voorraadvorming, kunnen watersysteemmaatregelen ingezet worden voor impactreductie van grondwateronttrekkingen. Voor dit doel is de effectiviteit afhankelijk van de mate waarin bijgedragen wordt aan het realiseren van de specifieke eisen die droogtegevoelige functies, zoals natuur, aan het watersysteem stellen. Voorbeelden daarvan zijn het niet te diep uitzakken van grondwaterstanden, voldoende kwel naar de wortelzone en behoud van afvoer van waterlopen. Dergelijke eisen zijn afhankelijk van gebiedsdoelen en ze zijn aan specifieke locaties gebonden. Watersysteemmaatregelen ten behoeve van impactreductie dienen dus gericht ingezet te worden en vereisen een specifieke onderbouwing en ontwerp. In deze verkennende studie is alleen gekeken naar het globale effect van watersysteemmaatregelen op grondwaterstanden, zonder onderscheid te maken naar specifieke gebieden en specifieke eisen die droogtegevoelige functies aan het watersysteem stellen. Door gebiedsinformatie te combineren met scenario-analyses op basis van een 4D grondwatermodel en effectmodules, zoals Waterwijzer Natuur, kunnen de inzichten in de mogelijkheden voor impactreductie stapsgewijs verfijnd worden.

6.2 Inzichten voor casus Roosendaal

In dit rapport zijn de effecten van de volgende maatregeltypen voor het grondwatersysteem rond de winning Roosendaal verkend:

- (1) Actieve infiltratie van wateroverschotten, c.q. het actief aanvullen van het grondwater door middel van diepinfiltratie of door infiltratie via het aardoppervlak. Bij de berekeningen is er van uit gegaan dat het te benutten wateroverschot afkomstig is uit de Molenbeek en stedelijk gebied, omdat hier grote volumes water te herbenutten zijn, zonder dat dit natuurwaarden in of grenzend aan de Molenbeek onder druk zet.
- (2) Het omvormen van landbouwgronden tot landschapgronden met een lagere verdamping (grotere grondwateraanvulling) en een hogere vochttolerantie (hogere slootpeilen).
- (3) Waterbewust bodembeheer, c.q. het beheer van agrarische bodems gericht op het vergroten van het vochtvasthoudend vermogen van bodems en/of het vergroten van de grondwateraanvulling door verminderde oppervlakteafvoer (run off). Hiermee wordt bedoeld dat het agrarisch bodembeheer gericht is op het leveren van waterfuncties, zoals het verhogen van het vochtvasthoudend vermogen en het verhogen van de infiltratiecapaciteit van bodems door het tegengaan of opheffen van bodemverdichting.

De effectiviteit van actieve infiltratie en omvormen van landbouwgrond is in beeld gebracht voor drie zones die steeds hoger in het grondwatersysteem liggen: in en rond het beekdal, in een intermediair c.q. overgangsgebied en op de hoger gelegen Rucphense bossen. De effectiviteit van bewust bodembeheer op de waterbeschikbaarheid kon niet in beeld worden gebracht omdat de effecten klein en onzeker zijn.

Deze analyses geven aan dat de hoger gelegen Rucphense bossen het meest geschikt zijn voor voorraadvorming van grondwater. Door de relatief diepe grondwaterstanden, en de grote afstand tot drainagemiddelen, biedt dit gebied ruimte voor een stijging van de grondwaterstand en een overbruggingstijd van meerdere maanden om grondwater vast te houden. Een deel van het extra geborgen grondwater zal geleidelijk afstromen naar de omliggende lagere gronden. Hierdoor wordt, gedurende meerdere maanden, de daling van de grondwaterstand in de omgeving vertraagd en/of zullen waterlopen langer watervoerend blijven. De omgeving van de Rucphense bossen kan dus meeprofiteren als de Rucphense bossen als klimaatbuffer worden ingericht.

Wel geven de bestaande natuurfunctie en drinkwaterfunctie (winning Schijf) van het gebied extra kaders voor de wijze waarop voorraadvorming kan worden gerealiseerd. Beide functies zijn gebaat bij meer grondwater, maar stellen hoge eisen aan de waterkwaliteit. Om deze reden is het aanvoeren van voorgezuiverd oppervlaktewater of hemelwater naar de Rucphense bossen ongewenst. Het ligt veel meer voor de hand om hier te kiezen voor het omvormen of beheren van bos om de verdamping te beperken, en het verminderen van drainage op de flanken van het gebied. Deze maatregelen zijn robuust en zijn vanwege het beperkt aantal belanghebbenden minder complex in de uitvoering, dan het zuiveren en transporteren van oppervlaktewater uit lager gelegen gebied. Omdat deze maatregelen alleen werken bij toepassing op een voldoende groot areaal, zijn ze echter niet zelfstandig door Brabant Water te realiseren. Daarom is een duidelijke en gedragen gebiedsvisie noodzakelijk om de functiecombinatie natuur en drinkwater duurzaam te kunnen versterken en de andere functies daar ook een plaats in te geven. Bij de ontwikkeling van een gebiedsvisie kan het concept Drinkwaterlandschap als startpunt worden gebruikt voor gesprekken met waterbeheerders en andere omgevingspartners.

Vorraadvorming van grondwater is in de intermediaire zone minder effectief vergeleken met de hoge zone (Rucphense bossen). Desondanks is het voor Brabant Water van strategisch belang om water beter vast te houden in het agrarische gebied. De beoogde landbouwtransitie biedt daar ook kansen voor, maar levert niet met zekerheid het gewenste resultaat vanuit kwantiteitsoogpunt. De uitkomsten van deze studie laten namelijk zien dat een mogelijke omvorming van landbouw (met name akkerbouw) naar natuur een afname van de

grondwateraanvulling als mogelijke keerzijde heeft. Dit komt enerzijds doordat de meeste akkerbouwgewassen relatief weinig verdampen ten opzichte van (half)natuurlijke graslanden. Anderzijds komt dit doordat met een stijging van de grondwaterstand meer water beschikbaar komt voor verdamping, en op omgevormde landbouwgronden die decennialang intensief zijn bemest, vaak een hoogproductieve vegetatie met een hoge verdamping ontwikkelt. Dit laatste negatieve effect kan gedeeltelijk gemitigeerd worden met beheer, c.q. maaien en afvoeren, waardoor op termijn schralere condities ontstaan en een minder productief grasland zal ontwikkelen. Actief beheer van semi-natuurlijk graslanden is vanuit waterkwantiteitsoogpunt dus gewenst om de verdamping tijdelijk (verwijderen biomassa) en geleidelijk op de lange termijn (afvoeren voedingsstoffen via de biomassa) te verkleinen. Om hier gericht op te kunnen sturen is het gewenst om meer kennis te verkrijgen over de relatie tussen verdamping van verschillende begroeiingstypen, het beheer en voedselrijkdom van voormalige landbouwgronden. Het is voor drinkwaterbedrijven daarnaast van belang om bij omvorming van landbouwgronden goede afspraken te maken over waterbewust beheer van de gronden en deze bijvoorbeeld in een convenant vast te leggen. Dit vraagt een terugkerende inspanning van de terreinbeheerder of landeigenaar.

Een ander belang dat drinkwaterbedrijven hebben bij een mogelijk extensiveren van landbouw is dat het peilbeheer wordt aangepast, en bij voorkeur ook het verminderen van landbouwdrainage door afdammen of dempen van sloten. Hiervoor is het noodzakelijk dat watertolerante gewassen worden geteeld. Grasland is een voorbeeld van een gewas dat goed groeit op natte gronden en relatief goed aangepast is aan potentiële zuurstofstress als gevolg van grondwaterverzadiging. Indien de omvorming van landbouwgronden op voldoende grote schaal en in coherente gebieden wordt uitgevoerd, biedt dit de mogelijkheid om sloten te dempen of af te dammen, en waterpeilen te verhogen. In de basis is dit dus een ruimtelijke-orderingsvraagstuk, waarbij draagvlak en commitment van zowel provincie als het waterschap noodzakelijk zijn. Het Nationaal Programma Landelijk Gebied biedt mogelijk aanknopingspunten om de landbouwtransitie in droogtegevoelige gebieden vorm te geven.

Waterbewust bodembeheer door agrariërs is een breed inzetbare maatregel, die op de lange termijn een beperkte bijdrage kan leveren aan het verhogen van de waterbeschikbaarheid. De effectiviteit van deze maatregel is sterk afhankelijk van de lokale situatie en de deskundigheid van de agrariër. Hoewel de bijdrage aan de waterbeschikbaarheid beperkt en niet kwantificeerbaar is, heeft deze maatregel wel duidelijke synergie met de landbouwfunctie. Ook de gewasproductie heeft baat bij een gezonde bodem, die goed water vasthoudt en goed doorwortelbaar is. Het stimuleren van bewust bodemgebruik is vooral van belang voor relatiebeheer en om het bewustzijn over de drinkwaterfunctie te vergroten. Hoewel de bijdrage aan het verhogen van de waterbeschikbaarheid beperkt is, is participeren in bodeminitiatieven voor drinkwaterbedrijven dus zeker zinvol.

6.3 Inzichten voor Water en bodem sturend

In de kamerbrief “Water en Bodem sturend” van 25 november 2022 legt het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat een aantal structurerende keuzes vast voor het borgen van de waterbeschikbaarheid voor drinkwaterproductie en andere functies. Deze structurerende keuzes vormen de landelijke kaders voor het nemen van maatregelen om doelen voor waterbeschikbaarheid, waterkwaliteit, natuurherstel en klimaatmitigatie te realiseren. De belangrijkste structurerende keuzes voor de drinkwatervoorziening uit grondwater zijn:

- Vergroten van de grondwateraanvulling door het dichtten van greppels en sloten;
- Water beter vasthouden in de bodem door duurzaam bodembeheer.

De uitkomsten van deze studie geven aan dat het dichtten van greppels en sloten inderdaad een effectieve maatregel is om water op gebiedsniveau vast te houden. Daarnaast maakt extensivering van drainage maatregelen voor grondwateraanvulling effectiever, en zou daarom als eerste van een reeks gekoppelde maatregelen geïmplementeerd moeten worden. Deze maatregel wordt effectiever naarmate hij op een groter, aaneengesloten gebied wordt toegepast. Omdat sommige vormen van landbouw hierdoor niet meer mogelijk of rendabel worden, zal gedeeltelijk omvormen van het landbouwkundig gebruik noodzakelijk zijn. De overheid richt hiervoor

verschillende subsidiefondsen in, en overweegt een compensatieregeling voor de afwaardering van nog te definiëren “landschapsgronden”.

Voor drinkwaterbedrijven is het van groot belang dat deze regelingen leiden tot een toename van natuurlijk of semi-natuurlijk grasland (vanwege waterkwaliteit) en dat afspraken worden gemaakt over het beheer van deze graslanden om de verdamping te beperken (vanwege waterkwantiteit). Het is hiervoor gewenst om een overzicht en synthese te hebben van de beschikbare kennis over de uitspoelings- en verdampingseigenschappen van verschillende vormen grasland op voormalige landbouwbodems en wat de invloed van beheer is. Tevens is het gewenst om aanvullende informatie op basis van monitoring in praktijksituaties te vergaren. Hiervoor is het noodzakelijk om nu al goede monitoring operationeel te hebben.

