

Valkenburgse meer

Oordelen 2019

waterplanten	Slecht	
wissen	Goed	
macrofauna	Matig	
algen	Goed	
Biologie	Slecht	
BOS	Slecht	
Overige stoffen	Voldoet niet	
Prioritaire stoffen ubiquitair	Voldoet	
Prioritaire stoffen NIET ubiquitair	Voldoet	
Nieuwe prioritaire stoffen	Voldoet niet	
Chemie totaal	Voldoet	
TOTAAL CORDECEL	Voldoet niet	

Probleemstoffen (oordeel +toetswaarde)

Stikstof	Slecht	1,567
Zuurgraad	Matig	8,567
Fosfor	Slecht	0,133
Ammonium	Voldoet niet	3,590
cyanten	Voldoet niet	0,010
PFOS	Voldoet niet	0,003

Sleutelfactor	Beoordeling	Knelpunten
ESF1 Productiviteit water		De externe belasting is te hoog, voornamelijk door aanvoer van boezemwater.
ESF2 Licht		
ESF3 Productiviteit bodem		
ESF 4 Habitatgeschiktheid		<ul style="list-style-type: none"> - Beperkte groei van oever planten door verdediging en mogelijk aan een te grote waterdiepte in de oeverzone en afwezigheid flexibel peil - Geen ondergedoken vegetatie en drijfbladvegetatie, mogelijk door zandwinning en mosselen. - Geen diverse samenstelling van macrofauna door gebrek aan structuur - Geen diverse visstand door gebrek aan vegetatie
ESF 5 Verspreiding		
ESF 6 Verwijdering		
ESF7 Organische belasting		
ESF8 Toxiciteit		<p>Knelpunten overschrijding van de norm:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ammonium/ammoniak: Volgens de Toolkit is het ecologisch effect (msPAF-score) acceptabel. Situatie kan niet worden verbeterd zonder de natuurdoelstelling van de vogelplas aan te tasten. Advies: geen maatregel; - Abamectine, fluorantheen en zink: de normoverschrijding is gebaseerd op incidentele piekmeting, waarvan de oorzaak niet bekend is. Mede omdat de jaargemiddelde msPAF-waarde onder de 0,5% blijft, wordt geadviseerd geen maatregel te treffen. - Tegen botulisme zijn in dit systeem geen maatregelen te nemen, anders dan

Uitleg maatregelen

Nr.	Maatregelen Valkenburgse meer	ESF	Soort maatregel	Uitleg
1	Generieke maatregelen om de emissie van nutriënten naar het boezemwater te beperken	1	Generiek	Generiek bronnenbeleid
2	Doorgang naar boezemkanaal vernauwen	1	Inrichting	IN02
3	Waterinlaat naar Ommedijkse polder verminderen of stoppen	1	Inrichting	IN02
4	Behoud van begroeiide oevers	4	Beheer	Uitvoeren op waterkwaliteit gericht onderhouds-/maai-beheer (water en natte oever)
5	Ondiepe, begroeibare zones realiseren bij de oplevering van de zandwinning	4	Inrichting	Aanleg van een natuurvriendelijke oever door afgraven van het steile talud naar een flauw talud van 1:3
6	Flauwe, begroeibare taluds realiseren bij de oplevering van de zandwinning	4	Inrichting	Realiseren van ondiepe, begroeibare zones voor oeverplanten, drijfbladplanten of ondergedoken waterplanten.
7	Dood hout aanbrengen als structurelement voor macrofauna	4	Inrichting	Realiseren van ondiepe, begroeibare zones voor oeverplanten, drijfbladplanten of ondergedoken waterplanten.
8	Onderzoeken of dode quaggamossels en driehoekmossels of de bodem zelf beperkend kunnen zijn voor de kieming en groei van planten	4	Instrumenteel	Kennisontwikkeling. Onderzoek van lokale situatie om met verworven kennis effectieve maatregelen te kunnen nemen
9	Onderzoek naar de oorzaak van de hoge pH i.v.m. overschrijdingen ammonium	8	Instrumenteel	Kennisontwikkeling. Onderzoek van lokale situatie om met verworven kennis effectieve maatregelen te kunnen nemen

Valkenburgse meer

Input maatregelen

Aanwezig:

5.1.2e (sportvisserij mid – west Nederland)

5.1.2e (vissport....)

5.1.2e : Watersport verbond

5.1.2e : Leidse Visserij

5.1.2e NVT

Valkenburgse Meer is een zandwinplas. Ecologisch niet heel slecht, maar de waterplanten willen niet groeien. Het is heel diep. Vissen scoren goed, algen scoren goed. Macrofauna soort matig. ER zitten teveel nutriënten in het water en de zuurgraad is erg hoog. Weinig algen groei. Chemisch, geen problemen vanuit de plas zelf maar meer stoffen die overal in de natuur terug komen. Vooral de waterplanten en het fosfaat / fosfor gehalte is belangrijk.

Nr.	Maatregelen Valkenburgse meer	Input
1	Generieke maatregelen om de emissie van nutriënten naar het boezemwater te beperken	
2	Doorgang naar boezemkanaal vernauwen	5.1.2e is hier niet voor

Valkenburgse meer

3	Waterinlaat naar Ommedijkse polder verminderen of stoppen	
4	Behoud van begroeide oevers	
5	Ondiepe, begroeibare zones realiseren bij de oplevering van de zandwinning	
6	Flauwe, begroeibare taluds realiseren bij de oplevering van de zandwinning	
7	Dood hout aanbrengen als structurelement voor macrofauna	

Valkenburgse meer

8	Onderzoeken of dode quaggamossels en driehoekmossels of de bodem zelf beperkend kunnen zijn voor de kieming en groei van planten	
9	Onderzoek naar de oorzaak van de hoge pH i.v.m. overschrijdingen ammonium	

Overig:

5.1.2e :

- wie is bevoegd gezag van het valkenburgse meer? Maar er zit een hek naar het Valkenburgse meer waardoor vissers niet naar de plas kunnen. 5.1.2a geeft aan dat dit waarschijnlijk komt omdat het Valkenburgse meer verpacht wordt voor de zandwinning. 5.1.2e vermoedt dat de Provincie hier over gaat. Hier moet op terug worden gekomen bij 5.1.2e !
- Bereikbaarheid van de oevers is opzich wel goed geregeld.

5.1.2e geeft aan dat er een idee is om de doorgang (welke doorgang?) te verplaatsen voor het peilbeheer. Voor de vissers is dit geen enkel probleem.

5.1.2e geeft aan dat er dus vooral problemen zijn door de zandwinning. Waarschijnlijk zijn hier afspraken over met de Provincie. Die zijn waarschijnlijk eigenaar van de plas.

5.1.2e :

- Het zandwin bedrijf zuigt het zand weg onder de blauwe zeeklei door. Hierdoor ontstaan een soort onder water grotten, maar maakt de ondergrond ook heel instabiel. Op een gegeven moment kan alles in elkaar klappen. Daarnaast kan de dijk scheuren.

Rond het Valkenburgse meer rijdt een stoomtrein. De stoomtrein heeft plannen om uit te breiden, door de Pfas discussie is dit op dit moment niet mogelijk, maar de plannen liggen er wel.

Drinkwatervoorziening van de toekomst 2030-2040

Notitie Reikwijdte en
Detailniveau

Drinkwater
voor de
toekomst



Inhoud

1. Inleiding	3
1.1 Aanleiding voor de m.e.r.-procedure	3
1.2 Afbakening van de oplossingen in de tijd	5
1.3 Leeswijzer	6
2. Context Drinkwatervoorziening van de toekomst 2030-2040	8
2.1 Wettelijke verplichting van Dunea: leveringszekerheid	8
2.2 Het bestaande drinkwatersysteem	9
2.3 Leveringszekerheid onder druk: wat heeft Dunea tot nu toe gedaan?	11
2.4 Hoe werkt Dunea aan een oplossing voor de toekomst?	12
3. Opgave Drinkwatervoorziening van de toekomst 2030-2040	16
3.1 Waterkwantiteit	16
3.2 Waterkwaliteit	18
3.3 Continuïteit van levering	19
4. Onderbouwing keuze Hybride Systeem	20
4.1 Randvoorwaarden	20
4.2 Conclusie: Dunea kiest voor Hybride Systeem	20
4.3 Beoordeling van de oplossingsrichtingen in detail	21
5. M.e.r.-procedure Drinkwatervoorziening van de toekomst 2030-2040	30
5.1 Voorgenomen activiteit	30
5.2 Waarom een m.e.r.-procedure?	30
5.3 Hoe is de m.e.r.-procedure georganiseerd?	31
6. Alternatieven	34
6.1 Voorgenomen activiteit: ruimtelijke inpassing Nieuwe Systeem	34
6.2 Alternatieven	35
6.3 Trechteringsproces tot alternatieven (Variantenstudie)	39
6.4 Koppelkansen	39
7. Milieueffecten	40
7.1 Detailniveau van de effectbepaling	40
7.2 Referentiesituatie en autonome ontwikkeling	40
7.3 Te onderzoeken milieueffecten in het MER	41
7.4 Leemten in kennis en informatie	42
7.5 Evaluatie en monitoring	42
8. Beleids- en juridisch kader	43
8.1 Drinkwaterwetgeving en -beleid	43
8.2 Omgevingswetgeving en -beleid	43



Figuur 1: Leveringsgebied van Dunea.

1. Inleiding

Drinkwaterbedrijf en natuurbeheerder Dunea voert op grond van de Drinkwaterwet taken uit voor een doelmatige openbare drinkwatervoorziening. Volgens de drinkwaterwet heeft Dunea de plicht 100% zekerheid te bieden voor de levering van drinkwater in haar leveringsgebied. Dunea levert op dit moment drinkwater aan 1,3 miljoen mensen. In figuur 1 is het leveringsgebied van Dunea weergegeven.

Nu maakt Dunea alleen drinkwater met de duinen (zie paragraaf 1.1 Rivier-duinsysteem). Door diverse oorzaken zal op termijn de productie niet meer genoeg zijn om de vereiste leveringszekerheid te bieden. Daarom is Dunea op zoek naar nieuwe bronnen en zuiveringsmogelijkheden. Dit is het programma Drinkwatervoorziening van de toekomst 2030-2040.

Voor het vaststellen van de beste locaties voor de nieuwe bronnen en de zuiveringslocaties, doorloopt Dunea de procedure van milieueffectrapportage (m.e.r.). Bevoegd gezag voor de m.e.r. is de Omgevingsdienst Haaglanden in samenwerking met de Omgevingsdienst West-Holland, namens de provincie Zuid Holland. Deze Notitie Reikwijdte en Detailniveau is de eerste stap in de m.e.r.-procedure.

1.1 Aanleiding voor de m.e.r.-procedure

Bestaand systeem: Rivier-duinsysteem

In het bestaande drinkwatersysteem voert Dunea voorgezuiverd water aan uit de Maas en de Lek. Dit water wordt geïnfiltreerd in drie waterwingebieden in de duinen: Solleveld, Meijendel en Berkheide (zie figuur 2). Hier ondergaat het water een natuurlijke zuivering. Vervolgens wordt het water uit de duinen onttrokken en via nazuivering geleverd als drinkwater. Het beheer en bescherming van de duinen als waterwin- en natuurgebied maakt integraal onderdeel uit van de taken van Dunea. De doelen voor drinkwater en natuur zijn vastgelegd in de statuten van Dunea.

Uitdagingen voortzetting huidig systeem

Dunea staat voor een aantal uitdagingen om tussen nu en 2050 de leveringszekerheid van drinkwater te waarborgen:

- Door bevolkingsgroei zal de drinkwatervraag in het leveringsgebied de komende decennia sterk groeien.
- Het bestaande systeem is kwetsbaar voor verstoringen, vanwege de afhankelijkheid van de rivieren Maas en Lek, de transportafstand én de beperkte zoetwatervoorraad in het duin.
- Er zijn grenzen aan de hoeveelheid water die via de duinen geïnfiltreerd kan worden. Voor de korte termijn worden de beschikbare mogelijkheden om uit te breiden benut, maar daarna is uitbreiding in de duinen niet meer mogelijk.
- Nieuwe stoffen (persistente, mobiele en toxische (PMT) stoffen, zoals PFAS) zullen extra zuivering vergen.
- Diverse rapportages en lopend onderzoek van RIWA Maas laten zien dat door klimaatverandering langere periodes van droogte worden voorspeld waardoor de Maas, als regenrivier, in de toekomst waarschijnlijk een minder betrouwbare bron voor drinkwater wordt.
- De klimaatverandering leidt eveneens tot zeespiegelstijging met als gevolg verhoogde risico's op verzilting van de Lek.



Figuur 2: Het bestaande Rivier-duinsysteem van Dunea.

Om het hoofd te bieden aan deze uitdagingen heeft Dunea het Programma Drinkwater voor de toekomst opgezet.

Visie toekomstige drinkwatervoorziening

Dunea heeft een visie ontwikkeld om de drinkwatervoorziening ook voor de toekomst tot een duurzaam en robuust systeem te maken. Belangrijke elementen in de visie zijn:

- Optimalisatie van het Rivier-duinsysteem voor de korte termijn (tot 2030).
- Ontwikkelen van nieuwe bronnen naast het bestaande Rivier-duinsysteem en inzetten van nieuwe zuiveringstechniek;
- Inzetten op waterbesparing;
- Nauw samenwerken met partners om bronvervuiling te voorkomen.

In deze visie beschikt het drinkwatersysteem in de toekomst over meerdere onafhankelijke bronnen en bestaat een optimale combinatie van natuurlijk systeem en technologie. Zo verkleint Dunea haar afhankelijkheid van de grote rivieren, kan zij beter omgaan met bronvervuiling, vermindert zij problemen met infrastructuur (leidingen) en is er voldoende drinkwater, ook in perioden van droogte.

Nieuwe bronnen en membraanfiltratie: Nieuw Systeem

Vanuit deze visie gaat Dunea op zoek naar nieuwe bronnen voor de productie van drinkwater. Dunea kiest op basis van de huidige kennis, ervaringen en beschikbare technologieën voor de nieuwe techniek van 'membraanfiltratie' voor de productie van drinkwater uit deze bronnen. Met de nieuwe bronnen in combinatie met membraanfiltratie ontstaat een 'Nieuw Systeem', naast het bestaande Rivier-duinsysteem. Dunea zal nieuwe technologische ontwikkelingen voor drinkwaterzuivering natuurlijk blijven volgen en hierin (waar mogelijk en noodzakelijk) meegaan.

Eindbeeld: Hybride Systeem

In het eindbeeld is het drinkwater van Dunea afkomstig uit zowel het bestaande Rivier-duinsysteem als uit het Nieuwe Systeem. Tezamen wordt dit het 'Hybride Systeem' genoemd. De exacte verhoudingen binnen dit systeem zijn nu nog niet bepaald.

M.e.r.-procedure Drinkwater van de toekomst 2030-2040

Het is nu nog niet duidelijk welke activiteiten voor het Nieuwe Systeem m.e.r.-plichtig of m.e.r.-beoordelingsplichtig zijn. Dunea wil dit niet afwachten en kiest er voor de m.e.r.-procedure in te zetten om, in samenspraak met de omgeving, te komen tot een integrale afweging en goed onderbouwde keuze voor de bronnen en de locaties.

1.2 Afbakening van de oplossingen in de tijd

Dunea beschouwt de oplossingen voor de toekomstige drinkwatervoorziening in drie termijnen. Deze m.e.r.-procedure richt zich op de middellange termijn, met een doorkijk naar de lange termijn.

Korte termijn (tot 2030)

Om te voldoen aan de leveringszekerheid zijn ook oplossingen voor de korte termijn nodig. Dit gaat om uitbreidingen in het huidige Rivier-duinsysteem. De (procedures voor) kortetermijnmaatregelen zijn al in gang gezet en de maatregelen moeten op korte termijn geïmplementeerd worden. De maatregelen staan los van de maatregelen binnen de middellange termijn en zijn uitgevoerd voordat het Nieuwe Systeem in 2030 in werking treedt. Daarom staan deze maatregelen buiten de scope van deze m.e.r.-procedure.

Middellange termijn (2030-2040) – onderwerp van de m.e.r.-procedure

Voor de middellange termijn ontwikkelt Dunea, naast het bestaande Rivier-duinsysteem, het Nieuwe Systeem, met waterwinning uit nieuwe bronnen en drinkwaterproductie middels membraantechnologie. De m.e.r.-procedure richt zich op de ruimtelijke inpassing van winning uit nieuwe bronnen, installaties en transportinfrastructuur voor dit Nieuwe Systeem.

Lange termijn (>2040)

In deze periode vindt verdere opschaling plaats van de nieuwe bronnen en wordt de verhouding tussen bestaand Rivier-duinsysteem en het Nieuwe Systeem geoptimaliseerd. Dit is het Hybride Systeem. Doel is dus een robuust en flexibel inzetbaar systeem, dat een oplossing biedt voor mogelijke waterkwaliteitsissues, waterkwantiteitsvraag en continuïteitsissues. De lange termijn is geen onderwerp van deze m.e.r.-procedure. De oplossingen binnen het Nieuwe Systeem moeten wel opschaalbaar zijn naar de lange termijn. Daarom geeft het MER een doorkijk naar de lange termijn (>2040).

1.3 Leeswijzer

OPGAVE - Drinkwater voor de toekomst

Hoofdstuk 1: Inleiding

Geeft op hoofdlijnen de aanleiding en scope van de m.e.r.-procedure.

Hoofdstuk 2: Context

Geeft een beschrijving van het bestaande drinkwatersysteem en van de diverse activiteiten die Dunea onderneemt om de drinkwatervoorziening in haar leveringsgebied nu en in de toekomst zeker te stellen.

Hoofdstuk 3: Opgave Drinkwatervoorziening van de Toekomst 2030-2040

Gaat in op probleem, doel en de opgaven: hoeveelheid water die er nodig is, de benodigde kwaliteit van het water en de uitdagingen voor de continuïteit van levering. Deze opgaven geven de randvoorwaarden en doelen van het Nieuwe Systeem.

KEUZE - Hybride Systeem

Hoofdstuk 4: Onderbouwing keuze Hybride Systeem

Geeft de onderbouwing van de (reeds gemaakte) keuze voor het Hybride Systeem en de toepassing van membraanfiltratie.

M.E.R-PROCEDURE - Drinkwatervoorziening van de toekomst 2030-2040

Hoofdstuk 5: M.e.r.-procedure Drinkwatervoorziening van de toekomst 2030-2040

Beschrijft de aanpak van Dunea voor de besluitvorming en de m.e.r.-procedure voor de middellange termijn, waarin als extra stap een Variantenstudie wordt gedaan.

Gaat in op de m.e.r.- (beoordelings)plicht.

Hoofdstuk 6: Alternatieven

Beschrijft het initiatief en de alternatieven voor de locaties van nieuwe bronnen, productielocaties, locaties voor verwerking van de reststroom, menglocaties en de locaties voor de verbindende infrastructuur (leidingwerk).

Hoofdstuk 7: Milieueffecten

Gaat in op de referentiesituatie, autonome ontwikkeling en geeft een overzicht van de milieueffecten die in het MER beschouwd zullen worden.

Hoofdstuk 8: Beleids- en juridisch kader

Geeft het beleids- en juridisch kader van de voorgenomen activiteit.

Deze Notitie Reikwijdte en Detailniveau (NRD) is opgebouwd uit 3 onderdelen:

OPGAVE

Opgave van Dunea beschrijft de huidige situatie, de probleemstelling en de opgave voor waterkwantiteit, waterkwaliteit en continuïteit van de levering voor de komende decennia tot 2050.

KEUZE

De keuze voor het Hybride Systeem onderbouwt de keuze die Dunea gemaakt heeft om naast het bestaande Rivier-duinsysteem te investeren in nieuwe bronnen en membraantechniek om de leveringszekerheid voor de komende decennia te kunnen realiseren. Deze keuze vormt het uitgangspunt voor de m.e.r.-procedure

M.E.R-PROCEDURE

m.e.r.-procedure gaat over de middellange termijn en dient als opstap naar het Hybride Systeem voor de lange termijn. De voorgenomen activiteit voor dit MER: de ruimtelijke inpassing van nieuwe bronnen en membraantechniek om voor de middellange termijn (tot 2040) aan de opgave te kunnen voldoen.

Innamepunt aan de Afgedamde Maas voor het Rivier-duinsysteem.



2. Context Drinkwater-voorziening van de toekomst 2030-2040

2.1 Wettelijke verplichting van Dunea: leveringszekerheid

Dunea is vanuit de Drinkwaterwet verplicht om zorg te dragen voor de leveringszekerheid van drinkwater. De brede term 'leveringszekerheid' is onder te verdelen in de volgende opgaven:

- **Waterkwantiteit (voldoende water)**
Dunea heeft de wettelijke taak om zoveel water te leveren als vereist is in het belang van de volksgezondheid. Door de stijgende vraag is de huidige productiecapaciteit onvoldoende (en kent onvoldoende reserve) om daaraan te kunnen voldoen.
- **Waterkwaliteit (goed water)**
Dunea heeft de wettelijke taak om deugdelijk drinkwater (bestemd en geschikt voor menselijke consumptie) te leveren. Bestaande zuiveringen kunnen niet alle toekomstig te verwachten waterkwaliteitsproblemen aan.
- **Continuïteit van levering (water altijd beschikbaar)**
Dunea heeft de wettelijke taak om de levering van drinkwater te waarborgen, zonder onderbreking als gevolg van verstoringen. Het Rivier-duinsysteem is kwetsbaar voor verstoringen onder andere vanwege de afhankelijkheid van de rivieren Maas en Lek én de beperkte zoetwatervoorraad in het duin. De lange transportleidingen door dichtbebouwd gebied zijn kwetsbaar voor verstoringen en verleggingen.

Drinkwaterwet

In de memorie van toelichting behorende bij de Drinkwaterwet wordt in hoofdstuk IV duidelijkheid gegeven over de leveringszekerheid en continuïteit van de openbare drinkwatervoorziening:

“Leveringszekerheid betreft de waarborging van de openbare watervoorziening door drinkwaterbedrijven in alle omstandigheden. Ter voldoening hieraan zijn drinkwaterbedrijven verplicht deugdelijk drinkwater (bestemd en geschikt voor menselijke consumptie) te leveren in alle omstandigheden, in zodanige hoeveelheid en onder zodanige druk als vereist is in het belang van de volksgezondheid. Drinkwaterbedrijven dienen maatregelen te nemen ten einde de kans op verstoringen als gevolg van interne en externe factoren zoveel mogelijk te voorkomen. Hieraan dient een risicoanalyse ten aanzien van het gehele bedrijfsproces, van bron tot levering, ten grondslag te liggen, waarbij tevens rekening moet worden gehouden met de mogelijkheid van ernstige bedreigingen in de vorm van breuk van transportleidingen, calamiteiten met betrekking tot de kwaliteit van de bronnen en moedwillige verstoringen van een drinkwaterbedrijf.”

2.2 Het bestaande drinkwatersysteem

Het leveringsgebied van Dunea

Dunea levert drinkwater in het westelijke deel van Zuid-Holland. Het leveringsgebied van Dunea bestaat uit 17 gemeenten. Het is grofweg te splitsen in een noordelijk en zuidelijk gedeelte (zie figuur 3). Het noordelijk gedeelte van het leveringsgebied wordt primair gevoed vanuit duingebied Berkheide (productielocatie Katwijk). Het zuidelijk gedeelte wordt primair gevoed vanuit de duingebieden Meijendel en Solleveld (respectievelijk productielocaties Scheveningen en Monster).



Figuur 3: Gemeenten en waterwingebieden in het leveringsgebied van Dunea, gesplitst in noordelijk en zuidelijk gedeelte.

Rivier-duinsysteem

Onder de duinen aan de kust beschikt Dunea over een zoetwaterbel boven op het zoute grondwater. Deze voorraad duinwater is niet groot genoeg om iedereen in het leveringsgebied van Dunea van drinkwater te voorzien. Daarom vult Dunea deze voorraad (voor zover mogelijk) aan met voorgezuiverd rivierwater uit de Afgedamde Maas en Lek. De verhouding tussen neerslag en rivierwater is ongeveer 10-90%. Pas na ontharding en nazuivering van dit duinwater, spreekt Dunea van drinkwater. Figuren 4 en 5 geven dit schematisch weer.

Inname rivierwater en transport

De Afgedamde Maas is een zijtak (12 kilometer lang) van de rivier de Maas. Deze zijtak heeft een geringe stroming, wat het zeer geschikt maakt als bezink- en voorraadbekken. In Brakel wordt het rivierwater ingenomen en verderop naar Bergambacht gepompt. In Bergambacht wordt het water voorgezuiverd met behulp van zandfilters. Het voorgezuiverde rivierwater gaat vervolgens via twee grote leidingen (de zogenaamde Bergambacht-, kortweg BAL-leidingen) naar het duingebied tussen Monster en Katwijk.

Tot 1976 was de Lek de enige bron om het duinwater aan te vullen. Toen de waterkwaliteit slechter werd, is Dunea overgestapt naar de Afgedamde Maas. Intussen is de kwaliteit van het water uit de Lek sterk verbeterd. Daarom is de Lek de afgelopen jaren weer ingezet op momenten dat de waterkwaliteit van de Maas onvoldoende was (bijvoorbeeld vanwege een industriële lozing).

Zuiveringsstappen

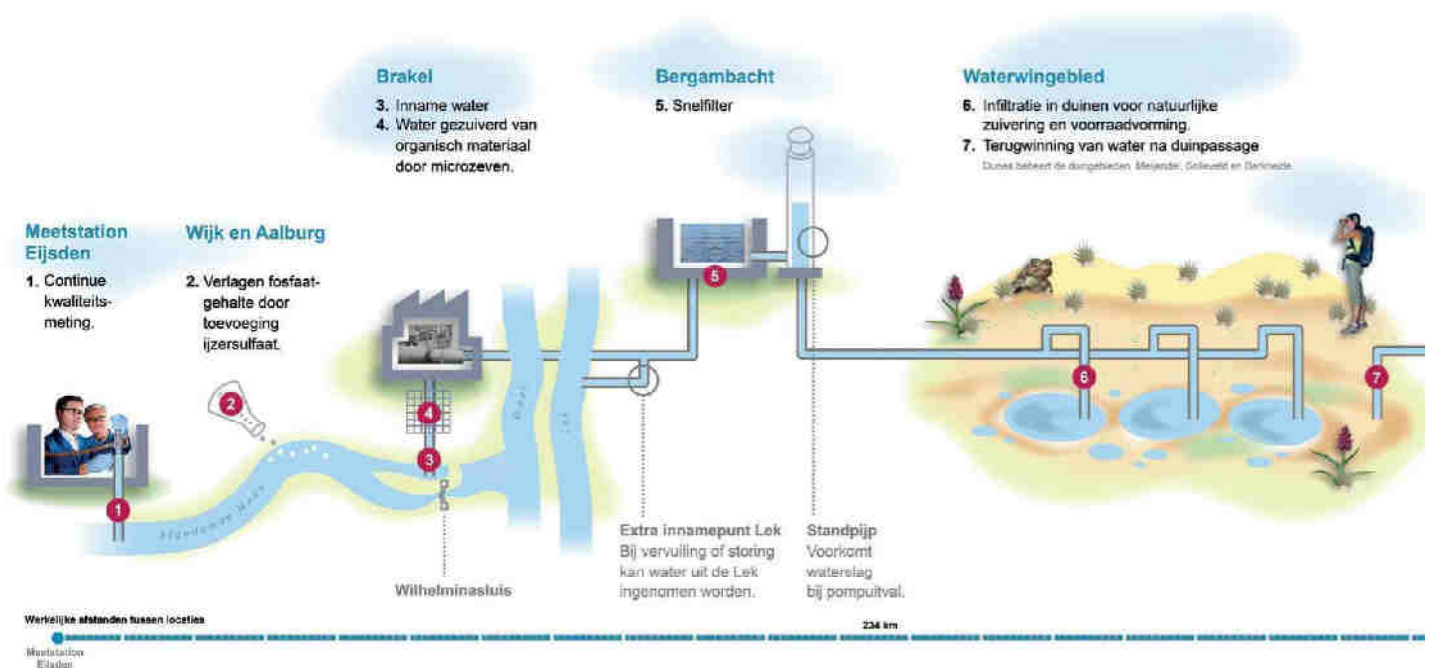
Het huidige proces van waterzuivering bestaat grofweg uit drie stappen:

- Voorzuivering
- Duinpassage
- Eindzuivering

Voorzuivering

Het doel van de voorzuivering is om zwevend stof en fosfaat te verwijderen. De voorzuivering bestaat uit de dosering van ijzersulfaat in de rivier zelf bij Wijk en Aalburg, microzeven bij het innamepunt Brakel en snelle zandfilters op de locatie Bergambacht.

Figuur 4: Weergave van de voorzuivering en duinpassage van het zuiveringsproces.



Duinpassage

De bodempassage in de duinen is gericht op verbetering van de chemische en microbiologische waterkwaliteit. Door een verblijftijd van 30 dagen of meer, verbetert de waterkwaliteit aanzienlijk en worden eventuele piekconcentraties in het rivierwater uitgemiddeld. Ook vervult de duinpassage een belangrijke rol bij de temperatuurafvlakking van het water, waardoor Dunea kan voldoen aan de wettelijke vereisten voor de levering van drinkwater. Bovendien draagt de duinpassage bij aan voorraadvorming onder de duinen (de zoetwaterbel).

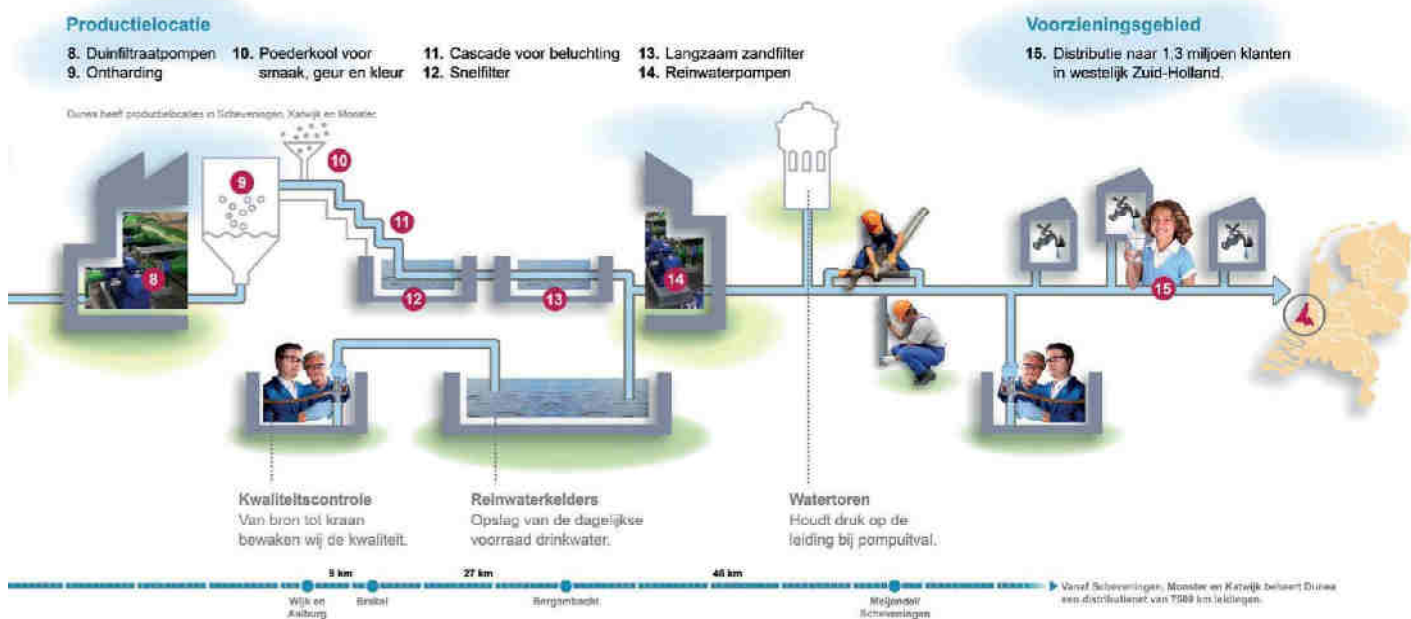
Eindzuivering

Het doel van de eindzuivering is om chemisch en microbiologisch stabiel drinkwater te leveren. In deze stap worden ijzer, mangaan en ammonium (ontstaan tijdens de duinpassage) verwijderd, evenals restanten van organische microverontreinigingen, en wordt het water microbiologisch stabiel gemaakt.

2.3 Leveringszekerheid onder druk: wat heeft Dunea tot nu toe gedaan?

Dunea staat voor een aantal grote uitdagingen om de leveringszekerheid voor de toekomst te waarborgen. Zowel op de korte, middellange als lange termijn zal de drinkwatervraag in het leveringsgebied sterk groeien. Daarnaast staat de waterkwaliteit onder druk (onder meer door nieuwe opkomende stoffen). Ook is het systeem gevoelig voor verstoringen, bijvoorbeeld door een breuk in transportleidingen of een calamiteit met vervuiling. Hierdoor komt de kwaliteit en continue aanvoer onder druk te staan, wat de continuïteit van levering in gevaar brengt. De lange transportafstanden van de Afgedamde Maas tot de kust, dwars door de drukke Randstad, geven ook een toenemend risico voor verstoringen door toenemende bouwactiviteiten op of vlak bij deze leidingen.

Figuur 5: Weergave van de eindzuivering en distributie.



Dunea heeft al verschillende activiteiten uitgevoerd of in gang gezet om de leveringszekerheid van drinkwater veilig te stellen. Onderstaand is dit op hoofdlijnen beschreven.

Wat heeft Dunea gedaan aan waterkwantiteit?

Om voldoende water te kunnen leveren, zet Dunea in op zowel vraagbeperking als capaciteitsvergroting. Om de vraag te beperken werkt Dunea actief aan het bevorderen van bewust en duurzaam watergebruik bij zowel particuliere als zakelijke klanten. Dit is een continu proces. Ook binnen de eigen productieprocessen werkt Dunea aan optimalisaties om productieverliezen te minimaliseren.

Voor de capaciteitsvergroting worden op korte termijn projecten gerealiseerd binnen het huidige Rivier-duinsysteem. Dit zijn de capaciteitsuitbreiding in duingebied Berkheide en de capaciteitsuitbreiding van de diepe winning Meijndel. Ook werkt Dunea met de aangrenzende drinkwaterbedrijven (Waternet, Evides, Oasen en PWN) samen om meer capaciteit in het systeem te krijgen, bijvoorbeeld door in uithoeken van het systeem samen op te trekken of door kleinere hoeveelheden in te kopen.

Wat heeft Dunea gedaan aan waterkwaliteit?

Dunea heeft een bijzonder belang bij een goede waterkwaliteit van zowel Maas als Lek, omdat het rivierwater voor de productie van drinkwater wordt gebruikt. Op het gebied van waterkwaliteit werkt Dunea intensief samen met partijen rondom de bron en komt Dunea op voor de belangen van drinkwater. Voorbeelden hiervan zijn de campagne voor de Afgedamde Maas (#MijnBron) en het samenwerkingsverband Schone Maaswaterketen. Ook in Bergambacht werkt Dunea aan waterkwaliteit. Hier zet Dunea op 20% van het ingenomen rivierwater GOBAM in (Geavanceerde Oxidatie Bergambacht), een innovatieve methode om microverontreinigingen uit het voorgezuiverde rivierwater te halen.

Wat heeft Dunea gedaan aan continuïteit van levering?

Om zonder onderbreking drinkwater te kunnen leveren, in voldoende hoeveelheid en van goede kwaliteit, neemt Dunea naast water uit de Maas nu ook water uit de Lek in en kan - indien nodig - hiertussen schakelen. Lekwater kan worden bijgemengd, bijvoorbeeld als de waterstand in de Maas onvoldoende is of tijdens perioden met hogere concentraties verontreiniging in de Maas. Zie hiervoor ook het project Mengbedrijf Maas en Lek op dunea.nl/mengbedrijf. Dunea investeert daarnaast ook fors in haar infrastructuur, bijvoorbeeld in drinkwaterleidingen en installaties op de productielocaties. En Dunea is gestart met het zoeken naar geschikte bronnen dichterbij. Deze m.e.r.-procedure geeft daar invulling aan.