Dit rapport bevestigt tevens dat voorraadvorming van grondwater vooral effectief is op hoger gelegen, droge gebieden met grote drainage afstanden. Infiltratie van oppervlaktewater staat hiervoor in toenemende belangstelling, maar de voorwaarden om afwenteling op de grondwaterkwaliteit te voorkomen zijn nog onvoldoende duidelijk. Recentelijk is via STOWA een initiatief gestart om een afwegingskader voor infiltratie van oppervlaktewater zonder terugwinning te ontwikkelen. Drinkwaterbedrijven kunnen hier de rol van kennisleverancier en -ontwikkelaar nemen, om het afwegingskader goed te onderbouwen en toekomstbestendig te maken.

Actief landschapsbeheer gericht op het verminderen van de verdamping kan een robuust alternatief voor actieve infiltratie zijn, die tevens geen risico op afwenteling op de grondwaterkwaliteit heeft. Ook deze strategie is vooral effectief op hooggelegen bossen die omgevormd kunnen worden naar heide of andere laaggroeiende vegetatie. Een aantal waterbedrijven werkt al aan het omvormen van bos op eigen gronden om de grondwateraanvulling te verhogen. De arealen bos in eigendom van drinkwaterbedrijven zijn echter beperkt. Om echt een substantiële bijdrage aan de waterbeschikbaarheid te leveren is het omvormen van bos over veel grotere gebieden nodig. Dit conflicteert echter met de Nationale bossenstrategie, waarin voor de periode 2020-2030 een toename van het bosareaal met 10% is voorgenomen (IPO, 2020). Een goede onderbouwing en communicatie (uitleg) is gewenst om draagvlak voor deze maatregel te verkrijgen. Daarnaast is het gewenst om de werkelijke verdamping van verschillende begroeiingstypen beter in beeld te brengen, omdat op empirie gebaseerde schattingen van de verdamping zeer summier beschikbaar zijn. Daarmee zou bijgedragen worden aan een betere schatting van de effectiviteit van maatregelen die direct of indirect inspelen op de verdamping.

In “Water en Bodem sturend” wordt ook ingezet op duurzaam bodembeheer gericht op het beter vasthouden van water. Uit literatuur blijkt dat de effectiviteit van deze maatregel op watersysteemniveau beperkt en niet kwantificeerbaar is. De meerwaarde van deze aanpak voor drinkwaterbedrijven zit daarom vooral in de mogelijkheid voor bewustwording onder agrariërs over de eisen die de drinkwaterfunctie stelt aan het watersysteem en welke invloed agrarische activiteiten daarop kunnen hebben. Bewust bodembeheer is naast waterbeschikbaarheid een van de weinige vlakken waarop synergie tussen de drinkwatersector en de agrarische sector bestaat. Het is daarom raadzaam om in initiatieven voor bewust bodembeheer te participeren en blijvende aandacht in het landelijke beleid te verkrijgen. Bewust bodembeheer is echter slechts een van de maatregelen die nodig is om de waterbeschikbaarheid voor drinkwaterproductie, natuur en ander functies duurzaam te vergroten.

6.4 Aanbevelingen voor vervolg

In voorgaande hoofdstukken en paragrafen zijn een aantal “losse” aanbevelingen geformuleerd. Deze paragraaf geeft een overzicht van deze aanbevelingen:

- Zandruggen, zoals onder de Rucphense bossen, zijn de meest geschikte landschapselementen voor voorraadvorming van grondwater. Zet hoge, droge landschapselementen daarom centraal in de

ontwikkeling en uitwerking van concepten voor voorraadvorming van grondwater, zoals in het concept Drinkwaterlandschap.

- Voorraadvorming van grondwater kan gerealiseerd worden door het vergroten van de grondwateraanvulling door omvormen en beheer van natuur of het infiltreren van wateroverschotten uit bijvoorbeeld oppervlaktewater. Deze strategieën verschillen onderling wezenlijk wat betreft effectiviteit en doorwerking op grondwaterkwaliteit en natuur. Ontwikkel met betrokken overheden en belanghebbenden een afwegingskader om dergelijke maatregelen optimaal ondersteunend te laten zijn aan de functies natuur en drinkwater.
- Maatregelen voor het verhogen van de grondwateraanvulling worden effectiever naar mate het gebied extensiever gedraineerd is. Dit impliceert een wenselijke volgordelijkheid in de herinrichting van het huidige, veelal sterk gedraineerd landelijk gebied: richt eerst aandacht op extensivering van drainage en koppel aanvullend hieraan maatregelen voor grondwateraanvulling.
- Onderdeel van de herinrichting van het agrarisch landschap kan zijn dat landbouwgronden worden omgevormd tot natuurgonden of landschapgronden. Maak hierbij afspraken over het beheer in verband met mogelijke toename van de verdampingsverliezen. Om deze afspraken te kunnen maken is het nodig om de verdamping van verschillende begroeiingstypen op voormalige landbouwgronden bij verschillend beheer in beeld te brengen.
- Zet samenwerking met agrariërs op het gebied van bewust bodembeheer in om meer bewustzijn te creëren over hun mogelijke bijdrage aan waterbeschikbaarheid en waterkwaliteit.
- Ten behoeve van visievorming is vervolgonderzoek nodig naar (1) de wijze waarop verschillende strategieën voor het vergroten van de grondwateraanvulling (omvormen begroeiing versus infiltreren) past binnen de kaders die natuur en drinkwater aan de waterkwaliteit stellen, resulterend in een afwegingskader, en (2) de verdampingseigenschappen van verschillende vormen van begroeiing, inclusief de relatie met grondwateraanvulling, waterhuishouding en beheer.

Ten slotte wordt aanbevolen om het concept Drinkwaterlandschap (De Haan e.a., 2024) voor verschillende deellandschappen (zandruggen, agrarisch gebied en beekdalen) verder uit te werken en deze als basis te gebruiken voor een breed gedragen gebiedsvisie.

7 Literatuur

Aggenbach, C. J. S., Berg, M. P., Frouz, J., Hiemstra, T., Norda, L., Roymans, J., en van Diggelen, R.: Handreiking voor de omvorming van landbouwgronden naar schrale natuur, Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE), Driebergen, 2017.

Akker, J.J.H. van den, Vries, F. de, Vermeulen, G.D., Hack-ten Broeke, M.J.D., en Schouten, T., 2013. Risico op ondergrondverdichting in het landelijk gebied in kaart. Alterra, Wageningen, Alterra-rapport 2409.

Baptist, M., van Hattum, T., Reinhard, S., van Buuren, M., en de Rooij, B.: Een natuurlijkere toekomst voor Nederland in 2120, Wageningen, 20-20, 2019.

Bartholomeus, R., van Huijgevoort, M., van den Eertwegh, G., en van Deijl, D.: Efficiëntie van beregening en subirrigatie uit grondwater: Modelmatige analyses met SWAP en Hydrus-2D, KWR/KnowH2O, Nieuwegein, KWR 2019.059, 56, 2019.

Cirkel, D.G., van Huijgevoort, M., de Wit, J., Krajenbrink H.: Invloed van ingrepen in waterhuishouding op de berekende verlagingseffecten door grondwaterwinning, KWR, Nieuwegein, BTO 2021.060, 2021

De Haan, M.W.A., Possen, B.J.H.M. en Jansen A.J.M.: Drinkwaterlandschap – een concept voor duurzame inrichting van waterwingebieden, H2O-Online, 7 februari 2024.

de Jong, B.: Watersysteemanalyse Molenbeek, Witteveen+Bos, Waterschap Brabantse Delta, Deventer, 17IN033287, 2018.

de Louw, P., Pouwels, J., Witte, F., en van den Eertwegh, G.: Effecten van beregening uit grondwater op het watersysteem tijdens de droogte van 2018, H2O-online, 9, 2022.

de Putter, J.: Waterrobuust dal Roosendaal: Streefbeeld en uitwerking schetsontwerp fase 1, Waterschap Brabantse Delta / Atelier voor Water en Landschap, Wageningen, 2020.

Dolman, H., Moors, E., Elbers, J., Snijders, W., en Hamaker, P.: Het Waterverbruik Van Bossen in Nederland, Wageningen, 36-36, 2000.

Eekeren, N. van, Deru, J., Hoekstra, N., en Wit, J. de, 2018. Carbon Valley: organische stofmanagement op melkveebedrijven - Ruwvoerproductie, waterregulatie, klimaat en biodiversiteit. Louis Bolk Instituut, Bunnik, 2018-002 LbD.

Eekeren, N. v., Jongejans, E., Agtmaal, M. v., Guo, Y., Velden, M. v. d., Versteeg, C., en Siepel, H.: Bodemleven in de toplaag - Springstaarten & mijten in landbouw- en natuurgasland, Louis Bolk Instituut, Bunnik, 2021.

Elbers, J. A., Moors, E. J., en Jacobs, C. M. J.: Gemeten actuele verdamping voor twaalf locaties in Nederland, STOWA, Amersfoort, ISBN 978.90.5773.489.2, 2010.

Groen, R., Hermann, M., Schoones, M., and Sep, I.: Voorontwerp omgevingsvisie Roosendaal, Gemeente Roosendaal/ Team Ruimtelijk Ontwikkeling, Roosendaal, 2021.

Heinen, M., Bakker, G., en Wösten, J. H. M.: Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks : update 2018, Wageningen Environmental Research, Wageningen, ISSN 1566-7197 ; 2978, 2020.

IPO, 2020. Bos voor de toekomst: Uitwerking ambities en doelen landelijke Bossenstrategie en beleidsagenda 2030. Den Haag, rapportnr 1120-001

Kirchner, J. W.: Catchments as simple dynamical systems: Catchment characterization, rainfall-runoff modeling, and doing hydrology backward, Water Resources Research, 45, <https://doi.org/10.1029/2008WR006912>, 2009.

Klimaat-effectatlas: Klimaat-effectatlas, <https://www.klimaat-effectatlas.nl/nl/>, access: 2021-11-05, 2016.

Klok, C., Römkens, P., en Faber, J. H.: Risicobeheer van verontreinigde gronden - Kwetsbaarheid en kansrijkdom van natuurdoelen op verontreinigde bodems, Alterra, Wageningen, ISSN 1566-7197, 2004.

Krajenbrink, H., Stofberg, S., Bartholomeus, R., and Disselhoff, D.: RWZI als waterfabriek voor een robuuste watervoorziening, STOWA, Amersfoort, STOWA-2021-31, 2021.

Kraijenhoff van de Leur, D. A.: A study of non-steady groundwater flow with special reference to a reservoir-coefficient, *De Ingenieur*, 70, 87-94, 1958.

Maas, M., Nijhof, A., Alkemade, F., Huysmans, M., Tops, P., en Koekkoek, T.: Zonder water, geen later: Naar een omslag in het (grond)waterbeheer in Noord-Brabant, 2022.