2.4 Hoe werkt Dunea aan een oplossing voor de toekomst?

Om te voldoen aan bovenstaande opgaven onderscheidt Dunea drie fasen in de tijd. Deze drie fasen kennen ieder hun eigen problematiek, doel en oplossing.

Korte termijn – 2022-2030

Op dit moment is Dunea voor de leveringszekerheid volledig afhankelijk van het bestaande Rivier-duinsysteem (Maas-Lek-duinen). Op de korte termijn blijft Dunea voor de toename van de drinkwatervraag afhankelijk van dit Rivier-duinsysteem. Met de huidige ontwikkeling van de drinkwatervraag ontstaan al in de komende jaren tekorten. In 2025 wordt t.o.v. 2020 een tekort van 8 miljoen m³ drinkwater per jaar verwacht. Richting 2030 loopt het tekort verder op, naar ongeveer 10 miljoen m³ drinkwater per jaar. Daarom wordt voor de korte termijn uitbreiding van het bestaande Rivier-duinsysteem gezocht.

Voor de uitbreiding van het Rivier-duinsysteem moeten alle beschikbare mogelijkheden maximaal worden benut. Dit doet Dunea door:

- Uitbreiding Berkheide, waarbij bestaande winningen gerenoveerd worden en geïnvesteerd wordt in nieuwe winputten en installaties. Het ontwerp van de ingrepen en de procedures hiervoor zijn al in gang gezet en vallen buiten de scope van deze m.e.r.
- Diepe winning Meijndel waarbij Dunea tijdelijk (voor 5 tot maximaal 10 jaar) circa 2 miljoen m³ / per jaar extra gaat winnen.

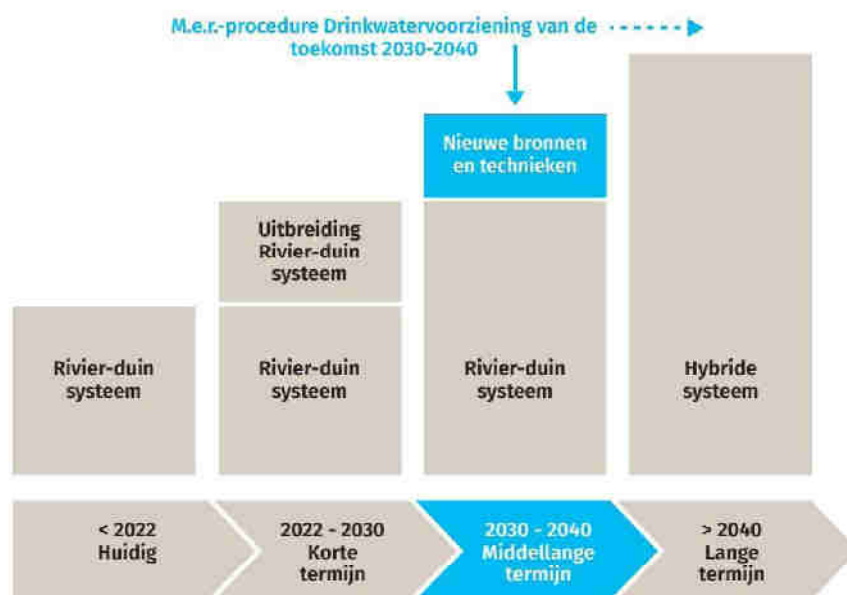
Bij uitbreidingen en renovaties in het Rivier-duinsysteem is het uitgangspunt dat het bestaande systeem, in zijn geheel, minimaal t/m 2040 beschikbaar moet blijven. Alle capaciteit uit het Rivier-duinsysteem blijft in die periode benodigd om invulling te geven aan de vraag naar drinkwater. Dat vraagt ook om investeringen in de instandhouding van het systeem. Dit betekent dat robuustheid qua onderhoud en operatie een belangrijk criterium is in het ontwerp van de ingrepen. Ook moet de 'overbruggingscapaciteit' binnen het bestaande systeem vergroot worden. Met inzet van diep grondwater onder de duinen moet, als door één of ander oorzaak de aanvoer uit de Maas en de Lek wegvalt, een periode van 3 maanden kunnen worden overbrugd zonder dat de leveringszekerheid in gevaar komt.

Middellange termijn – 2030-2040 (onderwerp van deze m.e.r.)

Op de middellange termijn worden nieuwe bronnen en nieuwe technieken toegevoegd, buiten het Rivier-duinsysteem. Vanaf ongeveer 2030 wordt alle extra benodigde capaciteit uit de nieuwe bronnen gehaald.

Nieuwe bronnen kunnen van alles zijn. Denk aan andere oppervlaktewateren (dus niet Maas en Lek), (brak) grondwater of zelfs water uit de rioolwaterzuivering. De keuze voor deze nieuwe bronnen is onderwerp van deze m.e.r.-procedure.

Voor de nieuwe zuiveringstechniek heeft Dunea reeds besloten de meest uitgebreide techniek toe te passen: membraantechnologie (zie kader op pagina 14). De locaties van de zuiveringsinstallaties zijn ook onderwerp van deze m.e.r.-procedure.



Figuur 6: Drinkwater voor de toekomst: fasering van oplossingen in de tijd.

Ongeveer in 2030 moeten de nieuwe bronnen en de zuiveringsinstallatie(s) gereed zijn om voldoende water te zuiveren. Deze kan daarna stapsgewijs uitgebreid worden. Hiermee verruimt Dunea ook meteen haar zuiveringsopties voor waterkwaliteitsissues op de lange termijn.

De inzet van nieuwe bronnen buiten het Rivier-duinsysteem is een grote verandering voor Dunea. De periode tussen nu en 2030 wordt gebruikt om te werken aan deze transitie. Onder andere vinden plaats: onderzoek, pilots, overleg met de omgeving en besluitvorming over het Nieuwe Systeem. Daarna volgen het ontwerp en de aanlegfase en uiteindelijk een proefperiode van de eerste nieuwe onderdelen.

Wat is membraanfiltratie?

Bij membraanfiltratie wordt water door een membraan, een soort zeef met hele kleine gaatjes (poriën), geperst. Door het verschil in deeltjesgrootte en druk vindt een scheiding van stoffen en water plaats. Met de keuze voor het juiste type membraan (met een specifieke poriegrootte) kan de gewenste scheiding worden verkregen. Naast het 'schone water' dat verder opgewerkt zal worden tot drinkwater, blijft er een geconcentreerde oplossing van stoffen over, dit noemen we de reststroom. De reststroom moet apart van het drinkwaterbereidingsproces worden afgevoerd en/of verwerkt.



Figuur 7: Schematische weergave van het proces van membraanfiltratie.

Ultrafiltratie en omgekeerde osmose

Dunea kiest voor een combinatie van ultrafiltratie en omgekeerde osmose. De poriegrootte van een ultrafiltratie membraan is 20 nm (nanometer). Dat is 50.000 keer zo klein als een zandkorrel, ofwel 20 keer zo groot als een watermolecuul (H₂O). Met deze techniek worden deeltjes, bacteriën, virussen, organisch materiaal en grote moleculen verwijderd. Nadat een eerste scheiding heeft plaatsgevonden door ultrafiltratie, volgt omgekeerde osmose. Het membraan van de omgekeerde osmose is nog veel dichter dan die van ultrafiltratie en laat (bijna) alleen watermoleculen door. Deze techniek kan opgeloste stoffen zoals zouten en mineralen verwijderen. Ook vormt deze techniek een barrière voor ongewenste chemische stoffen (zoals PFAS).

Waarom membraanfiltratie?

In de toekomst wordt de zuiveringsopgave groter, omdat meer en meer stoffen gedetecteerd worden en op een nauwkeuriger niveau worden gemeten. Traditionele zuiveringsprocessen voor drinkwaterbereiding (denk aan: duinfiltratie, ontharding, kooldosering, beluchting, snelfiltratie en langzame zandfiltratie) vormen niet, slechts gedeeltelijk of tijdelijk een barrière tegen nieuwe opkomende stoffen. Voor de middellange en lange termijn is membraanfiltratie wel een technologie die uitkomst biedt voor een robuust en redundant drinkwatersysteem.

Lange termijn - na 2040

In deze periode vindt verdere opschaling plaats van de nieuwe bronnen en wordt de verhouding tussen bestaand Rivier-duinsysteem en het Nieuwe Systeem geoptimaliseerd. Dit is het Hybride Systeem. Het moet kunnen voldoen aan de capaciteitsvraag na 2040 en de waterkwaliteitseisen van dat moment. Doel is dus een robuust en flexibel inzetbaar systeem te verkrijgen, dat een oplossing biedt voor mogelijke waterkwaliteitsissues, waterkwantiteitsvraag en continuïteitsissues.

Naar verwachting zal de verhouding tussen het bestaande en nieuwe systeem in eerste instantie (middellange termijn tot 2040) vooral worden bepaald door het tempo van realisatie van nieuwe, aanvullende bronnen en zuivering. Op de lange termijn kan (mogelijk) ook afbouw van onderdelen van het bestaande Rivier-duinsysteem aan de orde zijn. Dit is afhankelijk van de ontwikkelingen qua drinkwatervraag, waterkwaliteit en de effecten van afbouw in de duinen. De ideale verhouding wordt nader onderzocht. De toename van de drinkwatervraag leidt tot een verhouding tussen het Rivier-duinsysteem en het Nieuwe Systeem van circa 90-10%. Vanuit o.a. waterkwaliteit, continuïteit, natuur, betaalbaarheid en duurzaamheid onderzoekt Dunea de gewenste mengverhouding voor de toekomst. Uit een eerste inventarisatie volgt een maximale bandbreedte voor de lange termijn, met een verhouding tussen Rivier-duinsysteem en Nieuw Systeem, van 90-10% en 50-50%.

De lange termijn vormt geen opgave in deze m.e.r.-procedure. Wel worden de oplossingen voor de middellange termijn (2030-2040) getoetst aan de opgave voor de lange termijn (na 2040).

De membraanfilters van de onderzoebspilot Brak grondwater op productielocatie Scheveningen.



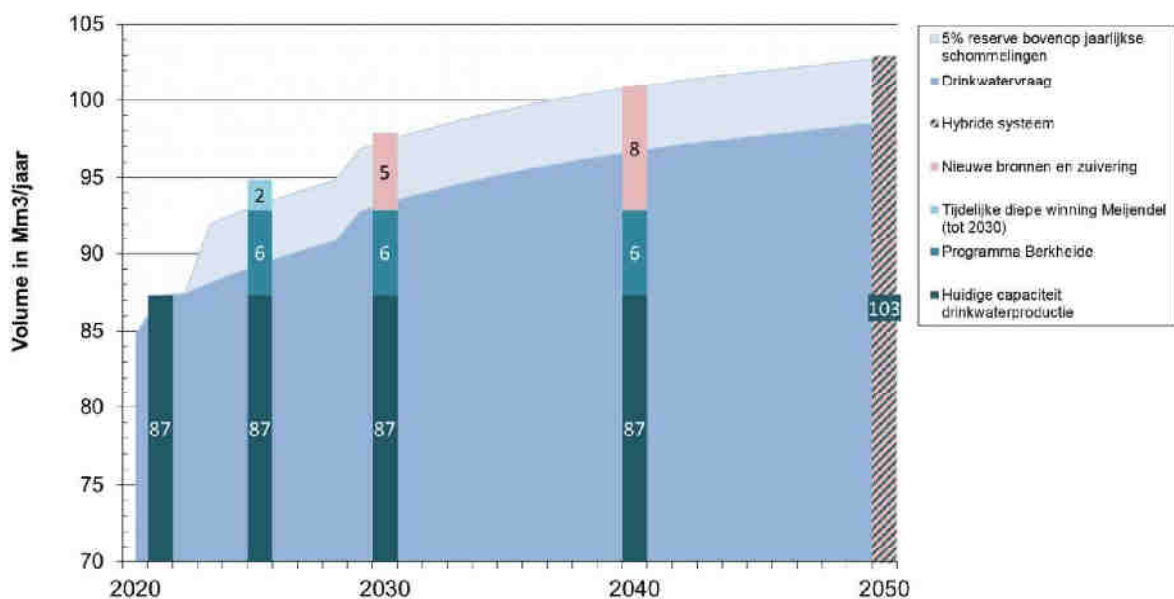
3. Opgave Drinkwater-voorziening van de toekomst 2030-2040

Dunea is vanuit de Drinkwaterwet verplicht om zorg te dragen voor de leveringszekerheid van drinkwater. Zoals beschreven in hoofdstuk 2 leidt dat tot opgaven voor de waterkwantiteit (voldoende water), de waterkwaliteit (geschikt voor menselijke consumptie) en continuïteit van levering. Dit hoofdstuk beschrijft voor elk van deze elementen probleemstelling, opgave en doel.

3.1 Waterkwantiteit

Probleemstelling

Dunea heeft de wettelijke taak om zoveel water te leveren als is vereist in het belang van de volksgezondheid. Door de toenemende vraag is de huidige productiecapaciteit onvoldoende om daaraan te kunnen voldoen. Voor Dunea betekent deze extra vraag daarom een toename van de opgave voor drinkwaterproductie. Naast de vraag naar drinkwater, heeft Dunea vanuit de Drinkwaterwet ook de verplichting om reserves mee te nemen in de drinkwateropgave. De stijgende vraag wordt enerzijds veroorzaakt door de toename van het aantal huishoudens, bedrijvigheid en zakelijke klanten in het leveringsgebied. Anderzijds zorgt klimaatverandering voor extra piekverbruik in langdurig droge zomers en vermindering van de beschikbare watervoorraad in de duinen. Ook worden de grote rivieren (Maas en Lek) minder betrouwbaar als bron voor drinkwater als gevolg van langere periodes van droogte. In de aangrenzende leveringsgebieden van andere drinkwaterbedrijven (Waternet, PWN en Oasen) is eenzelfde trend zichtbaar.



Figuur 8: Prognoses benodigde drinkwaterproductie en dekking 2021-2050

Doel en opgave

Doel van het Programma Drinkwatervoorziening van de toekomst 2030-2040 is om de toename van de drinkwatervraag te accommoderen door de inzet van nieuwe bronnen en membraanfiltratie. Waarbij tevens invulling wordt gegeven aan de variatie in de toename van de vraag naar drinkwater binnen het leveringsgebied en de variatie in de vraag gedurende het jaar (zomerpiek).

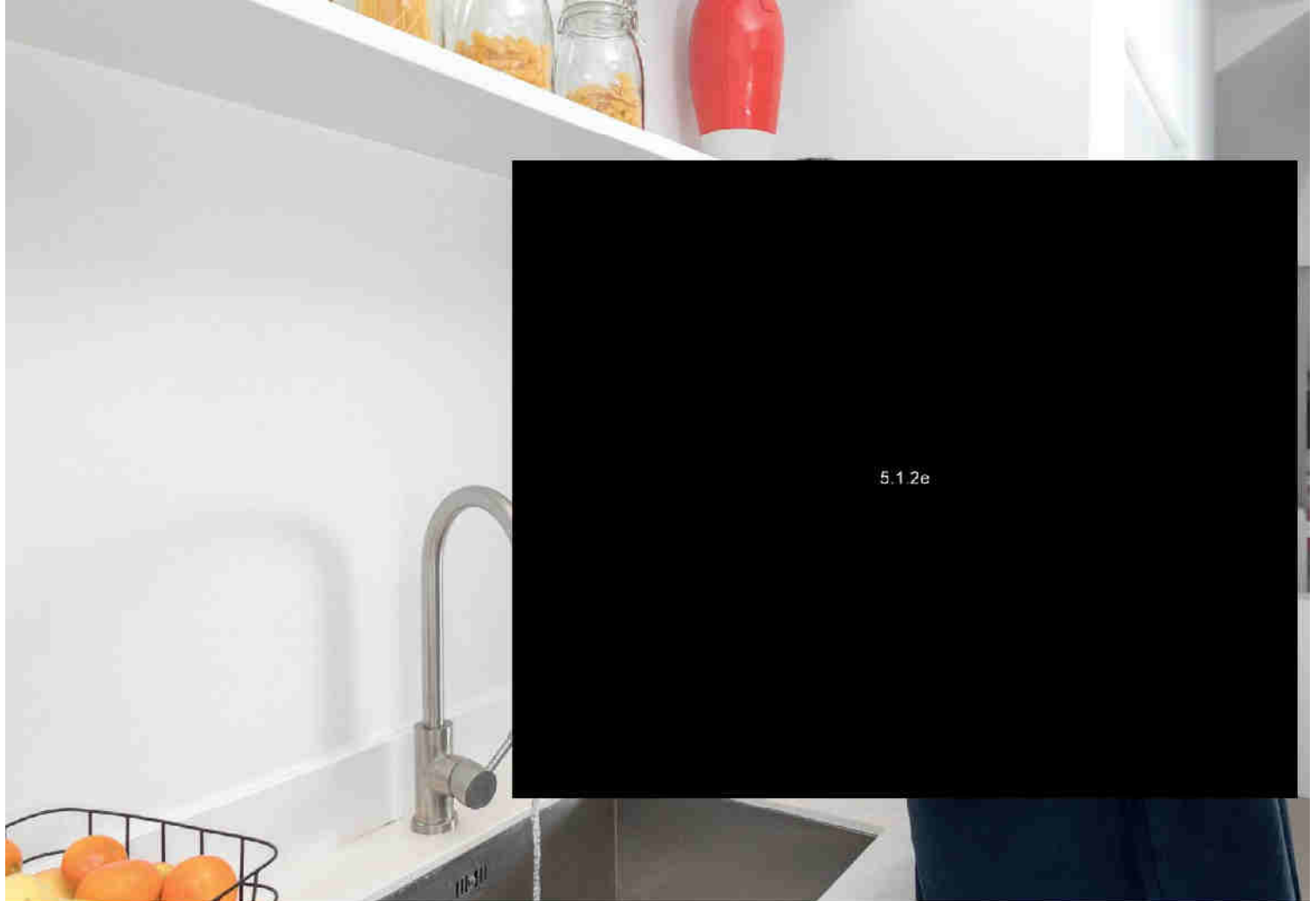
In de figuur 8 zijn de prognoses weergegeven van de benodigde drinkwaterproductie in de periode tussen nu en 2050. Tevens is weergegeven welke bronnen op de korte termijn en middellange termijn worden ingezet. Voor de lange termijn wordt uitgegaan van een optimale mengverhouding tussen drinkwater uit het Rivier-duinsysteem en het Nieuwe Systeem.

Dit leidt tot de volgende opgave voor de hoeveelheid water.

- Voor de middellange termijn (2030-2040) is de minimale opgave 8 miljoen m³ extra drinkwater per jaar (in 2040) gewonnen uit nieuwe bronnen en zuiveringen (roze balk in figuur 8), bovenop de drinkwaterproductie uit het Rivier-duinsysteem.
- Voor de lange termijn is de totale opgave 103 miljoen m³ drinkwater per jaar (in 2050) uit het totale systeem. Voor deze opgave onderzoekt Dunea wat de ideale verhouding is tussen het bestaande Rivierduin-systeem en het Nieuwe Systeem.
- De toename van de drinkwatervraag leidt tot een verhouding tussen het Rivier-duinsysteem en het Nieuwe Systeem van circa 90-10%. Vanuit o.a. waterkwaliteit, continuïteit, natuur, betaalbaarheid en duurzaamheid onderzoekt Dunea de gewenste mengverhouding voor de toekomst. Uit een eerste inventarisatie volgt een maximale bandbreedte voor de lange termijn, met een verhouding tussen Rivier-duinsysteem en Nieuw Systeem, van 90-10% en 50-50%.
- Dit betekent dat op de lange termijn het Nieuwe Systeem tussen de 10 en 50 miljoen m³ drinkwater per jaar moet leveren.

Hoe komt de opgave tot stand?

Volgens de wet is een drinkwaterbedrijf verplicht om prognoses op te stellen voor de verwachte benodigde drinkwaterproductie en die op te nemen in het leveringsplan. Voor het opstellen van de prognoses hanteert de sector richtlijnen. Basis voor de prognoseberekening voor de huishoudelijk vraag is de prognose voor de verwachte bevolkingsgroei in het leveringsgebied (Dunea gebruikt de CBS/PRIMOS prognose opgesteld door ABF research) en de prognose voor de landelijke drinkwatervraag per persoon per dag (opgesteld door VEWIN). Ook wordt gebruik gemaakt van een minimaal en een maximaal scenario opgesteld door het planbureau voor de leefomgeving in het kader van de studie Welvaart en Leefomgeving (WLO scenario's). Naast de huishoudelijke vraag wordt op basis van verbruiksgegevens ook een inschatting gemaakt voor de zakelijke vraag. In de prognoseberekening wordt daarbij rekening gehouden met 'en gros' leveringen (drinkwaterleveringen tussen drinkwaterbedrijven) en opslagpercentages als gevolg van distributieverliezen, productieverliezen, onverwachte schommelingen in de drinkwatervraag (5%) en een extra opslag (ook 5%) voor onverwachte ontwikkelingen (zoals bijvoorbeeld geschetst in het maximale scenario op basis van WLO). De prognose voor de benodigde productiecapaciteit is de basis voor de investeringen van Dunea. Het Leveringsplan, met daarin de prognose, is en wordt elke 4 jaar getoetst en geaccordeerd door de ILT.



Het Waterlaboratorium voert kwaliteitscontroles uit van bron tot kraan.

3.2 Waterkwaliteit

Probleemstelling

Dunea heeft de wettelijke taak om deugdelijk drinkwater (bestemd en geschikt voor menselijke consumptie) te leveren. Bestaande zuiveringen kunnen niet alle toekomstig te verwachten waterkwaliteitsproblemen aan.

De waterkwaliteit van de bronnen in het huidige systeem staat onder druk en dat zal in de toekomst niet verminderen. Klimaatverandering leidt tot meer en langere periodes van droogte, waardoor de waterkwaliteit (tijdelijk) verslechtert. In de zomerperiode worden meer en hogere concentraties van persistente, mobiele en toxische (PMT) stoffen aangetroffen, zoals de omstreden perfluoralkylstoffen (PFAS). Verder kunnen door ontwikkelingen in analysetechnieken meer stoffen worden gedetecteerd en op een nauwkeuriger niveau worden gemeten. De eisen die de overheid stelt aan drinkwater worden door deze ontwikkelingen naar verwachting steeds strenger. Het is daarom noodzakelijk dat Dunea zich voorbereidt op aanvullende bronnen en adequate zuiveringstechnieken, om een robuust en redundant systeem te creëren. Klimaatverandering leidt ook tot zeespiegelstijging met als gevolg verhoogde risico's op verzilting van de Lek bij het innamepunt.

Doel en opgave

De normen voor de drinkwaterkwaliteit staan beschreven in het Drinkwaterbesluit. Voor de productie van drinkwater hanteert Dunea bedrijfsnormen die zelfs ambitieuzer zijn dan de wettelijke normen. Een goede drinkwaterkwaliteit is van levensbelang.

Kenmerken van de opgave voor de waterkwaliteit zijn:

- **Microbiologische stabiliteit**
Drinkwater moet vanuit gezondheidskundig oogpunt veilig zijn om te drinken. Het drinkwater mag geen ziekmakende micro-organismen bevatten.
- **Chemische veiligheid**
Drinkwater mag geen stoffen bevatten die schadelijk zijn voor de gezondheid. Van nadrukkelijke belang is de verwijdering van Persistent Mobiele Toxische (PMT) stoffen; denk hierbij bijvoorbeeld aan perfluoralkylstoffen (PFAS).
- **Esthetisch verantwoord**
Klanten rekenen op schoon water: vrij van geur en kleur en goed van smaak. Ook wordt verwacht dat het water niet te hard is, zodat apparaten in huis niet snel verkalken.

3.3 Continuïteit van levering

Probleemstelling

Het Rivier-duinsysteem is kwetsbaar voor verstoringen, onder andere vanwege de afhankelijkheid van continue aanvoer vanuit Lek en Maas. Risico en onzekerheid van de rivieren als bron nemen toe door de verminderde waterkwaliteit (zowel structureel als door calamiteiten), onder andere door de afname van de rivierafvoer in droge perioden. Dit als gevolg van klimaatverandering.

De lange transportleidingen door dichtbebouwd gebied (circa 80 km tussen rivier en duin) zijn kwetsbaar voor verstoringen en verleggingen als gevolg van de steeds verder toenemende druk op de ruimte. Daarnaast speelt in dit deel van Nederland ook altijd het risico van overstroming.

Dunea heeft de wettelijke taak om de levering van drinkwater te waarborgen, zonder onderbreking door verstoringen. Het gaat daarbij om de volgende kansen op verstoringen van:

- de beschikbaarheid van de bron, ook tijdens een piek in de vraag (bijvoorbeeld tijdens warme droge zomer dagen). Door langere periodes van droogte worden de grote rivieren een minder betrouwbare bron.
- de waterkwaliteit van de bron (bijvoorbeeld als gevolg van een vervuiling). Door klimaatverandering en een stijgende zeespiegel ontstaan verhoogde risico's op verzilting van de Lek.
- het transport van de bron naar de zuivering (bijvoorbeeld als gevolg van een lekkage in de rivierwatertransportleiding).
- de primaire infrastructuur door overstroming (bijvoorbeeld een overstroming van een vitale asset als locatie Bergambacht waar het ingenomen water uit de Maas en de Lek samenkomen).

Doel en opgave

Om de continuïteit van levering te waarborgen moeten de volgende risico's worden geminimaliseerd:

- Breuk van de leidingen;
- Verleggen van leidingen door toename ruimedruk;
- Structurele problemen rond de kwantiteit en kwaliteit van de bron;
- Calamiteiten in relatie tot kwaliteit van de bron;
- Kans op overstroming van primaire infrastructuur;
- Moedwillige verstoringen.

4. Onderbouwing keuze Hybride Systeem

Dunea kiest voor een Hybride Systeem om op lange termijn de levering van drinkwater zeker te stellen. Het Hybride Systeem bestaat uit drinkwaterproductie uit het bestaande Rivier-duinsysteem in combinatie met drinkwaterproductie uit nieuwe bronnen en zuivering door membraanfiltratie.

Dit hoofdstuk geeft de randvoorwaarden en de strategische en technisch inhoudelijke argumenten die een rol hebben gespeeld bij de keuze voor een Hybride Systeem. Het is mogelijk dat Dunea hierbij andersoortige argumenten over het hoofd heeft gezien. Dunea vraagt daarom inbreng van de omgeving op deze keuzes.

4.1 Randvoorwaarden

Om in de toekomst te kunnen voldoen aan de wettelijke eis van leveringszekerheid heeft Dunea verschillende oplossingsrichtingen verkend. Hoofdstuk 3 beschrijft de opgaven van Dunea voor de toekomstige levering van drinkwater op het gebied van waterkwantiteit, waterkwaliteit en continuïteit van levering. Deze opgaven vormen de randvoorwaarden waaraan de oplossingsrichtingen moeten voldoen.

Dunea heeft verschillende strategische oplossingsrichtingen kwalitatief beoordeeld. Door middel van expert judgement is ingeschat in welke mate iedere oplossingsrichting volledig, gedeeltelijk of niet voldoet aan de randvoorwaarden.

Aanvullende randvoorwaarden

Conform de Drinkwaterwet dient een drinkwaterbedrijf ook invulling te geven aan randvoorwaarden als betaalbaarheid en consumentenvertrouwen. Deze randvoorwaarden bleken in de strategische afweging niet onderscheidend te zijn. Ze zullen later in het proces bij de alternatievenafweging worden meegenomen. Hetzelfde geldt voor randvoorwaarden als: natuur, duurzaamheid, ruimtelijke inpasbaarheid, etc. Ook deze komen in het MER wel aan de orde.

Dunea put hiervoor uit de randvoorwaarden uit de RIVM-rapportage 'Onconventionele bronnen voor de Nederlandse drinkwatervoorziening' (rivm.nl) en de 'Beleidsnota Drinkwater 2021-2026' www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2021/04/23/bijlage-beleidsnota-drinkwater-2021-2026

4.2 Conclusie: Dunea kiest voor Hybride Systeem

Dunea kiest voor de inzet van het Hybride Systeem. Dunea ziet dit als een optimale combinatie van het huidige Rivier-duinsysteem (waarin natuurlijke processen centraal staan) en het systeem van nieuwe bronnen met membraanfiltratie (waarin de techniek centraal staat). Deze keuze past ook bij de natuurdoelstelling van Dunea.

In de onderstaande alinea's is de argumentatie voor deze keuze samenvattend beschreven. Paragraaf 4.3 hierna gaat dieper in op de argumenten achter deze keuze.

Waterkwantiteit

Door het behoud van het Rivier-duinsysteem blijft Dunea beschikken over de bronnen Maas en Lek, waarmee voor een groot deel kan worden voorzien in de drinkwaterbehoefte. De groei die wordt voorzien voor de middellange termijn (2030-2040) kan Dunea opvangen door membraanfiltratie toe te passen in combinatie met nieuwe bronnen. Membraanfiltratie kan modulair worden ingezet en is daarmee ook opschaalbaar richting de lange termijn (na 2040).

Waterkwaliteit

De duinen zijn en blijven voor een groot deel van belang voor het behalen van de gewenste waterkwaliteit. In de duinen worden ongewenste bacteriën en virussen op een natuurlijke manier onschadelijk gemaakt. Membraanfiltratie is van belang voor de chemische veiligheid van het water. Membraanfiltratie is, in tegenstelling tot het duin, in staat om ongewenste PMT-stoffen (zoals PFAS) volledig te verwijderen.

Continuïteit van levering

Met het Hybride Systeem heeft Dunea de beschikking over een diversiteit aan bronnen voor de productie van drinkwater. Hiermee worden de risico's op uitval (in geval van verstoring waterbeschikbaarheid en/of -waterkwaliteit) zo klein mogelijk gehouden. Ook blijft de kans op verstoringen als gevolg van de transportafstand hierdoor beperkt. In geval van een échte noodsituatie kan Dunea altijd terugvallen op de voorraadfunctie van het duin (overbrugging). De duinen zijn de enige beschermde zoetwatervoorraad in de regio waar in 2040 minimaal 1,5 miljoen mensen 3 maanden van drinkwater moeten worden voorzien.

Naast het Hybride Systeem onderzoekt en werkt Dunea doorlopend aan de onderstaande no-regret oplossingen.

- Vraagbeperking via het programma Bewust & Duurzaam Watergebruik;
- Inkoop bij buurbedrijven (bij calamiteiten en onderhoudswerkzaamheden) en/of zoeken naar slimme structurele samenwerkingen met buurbedrijven;
- Afkoppelen van grote zakelijke klanten en/of woonwijken die zelfvoorzienend zijn. Op dit moment is deze maatregel nog niet aan de orde geweest in het leveringsgebied van Dunea.

De keuze voor het Hybride Systeem brengt met zich mee dat Dunea moet gaan werken aan de ontwikkeling van een Nieuw Systeem: nieuwe bronnen en zuivering door membraantechnologie. Voor de verdere uitwerking en concrete ruimtelijke inpassing van nieuwe bronnen, membraanzuiveringsinstallaties en infrastructuur start Dunea dit omgevingsproces met de m.e.r.-procedure Drinkwatervoorziening van de toekomst 2030-2040.

4.3 Beoordeling van de oplossingsrichtingen in detail

Deze paragraaf gaat dieper in op de argumenten achter de keuze voor het Hybride Systeem.

De potentiële oplossingsrichtingen die Dunea voor de middellange termijn (met een doorkijk naar de lange termijn) heeft beschouwd, zijn grofweg in te delen in drie categorieën:

1. Doorontwikkelen/optimaliseren van het huidige Rivier-duinsysteem op basis van de huidige technologieën.
2. Niet zelf uitbreiden, maar vraagbeperking óf capaciteitsuitbreiding bij derden.
3. Oplossingsrichtingen buiten het huidige Rivier-duinsysteem op basis van nieuwe technologieën (o.a. membraanfiltratie).

Een oplossingsrichting bestaat altijd uit de combinatie van bron, zuiveringstechnologie én de benodigde leidinginfrastructuur. In de onderstaande alinea's zijn de verschillende oplossingsrichtingen beschreven en getoetst aan de randvoorwaarden.

De keuze voor een bepaalde oplossingsrichting wordt sterk bepaald door de lokale omstandigheden binnen het leveringsgebied van Dunea (bijvoorbeeld de beperkte beschikbaarheid van zoet grondwater) en de bestaande inrichting van de drinkwatervoorziening (het Rivier-duinsysteem). Hierdoor kan het zijn dat Dunea niet de voorkeur geeft aan bepaalde oplossingsrichtingen, terwijl andere drinkwaterbedrijven wellicht juist wél kiezen voor de betreffende oplossingsrichtingen. De toelichting en motivaties bij de potentiële oplossingsrichtingen hebben dan ook enkel betrekking op Dunea en gelden mogelijk niet voor andere drinkwaterbedrijven in Nederland.

4.3.1 Categorie 1 - Doorontwikkelen/optimaliseren van het huidig Rivier-duinsysteem op basis van huidige technologieën

1a. Uitbreiding van het huidige Rivier-duinsysteem (meer van het bestaande)

Beschrijving oplossingsrichting: Het uitbreiden van het huidige Rivier-duinsysteem, bovenop de uitbreiding op de korte termijn, met de aanvoer van extra rivierwater en oppervlakte-infiltratie in de huidige duingebieden. Behoud van het bestaande zuiveringsproces: voorzuivering, duinpassage en eindzuivering.

Conclusie: Deze oplossingsrichting is niet realistisch. Het is niet reëel om middels inzet van nieuwe bronnen en extra duin invulling te geven aan de opgaves vanuit waterkwantiteit en continuïteit van levering. De oplossingsrichting kan daarnaast geen oplossing bieden voor de waterkwaliteitsopgave en heeft impact op natuur.

- **Waterkwantiteit**

Zonder de inzet van nieuwe bronnen en extra duingebied voldoet de oplossingsrichting niet. Inzet van nieuwe bronnen voor voeding van het duinsysteem is een randvoorwaarde. De transportcapaciteit vanuit de rivieren (Maas en Lek) naar het duinsysteem, zit aan de limiet. Ook de ecosysteemdiensten van het Rivier-duinsysteem, inclusief de uitbreidingen op de korte termijn, zitten aan de limiet. Daardoor is verdere uitbreiding van de infiltratiecapaciteit in de bestaande duingebieden na 2030 niet mogelijk, vanwege effecten op beschermde natuur (Natura 2000-gebieden). Uitbreiding van de duinen (door aankoop van nieuwe gebieden) vraagt om een groot oppervlakte. Dit wordt als niet-realistisch beoordeeld in deze drukbevolkte regio.

- **Waterkwaliteit**

De 'traditionele' manier van zuiveren (via de duinen) blijft gehandhaafd. Naar verwachting voldoet dit wel aan de eisen voor microbiologische stabiliteit. Ook is het water esthetisch verantwoord. Voor nieuwe opkomende stoffen vergt deze oplossingsrichting nog extra zuiveringsinspanning. Door de eindzuivering aan te vullen met membraanfiltratie zou invulling kunnen worden gegeven aan de extra zuiveringsinspanning. Maar toepassing van deze techniek zorgt ook voor een toename van de bruto watervraag (maximaal 25%). Ook is het niet efficiënt (dubbele zuiveringsinspanning en extra kosten). Aanvulling met membraanfiltratie wordt daarom als een niet-realistische optie gezien.

- **Continuïteit van levering**

Uitbreiding in de duinen voldoet niet aan de continuïteit van levering. Dunea blijft hiermee immers afhankelijk van rivierwater uit de Maas en de Lek.

1b. Uitbreiding huidig Rivier-duin systeem met winning van extra diep grondwater

Beschrijving oplossingsrichting: Het uitbreiden van de vergunningscapaciteit voor de winning van diep grondwater om extra drinkwater te winnen.

Conclusie: Extra winning van diep grondwater is alleen in Meijndel mogelijk en geeft tijdelijk beperkt ruimte in het bestaande Rivier-duinsysteem. De totale capaciteit is onvoldoende om te voorzien in de extra vraag naar drinkwater op de middellange en lange termijn. Vanwege het risico op verzilting bij langdurige structurele onttrekking, is deze oplossingsrichting alleen tijdelijk beschikbaar. Deze optie wordt daarom als deeloplossing ingezet voor de korte termijn en niet als oplossingsrichting voor de middellange en lange termijn.