Meinardi, C. R., Schotten, C. G. J., en De Vries, J. J.: Grondwateraanvulling en oppervlakkige afstroming in Nederland: Langjaarlijkse gemiddelden voor de zand- en leemgebieden, *Stromingen*, 1998, 27-41, 1998.

Min. LNV: Startnotitie Nationaal Programma Landelijk Gebied, 22102620, 78, 2022.

Natuurmonumenten: Natuurvisie Roosendaal en omgeving 2017-2035, *Natuurmonumenten*, 's-Graveland, 2017.

Neef, Y.: Systeemanalyse waterproductiebedrijf Roosendaal, Hogeschool Van Hall Larenstein/ Brabant Water, 2017.

Noord-Brabant, P.: Kaartbank, <https://noord-brabant.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=b6414403ef5e4e9aa8875a7c366209c6>.

Paternotte, T., Wachtendonk, A. van, 2022. Systeemanalyse natuurgebieden West-Brabant: Rozenven. Royal HaskoningDHV, BG6186-WM-RP-220726-1556WM.

Possen, B., Wachtendonk, A., van, Paternotte, T., 2022. Systeemanalyse natuurgebieden West-Brabant: Everland, Molenbeeksebos en Sputendonks bosje. RoyalHaskoningDHV, BG6186-WM-RP-220830-1124WM

Regiobedrijf: Industrie in Roosendaal op de kaart, <https://regiobedrijf.nl/roosendaal-nb/industrie/index.html>, access: 2021-11-05, 2021.

Rijksoverheid: Landbouw, Natuur en stikstof, <https://www.rijksoverheid.nl/regering/coalitieakkoord-omzien-naar-elkaar-vooruitkijken-naar-de-toekomst/2.-duurzaam-land/landbouw-natuur-en-stikstof>, access: 2022-12-02, 2022.

Snellen, 2011. Bodem als buffer. *Deltafact*, geactualiseerd in 2017
<https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/DELTAFACTS/Deltafacts%20NL%20PDF%20nieuw%20format/Bodem%20als%20buffer.pdf>

Spieksma, J. F. M., Dolman, A. J., en Schouwenaars, J. M.: De parameterisatie van de verdamping van natuurterreinen in hydrologische modellen, *RIZA*, 1995.

Stobbelaar, D. J., Loon, H. van, en Wintermans, J. (eds.) (2022) *Landschapsecologie: laag voor laag leren combineren*, Wageningen Academic Publishers, Wageningen.

Stroet, R.: De overgangszone tussen de Stuwwal van Ootmarsum en de Slenk van Reutum, *HaskoningDHV / Provincie Overijssel*, 90, 2016.

Stuurman, R., Baggelaar, P., Berendrecht, W., Buma, J., de Louw, P., en Oude Essink, G.: Toekomst van de Nederlandse grondwatervoorraad in relatie tot klimaatverandering, *Utrecht*, 85-85, 2008.

Stuurman, R., Verhagen, F., van Wachtendonk, A., en Runhaar, H.: Een verkenning naar de Watervraag van de Noord-Brabantse Natuur, *Deltares*, 183, 2020.

van den Akker, C.: Een fysische onderbouwing van de overdrachtsfactor, *Stromingen*, 20, 5-14, 2014.

van den Eertwegh, G., de Louw, P., Witte, F., van Huijgevoort, M., Bartholomeus, R., van Deijl, D., . . . de Wit, J.: Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland: het verhaal - analyse van droogte 2018 en 2019 en bevindingen, *Projectteam Droogte Zandgronden Nederland*, 179, 2021.

Van der Bolt, F., Cornelis, W., Pue, J. de, Hendriks, R., Akker, J. van den, Massop, H., Joris, I., Dams, J. en Vos, J., 2016. Bodemverdichting in Vlaanderen. Gevolgen van bodemverdichting op het watertransport door een bodem. *Alterra rapport*, Wageningen.

van der Gaast, J., Massop, H., Vroon, H., en Staritsky, I.: Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken, *Alterra, Wageningen, Alterra-rapport 1339*, 111, 2006.

van der Velde, Y., de Rooij, G. H., en Torfs, P. J. J. F.: Catchment-scale non-linear groundwater-surface water interactions in densely drained lowland catchments, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 13, 1867-1885, 10.5194/hess-13-1867-2009, 2009.

- van Dooren, T., Stofberg, S., Pronk, G., and Bartholomeus, R.: Exploratory research on water reuse - Data overview and Sankey diagrams, KWR, Nieuwegein, BTO 2020.014, 2020.
- van Huijgevoort, M.: Trendalert Landgebruik en de Water-Voedsel-Energie transitie, KWR, 5, 2020.
- Van Loon, A.H., Clevers, S., en Jalink, 2019. De waarde van natuur voor de watervoorziening. KWR, Nieuwegein, KWR 2019.060.
- van Loon, A. H., Paalman, M., en Jalink, M.: Voorraadvorming van water door vernatten van de Stippelberg: experimentele verificatie van de effectiviteit van infiltreren, KWR, Nieuwegein, 2014.
- Wösten en Groenendijk, 2019. Belang van bodemorganische stof voor het waterbeheer. STOWA Deltafact <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/DELTAFACTS/Deltafacts%20NL%20PDF%20nieuw%20format/Bodem%20als%20buffer.pdf>
- Verdonschot, P. F. M., Runhaar, H., Hendriks, D., en Verdonschot, R. C. M.: Integraal natuurherstel in beekdalen, Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE), Driebergen, 2017.
- Verhagen, F., van Steijn, T., Hunink, J., and Stuurman, R.: Draagkracht grondwater Noord-Brabant, HaskoningDHV Nederland, Deltares, 2017.
- Voortman, B., van Huijgevoort, M., en Witte, J. P.: Verdamping Van Natuurterreinen Berekend Met AZURE. De Parametrisatie Van Heide op Basis Van Lysimetermetingen en een Vergelijking Met Literatuurcijfers, Nieuwegein, 2019.
- Voortman, B. R., Bartholomeus, R. P., van der Zee, S. E. A. T. M., Bierkens, M. F. P., en Witte, J. P. M.: Quantifying energy and water fluxes in dry dune ecosystems of the Netherlands, *Hydrology and Earth System Sciences*, 19, 3787-3805, 10.5194/hess-19-3787-2015, 2015.
- Wendt, D. E., Bloomfield, J. P., Van Loon, A. F., Garcia, M., Heudorfer, B., Larsen, J., en Hannah, D. M.: Evaluating integrated water management strategies to inform hydrological drought mitigation, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 21, 3113-3139, 10.5194/nhess-21-3113-2021, 2021.
- Witte, F., Zaadnoordijk, W., Cirkel, G., Leunk, I., en Aarts, H.: Grondwateraanvulling en achtergrondverlaging in de provincie Noord-Brabant, KWR, Nieuwegein, 51, 2015.
- Witte, J., Zaadnoordijk, W.J., Buyse, J.J., 2019. Forensic hydrology reveals why groundwater tables in the province of Noord Brabant (The Netherlands) dropped more than expected. *Water* 11(3), 478.
- Wosten, J.H.M., Veerman, G.J., Groot, W.J.M. de, en Stolte, J., 2001. Waterretentie- en de doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave 2001. Alterra, Wageningen, Alterra-rapport 153.
- Zwart, K.G., Akker, van den, J.J.H., Bussink, D.W., Haas, M.J.O.M. de, Weide, R.Y. van der, Paauw, J.G.M., Staathoff, W., Goense, D., en Doornbos, A.J., 2011. Waterkwaliteit bij de wortel aangepakt. Alterra, Wageningen, Alterra-rapport 2177.