- **Waterkwantiteit**

Deze oplossingsrichting is niet realistisch, omdat niet kan worden voldaan aan de gevraagde waterkwantiteit voor de middellange en lange termijn. Uit recent onderzoek naar overbrugging is gebleken dat er in Meijndel veilig extra diep grondwater kan worden gewonnen gedurende een beperkte periode (maximaal 10 jaar). Er kan jaarlijks maximaal 2 miljoen m³ drinkwater worden geproduceerd. Dit vraagt nog wel om een uitbreiding van de grondwatervergunning. In de duingebieden Solleveld en Berkheide is na 2030 geen onbenutte ruimte meer in het systeem aanwezig. Hier zijn dan ook géén mogelijkheden voor het extra winnen van diep grondwater.

- **Waterkwaliteit**

De 'traditionele' manier van zuiveren (via de duinen) blijft bij deze oplossingsrichting gehandhaafd. Naar verwachting voldoet dit wel aan de eisen voor microbiologische stabiliteit. Ook is het water esthetisch verantwoord. Vanwege de goede bescherming van diep grondwater is de verwachting dat geen extra zuiveringsinspanningen vereist zijn.

- **Continuïteit van levering**

De verwachting is dat dit systeem (voor de periode van maximaal 10 jaar) voldoet qua verstoringen op het gebied van: waterkwantiteit, waterkwaliteit, transport en overstromingen.

1c. Uitbreiden huidig Rivier-duin systeem met diepinfiltratie gevoed door nieuwe bronnen

Beschrijving oplossingsrichting: In deze oplossing wordt extra water geïnfiltreerd, afkomstig van nieuwe bronnen in de regio. Nieuwe bronnen zijn nodig, omdat de aanvoer van rivierwater aan de maximale capaciteit zit. Dit water wordt door diepinfiltratie in het bestaande systeem gebracht en via de gangbare weg gewonnen uit het duin. Dunea heeft vergunningen uit 1995 en 1998 voor diepinfiltratie in Meijndel en langs de binnenduinrand. Diepinfiltratie is een bewezen techniek, waarmee binnen 6-9 jaar capaciteit (circa 12 miljoen m³ drinkwater) aan het systeem kan worden toegevoegd.

Conclusie: Diepinfiltratie kan (deels) voldoen aan de waterkwantiteitsopgave. Met inzet van huidige technologieën doet het echter niets aan de waterkwaliteitsopgave ten aanzien van nieuwe opkomende stoffen. Dunea houdt diepinfiltratie daarom als strategische optie beschikbaar in geval het bestaande systeem en de nieuwe bronnen niet tijdig de benodigde capaciteit kunnen leveren. Diepinfiltratie dient daarmee vanuit het perspectief van leveringszekerheid primair als zekerstelling. Het is als zodanig ook vastgelegd in het beleid van provincie Zuid-Holland in de Drinkwaterverkenning 2040.

- **Waterkwantiteit**

Dunea verwacht dat van de 20 miljoen m³ die vergund is aan wincapaciteit door diepinfiltratie ongeveer 12 miljoen m³ echt realiseerbaar is. Dit komt door ontwikkelingen in het gebied sinds de jaren negentig (bebouwing, realisatie van sportvelden etc.), de aangescherpte natuurwetgeving en afspraken met de provincie. Diepinfiltratie kan daarmee ongeveer 12 miljoen m³ drinkwater per jaar opleveren. Met diepinfiltratie is het dus mogelijk om te voldoen aan de minimale waterkwantiteitsopgave voor de middellange termijn. Voor de lange termijn is diepinfiltratie geen volwaardige oplossingsrichting, vanwege de mengverhouding, al kan het wel een deeloplossing zijn.

- **Waterkwaliteit**

De 'traditionele' manier van zuiveren (via de duinen) blijft bij deze oplossingsrichting gehandhaafd. Naar verwachting voldoet dit wel aan de eisen voor microbiologische stabiliteit. Ook is het water esthetisch verantwoord. Ten aanzien van nieuwe opkomende stoffen vergt deze oplossingsrichting nog extra zuiveringsinspanningen door bijvoorbeeld de eindzuivering aan te vullen met membraanfiltratie.

- **Continuïteit van levering**

De verwachting is dat deze oplossingsrichting voldoet aan alle aspecten van continuïteit van levering mits de nieuwe bron ook in de nabijheid van het infiltratiegebied is gelegen, waardoor de kans op verstoring in transport (water van bron naar zuivering) wordt beperkt.

4.3.2 **Categorie 2 - Vraagbeperking óf capaciteitsuitbreiding zoeken bij derden en zelf niet uitbreiden.**

2a. Inkoop bij aangrenzende drinkwaterbedrijven

Beschrijving oplossingsrichting: Voor de inkoop van drinkwater bij aangrenzende drinkwaterbedrijven zijn reguliere inkoopcontracten afgesloten. De afzet van dit drinkwater vindt plaats in de randen van elkaars voorzieningsgebieden. De capaciteit die hiermee kan worden ingezet, is beperkt tot aangrenzende distributienetwerken en tot beschikbaarheid van drinkwater voor bijzondere omstandigheden, zoals onderhoud en calamiteiten.

Conclusie: Dunea ziet grootschalig inkopen bij de aangrenzende drinkwaterbedrijven (Waternet, Evides, Oasen, PWN) niet als een structurele oplossing. Dit is wederzijds afgestemd met deze bedrijven. Wel is het een tijdelijke (no-regret) maatregel bij onderhoudswerkzaamheden (geplande verstoringen), in uithoeken van het gebied én bij calamiteiten (ong geplande verstoringen) die alléén Dunea treffen. Dunea koopt en verkoopt al structureel kleinere hoeveelheden drinkwater in (ordegrootte 1-3 miljoen m³). De continuïteit van levering is hiermee (tijdelijk) geborgd, het water voldoet en blijft naar verwachting voldoen aan de kwaliteitsvereisten, maar de (volledige) kwantiteitsopgave is hiermee niet gedekt.

- **Waterkwantiteit**

De collega drinkwaterbedrijven van Dunea hebben eveneens te maken met onvoorspelbare verstoringen in de aanvoer van water, een groeiende vraag en krapte in de capaciteit op dezelfde piekdagen. Ook collega waterbedrijven zoeken naar meer bronnen voor drinkwater. De collega drinkwaterbedrijven hebben daarom aangegeven dat het niet realistisch is de totale waterkwantiteitsopgave van Dunea structureel op te lossen met extra leveringen. Waar het kan, blijft Dunea zoeken naar slimme samenwerking(en) om meer capaciteit in het systeem te krijgen, bijvoorbeeld door in uithoeken van het systeem samen op te trekken of door kleinere hoeveelheden in te kopen.

- **Waterkwaliteit**

Ook bij collega drinkwaterbedrijven staat de kwaliteit van de bronnen voor de bereiding van drinkwater onder druk, onder meer als gevolg van opkomende stoffen, medicijnresten en micro-organismen. Het is echter de verwachting dat collega waterbedrijven in de toekomst oplossingen zullen blijven vinden om te voldoen aan de vereisten vanuit drinkwaterkwaliteit.

- **Continuïteit van levering**

Deze oplossingsrichting biedt enkel uitkomst als een verstoring op het gebied van waterbeschikbaarheid, waterkwaliteit, transport en/of overstroming van primaire infrastructuur alleen van invloed is op Dunea. In dat geval kan Dunea rekenen op (tijdelijke) leveranties van collega waterbedrijven. Als Dunea structureel eventuele overcapaciteit van collega waterbedrijven benut, dan is er geen/bepaalde capaciteit beschikbaar in tijden van calamiteiten. De oplossingsrichting voldoet dus niet.

2b. Vraagbeperking

Beschrijving oplossingsrichting: Het beperken van de drinkwateraanvraag bij consumenten en andere afnemers door (een mix van) gedrags-, technische, juridische en economische maatregelen.

Conclusie: Inzetten op vraagbeperking doet Dunea nu al. Dit blijft Dunea ook doen en daarom is vraagbeperking altijd een no-regret maatregel. Vraagbeperking vormt echter slechts een deeloplossing. Ondanks de (steeds minder snel) dalende trend van waterverbruik, is het niet realistisch dat de groeiende watervraag volledig kan worden opgevangen door vermindering van de vraag te stimuleren. De regie blijft immers bij klanten die water vragen. Met vraagbeperking wordt de waterkwaliteitsopgave daarom niet opgelost.

- **Waterkwantiteit**

Gezien de hoge mate van onzekerheid over de effectiviteit van vraagbeperking is het niet aannemelijk dat deze oplossingsrichting voldoet aan de opgave voor de middellange en lange termijn:

- De (steeds minder snel) dalende trend van watergebruik is al meegenomen in de watervraagprognose. Deze oplossingsrichting betreft dus 'extra' vermindering van de watervraag (de dalende trend: in de afgelopen 30 jaar is het drinkwatergebruik thuis van circa 150 liter per persoon per dag in de jaren '80/90, teruggebracht naar circa 125 liter per persoon/per dag (in deze eeuw).
- Daarnaast is er nog veel onbekend over het theoretisch potentieel en de mate van effectiviteit van drinkwaterbesparingsmaatregelen (reële besparing) bij consumenten (circa 90% van het waterverbruik van Dunea). Dit blijkt uit verschillende studies waaronder: ASV-onderzoek drinkwaterbesparing.
- Waterbesparing is geen wettelijke verplichting voor een drinkwaterbedrijf. Bovenal heeft een drinkwaterbedrijf geen zeggenschap over de wijze waarop de consument uiteindelijk omgaat met het geleverde drinkwater. Wel behoort het geven van voorlichting aan consumenten over het verantwoord omgaan met drinkwater door eigenaren, consumenten en andere afnemers - tussen het punt van levering en het punt waar het drinkwater voor consumptie ter beschikking komt - tot de wettelijke verantwoordelijkheid van het drinkwaterbedrijf (Drinkwaterwet – Artikel 7.2b).
- Dunea kan slechts een beperkte bijdrage leveren doordat het een wettelijke leveringsplicht (24/7) heeft richting consumenten en andere afnemers.
- Waterkwaliteit: In deze oplossingsrichting blijft Dunea de 'traditionele' manier van zuiveren voortzetten en wordt het waterkwaliteitsprobleem niet opgelost.
- Continuïteit van levering: De reguliere drinkwatervoorziening blijft een back-up die mogelijk juist bij de piekvraag wordt ingezet. Voor het reguliere systeem betekent dit dus dat juist in pieksituaties deze oplossing niet voldoet aan de opgave voor continuïteit.

Rekenvoorbeeld vraagbeperking

Aan de hand van een praktijkvoorbeeld rondom toiletspoeling wordt nogmaals duidelijk dat vraagbeperking slechts een deeloplossing is. Gemiddeld genomen gaat één persoon 6-8 keer per dag naar het toilet. Momenteel gebruikt niet iedereen de 'kleine spoeling' van een toilet. Ervan uitgaande dat de 'kleine spoeling' (conservatief geschat) 5 keer per dag volstaat, dan is per spoeling een besparing van 5 liter mogelijk op het nu meest voorkomende systeem. Op jaarbasis betekent dit een besparing van 9.125 liter per persoon. Als Dunea in 2035 drinkwater levert aan 1,5 miljoen mensen en 225.000 mensen (15%) gebruiken de 'kleine spoeling' eerst niet en nu wel, dan zou dit in theorie een besparing van ruim 2 miljoen m³ drinkwater kunnen opleveren. Dat is veel water, maar onvoldoende om invulling te geven aan de opgave voor de middellange termijn.



2c. Afkoppelen van groot zakelijke klanten en/of woonwijken die zelfvoorzienend zijn

Beschrijving oplossingsrichting: Groot zakelijke klanten en/of zelfvoorzienende woonwijken worden niet meer voorzien van reguliere drinkwater leveranties, waardoor de totale vraag naar drinkwater wordt beperkt. Het systeem van Dunea functioneert enkel nog als een back-up systeem in geval van calamiteiten (bijvoorbeeld droogte) bij de grootzakelijke klanten en/of zelfvoorzienende wijken.

Conclusie: Het afkoppelen van grootzakelijke klanten en/of zelfvoorzienende woonwijken ziet Dunea in de toekomst als een no-regret maatregel die maatwerk vraagt per grootverbruiker en/of woonwijk. Daarnaast vormt het slechts een deeloplossing want het dekt niet de volledige kwantiteitsopgave, is geen oplossing voor de waterkwaliteitsopgave en levert geen verbetering in de continuïteit van de levering.

• Waterkwantiteit

Deze oplossingsrichting voldoet niet of slechts gedeeltelijk aan de opgave voor de middellange en lange termijn, omdat:

- Zelfvoorziening over het algemeen mogelijk is als er voldoende water beschikbaar is. Tijdens schaarste is de reguliere drinkwatervoorziening de terugvaloptie. De totale waterbehoefte in het leveringsgebied van Dunea blijft dan ook gelijk. Zie hiervoor ook het artikel uit H2O (Regenwater als

bron voor drinkwater in Nederland: weegt milieuwinst op tegen de kosten?) en de BTO-rapportage Decentrale watersystemen: potentie, impact en gevolgen voor drinkwaterbedrijven.

- Afkoppelen is niet zomaar mogelijk omdat in de Drinkwaterwet het volgende is opgenomen: *“De eigenaar van een drinkwaterbedrijf is verplicht, binnen het voor zijn bedrijf vastgestelde distributiegebied, aan degene, die daarom verzoekt, een aanbod te doen om die persoon te voorzien van een aansluiting op het door hem beheerde leidingnet”.*
- Groot zakelijke klanten zijn slechts een klein deel (circa 7%) van de totale drinkwatervraag. Het levert daarmee geen volledige oplossing voor de middellange termijn en is niet opschaalbaar richting de lange termijn.

- **Waterkwaliteit**

Hiermee blijft Dunea de ‘traditionele’ manier van zuiveren voortzetten. Ten aanzien van nieuwe opkomende stoffen vergt deze oplossingsrichting nog extra zuiveringsinspanningen.

- **Continuïteit van levering**

De oplossingsrichting voldoet niet, want:

- Decentrale oplossingen lopen een hoger risico op onbewust en moedwillige verstoringen van de waterlevering, waardoor de reguliere drinkwatervoorziening alsnog als back-up moet worden ingezet.
- De reguliere drinkwatervoorziening blijft een back-up die mogelijk juist bij de piekvraag ingezet wordt. Voor het reguliere systeem betekent dit dus dat juist in pieksituaties deze oplossing niet voldoet aan de opgave voor continuïteit.

4.3.3 Categorie 3 - Zoeken naar oplossingsrichtingen buiten het huidige Rivier-duinsysteem op basis van nieuwe technologieën (o.a. membranen)

3a. Volledig technisch systeem

Beschrijving oplossingsrichting: Een drinkwatervoorziening waarin directe zuivering door membraanfiltratie centraal staat. De duinen zijn afgestoten en dus niet in gebruik voor waterwinning. Door toepassing van membraanfiltratie is Dunea niet afhankelijk van één bepaald type bron, maar kunnen juist verschillende bronnen (eventueel in combinatie) worden ingezet zoals: lokaal oppervlaktewater, (brak) grondwater, voorgezuiverd rivierwater, zeewater of water uit de rioolwaterzuivering.

Conclusie: Overstappen op een volledig technisch systeem is geen realistische optie. Hiermee kan weliswaar worden voldaan aan de waterkwantiteits- en kwaliteitsopgave, maar hiermee kan niet worden voldaan aan de continuïteit van levering (met name in calamiteiten situaties door het wegvallen van de ‘voorraadfunctie’ van het duin). Bovendien heeft Dunea ook een verantwoordelijkheid als natuurbeheerder. Bij het volledig afstoten van het duinsysteem, kan Dunea niet meer voldoen aan de (vanuit wet- en regelgeving gestelde) eisen van verantwoord natuurbeheer.

- **Waterkwantiteit**

Deze oplossingsrichting voldoet aan de opgave voor de middellange en lange termijn:

- Membraanfiltratie kan met de aanvoer van rivierwater in combinatie met nieuwe bronnen de noodzakelijke hoeveelheid drinkwater voor de toekomst produceren.
- Membraanfiltratie kan modulair ingezet worden en is hierdoor opschaalbaar in tijd en flexibel m.b.t. bronnen.
- Voor het drinkwater uit het nieuwe membraansysteem zal de bruto watervraag echter toenemen met maximaal 25%. De druk op nieuwe bronnen neemt met een volledig technische oplossing dus extra toe.

- **Waterkwaliteit**

Deze oplossingsrichting voldoet aan de opgave voor de middellange en lange termijn:

- Door de inzet van membraanfiltratie is een excellente waterkwaliteit mogelijk (microbiologisch stabiel, chemisch veilig en esthetisch verantwoord).
- Voor het bereiken van de juiste drinkwaterkwaliteit is na membraanfiltratie echter wel een chemische remineralisatie noodzakelijk.

- **Continuïteit van levering**

Deze oplossingsrichting voldoet niet aan de opgave voor de middellange en lange termijn:

- In geval van nood (bijvoorbeeld wanneer bij géén van de bronnen inname mogelijk/toegestaan is) is er géén optie om op terug te vallen. Immers, zonder het Rivier-duinsysteem vervalt de voorraadfunctie van het duin (overbrugging). De duinen zijn de enige beschermde zoetwatervoorraad in een regio waar in 2040 minimaal 1,5 mln mensen 3 maanden van drinkwater moeten worden voorzien. Er zijn weliswaar ook andere opties om een buffer te realiseren, maar als gevolg van de ruimtelijke drukte (zowel boven als ondergronds) lijkt het niet aannemelijk om een buffer van vergelijkbare omvang met dezelfde functies ergens in de regio opnieuw te realiseren.
- De kans op verstoringen vanuit waterkwantiteit en -kwaliteit blijft in bepaalde periodes aanwezig. Bijvoorbeeld in het geval de temperatuur van het ingenomen water te hoog is om te worden ingezet voor directe zuivering tot drinkwater. Wel is het door diversiteit in bronkeuze mogelijk om de kans op dergelijke verstoring zo minimaal mogelijk te houden.
- De kans op verstoringen vanuit het oogpunt van transport en overstromingen van de primaire infrastructuur zullen beperkt zijn, gezien de diversiteit aan potentiële bronnen en (deels) nieuw te ontwikkelen infrastructuur.