I Bijlage: Verdampingskarakteristieken

Categorie	Gewas	Bron	Jaren	Gem. neerslag	Methode	Locatie, vochtcondities/bodem	Werkelijke verdamping [mm/j]	Onzekerheid	Transpiratie	Bodem- en interceptieverdamping	Berekening	Gewasfactor	Grondwateraanvulling [mm/j]	Opm
Agrarisch gras	Agrarisch grasland, droog	WI15	2007-2013	831	Schatting uit gewasopbrengsten	Gemiddeld Brabant	559		426	133			272	
Agrarisch gras	Agrarisch grasland, droog	ST16	1961-2015		SWAP; ET=p-GWA	Zwak lemig fijn zand, diepe GWS / niet beregend	520						290	GWA afgelezen uit grafiek; Eta=p-GWA
Agrarisch gras	Agrarisch grasland, droog	BA19	2003-2017	745	SWAP	Zwak lemig fijn zand, diepe GWS, niet beregend	595		462				284	Alleen T beschikbaar; Eta=Ta+133 uit WI15
Agrarisch gras	Agrarisch grasland, vochtig/nat	EL10	2006	775	EC	Cabauw, kleigrond	567	89				0,92	208	GWA=P=Eta
Agrarisch gras	Agrarisch grasland, vochtig/nat	EL10	2003	676	EC	Haastrecht; veen	548	60				0,88	128	GWA=P=Eta
Agrarisch gras	Agrarisch grasland, vochtig/nat	ST16	1961-2015		SWAP	Zwak lemig fijn zand, ondiepe GWS/ beregend	580						240	GWA afgelezen uit grafiek; Eta=P-GWA
Agrarisch gras	Agrarisch grasland, vochtig/nat	BA19	2003-2017	745	SWAP	Zwak lemig fijn zand, diepe GWS, beregend	658		525		41			Alleen T bekend; gemiddeld min-max; Eta=Ta+133
Akkerbouw	Mais	EL10	2005	865	EC	Langerak; kleigrond	531	53				0,86	334	GWA=P=Eta
Akkerbouw	Mais	EL10	2007	843	EC	Dijkgraaf; kleigrond	580	76				1,02	263	GWA=P=Eta
Akkerbouw	Mais	ME98	1983	740	Tritiumprofiel	Venhorst; matig fijn zand, Gt7	450						290	
Akkerbouw	Mais	WI15	2007-2013	831	Schatting uit gewasopbrengsten	Gemiddeld Brabant	470		343	127			361	
Akkerbouw	Mais	BA19	2003-2017	745	SWAP	Zwak lemig fijn zand, diepe GWS, niet beregend	386		259		0			Alleen T bekend; gemiddeld min-max; Eta=Ta+127
Akkerbouw	Mais	BA19	2003-2017	745	SWAP	Zwak lemig fijn zand, diepe GWS, beregend	391		264		16			Alleen T bekend; gemiddeld min-max; Eta=Ta+127
Akkerbouw	Aardappelen	EL10	2005	716	EC	Molenweg; kleigrond	474	71				0,78	242	GWA=P=Eta
Akkerbouw	Aardappelen	WI15	2007-2013	831	Schatting uit gewasopbrengsten	Gemiddeld Brabant	480		365	115			350	
Akkerbouw	Aardappelen	BA19	2003-2017	745	SWAP	Zwak lemig fijn zand, diepe GWS, niet beregend	317		202					
Akkerbouw	Aardappelen	BA19	2003-2017	745	SWAP	Zwak lemig fijn zand, diepe GWS, beregend	320		205		14			Alleen T bekend; gemiddeld min-max; Eta=Ta+115
Akkerbouw	Granen	WI15	2007-2013	831	Schatting uit gewasopbrengsten	Gemiddeld Brabant	509		392	117			321	
Akkerbouw	Granen	EL10	2006	810	EC	Lutjewad; kleigrond?	523	71				0,78	287	GWA=P=Eta
Akkerbouw	Groente	BA19	2003-2017	745	SWAP	Zwak lemig fijn zand, diepe GWS, niet beregend	255		138					Alleen T bekend; gemiddeld min-max; Eta=Ta+117
Akkerbouw	Groente	BA19	2003-2017	745	SWAP	Zwak lemig fijn zand, diepe GWS, beregend	257		140		43			Alleen T bekend; gemiddeld min-max; Eta=Ta+115
Akkerbouw	Suikerbiet	WI15	2007-2013	831	Schatting uit gewasopbrengsten	Gemiddeld Brabant	522		407	115			309	
Akkerbouw	Biet	EL10	2006	830	EC	Vredepeel; zandgrond	558	57				0,9	272	GWA=P=Eta
Natuur laag	Natuurlijk/ extensief grasland, droog	DO00	Jaren 80-90		Metingen uit literatuur		363						472	
Natuur laag	Natuurlijk/ extensief grasland, droog	WI15	Jaren 80-90		Literatuur	Open natuurlijk terrein, droog	450							
Natuur laag	Natuurlijk/ extensief grasland, droog	VO15	2013		Model (Hydrus) obv lysimeter	Soestduinen, zand, diepe grondwaterstand, ETp (P-M) 392	350							
Natuur laag	Natuurlijk/ extensief grasland, droog	VO15	2013		Model	Diepe grondwaterstand	333							
Natuur laag	Natuurlijk/ extensief grasland, vochtig/nat	SP95	1991-1992		Uit Janssen 1994, Lysimeter	Schraalgrasland, GWS -30 cm tot aan MV	595					1,0		Eta 395 - 581, alleen voor groeiseizoen
Natuur laag	Natuurlijk/ extensief grasland, vochtig/nat	SP95	1991-1992		Uit Janssen 1994, Lysimeter	Pijpenstrootje, GWS -30 cm tot aan MV	655					1,1		Eta = 413 - 678, alleen voor groeiseizoen
Natuur laag	Natuurlijk/ extensief grasland, vochtig/nat	VO19			Uit Moors 1998	Pijpenstrootje, GWS -30 - -70 cm	506					0,9		
Natuur laag	Natuurlijk/ extensief grasland, vochtig/nat	WI15	Jaren 80-90		Literatuur	Open natuurlijk terrein, nat	550							
Natuur laag	Heide, droog	VO15	2013		Model (Hydrus) obv lysimeter	Soestduinen	391							
Natuur laag	Heide, droog	VO19	1988-2017		Model (Hydrus) obv lysimeter	NP hoge Veluwe	430							430 (langjarig) (var. 358-492)
Natuur laag	Heide, droog	DO00	Jaren 80-90		Metingen uit literatuur		410						424	
Natuur laag	Heide, vochtig/nat	SP95	1991-1992		Lysimeters (Uit Janssen 1994)	Vochtige dopheide	502					0,8		verdamping 308-345 in groeiseizoen; 175 in de winter
Natuur laag	Heide, vochtig/nat	VO15	2013		Model (Hydrus) obv lysimeter	Soestduinen	460							
Bos	Naaldbos, droog	VO19	1997-2003		EC + correctie VO19	Loobos/Kootwijk; GWS 2-10 m; grove den; LAI 1.9	602	100					270	verdampingscijfers gecorrigeerd door VO19
Bos	Naaldbos, droog	VO19	1957-1981		Lysimeter Castricum (uit Stuyfzand 1993)	Zwarte dennenbos duinen	679							
Bos	Naaldbos, droog	DO00	1995-1998		EC	Bankenbos/Veenhuizen; GWS 1-2 m; lariks; LAI 1.8	580	35					225	
Bos	Naaldbos, droog	DO00			EC + water-energiebalans (uit Bosveld 1999)	Donker naaldhout (douglas), Garderen	730						104	
Bos	Naaldbos, droog	VO19	1957-1981	820	Model obv metingen 3 jaar (uit Tiktak & Bouten 1994)	Donker naaldhout	712							
Bos	Naaldbos, droog	VE14	1951-2013	833	Model (SWAP)	Grove den, 100% bedekking, geen ondergroei, diepe gws	681						152	ETp P-M 818
Bos	Naaldbos, vochtig/nat	VE14	1951-2013	833	Model (SWAP)	Grove den, 100% bedekking, geen ondergroei, potentiële verdamp	818							Potentiële verdamping als schatting voor verdamping onder nattere condities
Bos	Loofbos, droog	VO19	1957-1981		Lysimeter Castricum (uit Stuyfzand 1993)	Eikenbos duinen	517							
Bos	Loofbos, droog	DO00				Beukenbos	558						276	
Bos	Loofbos, droog	DO00	1996-1998		EC	Kampina/Boxtel; GWS 0-2 m; gemengd naald/loofbos; LAI 3.8; ver	555	20					225	
Bos	Loofbos, vochtig/nat	DO00	1995-1998		EC	Fleditebos/Zeeuwolde; GWS 1-2 m; populier; LAI 3.7; sterke transp	625						220	Variatie in Eta tussen jaren rond 30 mm
Bos	Loofbos, vochtig/nat	EL10	2008	895	EC	Oostwaard, wilg op klei	579	58				0,9		
Stedelijk	Stedelijk, open	ST08			Waterbalans		290						300	Ruwe schattingen, GWA afhankelijk van drainage
Stedelijk	Stedelijk, dicht	ST08			Waterbalans								175	Ruwe schattingen, GWA afhankelijk van drainage

II Bijlage verantwoording waterbalansanalyse

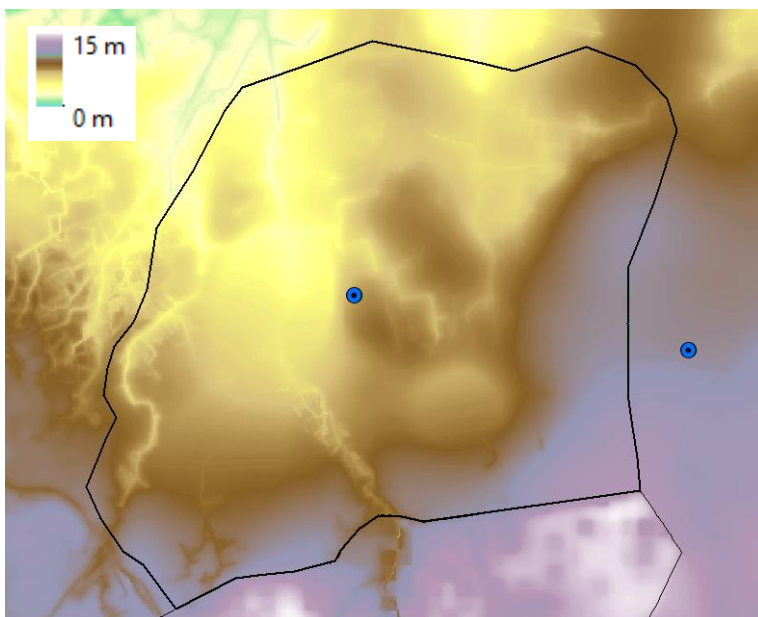
II.1 Afbakening

Voor het opstellen van een waterbalans moet allereerst een gebied worden afgebakend. Mogelijke afbakeningen voor een drinkwaterwinning zijn:

- Het invloedsgebied van de winning.
- Het waterwingebied: hier heeft het drinkwaterbedrijf meestal zelf controle.
- Het grondwaterbeschermingsgebied of het herkomstgebied van het onttrokken water.
- Het stroomgebied van oppervlaktewateren of grondwater in het gebied.

De waterbeschikbaarheid voor een grondwaterwinning wordt voor een belangrijk deel beperkt door mogelijke negatieve effecten op de omgeving. In deze case studie is daarom gekozen om het invloedsgebied van de winning als afbakening te gebruiken: dat gebied waar de grondwaterstand beïnvloed wordt door de onttrekking (Figuur 7-1). Dit gebied is eerder begrensd met modelberekeningen (Neef, 2017) en is in een iets versimpelde vorm aangehouden. Als zuidgrens is de Belgische grens aangehouden, omdat de (model)data in België veel beperkter beschikbaar zijn.

Het afgebakende studiegebied valt samen met het potentiële invloedsgebied van (veranderingen in) winning Roosendaal, maar niet met het stroomgebied van de beken in het gebied of de kwelstromen. Daarom zijn als aanvulling ook enkele diagrammen gemaakt voor een alternatieve afbakening van het studiegebied, waarin meer het stroomgebied van de oppervlaktewateren en het ondiepe grondwater leidend is. Voor deze afbakening zijn de grenzen in het westen en oosten aangepast om meer aan te sluiten bij de grondwater-isohypsen (stationaire stijghoogteberekening voor laag 1). Deze komen redelijk overeen met de oppervlakkige stroomgebieden. Op deze manier valt ook de winning Schijf buiten het studiegebied. In het zuiden is de Belgische grens aangehouden, gegeven het gebrek aan betrouwbare modeldata.



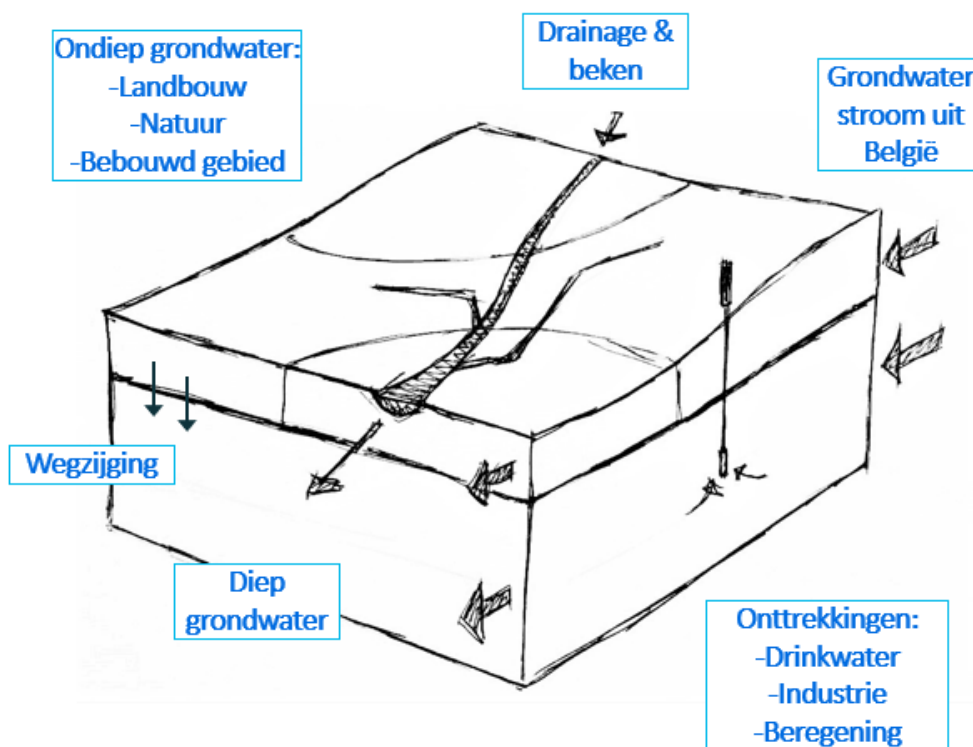
Figuur 7-1: Alternatieve, stroomgebiedsgerichte afbakening van het studiegebied.