3b. Hybride Systeem

Beschrijving oplossingsrichting: Het Hybride Systeem bestaat uit een optimale combinatie van drinkwater uit het bestaande Rivier-duinsysteem, aangevuld met drinkwater uit het nieuwe membraansysteem en nieuwe bronnen (bijvoorbeeld lokaal oppervlaktewater, (brak) grondwater, zeewater of water uit de rioolwaterzuivering).

Conclusie: Met het Hybride Systeem combineert Dunea het beste van twee werelden (natuur en techniek). Op deze manier is het mogelijk te voldoen aan de waterkwantiteit en continuïteit van levering voor de middellange en lange termijn en is het mogelijk te optimaliseren in waterkwaliteit, middels de verhouding tussen het Rivier-duinsysteem en het Nieuwe Systeem. Deze keuze past ook bij de natuurdoelstelling van Dunea.

- **Waterkwantiteit**

Deze oplossingsrichting voldoet aan de opgave voor de middellange en lange termijn:

- De duinen zijn en blijven essentieel voor leverantie van drinkwater en voorraadvorming (overbruggingscapaciteit).
- Met membraanfiltratie kan de stijging van de noodzakelijke productiecapaciteit richting 2050 worden opgevangen.
- Membraanfiltratie kan modulair worden ingezet en is hierdoor opschaalbaar in tijd en flexibel m.b.t. bronnen.
- Voor het drinkwater uit het Nieuwe membraansysteem zal de bruto watervraag toenemen met maximaal 25%. Voor het drinkwater uit het Rivier-duinsysteem is nauwelijks sprake van productieverliezen.

- **Waterkwaliteit**

Deze oplossingsrichting voldoet aan de opgave voor de middellange en lange termijn:

- Duinen zijn en blijven voor een groot deel van belang voor het behalen van de gewenste waterkwaliteit. De duinen zorgen namelijk voor een afvlakking van de waterkwaliteit (ongewenste bacteriën en virussen worden op een natuurlijke manier onschadelijk gemaakt), maar hiermee haalt Dunea de toenemende eisen m.b.t. chemische waterkwaliteit niet.
- Membraanfiltratie haalt de toenemende eisen m.b.t. waterkwaliteit wél (microbiologische stabiliteit, esthetisch verantwoord en chemisch). Voor het bereiken van de juiste drinkwaterkwaliteit is na de membraanfiltratie een chemische remineralisatie noodzakelijk óf menging van duin- en membraanwater.
- Door duin- en membraanwater in een ideale verhouding te mengen, is chemische remineralisatie niet nodig en hoeft duinwater minder te worden onthard, waardoor minder chemicaliën nodig zijn. De ideale verhouding moet nog nader worden onderzocht. De toename van de drinkwatervraag leidt tot een verhouding tussen het Rivier-duinsysteem en het Nieuwe Systeem van circa 90-10%. Vanuit o.a. waterkwaliteit, continuïteit, natuur, betaalbaarheid en duurzaamheid onderzoekt Dunea de gewenste mengverhouding voor de toekomst. Uit een eerste inventarisatie volgt een maximale bandbreedte voor de lange termijn, met een verhouding tussen Rivier-duinsysteem en Nieuw Systeem, van 90-10% en 50-50%.

- **Continuïteit van levering**

Deze oplossingsrichting voldoet aan de opgave voor de middellange en lange termijn:

- Met het Hybride Systeem kan Dunea putten uit een diversiteit aan bronnen voor de productie van drinkwater en hiermee kunnen de risico's op uitval (in geval van verstoring waterbeschikbaarheid en/of -waterkwaliteit) zo klein mogelijk worden gehouden. Ook blijft de kans op verstoringen als gevolg van de transportafstand hierdoor beperkt. Hiermee geeft Dunea ook invulling aan het provinciale beleid: Drinkwater - Staat van Zuid-Holland.
- In geval van een échte noodsituatie kan Dunea altijd nog terugvallen op de voorraadfunctie van het duin (overbrugging). De duinen zijn de enige beschermde zoetwatervoorraad in een regio waar in 2040 minimaal 1,5 mln mensen 3 maanden van drinkwater moeten worden voorzien.
- Het Nieuwe membraansysteem kan Dunea zo inpassen dat de kans op overstromingen minimaal is.
- Door het mengen creëert Dunea ook een nieuwe (onderlinge) afhankelijkheid. Een nadere leveringszekerheidsanalyse moet nagaan hoe daar slim mee om te gaan. Collega-waterbedrijven hebben reeds bewezen dat een hybride variant goed mogelijk is.

5. M.e.r.-procedure Drinkwatervoorziening van de toekomst 2030-2040

5.1 Voorgenomen activiteit

Het Nieuwe Systeem bestaat uit nieuwe bron(nen), benodigde transportinfrastructuur en de inzet van membraanfiltratie (inclusief bijbehorende bebouwing). De voorgenomen activiteit in deze m.e.r.-procedure is de ruimtelijke inpassing van deze onderdelen van het Nieuwe Systeem. (Zie verder hoofdstuk 6.)

Dunea wil de m.e.r.-procedure inzetten om, in samenspraak met de omgeving, te komen tot een integrale afweging en goed onderbouwde keuze voor de bronnen en tot ruimtelijke inpassing van de installaties en de infrastructuur.

Uitgangspunt: Hybride Systeem

De achterliggende keuze voor een Hybride Systeem op de lange termijn wordt onderbouwd in Hoofdstuk 4. Deze keuze wordt in het MER als uitgangspunt genomen.

5.2 Waarom een m.e.r.-procedure?

Voor bepaalde activiteiten die kunnen leiden tot belangrijke nadelige gevolgen voor het milieu, geldt een m.e.r.-beoordelingsplicht of een directe m.e.r.-plicht. Een m.e.r.-beoordelingsplicht houdt in dat het bevoegd gezag moet beoordelen of het opstellen van een MER noodzakelijk is. In geval van een directe m.e.r.-plicht is het opstellen van een MER zonder meer verplicht.

Omdat de locatiekeuzes nog moeten worden gemaakt en de details van het Nieuwe Systeem nog moeten worden uitgewerkt, is op dit moment niet zeker of er een m.e.r.-(beoordelings)plicht bestaat. Het is nu nog niet duidelijk voor welke toekomstige activiteiten de m.e.r.-(beoordelings)plicht geldt. Dunea kiest er echter op voorhand voor om een m.e.r.-procedure te doorlopen, om twee redenen:

- Een m.e.r.-procedure bevat een helder besluitvormings- en omgevingsproces, om te komen tot een gewogen/gedragen besluit voor de locatiekeuzes.
- Een m.e.r.-procedure genereert een basis voor een heldere onderbouwing van de vergunningaanvragen voor de activiteiten die voortkomen uit het voorkeursalternatief.

Mogelijke m.e.r. (beoordelings)plicht

Mogelijke gronden voor een (vormvrije) m.e.r.-(beoordelings)plicht zijn:

- C 15.1: *De infiltratie van water in de bodem of onttrekking van grondwater aan de bodem, alsmede de wijziging of uitbreiding van bestaande infiltraties en onttrekkingen.*

Als Dunea grondwater gaat onttrekken kan er, afhankelijk van de te onttrekken hoeveelheid, sprake zijn van een m.e.r. plicht (op grond van onderdeel C 15.1, indien het onttrekkingsdebiet gelijk aan/méér is dan 10 miljoen m³ per jaar).

- D 15.2: *De aanleg, wijziging of uitbreiding van werken voor het onttrekken of kunstmatig aanvullen van grondwater.*

Als Dunea grondwater gaat onttrekken kan er, afhankelijk van de te onttrekken hoeveelheid, sprake zijn van respectievelijk een formele m.e.r. beoordelingsplicht (onderdeel D 15.2, indien het onttrekkingsdebiet gelijk aan/méér is dan 1,5 miljoen m³ per jaar, maar minder dan 10 miljoen) of een vormvrije m.e.r. beoordelingsplicht (onderdeel D 15.2, indien het onttrekkingsdebiet minder is dan 1,5 miljoen m³ per jaar).

- D 18.1: *De oprichting, wijziging of uitbreiding van een installatie voor de verwijdering van afval, anders dan bedoeld onder D 18.3, D 18.6 of D 18.7.*

Het eventueel oprichten van een voorzuivering en een omgekeerde osmose-zuiveringsinstallatie sluit aan bij nummer D 18.1. Het begrip 'afval' moet volgens de Europese Commissie breed worden uitgelegd. De reststroom uit de omgekeerde osmose-zuiveringsinstallatie en het slib uit de voorzuivering, kunnen onder het begrip vallen.

De drempelwaarde van D 18.1 luidt: *In gevallen waarin de activiteit betrekking heeft op een installatie met een capaciteit van 50 ton per dag of meer.* Of daarvan in dit geval sprake is, is nog niet bekend. Voor deze activiteit kan daarom een vormvrije of een formele m.e.r.-beoordelingsplicht bestaan.

Mocht een bestemmingsplanwijziging nodig zijn om (één van) de activiteiten te realiseren, dan is er sprake van een plan-m.e.r.-plicht. In dat geval stelt Dunea een gecombineerde plan- en besluit-MER op. Zijn voor de realisatie alleen besluiten nodig (zoals een omgevingsvergunning, waterwetvergunning, enz.), dan stelt Dunea een besluit-MER op.

5.3 Hoe is de m.e.r.-procedure georganiseerd?

In de m.e.r. procedure is sprake van verschillende rollen:

- Initiatiefnemer (IN): Dunea
- Bevoegd Gezag (BG): bevoegd gezag is de provincie Zuid-Holland, vertegenwoordigd door de omgevingsdienst Haaglanden in samenwerking met de omgevingsdienst West-Holland
- Wettelijke adviseurs: Commissie voor de m.e.r. en op basis van de alternatieven wordt bepaald welke wettelijke adviseurs nog meer in beeld zijn.
- Andere belanghebbenden: Naast de officiële inzagemomenten, waarin eenieder zienwijzen kan indienen, zal Dunea diverse belanghebbenden via participatie betrekken bij het proces om tot een voorkeursalternatief te komen.

Stappen in de m.e.r.-procedure

Dunea wil de m.e.r.-procedure indelen in drie stappen. Bij elk van deze drie stappen wil Dunea een document openbaar maken en zienswijzen vragen.

NRD (Notitie Reikwijdte en detailniveau)

De NRD vormt de start van de m.e.r.-procedure. In deze NRD Drinkwatervoorziening van de toekomst 2030-2040 legt Dunea aan de omgeving voor:

1. De argumenten voor de keuze voor het Hybride Systeem en voor membraanfiltratie als zuiveringsmethode;
2. De voorgenomen activiteit en de aspecten die Dunea daarvoor wil onderzoeken.

Variantenstudie

Na de NRD volgt een periode waarin Dunea, mede op basis van de zienswijzen en adviezen, onderzoekt wat de kansrijke alternatieven en varianten zijn voor de locatiekeuze van de nieuwe bron en productie voor drinkwater. Dunea wil de omgeving actief betrekken bij de Variantenstudie, door bijvoorbeeld werksessies te organiseren voor belanghebbenden.

De bevindingen komen terecht in het rapport Variantenstudie. Dit rapport beschrijft het trechteringsproces van zoekgebieden naar concrete alternatieven en varianten. Ook op deze Variantenstudie worden zienswijzen gevraagd. Op grond van het rapport en de zienswijzen wordt bepaald welke alternatief(en) en variant(en) in de MER worden uitgewerkt. Hoofdstuk 6 gaat nader in op de bouwstenen voor de MER-alternatieven en het trechteringsproces.

De NRD en de Variantenstudie, met daarin het trechteringsproces naar de MER-alternatieven en het voorkeursalternatief van Dunea op hoofdlijnen, vormen tezamen het toetsingskader voor het Milieueffectrapport (MER).

MER (milieueffectrapport)

De verwachte effecten van de alternatieven op het milieu worden beschreven in het MER. Er worden alternatieve oplossingen beschreven, zodat verschillende effecten in beeld komen en een breed beeld wordt gegeven. In ieder geval worden ook de effecten van het voorkeursalternatief van Dunea beschreven. Het bevoegd gezag, dat besluit over de aanvraag voor het initiatief, kan zo de milieueffecten meewegen in haar besluitvorming.

Participatie

Naast de formele stappen in het m.e.r.-proces kiest Dunea ervoor om met betrokken stakeholders uit de regio in gesprek te gaan over de te maken keuzes voor de Drinkwatervoorziening van de toekomst 2030-2040. Dit gaat enerzijds om overheidsinstanties zoals de gemeenten, de hoogheemraadschappen van Rijnland en Delfland en Rijkswaterstaat (in wiens beheergebied nieuwe bronnen worden gezocht) en de bevoegde gezagen voor de benodigde vergunningen. Anderzijds wil Dunea ook maatschappelijke organisaties, burgers en bedrijven betrekken bij de afwegingen.

In tabel 1 op pagina 33 zijn de stappen uit het m.e.r.-proces weergegeven, in samenhang met de stappen in participatie.

PROCES STAPPEN	Inhoud NRD/MER	Participatie
NRD (juni 2022)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Strategische keuze oplossingsrichting 2. Locatiekeuze activiteit (project-MER) 3. Te onderzoeken (milieu)effecten 	<ul style="list-style-type: none"> • Stakeholdergesprekken met bestuurlijke en maatschappelijke partijen
Zienswijzen NRD (6 weken)		<ul style="list-style-type: none"> • Formele zienswijzen • Breed informeren van de omgeving • Nota van Antwoord
Variantenstudie (december 2022)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Studie naar alle mogelijke (locatie) varianten 2. Trechtering naar MER-alternatieven en voorkeursalternatief op hoofdlijnen 	<ul style="list-style-type: none"> • Ontwerpateliers met de omgeving • Stakeholdergesprekken met bestuurlijke en maatschappelijke partijen
Zienswijzen Variantenstudie (6 weken)		<ul style="list-style-type: none"> • Formele zienswijzen • Breed informeren van de omgeving • Nota van Antwoord
MER/ontwerpvergunningen (medio 2024)	<ol style="list-style-type: none"> 1. (Milieu)effecten van de alternatieven 2. Voorkeurs alternatief (VKA) van IN 3. Ontwerpvergunningen bevoegde gezagen 	<ul style="list-style-type: none"> • Stakeholdergesprekken met bestuurlijke en maatschappelijke partijen
Zienswijzen MER en vergunningen (6 weken)		<ul style="list-style-type: none"> • Formele zienswijzen • Breed informeren van de omgeving • Nota van Antwoord

Tabel 1: Overzicht van de stappen uit de m.e.r.-procedure en het participatieproces.

6. Alternatieven

6.1 Voorgenomen activiteit: ruimtelijke inpassing Nieuwe Systeem

Uitgaande van de strategische voorkeur voor een Hybride Systeem, wordt naast het bestaande Rivier-duinsysteem, een Nieuw Systeem ontwikkeld met (een) nieuwe bron(nen) en membraanfiltratie. Het Nieuwe Systeem moet voldoen aan de leveringszekerheid voor de middellange termijn en opschaalbaar zijn voor de lange termijn.

Concreet zoekt Dunea naar:

- Nieuwe bronnen;
- Ruimtelijk inpassing van drinkwaterproductie installaties (met membraanfiltratie);
- Ruimtelijke inpassing van installaties voor afvoer en/of verwerking van de reststroom;
- Ruimtelijke inpassing van installaties voor het mengen van drinkwater uit het Rivier-duinsysteem en het drinkwater uit het Nieuwe Systeem;
- Ruimtelijke inpassing van tracés voor de benodigde infrastructuur, zoals leidingen en pompen.

Dunea verwacht, gezien de totale opgave en de verdeling van de opgave over het leveringsgebied, dat het nodig is om zowel aan de noordkant als aan de zuidkant van het leveringsgebied bronnen en/of installaties te realiseren.

Alternatieven/voorkeursalternatief

Na deze NRD worden in de volgende stap in de m.e.r.-procedure (de Variantenstudie), de diverse bouwstenen samengevoegd tot één of meerdere alternatieven. Dit gebeurt in een ontwerpproces met verschillende stakeholders, zoals gemeenten, waterschappen en maatschappelijke organisaties. Dunea verwacht dat dit proces zal leiden tot een aantal alternatieven, die verschillen in locaties én dat de variantenstudie zal leiden tot een voorkeursalternatief op hoofdlijnen. Het voorkeursalternatief kan dan bijvoorbeeld bestaan uit een voorkeur voor een bron, waarbij bijvoorbeeld varianten voor de productielocatie nog mogelijk zijn.

De alternatieven en varianten die uit de variantenstudie voortkomen, worden in een zienswijzenprocedure voorgelegd aan de omgeving. De alternatieven of het voorkeursalternatief op hoofdlijnen worden of wordt daarna nader uitgewerkt in het MER.

Impressie ruimtelijke inpassing Nieuw Systeem

Voor de middellange termijn staat Dunea voor een jaarlijkse opgave van 8 miljoen m³ drinkwater uit het Nieuwe Systeem. Dit staat gelijk aan ongeveer 3.200(!) olympische zwembaden gevuld met drinkwater. De inpassing van een Nieuw Systeem vraagt dan ook om meer ruimte voor een innamepunt, een productie- en menglocatie voor de benodigde infrastructuur.

Bij de bron zijn installaties nodig om water in te nemen en voor te zuiveren, zodat het water getransporteerd kan worden naar de productielocatie voor drinkwater. Dit vraagt om een oppervlak van circa 50 x 50 meter (ruim een half voetbalveld).

Het ruimtegebruik van de productielocatie wordt sterk bepaald door de hoeveelheid drinkwater die geproduceerd wordt. Voor een productie van 10 miljoen m³ per jaar is een oppervlak van ongeveer 200 x 100 meter (ongeveer 2 voetbalvelden) benodigd. Deze ruimte is onder andere benodigd voor de zuiveringsinstallaties, drinkwaterreservoirs en een pompgebouw. Het mengen van membraan- en duinwater zal naar verwachting plaatsvinden binnen de ruimtelijke grenzen van de bestaande productielocaties.

Leidinginfrastructuur is benodigd om het water van de bron naar de productielocatie te transporteren en reststromen af te voeren. Hierbij moet gedacht worden aan leidingen met een diameter van 50 tot 100 centimeter. Daarnaast dient aan beide zijden van het leidingwerk een strook van 5 meter vrij gehouden te worden van bebouwing.

6.2 Alternatieven

Bouwstenen voor de alternatieven

Alternatieven worden gevormd door combinaties van de bouwstenen:

- Nieuwe bron(nen) en innamepunt(en);
- Productie-installaties (membraanfabrieken);
- Ruimtelijke inpassing voor het afvoeren of bewerken van de reststroom;
- Locaties waar drinkwater uit het oude en het Nieuwe Systeem worden gemengd;
- Tracés van de benodigde infrastructuur (leidingen tussen bron, productielocatie, menglocatie, reststroom, distributienetwerk).

De alternatieven moeten:

- Voldoen aan de opgaves voor kwantiteit, kwaliteit en continuïteit;
- Realistisch en uitvoerbaar zijn;
- De volledige breedte van de milieueffecten in beeld brengen (zie ook hoofdstuk 7);
- Een oplossing omvatten voor het zuidelijk en het noordelijk gebied van Dunea.

Hieronder wordt een eerste inzicht gegeven in de verschillende bouwstenen. In het proces van de Variantenstudie, volgend op het NRD, worden de verschillende mogelijkheden voor de bouwstenen nader geïdentificeerd en gecombineerd tot concrete, realistische alternatieven.

Nieuwe bronnen

Als mogelijkheden voor nieuwe bronnen ziet Dunea:

- Lokaal oppervlaktewater;
- Brak grondwater;
- Lokaal zoet grondwater;
- Water uit de rioolwaterzuivering (RWZI/AWZI-effluent);
- Zeewater;
- Voorgezuiverd rivierwater (via de BAL-leiding) uit Lek en/of Maas (deze laatste bron wordt ook gebruikt voor het Rivier-duinsysteem, maar levert in combinatie met membraanfiltratie een verbetering van kwaliteit);
- Regenwater;
- Eventuele andere kansrijke nieuwe bronnen die tijdens het proces naar voren worden gebracht.

Uit eerder onderzoek zijn twee kansrijke bronnen naar voren gekomen. Om meer te leren van de (on)mogelijkheden van deze bronnen en de zuiveringstechniek, is Dunea gestart met een onderzoekspilot. Het betreft:

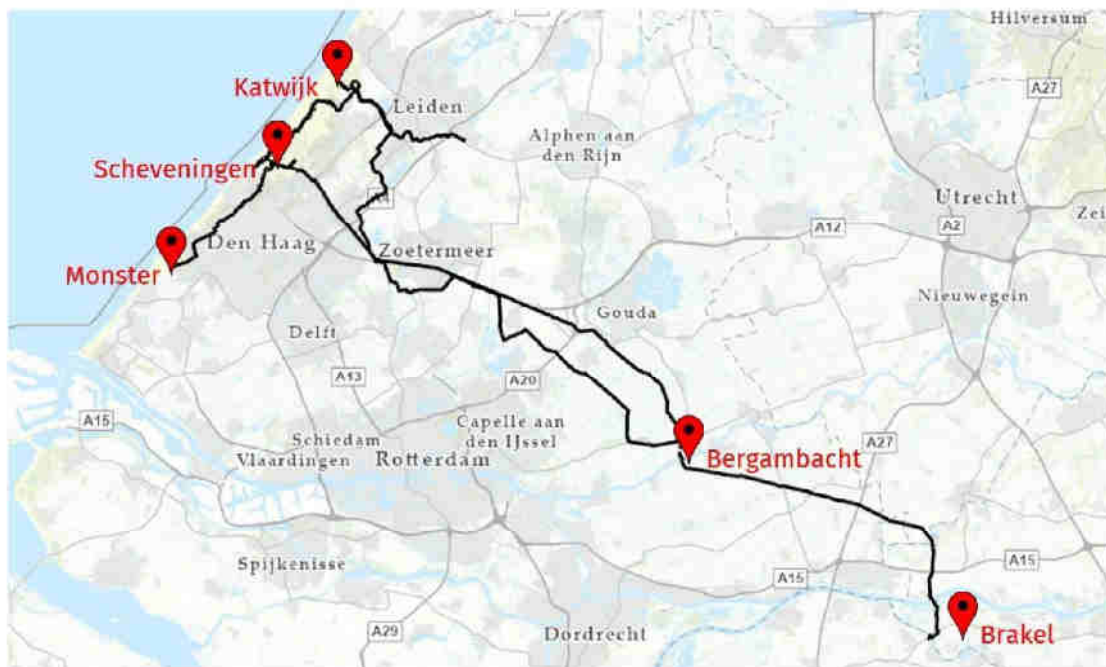
- Aan de Noordkant van het Dunea gebied: het Valkenburgse meer en/of de Oude Rijn.
- Aan de Zuidkant van het gebied: brak grondwater in Meijendel/Scheveningen.

Ruimtelijke inpassing van productieinstallaties (membraanfiltratie)

Dunea ziet in ieder geval twee mogelijkheden voor de locatie voor het zuiveren van water middels membraanfiltratie:

- Op de bronlocatie en dit vervolgens transporteren naar de menglocatie.
- Op de menglocatie, waardoor (al dan niet voorgezuiverd) water eerst van de bron- naar de productielocatie moet worden getransporteerd.

De keuze voor de productielocatie hangt af van de ruimtelijke mogelijkheden bij de bron en op de menglocatie en van de mogelijkheden voor aan te leggen leidingwerk. De keuze voor de productielocatie volgt dus voor een belangrijk deel uit de keuze voor de bron. In figuur 10 zijn de drinkwaterproductielocaties en grote transportleidingen weergegeven.



Figuur 10: Weergave van het innamepunt Brakel, de voorzuivering Bergambacht, de rivierwatertransportleidingen en de drie productielocaties in Monster, Scheveningen en Katwijk.

Reststroom

Dunea ziet een vijftal mogelijkheden voor afvoer/bewerking/verwijderen van de reststroom. Twee daarvan zijn sterk afhankelijk van de gekozen bron.

- Afvoer via oppervlaktewater op land;
- Afvoer via de Noordzee;
- Afvoer combineren met influent (ongezuiverd rioolwater) of effluent (gezuiverd rioolwater) van AWZI/RWZI;
- Injecteren/inbrengen in de bodem of in diepe grondwaterlagen;

- Toepassing van zogenaamde 'Zero Liquid Discharge technologie'. Dit is een uitgebreid zuiveringsproces waarbij alleen een reststroom van vaste stoffen overblijft en al het water benut kan worden voor de productie van drinkwater.

De keuze voor de afvoer/bewerking/verwijdering van de reststroom hangt eveneens deels van de bron af. Dunea ziet de volgende logische combinaties tussen bron en reststroom:

Waterbron	Reststroom
Lokaal oppervlaktewater	<ul style="list-style-type: none"> • Oppervlaktewater op land • RWZI/AWZI • Injecteren • Noordzee • Zero Liquid Discharge
Brak grondwater	<ul style="list-style-type: none"> • Noordzee • Injecteren • Zero Liquid Discharge
Lokaal zoet grondwater	<ul style="list-style-type: none"> • Oppervlaktewater op land • RWZI/AWZI • Injecteren • Noordzee • Zero Liquid Discharge
RWZI/AWZI water	<ul style="list-style-type: none"> • RWZI/AWZI-reststroom • Zero Liquid Discharge
Zeewater	<ul style="list-style-type: none"> • Noordzee • Zero Liquid Discharge
Water uit Lek en/of Maas	<ul style="list-style-type: none"> • Oppervlaktewater op land • RWZI/AWZI • Injecteren • Noordzee • Zero Liquid Discharge

Tabel 2: Overzicht van logische combinaties tussen een bron voor drinkwater en omgang met de reststroom.

Menglocatie

Voor de menglocatie heeft Dunea drie randvoorwaarden:

- Gebruik van het huidige distributienetwerk voor de levering van drinkwater.
- De waterkwaliteit moet overal in het Dunea gebied nagenoeg gelijk zijn, dus de waterkwaliteit (gemengd) moet beheersbaar, voorspelbaar en stabiel blijven.
- Voor mengen is een verzamelplek met een groot volume nodig.

Het huidige distributienetwerk is gedimensioneerd vanuit de drie bestaande productielocaties: Katwijk, Scheveningen en Monster. Vanuit de bovenstaande drie randvoorwaarden zijn in ieder geval de huidige drinkwaterproductielocaties als meest voor de hand liggende menglocaties in beeld.

Ruimtelijke inpassing benodigde infrastructuur

Om de nieuwe bron(nen), productielocatie, locatie reststroom en de menglocatie met elkaar te verbinden, is nieuwe infrastructuur nodig in de vorm van leidingwerk. Dunea hanteert bij het ontwerpen van de tracés voor de benodigde infrastructuur de volgende uitgangspunten:

- Zo kort mogelijk. Dit is beter voor de kwaliteit en legt zo min mogelijk beslag op de ruimte.
- Zo veel mogelijk gebruik maken van bestaande infrastructuur van Dunea.
- Goed beheersbaar, zodat inspectie goed uitvoerbaar is. Dit houdt in: zo min mogelijk bochten, kunstwerken, pompen enz.
- Nieuwe tracés gebundeld met bestaande infrastructuur van Dunea en andere leidingeigenaren. Dit leidt tot de minste effecten en ruimtebeslag.
- Zo goed mogelijk afgestemd op de bestaande infrastructuur en ruimtelijke inrichting.

Studiegebied voor de alternatieven

In de onderstaande figuur is het studiegebied weergegeven voor de alternatieven. In de variantenstudie vormt dit studiegebied het uitgangspunt. In het kader op pagina 34 is een impressie gegeven van de benodigde ruimte voor de voorgenomen activiteit: Nieuw Systeem.



Figuur 11: Studiegebied voorgenomen activiteit.

6.3 Trechteringsproces tot alternatieven (Variantenstudie)

Dunea wil met bovengenoemde bouwstenen via een trechteringsproces in een aantal stappen alternatieven ontwikkelen:

Stap 1

In deze eerste stap worden de eisen aan de bouwstenen en locaties bepaald en wordt op basis hiervan het zoekgebied gedefinieerd. Op deze manier wordt een beeld verkregen van de mogelijke locaties die:

- Voldoen aan de eisen op het gebied van waterkwantiteit, waterkwaliteit en continuïteit.
- Haalbaar zijn, zowel technisch als in de tijd.

Stap 2

In een gezamenlijk ontwerpproces met diverse stakeholders wil Dunea de bouwstenen vervolgens opbouwen en samenvoegen tot logische alternatieven. De waarden die een rol spelen in dit ontwerpproces worden samen met de stakeholders bepaald. Het kan gaan om aspecten die bijvoorbeeld het waterbeheer raken, omgevings- en natuuraspecten, maar ook bijvoorbeeld kostenaspecten of inpassingsaspecten in boven- en ondergrond.

Stap 3

De alternatieven uit stap 2 worden verder uitgewerkt, waarna ze getoetst worden aan de interne bedrijfswaarden van Dunea en beoordeeld op basis van de omgevingswaarden. De omgeving krijgt gedurende deze stap de mogelijkheid tot reflectie. Stap 3 resulteert in de alternatieven en naar verwachting een voorkeursalternatief op hoofdlijnen van Dunea. Deze alternatieven worden in het MER verder onderzocht.

In de Variantenstudie wordt het trechteringsproces en de keuze voor de MER-alternatieven beschreven. De Variantennota wordt ter inzage gelegd, zodat iedereen zienswijzen kan indienen. Daarna worden de definitieve MER-alternatieven bepaald.

6.4 Koppelkansen

Dunea onderzoekt de mogelijkheden van de ruimtelijke inpassing van de voorgenomen activiteit, samen met diverse stakeholders. Andere functies en initiatieven in dezelfde ruimte (bijvoorbeeld vanuit de Regionale Energie Strategie), ziet Dunea als mogelijke koppelkansen.

7. Milieueffecten

7.1 Detailniveau van de effectbepaling

Zoals besproken in hoofdstuk 5 wil Dunea het m.e.r.-proces gefaseerd aanpakken. Als eerste wil Dunea vanuit een veelheid van mogelijke bronnen en locaties trechteren naar een aantal alternatieven en/of een voorkeursalternatief op hoofdlijnen, met mogelijke varianten. Het trechteringsproces en de uitkomsten daarvan, worden beschreven in het document Variantenstudie. De Variantenstudie wordt separaat voorgelegd aan de omgeving tijdens een zienswijzenprocedure.

De alternatieven die worden geïdentificeerd in de Variantenstudie, bestaan uit één of meerdere bronnen plus één of meerdere zuiverings-, reststroom- en menglocaties plus bijbehorende infrastructuur. De alternatieven en varianten worden in het MER gedetailleerd uitgewerkt en vergeleken met de huidige situatie plus de autonome ontwikkeling.

Deze m.e.r.-procedure beperkt zich tot de opgave op de middellange termijn en geeft een doorkijk naar de lange termijn. De milieueffecten van de alternatieven en opgave voor de middellange termijn worden onderzocht. De doorkijk op de lange termijn vindt plaats op basis van de opgave kwantiteit, kwaliteit en continuïteit van levering.

7.2 Referentiesituatie en autonome ontwikkeling,

Referentiesituatie

In het MER worden de milieueffecten afgezet tegen de milieueffecten van de referentiesituatie. De referentiesituatie is de situatie die in de toekomst zal ontstaan als het project niet doorgaat, dus de huidige situatie plus autonome ontwikkelingen. De referentiesituatie voor de milieueffecten wordt bepaald door de toestand van het milieu in de bestaande situatie en de gevolgen van de zogenaamde autonome ontwikkeling, bij elkaar op te tellen. De referentiesituatie is geen realistisch alternatief gezien de wettelijke taak van Dunea om te voldoen aan de leveringszekerheid.

Autonome ontwikkeling

In het MER wordt de autonome ontwikkeling beschreven. De autonome ontwikkeling omvat alle ontwikkelingen en activiteiten die met enige zekerheid zullen plaatsvinden.

Mogelijke relevante ontwikkelingen zijn woningbouwontwikkelingen in de regio, infrastructurale ontwikkelingen, natuur- en groen-ontwikkelingen, ontwikkelingen in het kader van de energietransitie, klimaatadaptatie en zeespiegelstijging. Welke autonome ontwikkelingen relevant zijn is op dit moment nog niet geheel bekend. Dit is mede afhankelijk van de keuzes in de Variantenstudie en van de ontwikkelingen die op de te beschouwen locaties worden voorzien.

De ontwikkelingen die Dunea voor de korte termijn heeft ingezet of binnenkort gaat inzetten, worden beschouwd als autonome ontwikkeling. Bijvoorbeeld het Programma Berkheide (dunea.nl/berkheide), vernieuwing waterwetvergunningen (dunea.nl/actualisatie) en het project Overbruggingscapaciteit Berkheide.

7.3 Te onderzoeken milieueffecten in het MER

In tabel 3 staan de in het MER te onderzoeken milieueffecten. De tabel geeft de relevante aspecten weer voor de verschillende samenstellende onderdelen van de alternatieven (bron, innamepunt, menglocatie, restroomverwerkingslocatie, infrastructuur).

Omdat het trechterproces plaatsvindt in samenspraak met de omgeving, zullen hier mogelijk nog diverse aspecten aan worden toegevoegd.

Effecten op	
Watersysteem (lokaal, regionaal)	<ul style="list-style-type: none"> • Waterkwantiteit • Waterkwaliteit, waaronder KRW-doelstellingen • Grondwater • Waterveiligheid • Afvalwatersysteem • Klimaatadaptatie (rekening houden met klimaatverandering en de toekomstige situatie als gevolg daarvan) • Beheer en onderhoud watersysteem (bemalen, installaties, extra waterkwaliteitsmaatregelen)
Bodem, natuur en landschap	<ul style="list-style-type: none"> • Beschermde soorten (land en water) • Beschermde gebieden: Natura 2000 en Natuurnetwerk Nederland • Bodem • Landschap, cultuurhistorisch, archeologie
Ondergrond	<ul style="list-style-type: none"> • Ondergronds ruimtebeslag • Ondergrondse effecten • Beïnvloeding andere functies zoals geothermie
Woon- en leefmilieu	<ul style="list-style-type: none"> • Ruimtebeslag • Andere functies (recreatie, wonen) • Milieuaspecten, zoals oa geluid • Veiligheid • Inpassing in de ruimte • Inpassing tov andere infrastructuur (K&L)
Duurzaamheid en robuustheid	<ul style="list-style-type: none"> • Toets aan lange termijn-opgaven voor kwantiteit, kwaliteit en continuïteit van levering • Effecten op het klimaat en CO₂-emissies • Toets milieuaspecten waterzuivering

Tabel 3: Te onderzoeken milieueffecten in het MER.



7.4 Leemten in kennis en informatie

In het MER zal worden aangegeven welke belangrijke informatie ontbreekt en welke gevolgen dit heeft voor de effectvoorspelling. Waar mogelijk zal worden aangegeven welke aanvullende onderzoeken deze leemten kunnen wegnemen.

7.5 Evaluatie en monitoring

In het MER zal worden aangegeven welke milieuaspecten tijdens en na het realiseren, gemonitord en geëvalueerd moeten worden, om na te gaan wat de daadwerkelijk optredende milieueffecten zijn. Eventueel kunnen op basis daarvan maatregelen getroffen worden.

8. Beleids- en juridisch kader

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de wet- en regelgeving die een rol speelt in deze m.e.r.-procedure. Het gaat daarbij zowel om het wettelijk kader op grond waarvan Dunea haar taken uitvoert (zoals de Drinkwaterwet), als het wettelijke kader voor de locatiekeuzes voor het Nieuwe Systeem (zoals ruimtelijke ordeningswetgeving, omgevingsrecht en natuurbeschermingswetgeving).

8.1 Drinkwaterwetgeving en -beleid

De verantwoordelijkheid van Dunea voor de leveringszekerheid van drinkwater in haar distributiegebied is geregeld in de volgende wetten en beleidsdocumenten.