II.II Schematisering en data

Als volgende stap is het systeem geschematiseerd. Welke waterbronnen en -watervragers moeten worden meegenomen en in welk detail is afhankelijk van het gebied en het doel van de studie. Figuur 7-2 geeft aan hoe het watersysteem is geschematiseerd; Tabel 7-1 geeft aan welke gegevens zijn gebruikt voor het kwantificeren van de waterstromen.

Het bodem-grondwatersysteem is opgedeeld in 3 reservoirs: het freatische grondwater en bodemwater, het middeldiepe grondwater (onder de Waalre-klei) en het diepe grondwater (onder de Oosterhout-klei). Het ondiepe reservoir is op basis van de landgebruiksk kaart van het model opgedeeld in 3 landgebruikstypen: landbouw, natuur en bebouwd gebied (Figuur 7-3). Op deze manier kan het watergebruik van deze drie belangrijkste ruimtelijke watervragers worden onderscheiden. De middeldiepe en diepe lagen zijn beide als één reservoir beschouwd.

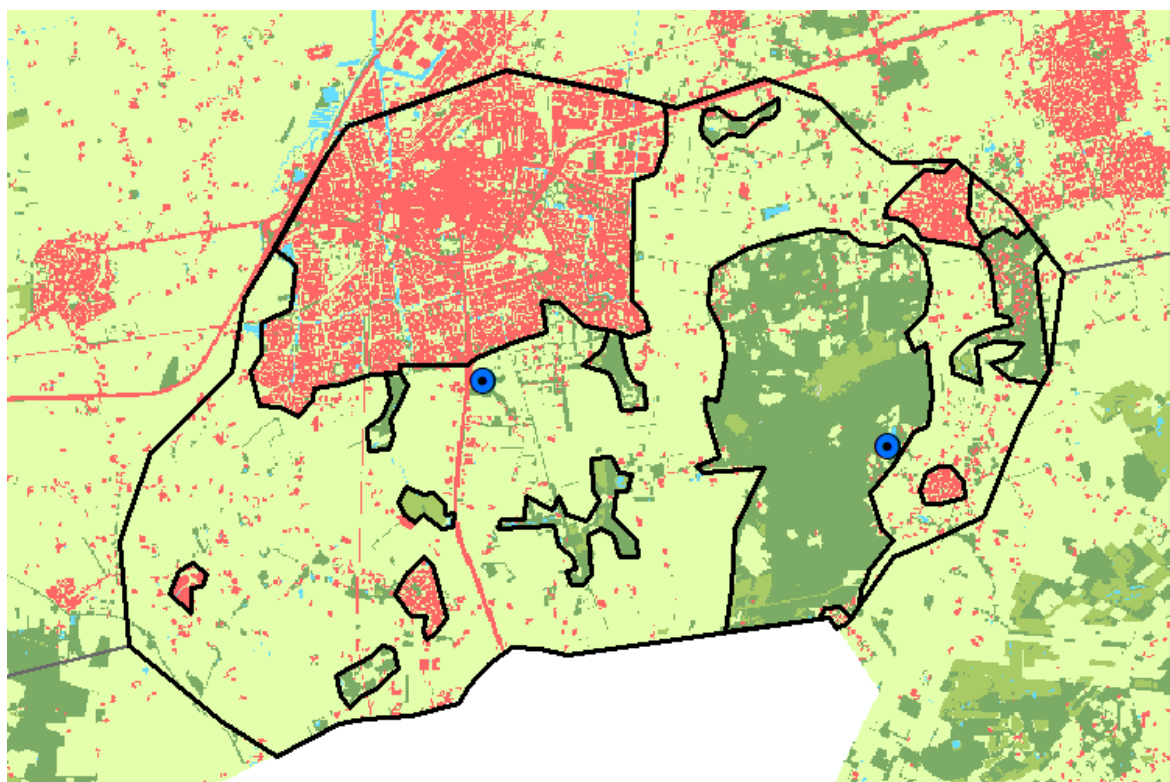
Voor de alternatieve stroomgebiedsgerichte diagrammen met het aangepaste studiegebied is in plaats van de landgebruikstypen een indeling gemaakt in kwel-, infiltratie- en intermediaire gebieden (Figuur 7-4). Op deze manier geven de waterbalansen meer inzicht in de rol van hoge en lage gebieden in het watersysteem, wat aansluit bij de stroomgebiedsbenadering.



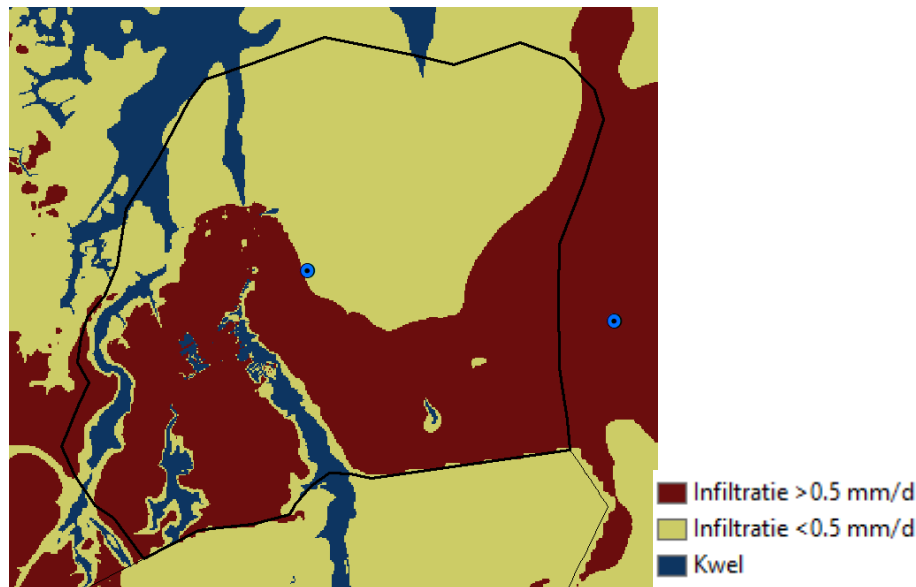
Figuur 7-2: Schematisering van het watersysteem.

Tabel 7-1: Meegenomen systeemonderdelen en gebruikte data.

	Onderdelen	Gebruikte data
Reservoirs	Bodem-grondwatersysteem: <ul style="list-style-type: none"> • Freatisch grondwater + bodemwater • Middeldiep grondwater (onder Waalklei) • Diep grondwater (onder Oosterhoutklei) 	Brabant model, stationaire en tijdsafhankelijke berekeningen
	Oppervlaktewater	Afvoergegevens waterschap Brabantse Delta
Bronnen	Grondwateraanvulling (neerslag – verdamping)	Brabant model, stationaire en tijdsafhankelijke berekeningen + KNMI-data neerslag
	Beken: Molenbeek, Rissenbeek, Turfvaart, Rucphense vaart, Krampenloop	Afvoergegevens waterschap Brabantse Delta
	Instream grondwater van buiten het gebied	Brabant model, stationaire berekeningen
Vragers	Drinkwaterwinning Roosendaal en Schijf	Brabant model (stationaire data) en gegevens onttrekkingen Brabant Water
	Industriële winningen	Brabant model (stationaire data)
	Beregening	Brabant model (tijdsafhankelijke data)
	Ruimtelijke watervragers: <ul style="list-style-type: none"> • Landbouw • Natuur • Bebouwd gebied 	Brabant model, stationaire en tijdsafhankelijke berekeningen



Figuur 7-3: Indeling in landgebruikstypen (rood=bebouwd, donkergroen=natuur, lichtgroen=landbouw).



Figuur 7-4: Indeling in kwel- en infiltratiegebieden voor de alternatieve diagrammen.

II.III Dataverwerking

Vanuit Brabant Water waren modelresultaten beschikbaar van een stationaire run met het Brabant model, en resultaten van een tijdsafhankelijke run over 2009-2016 en beperkter van 2017-2018. Er is voor gekozen om waterbalansen te maken van de stationaire situatie, een gemiddeld jaar voor 2011-2016 (eerste twee jaren opwarmtijd), een gemiddelde zomerperiode (juni-augustus) voor 2011-2016; en voor zover mogelijk voor de droge zomer 2018.

Het model is verdeeld in 19 lagen; deze zijn ingedeeld in laag 1-8 (ondiep), laag 9-17 (middeldiep) en 18-19 (diep). De neerslag is gebaseerd op KNMI-station Oudenbosch. Werkelijke verdamping is ingeschat door de grondwateraanvulling vanuit het model van de neerslag af te trekken. Voor verhard oppervlak neemt het model aan dat 80% van de neerslag direct wordt afgevoerd naar bijvoorbeeld riolering. Deze snelle afvoerstroam is voor de diagrammen geschat als 80% van de neerslag op de verharde fractie van het studiegebied, afgeleid uit LHM-invoerdata. Voor de drainagestromen zijn alle verschillende drainage- en rivierfluxen opgeteld; deze zijn alle beperkt tot de ondiepe lagen (1-6). In de beide modellen wordt drinkwater onttrokken volgens de vergunning, waarbij een constante onttrekking wordt aangenomen. Ook voor industriële onttrekkingen is de onttrekking constant over de tijd. Voor de stationaire waterbalansdiagrammen zijn de vergunde drinkwateronttrekkingen gebruikt. Voor de tijdsafhankelijke figuren zijn de werkelijke onttrekkingsgegevens van Brabant Water gebruikt; hiermee wordt de verhoogde drinkwateronttrekking in de zomer beter duidelijk. Grondwateronttrekkingen voor beregening zijn geen onderdeel van de stationaire modelrun, maar wel van de tijdsafhankelijke run. In de figuren is de berekende beregeningsonttrekking vanuit het model gebruikt; dit is een inschatting op basis van de irrigatievraag en kaarten van de plaatsen waar beregening uit grondwater mogelijk is. De horizontale grondwaterstromen over de gebiedsgrenzen zijn berekend uit de stationaire modelresultaten, door een buffergebied ten zuiden en noorden te definiëren en de instroom vanuit het zuiden en uitstroom naar het noorden te berekenen. Voor de tijdsafhankelijke figuren is aangenomen dat deze stroom constant is over de tijd.

De instroom en afvoer van de beken in het gebied zijn berekend uit afvoerdata van waterschap Brabantse Delta. Van de Molenbeek zijn sub-dagelijkse afvoergegevens beschikbaar over 2011-2020 ter hoogte van Roosendaal. Op basis van eerder onderzoek is aangenomen dat de instroom van de Molenbeek in het gebied gelijk is aan driekwart van de afvoer benedenstrooms (de Jong, 2018); dit is mogelijk een onderschatting in droge periodes. Voor de overige beken waren alleen schattingen van de T1-afvoer (afvoer met waarschijnlijkheid 1/jaar) boven- en benedenstrooms beschikbaar. Er is aangenomen dat deze beken een soortgelijke variatie in afvoer vertonen als de

Molenbeek. De afvoer van de Molenbeek is geschaald naar de afvoer van de andere beken op basis van de verhouding in T1-afvoer. Hoewel dit een ruwe schatting is, heeft dit weinig invloed op de resultaten omdat de andere beken relatief klein zijn ten opzichte van de Molenbeek.

Voor de stationaire waterbalansen en de jaarbalansen over 2011-2016 is de balans voor het grond- en bodemwater ongeveer sluitend. Voor de visualisaties van de zomerperiode is ook een bergingsflux opgenomen, berekend uit de balans van in- en uitgaande stromen van de verschillende reservoirs.

III Bijlage verantwoording analyse actieve infiltratie

III.I Beschikbare hoeveelheid infiltratiewater

Vanuit kwantitatief oogpunt is water voor infiltratie in het Roosendaal-gebied beschikbaar uit twee bronnen: de oppervlaktewaterafvoer door beken en de neerslag op verhard oppervlak, die waarschijnlijk veelal met het riool wordt afgevoerd. Er zijn in het gebied geen RWZI's, zodat RWZI-effluent geen kandidaat is om als bron voor infiltratie te dienen. Wel bestaat de afvoer van de Molenbeek voor een deel uit RWZI-effluent uit Vlaanderen.

Uitgaand van een situatie waarin een combinatie van de Molenbeek en stedelijke afstroom grootschalig wordt ingezet, is de maximaal beschikbare hoeveelheid water ingeschat als:

Beschikbaar water = Afvoer Molenbeek – Minimum afvoer Molenbeek + Oppervlakkige stedelijke afstroom

Voor de beschikbare hoeveelheid oppervlaktewater is uitgegaan van de gemeten afvoer van de Molenbeek ter hoogte van Roosendaal. In de praktijk zal er altijd een bepaald minimumdebiet in de beek over moeten blijven. Dit minimum is genomen als het 5%-percentiel van de daggemiddelde gemeten debieten over 2007-2020. Alle afvoer boven deze ondergrens is beschouwd als bron voor infiltratie.

De beschikbare hoeveelheid water uit afkoppeling van al het stedelijk gebied is ingeschat als de snel afstromende neerslag van verharde oppervlakken. Het stedelijk gebied binnen het studiegebied omvat ongeveer 18.7 km² (23% van het gebied). Er is een overlay gemaakt van dit gebied met een gridkaart van het percentage 'hydrologisch actief' oppervlak (metaswap-oppervlak) vanuit het LHM, als inschatting van het percentage verhard oppervlak. Op basis van deze kaart bleek dat ongeveer 30% van het stedelijk gebied daadwerkelijk verhard is. Voor de inschatting van de directe afvoer van het verharde oppervlak is uitgegaan van dezelfde aannames als in het FLUZO-model, het onverzadigde-zonemodel in het Brabant Model. FLUZO gaat ervan uit 80% van alle neerslag op verhard oppervlak direct afstroomt naar de riolering. Op basis hiervan zijn de beschikbare hoeveelheden water uit stedelijk gebied geschat als:

*Afstroom bebouwd gebied (t) = Neerslag (t) * oppervlak bebouwd gebied * 0.3 * 0.8*

De beschikbaarheid van water voor infiltratie is de som van de snelle stedelijke afstroom en de afvoer uit de Molenbeek bovenop het minimumdebiet. Behalve door de beschikbaarheid zelf wordt de infiltratie van water beperkt door de waterkwaliteit, die voldoende moet zijn om vervuiling van het grondwaterpakket te voorkomen; door de infiltratiecapaciteit van de bodem op de plaats waar het water geïnfiltreerd wordt; door de aanvoercapaciteit (pompen, buizen en andere infrastructuur); en door de mate waarin het systeem flexibel water kan innemen of een constante aanvoer nodig heeft. Deze factoren zijn hier niet meegenomen.

III.II Scenario's actieve infiltratie

De studie is erop gericht inzicht te krijgen in het effect van actieve infiltratie, en hoe dit verschilt afhankelijk van de hoeveelheid infiltratie en de locatie in het landschap. Hiervoor is een set infiltratiescenario's opgesteld, waarin op verschillende locaties wordt geïnfiltreerd met variërende hoeveelheden. Er is alleen gekeken naar situaties met stationaire infiltratie, dus een constante hoeveelheid over de tijd. Dit geeft een globaal inzicht in de effecten en de rol van de infiltratielocatie. De analytische methode (par. **Error! Reference source not found.**) geeft een beeld van

de buffertijd van het grondwater op verschillende landschapposities. Dit geeft informatie in hoeverre in de winter geïnfiltreerd water op verschillende locaties in de zomer nog extra water oplevert, en helpt dus ook bij het beoordelen van de potentie van seizoensmatige infiltratie.

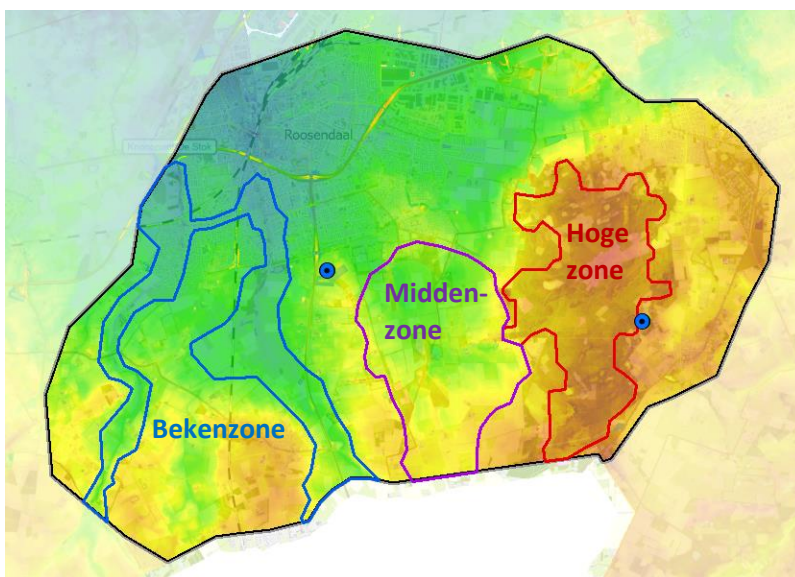
In de scenario's zijn drie infiltratie-intensiteiten gebruikt, gebaseerd op de analyse van de beschikbare hoeveelheid water (paragraaf III.I):

- *Maximale infiltratie*: Infiltratie van de totale hoeveelheid beschikbaar water uit de Molenbeek en stedelijke afstroom. Dit is een tamelijk extreme hoeveelheid, maar dit scenario is meegenomen omdat het uitgangspunt van de studie was te om te kijken naar de potentie bij maximale inzet, zonder praktische overwegingen nog mee te nemen.
- *Middelhoge infiltratie*: Infiltratie van die stroom die het hele jaar door beschikbaar is, ofwel de maandelijkse hoeveelheid beschikbaar water in die maand met de laagste beschikbaarheid. Dit geeft een situatie weer waarin jaarrond ongeveer een constante hoeveelheid water wordt ingenomen en getransporteerd naar de infiltratielocaties, maar waarin het systeem niet is ingericht om afvoerpieken te verwerken.
- *Matige infiltratie*: infiltratie van 1 mm/dag, of 3.650 m³ per hectare infiltratiegebied per jaar. Omdat de eerste twee infiltratie-intensiteiten vrij ambitieus/extreem zijn, is gekozen om als vergelijking een gematigde hoeveelheid toe te voegen, die in dezelfde orde grootte ligt als de natuurlijke grondwateraanvulling en daarmee geen grote verstoringen in het gedrag van het systeem zou moeten opleveren. Het volume geïnfiltreerd water verschilt afhankelijk van de grootte van het infiltratiegebied.

Om het effect van de infiltratie-locatie in beeld te brengen is in de scenario's gekeken naar drie landschapszones waar de infiltratie plaatsvindt (zie Figuur 7-5):

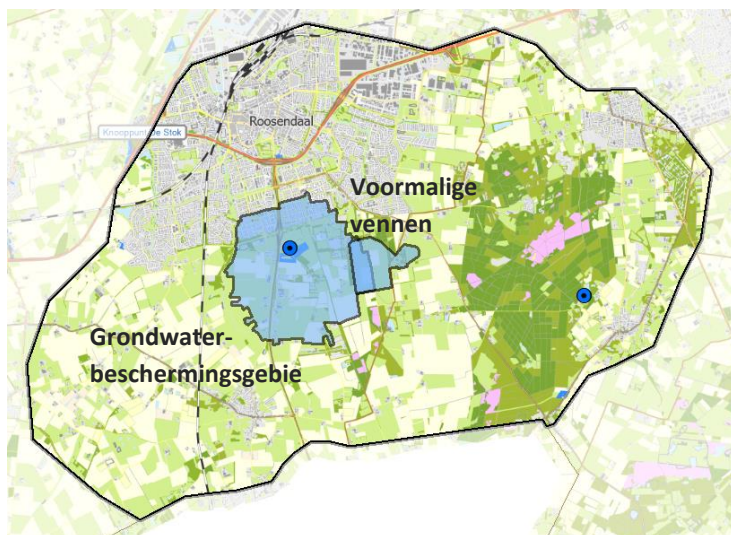
- 'Hoge zone' (rood): de 10% van het gebied met de hoogste buffercapaciteit volgens de analyse in hoofdstuk 3; dit komt globaal overeen met de hoger gelegen Rucphense bossen.
- 'Middenzone' (paars): de quasi-komvormige overgang tussen de Molenbeek en de Rucphense bossen.
- 'Bekenzone' (blauw): de zone rondom de Molenbeek en Rissebeek.

Deze drie zones beslaan elk 10% van het gebied om de effecten goed te kunnen vergelijken. Er zijn binnen deze gebieden geen specifieke locaties aangewezen waar infiltratieplassen zouden moeten komen, maar de actieve infiltratie is bekeken als een toename in de gemiddelde grondwateraanvulling in de zone: het infiltratiewater wordt dus 'uitgesmeerd' over het gehele infiltratiegebied.



Figuur 7-5: Infiltratiezones gebruikt in de infiltratiescenario's.

Voor de uitgebreidere effectberekeningen met het ruimtelijk grondwatermodel zijn daarnaast twee kleinere concrete infiltratielocaties bekeken die potentie kunnen hebben voor actieve infiltratie, namelijk het gebied direct rond de winning (grondwaterbeschermingsgebied) en het gebied van enkele drooggelegde vennen in de middenzone (Snolleven en Katteven) (Figuur 7-6). Het grondwaterbeschermingsgebied zou voor het drinkwaterbedrijf zelf een logische plek zijn om water aan te vullen, omdat hier al een beschermingsbeleid geldt en omdat hier de effecten van de winning waarschijnlijk het meest direct gecompenseerd kunnen worden. De drooggelegde voormalige vennen zijn eerder genoemd als potentiële locaties voor waterberging en natuurontwikkeling (Natuurmonumenten, 2017).



Figuur 7-6: Infiltratiegebieden voor toegevoegde praktische scenario's.

Dit geeft bij elkaar vijf gebiedsscenario's met elk drie varianten van de infiltratie-intensiteit. Tabel 7-2 geeft de toegepaste infiltratie-intensiteiten per scenario. De onderbouwing van de hoeveelheden is gegeven in paragraaf III.I

Tabel 7-2: Infiltratiescenario's voor de effectberekeningen.

Gebied	Oppervlak (ha)	Intensiteit bij Maximale infiltratie	Intensiteit bij Middelhoge infiltratie	Intensiteit bij Matige infiltratie
Hoge zone	810	$113 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{d}$	$43 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{d}$	$8.1 \text{ m}^3/\text{d}$
Middenzone	810	$113 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{d}$	$43 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{d}$	$8.1 \text{ m}^3/\text{d}$
Bekenzone	810	$113 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{d}$	$43 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{d}$	$8.1 \text{ m}^3/\text{d}$
Grondwaterbeschermingsgebied	544	$113 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{d}$	$43 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{d}$	$5.4 \text{ m}^3/\text{d} *$
Vennengebied	83	$113 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{d}$	$43 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{d}$	$0.8 \text{ m}^3/\text{d} *$

*Voor de variant met lage infiltratie is uitgegaan van $1 \text{ mm}/\text{d}$ om in eenzelfde ordegrootte te blijven als de grondwateraanvulling. In de kleinere infiltratiegebieden is de geïnfiltreerde hoeveelheid daarom kleiner.

III.III Uitputtingsverloop

De beschikbare bergingsruimte geeft een eerste indicatie van de hoeveelheid grondwater die in het freatisch pakket vastgehouden kan worden. Het geeft echter geen informatie over het uitputtingsverloop, i.e. de snelheid waarmee grondwatervoorraden slinken als gevolg van drainage. Het uitputtingsverloop is bepalend voor de mate waarin voorraadvorming in tijden van wateroverschot bijdraagt aan de beschikbaarheid van grondwater tijdens latere droogteperioden. Het uitputtingsverloop is door Kraijenhoff van de Leur (1958) voor homogene, gedraineerde watervoerende pakketten gedefinieerd als:

$$S(t)/S_0 = e^{-t/j}$$

Waarin $S(t)/S_0$ het resterend deel van het bergingsvolume is na t dagen. j staat voor de reservoircoëfficiënt. Deze reservoircoëfficiënt staat voor de tijd (d) die verstrijkt totdat 63% van de grondwateraanvulling is afgevoerd door drainage (37% is nog over), en na drie keer deze tijd is 95% van de grondwateraanvulling afgevoerd (5% is nog over). Hij is wiskundig gedefinieerd als:

$$j = \frac{\mu L^2}{\pi^2 k D}$$

Waarin μ de freatische bergingscoëfficiënt (-) is, L de afstand tussen drainagemiddelen (m) en kD het doorlaatvermogen van het gedraineerde pakket (m^2/d). Omdat de freatische bergingscoëfficiënt relatief weinig varieert, zijn ruimtelijke variaties in buffertijden in de praktijk vooral afhankelijk van het doorlaatvermogen van de ondergrond en de drainageafstand.

De reservoircoëfficiënt is voor de drie deelgebieden geschat door achtereenvolgens:

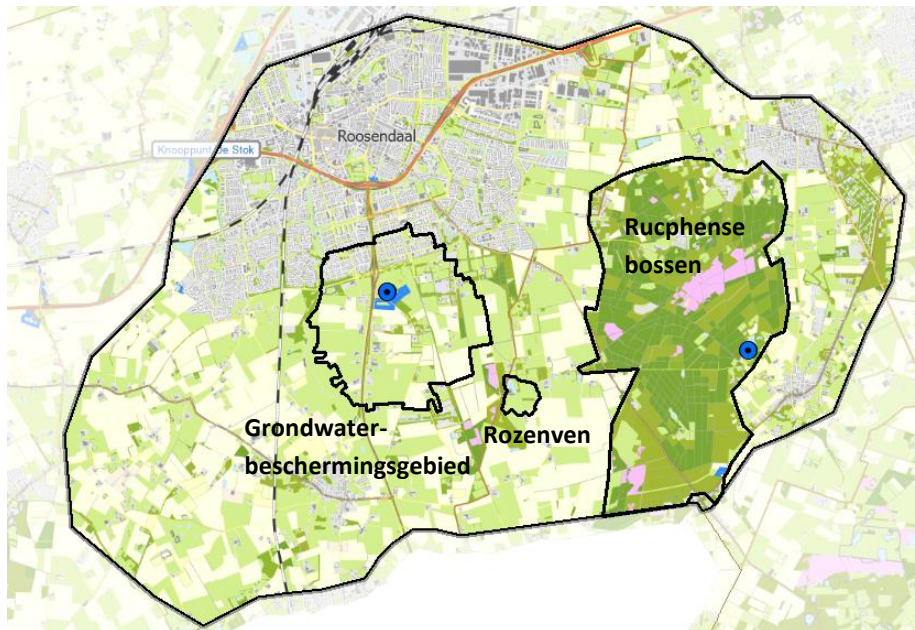
- (1) De ruimtelijke variatie van reservoircoëfficiënten te berekenen op basis van beschikbaar kaartmateriaal van het doorlaatvermogen en slootafstanden. Het doorlaatvermogen is ontleend aan het grondwatermodel door de doorlaatvermogens van de modellen tot aan de bovenkant van de Waalre- en Klei bij elkaar op te tellen. De slootafstanden zijn afgeleid uit Van der Gaast et al. (2006).
- (2) Voor elk gebied een representatieve reservoircoëfficiënt te berekenen op basis van de mediaan van de berekende coëfficiënten binnen elk deelgebied. De mediaan is als centrummaat gekozen, omdat de reservoircoëfficiënt een macroscopische grootheid is, waarbij lokaal extreme waarden er niet toe doen en dus ook niet mee moeten wegen in een representatieve waarde.

Met deze aanpak wordt het uitputtingsverloop beschreven als een lineair reservoir. Dit betekent dat het bergingsvolume binnen opeenvolgende tijdsvensters met een constante factor afneemt, zoals een bakje gevuld met water leegloopt als er een gat in de bodem van het bakje zit. In werkelijkheid zorgen niet-lineaire processen voor afwijkingen ten opzichte van een lineair reservoir. Het droogvallen van waterlopen en het verminderen van de vochtbeschikbaarheid voor verdamping bij een dalende grondwaterstand zijn niet-lineaire processen in het studiegebied, die er voor zorgen dat het uitputtingsverloop vertraagd naarmate grondwaterstanden verder wegzakken. De gekozen aanpak is dus indicatief en bedoeld om op basis van karteerbare kenmerken een eerste idee te krijgen van orde groottes en globale ruimtelijke patronen. Voor gedetailleerdere analyses, bijvoorbeeld voor het onderbouwen van maatregelen scenario's en het opstellen van prognoses zijn geavanceerdere technieken noodzakelijk, zoals de inzet van numerieke grondwatermodellen.

III.IV Ruimtelijke hydrologische effecten: ruimtelijk grondwatermodel

Vanuit Brabant Water is een stationair grondwatermodel beschikbaar voor de Roosendaal-regio. Het gaat om een uitsnede van het Brabant Model, ontwikkeld door RHDHV, dat lokaal is gekalibreerd voor het Roosendaal-gebied. Voor de infiltratiescenario's in paragraaf III.II zijn aangepaste grondwateraanvullingskaarten gemaakt, waarin de extra infiltratie is opgeteld bij de grondwateraanvulling in de verschillende infiltratiegebieden. Met deze aangepaste grondwateraanvulling is het model opnieuw doorgerekend. De effecten zijn beoordeeld voor het gebied als geheel en voor drie doelgebieden, waar specifieke wensen liggen om de lokale hydrologische condities te verbeteren (Figuur 7-7). De drie doelgebieden zijn het Rozenven, de Rucphense bossen, en de omgeving van de winning (grondwaterbeschermingsgebied). In elk van deze drie gebieden is een stijging van de grondwaterstand

gewenst voor verbetering van natuurdoelen en vermindering van het effect van de grondwaterwinning; voor het Rozenven is specifiek een stijging van de kwelflux gewenst.



Figuur 7-7: Drie doelgebieden waarvoor effecten op de hydrologische condities zijn beoordeeld.

De volgende effecten zijn in beeld gebracht:

- Freatische grondwaterstanden (modellaag 1) en diepe stijghoogtes (modellaag 9) voor het gebied als geheel en de doelgebieden (Rozenven, Rucphense bossen, omgeving winning);
- Kwel en infiltratie tussen het freatisch en eerste watervoerend pakket en over de onderrand van modellaag 1 voor het gebied als geheel en de doelgebieden (Rozenven, Rucphense bossen, omgeving winning);
- Toegevoegde freatische grondwatervoorraad. Deze is geschat als het verschil tussen de freatische grondwaterstand en de onderkant van het freatisch pakket (onderkant modellaag 8), vermenigvuldigd met het celoppervlak en de geschatte freatische bergingscoëfficiënt van 0.14.

IV Bijlage verantwoording analyse aanpassen landgebruik

Onderzochte effecten en scenario's

Om een beeld te krijgen van de mogelijke effecten van het omvormen van landbouwgrond, onderzoeken we scenario's waarin in delen van het Roosendaal-gebied de agrarische gronden - zowel akkerbouwgronden als agrarische graslanden - worden omgevormd naar een extensiever gebruik. Als vereenvoudiging gaan we er in deze studie vanuit dat de gronden worden ingericht als halfnatuurlijk grasland: gronden met een halfnatuurlijke, lage vegetatie en eventueel een extensief agrarisch gebruik (lage veedichtheden, geen externe inputs zoals bemesting, bestrijdingsmiddelen en beregening, beperkte drainage). Hoewel ook allerlei andere typen gebruik denkbaar zijn, is te verwachten dat bij omvormingen extensief beheerd grasland een veel voorkomend eindgebruik zijn vanwege het halfnatuurlijke karakter, extensief beheer (beperkt gebruik van meststoffen, geen gewasbeschermingsmiddelen) en de bijdrage aan klimaatdoelen (vastleggen koolstof in de bodem).

De omvorming van het landgebruik naar halfnatuurlijke vegetatie werkt op verschillende manieren door op het watersysteem. Omvorming heeft ten eerste effect op de grondwateraanvulling, doordat de verdamping hoger of lager is dan voorheen, of door veranderingen in bodemstructuur en oppervlakkige afstroming (bijvoorbeeld verminderde bodemverdichting). Daarnaast wordt het door omvorming naar halfnatuurlijke begroeiing mogelijk om de drainage-intensiteit te verminderen. Voor het Roosendaal-studiegebied geldt bijvoorbeeld dat de lagere delen een intensieve drainage kennen. Behalve op de grondwateraanvulling en drainage kan omvorming effect hebben op de waterbeschikbaarheid wanneer met omvorming bestaande beregening wordt gestopt. Extensivering of stoppen van landbouwgebruik kan daarnaast samengaan met een verminderd gebruik van mest en bestrijdingsmiddelen, met (op termijn) een positief effect op grond- en oppervlaktewaterkwaliteit. Dit hangt wel af van de voorwaarden die aan omvorming zouden worden gesteld. Ook kunnen door chemische processen in de bodem en verandering van de vegetatie complexe effecten op de beschikbaarheid en uitspoeling van stoffen optreden, zeker wanneer er sprake is van vernatting (Aggenbach et al., 2017)

In deze verkennende studie kijken we naar het effect van omvorming van landgebruik op de kwantitatieve waterbeschikbaarheid, door 1) veranderingen in grondwateraanvulling en 2) aanpassing van drainage. Deze twee effecten worden zowel apart als samen bekeken, zodat hun afzonderlijke bijdrage duidelijk wordt. De aspecten beregening en waterkwaliteitseffecten nemen we niet in de berekeningen mee, omdat dit met de eenvoudige gebruikte modellen niet mogelijk is. Deze effecten worden in de discussie besproken.

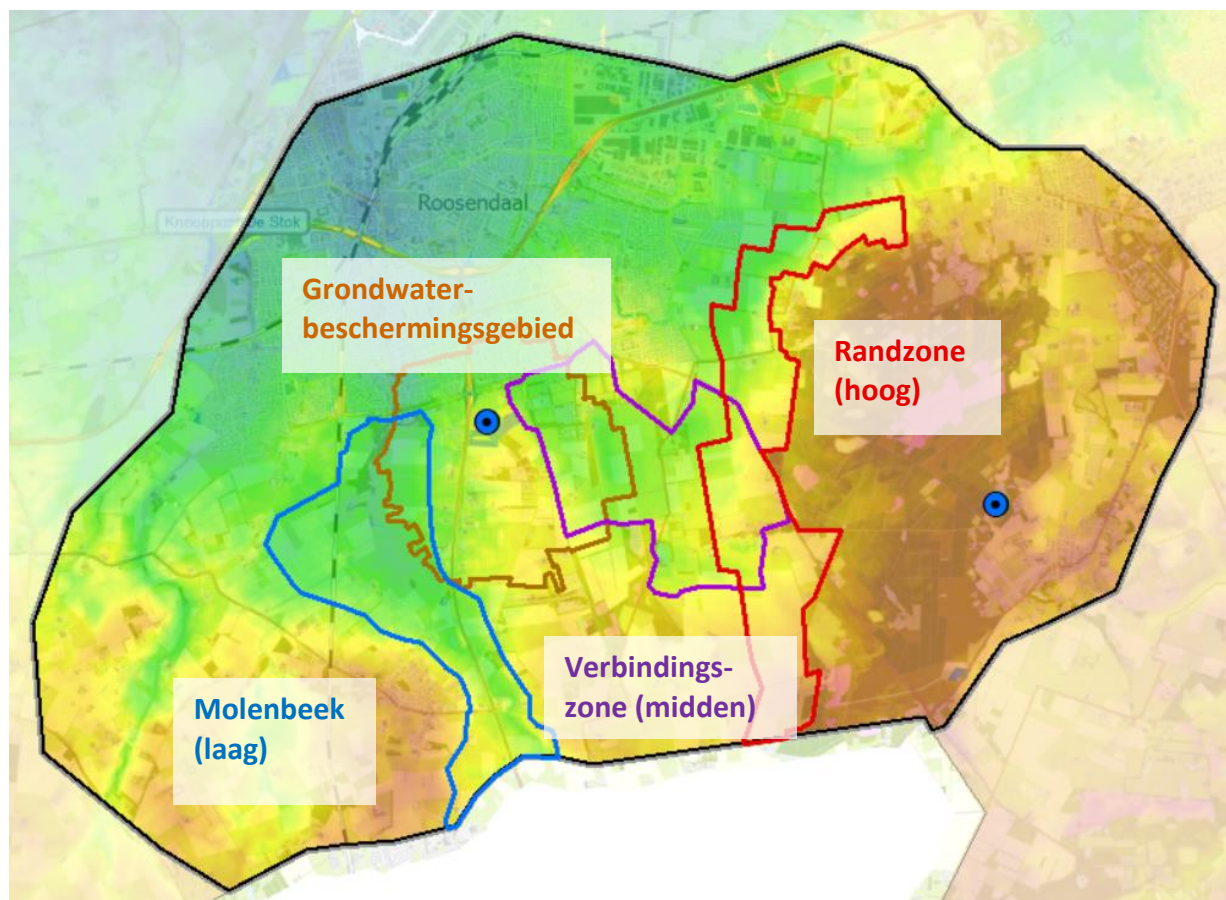
De effecten van omvorming van landbouwgrond naar halfnatuurlijk gebruik zijn niet alleen afhankelijk van wat deze omvorming precies inhoudt, maar ook op welke schaal en posities in het watersysteem deze wordt toegepast. Op basis van de bestaande ambities voor het landschap rond Roosendaal zijn vier zones gekozen waar omvorming is toegepast (Figuur 7-8 en Figuur 7-9). De gekozen zones zijn:

- Molenbeek (laag): omvorming van landbouwgrond in de laagste zone rond de Molenbeek, tussen de Belgische grens en de zuidrand van Roosendaal. Dit zou bijdragen aan natuurontwikkeling en waterberging rond de beek, en een verminderd drainerend effect van de beekzone als de omvorming samengaat met aanpassing van de drainage in het beekdal;
- Verbindingszone (midden): bossen en de vennen en landgoederen in het middengebied. Dit is op dit moment een intensief gedraineerd gebied, waarbinnen een aantal vrij versnipperde natuurgebieden en (deels

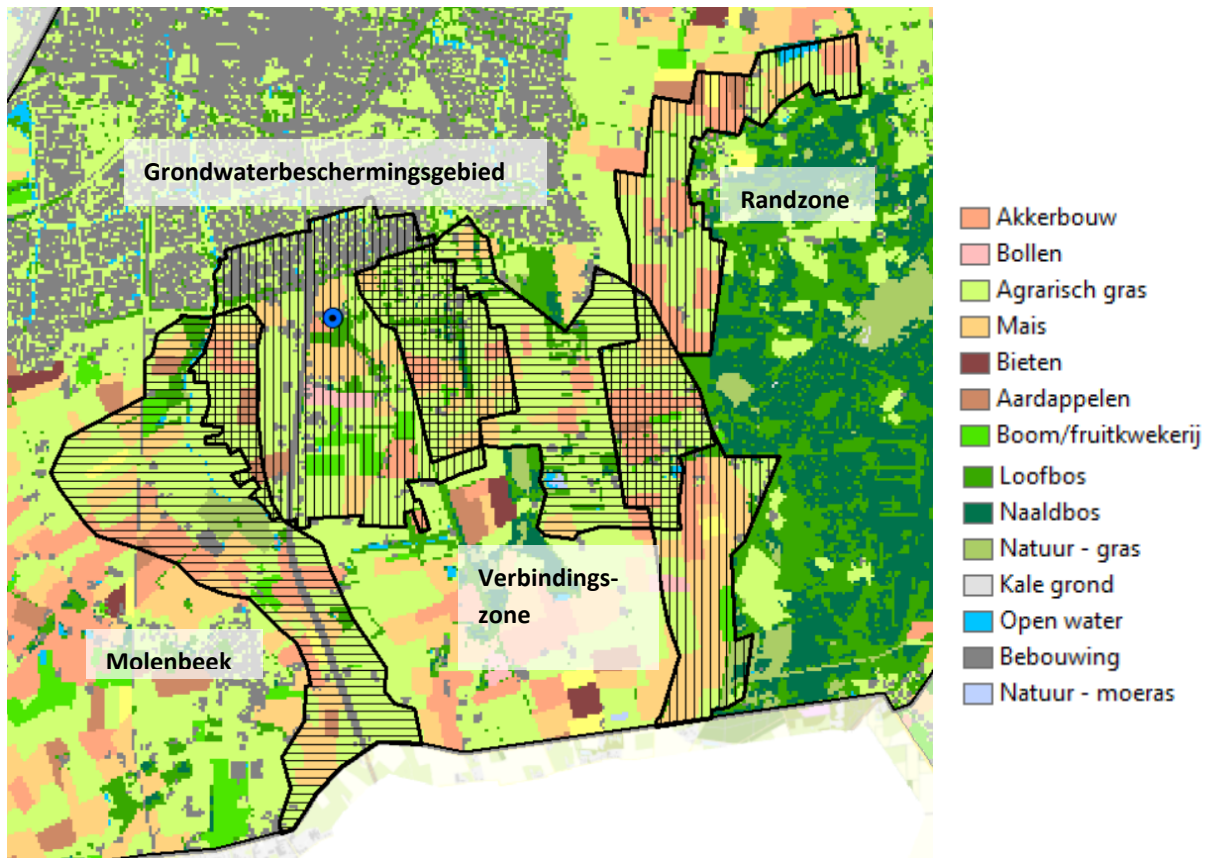
voormalige of verdroogde) vennen liggen. Hier zou omvorming een kans zijn om zowel drainage te beperken als natuurgebieden met elkaar te verbinden.

- **Randzone (hoog):** Een bufferzone langs de rand van de Rucphense bossen. Vorming van landschapsgronden of andersoortige bufferzones rond natuur wordt vaak als optie genoemd om stikstofdepositie te beperken, natuur/bosgebieden te vergroten en mogelijk ook hydrologische condities te verbeteren.
- **Grondwaterbeschermingsgebied (excl. stedelijke zone):** omvorming rond de drinkwaterwinning. Doel hiervan zou zijn om (schone) aanvulling van de grondwatervoorraad te versterken en de grondwaterstandsverlaging door de winning te mitigeren.

Deze vier zones zijn elk 450 ha groot en omvatten vooral landbouwgrond. De zones corresponderen met de zones gebruikt in het onderdeel Actieve infiltratie, maar zijn aangepast om relevante agrarische gronden te omvatten. Naast de vier omvormingszones is een scenario doorgerekend met omvorming van alle landbouwgronden in het gebied (scenario 'Overall'). Dit is vooral een theoretisch scenario om de mechanismen van de effecten te begrijpen.



Figuur 7-8: Zones voor omvorming van landgebruik, met op de achtergrond de maaiveldhoogten.



Figuur 7-9: De vier omvormingszones en het huidige landgebruik in het Brabant Model.