Drinkwaterwet

Dunea is een drinkwaterbedrijf in de zin van artikel 1 van de Drinkwaterwet. Dunea draagt de zorg voor een voldoende en duurzame uitvoering van de openbare drinkwatervoorziening binnen haar distributiegebied. Dunea is wettelijk verplicht om zorg te dragen voor de leveringszekerheid: de continue levering van voldoende drinkwater, dat voldoet aan de daaraan gestelde wettelijke kwaliteitseisen. De Drinkwaterwet is mede gebaseerd op de Europese Drinkwaterrichtlijn.

Beleidsnota drinkwater (2021-2026)

De beleidsnota gaat in op de borging van de leveringszekerheid. Bij de locatiekeuze voor het Nieuwe Systeem houdt Dunea rekening met de beleidsnota.

Regionaal waterprogramma 2022-2027 (provincie Zuid-Holland)

In dit programma wordt ingegaan op de beleidsuitwerking van de drinkwatervoorziening met als belangrijkste maatregelen:

1. Ruimtelijk beschermen van huidige en toekomstige bronnen voor drinkwaterproductie en -infrastructuur.
2. Verkennen mogelijk toekomstige bronnen voor drinkwaterproductie en verlenen vergunningen.

8.2 Omgevingswetgeving en -beleid

Algemene wet bestuursrecht (Awb)

De Awb bevat algemene regels voor de totstandkoming van besluiten en de wijze van bezwaar en beroep. De grondslag en het toetsingskader van besluiten vinden inhoudelijk hun grondslag in bijzondere wetgeving (zoals bijvoorbeeld de Waterwet). De algemene regels uit de Awb spelen daarbij echter altijd een rol.

Wet algemene bepalingen omgevingsrecht (Wabo)

De Wabo regelt de (procedure voor aanvraag van de) omgevingsvergunning. De omgevingsvergunning is één geïntegreerde vergunning voor bouwen, wonen, monumenten, ruimte, natuur en milieu.

De omgevingsvergunning vormt daarmee de basis voor een groot deel van de vergunningen in het domein van de fysieke leefomgeving. De Wabo wordt ingetrokken bij de inwerkingtreding van de Omgevingswet.

Wet ruimtelijke ordening (Wro)

De Wet ruimtelijke ordening vormt één van de belangrijkste grondslagen voor de totstandkoming en uitvoering van ruimtelijk beleid in Nederland. De Wro verlangt van iedere gemeente en provincie en Rijk een structuurvisie, waarin het ruimtelijk ontwikkelingsbeeld wordt beschreven. Daaraan moet men tevens een uitvoeringsstrategie verbinden, die aangeeft op welke wijze men het beleid gaat realiseren. Daarnaast vormt de Wro de basis voor de juridische borging van de doorwerking van het beleid, in bestemmingsplannen, inpassingsplannen en beheersverordeningen. Dunea moet dit betrekken in de afweging van locatiekeuze. De Wet ruimtelijke ordening wordt ingetrokken bij de inwerkingtreding van de Omgevingswet.

Waterwet

De Waterwet regelt in hoofdzaak het beheer van watersystemen, waaronder waterkeringen, oppervlaktewater- en grondwaterlichamen. De Waterwet wordt ingetrokken bij de inwerkingtreding van de Omgevingswet.

Wet natuurbescherming

De Wet natuurbescherming bevat alle regels rondom de bescherming van natuurgebieden en soorten (waaronder de bescherming van Natura 2000-gebieden). In de wet zijn alle verplichtingen uit de Europese Vogelrichtlijn en Habitatrichtlijn verwerkt. De Wet natuurbescherming wordt ingetrokken bij de inwerkingtreding van de Omgevingswet.

Wet milieubeheer (Wm)

De Wet milieubeheer regelt een groot aantal verschillende aspecten ten aanzien van de bescherming van het milieu. Het legt in grote lijnen vast welke wettelijke instrumenten er zijn en welke uitgangspunten daarvoor gelden. De nadere uitwerking op detailniveau wordt geregeld via AmvB's en ministeriële regelingen. Ook de m.e.r.-plicht wordt geregeld in de Wm en in het Besluit-m.e.r., dat onder de Wm hangt. Verder regelt de Wm het omgaan met afvalstoffen en afvalwater. Op basis van de Wm stelt de minister jaarlijks een Landelijk Afvalbeheerplan vast (LAP). De Wet milieubeheer wordt gedeeltelijk ingetrokken bij de inwerkingtreding van de Omgevingswet.

Wet bodembescherming

De Wet bodembescherming stelt regels om de bodem te beschermen. De Wet bodembescherming wordt ingetrokken bij de inwerkingtreding van de Omgevingswet.

De Omgevingswet

De Rijksoverheid wil de uitgebreide omgevingswetgeving bundelen in de Omgevingswet. Hierin zullen de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht, de Wet Ruimtelijke Ordening, de Waterwet, de Wet natuurbescherming, de Wet Milieubeheer en de Wet bodembescherming opgaan. De Omgevingswet zal naar verwachting begin 2023 in werking treden. Dit betekent dat de vergunningverlening plaats vindt als de Omgevingswet van kracht is geworden.

Zuid-Hollandse Omgevingsverordening (ZHOV)

De Zuid-Hollandse omgevingsverordening bevat alle door de provincie Zuid-Holland vastgestelde regels voor activiteiten in de fysieke leefomgeving, met uitzondering van de regels voor kwaliteit van het grondwater met het oog op de waterwinning.

Provinciale milieuverordening Zuid-Holland 2021 (PMV)

De PMV bevat de vigerende regels voor de kwaliteit van het grondwater met het oog op de waterwinning. Dit gaat bijvoorbeeld over de vaststelling van grondwaterbeschermingsgebieden. De inhoud van de Provinciale milieuverordening zal met de inwerkingtreding van de Omgevingswet overgaan in de Zuid-Hollandse omgevingsverordening.

De Keuren van het Hoogheemraadschap Rijnland en het Hoogheemraadschap Delfland

Waterschappen hebben een verordende bevoegdheid ten aanzien van hun beheergebied. De regels die zij stellen over bijvoorbeeld de onttrekking van grondwater of ter bescherming van waterkeringen staan in de Keur. Wanneer de Omgevingswet in werking treedt, zullen de voornoemde regels worden opgenomen in een waterschapsverordening.

Corporate strategie Dunea
Postbus 756, 2700 AT Zoetermeer
088 347 50 00 | www.dunea.nl/NRD

Juni 2022

460908



0031



LIFE-Freshman project
(LIFE19 CCA/NL/001222)

Monitoring final report

Covering the project activities from 01/07/2020 to 30/06/2025

Date: September 2025

Authors

5.1.2e (KWR)

5.1.2e (Dunea)

5.1.2e (Dunea)

5.1.2e MSc (Aquaduin)

Quality assurance

5.1.2e (KWR)

5.1.2e (Dunea)

Table of contents

Table of contents	1
1. Introduction	3
1.1 The Freshman project.....	3
1.2 Purpose of this report	4
1.3 Contents of the report	4
2. Action C1: Implementation and operation of the FRESHMAN technique in Meijendel (demonstration project)	5
2.1 Hydrogeological setting	5
2.2 Pilot well field	6
2.3 Drilling, backfilling and developing wells	7
2.4 Hydrogeological experiments	9
2.5 Water quality analyses and data handling	9
2.6 Geophysical measurements	10
2.7 Hydraulic head measurements	12
3. Action C2: Implementation and operation of the FRESHMAN technique in Koksijde (replication project)	13
3.1 Change in replication site: from Avekapelle to Koksijde	13
3.2 Description of the new replication site.....	13
3.3 Permits and realization of the well field.....	15
3.4 Project planning and monitoring plan	17
3.5 Pumping tests	18
3.5.1 Performance of pumping tests.....	18
3.5.2 Interpretation of pumping tests	19
3.5.3 Model schematization and results	20
4. Action D1: Monitoring the effects on the climate problem targeted	25
4.1 Demonstration project (Meijendel, The Netherlands).....	25
4.1.1 Freshening by extracting brackish groundwater	25
4.1.2 Salinization by extracting deep fresh groundwater.....	27
4.1.3 Restoration of the salinity distribution by extracting brackish groundwater.....	28
4.1.4 Stabilization by simultaneously extracting fresh and brackish groundwater.....	28
4.1.5 Induced mixing and ion-exchange processes	29
4.1.6 Signature of extracted groundwater	32
4.1.7 Mobilization of fines	33
4.1.8 Hydraulic heads during groundwater extraction	33

4.1.9	Impact on nature values.....	34
4.2	Replication project (Koksijde, Belgium)	36
4.2.1	Salinity distribution in the phreatic aquifer and effects of pumping.....	36
4.2.2	Quality of the extracted water and of surface water.....	38
4.3	Treatment of brackish groundwater (demonstration project).....	42
4.3.1	Pumping regime and types of water extracted	42
4.3.2	Flux experiments	43
4.3.3	Recovery experiments	44
4.3.4	Long-term tests with the selected flux and recovery.....	45
4.3.5	Water quality	46
4.3.6	Cleaning in place	49
5	Conclusions and recommendations.....	50
5.1	Demonstration project	50
5.1.1	Conclusions	50
5.1.2	Recommendations	51
5.2	Replication project	52
5.2.1	Conclusions	52
5.2.2	Recommendations	52
6	References	53
APPENDIX A: Lithology and monitoring equipment in wells of the demonstration project .		55
APPENDIX B: Monitoring plan of the demonstration project		56
APPENDIX C: Geophysical borehole measurements in the demonstration project.....		57
APPENDIX D: Lithology and chemistry of sediment cores from the demonstration project .		58
APPENDIX E: Composition of hydrochemical endmembers in the demonstration project. .		60

1. Introduction

1.1 The Freshman project

Europe faces tremendous pressure on its coastal freshwater resources and coastal ecosystems (EEA, 2018; 2022; 2024). Overexploitation already is a major cause of freshwater loss and salinization of coastal freshwater resources (river deltas, lakes, aquifers), and climate change amplifies this problem through sea level rise and increasing periods of extreme drought. Creating freshwater buffers, reducing water demand in all the relevant sectors, and exploiting non-conventional sources of freshwater, such as brackish groundwater, is key to increasing water resilience of coastal zones, both in Europe and globally.

LIFE FRESHMAN demonstrates an innovative technique to make coastal freshwater management more robust: combined infiltration of fresh surface water into a suitable aquifer and extraction of brackish groundwater at greater depth. The stored freshwater can be used as a strategic freshwater storage, and the brackish groundwater extraction provides a barrier against saltwater intrusion and salinization of freshwater wells. The extracted brackish water is treated with reverse osmosis (RO), creating an additional drinking water source. The central objective of LIFE FRESHMAN is to prove this theoretical concept in practice (Figure 1.1).

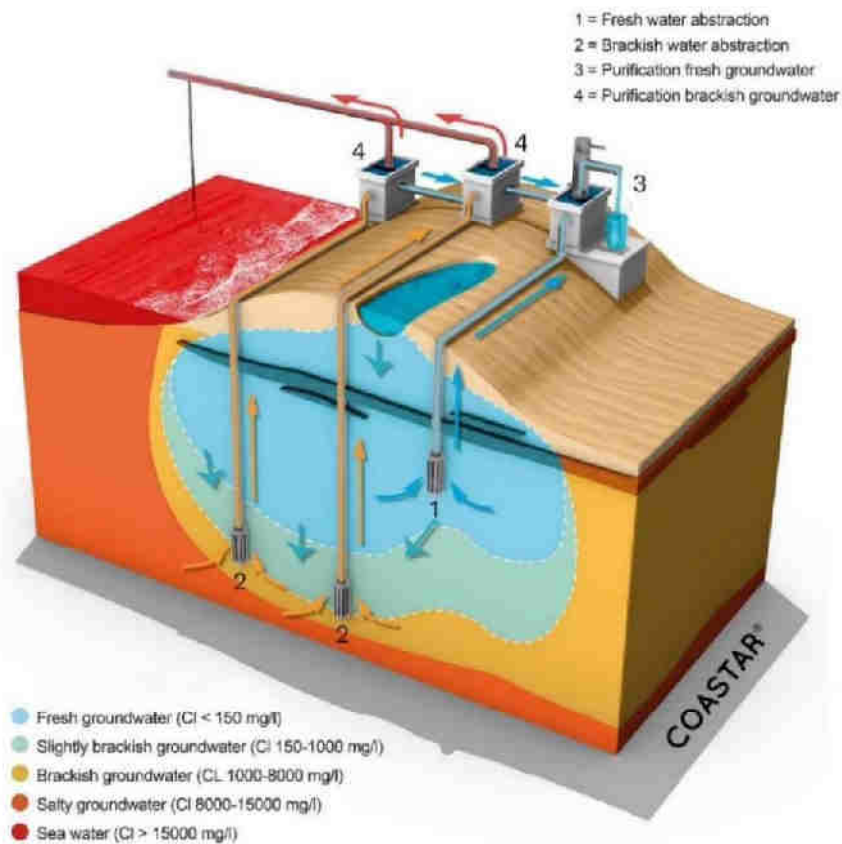


Figure 1.1: The Freshman concept: Extraction of deep fresh groundwater in the coastal dunes (1) leads to upconing of brackish groundwater and to salinization of the extraction well. Extraction of brackish groundwater (2) leads to downconing of the interface between fresh and brackish water, protecting the deep freshwater well from salinization and potentially increasing the volume of the freshwater lens. Simultaneous operation of both wells can stabilize the vertical position of the fresh-saline transition zone in the aquifer. The freshwater is purified to drinking water with conventional techniques (3) and the brackish water is converted to freshwater by reverse osmosis (RO) (4). The freshwater produced by the RO is mixed with the drinking water from step 3 (blue arrows). The concentrate produced by the RO is discharged to the sewer (pilot phase) or the North Sea (full scale well field; red arrows).

The LIFE FRESHMAN project consists of a demonstration project in The Netherlands and a replication project in Belgium. The demonstration project is located in the coastal dunes of Meijndel (The Hague), where a fresh groundwater lens is present, floating on deeper saline groundwater. This freshwater resource has been used for drinking water production for more than a century. This coastal dune area features characteristics typical for (sandy) coastal zones in the EU, i.e., with urbanisation and industrialisation leading to a high pressure on freshwater resources and to susceptibility for water scarcity and droughts. The replication project is performed at Koksijde (Flanders) in a typical coastal inland polder with small freshwater lenses in saline aquifers. The main objective of the demonstration and replication projects is to protect freshwater extraction wells from salinization by monitoring and controlling the dynamics of the fresh-saline transition zone in the respective aquifers during freshwater extraction (Figure 1.1). The second objective is to increase the volume of the freshwater lens by extracting brackish groundwater. The third objective, only applicable to the demonstration pilot, is to prove that brackish groundwater is a stable source of feedwater for desalination (reverse osmosis; RO) to produce drinking water without significant operational problems.

1.2 Purpose of this report

This is the final report of action D1: Monitoring the effects on the climate problem targeted. The first progress report covered the period from the start of the project (July 2020) until July 2023, including 17 months of practical operation of the demonstration pilot. The second progress report covered the period July 2023 until July 2024, i.e., a full year of additional experiments with the demonstration pilot. The current report covers the full practical operation of the demonstration pilot between January 2022 and April 2025. The replication pilot in Flanders was seriously delayed. However, all the necessary infrastructure for the replication has been installed in Q2 2024, and the experiments ran from September 2024 until mid-2025. The results of the replication pilot are also presented in this report.

According to the Freshman research proposal (2019), the purpose of the monitoring programme is to demonstrate that the FRESHMAN technique is an effective climate adaptation measure in coastal areas. The monitoring programme intends to show that the FRESHMAN approach:

- enlarges and safeguards the availability of fresh groundwater in (sandy) coastal areas;
- is able to create a strategic storage of fresh groundwater which can be successfully recovered in times of (extra) demand;
- has a limited hydrological impact on the environment, such that no significant negative impact on nature or infrastructure will occur;
- is easy to operate and automate.

1.3 Contents of the report

The monitoring programme of the demonstration pilot was developed to address the project objectives described in the previous section. According to the Freshman research proposal, the following items will be addressed by the monitoring programme:

1. the development of the volume of fresh groundwater, as indicated by the dynamics of the fresh-saline transition zone during extraction;
2. the quality of the various water types in the pilot: extracted fresh and brackish groundwater, and the water streams entering and leaving the purification hall (permeate and concentrate from RO);
3. the performance (e.g., freshwater recovery) and operational stability of the RO-membranes;
4. the hydrological effects in the vicinity of the extraction wells;
5. mapping of vegetation (species) and habitat types in the vicinity of the pilot location before, during and after the project, to assess the impact of brackish water extraction on the surrounding coastal dune ecosystems.

To understand the project monitoring activities, a clear view of the technical layout of the pilots is required. Therefore, this report starts with a description of the physical infrastructure of the pilots, pertaining to actions C1 (demonstration) and C2 (replication).

2. Action C1: Implementation and operation of the FRESHMAN technique in Meijendel (demonstration project)

2.1 Hydrogeological setting

The demonstration pilot is located in the Dutch coastal dunes at Dunea's primary production site Scheveningen, near The Hague (The Netherlands) (Figure 2.1). Here, the aquifer system consists of unconsolidated Pleistocene and Holocene sediments (Figure 2.2a,b), which is replenished by managed aquifer recharge (MAR) using purified river water (90%) in addition to natural rainfall (10%). The first 15 meters of the subsurface comprises the phreatic aquifer, with fine sands overlying two clay layers that form the first aquitard. Coarse sands form the second aquifer at depths between 25 and 40 meters below sea level (m-bsl). Both this aquifer and the phreatic aquifer contain freshwater (Figure 2.2c) and are used for regular drinking water production.

The underlying 5-10 meters thick aquitard consists of dense clays and fine sands. From approximately 50 to 105 m-bsl, a third aquifer is present with a few intermittent discontinuous clay layers. This aquifer contains freshwater to a depth of ca. 83 m-bsl and a brackish transition zone from ca. 83 to 105 m-bsl (Figure 2.2c). At greater depths, groundwater is saline. The bottom of the third aquifer is formed by an aquitard located between ca. 105 and 120 m-bsl, consisting of an alternation of clays and fine sands with shell fragments.

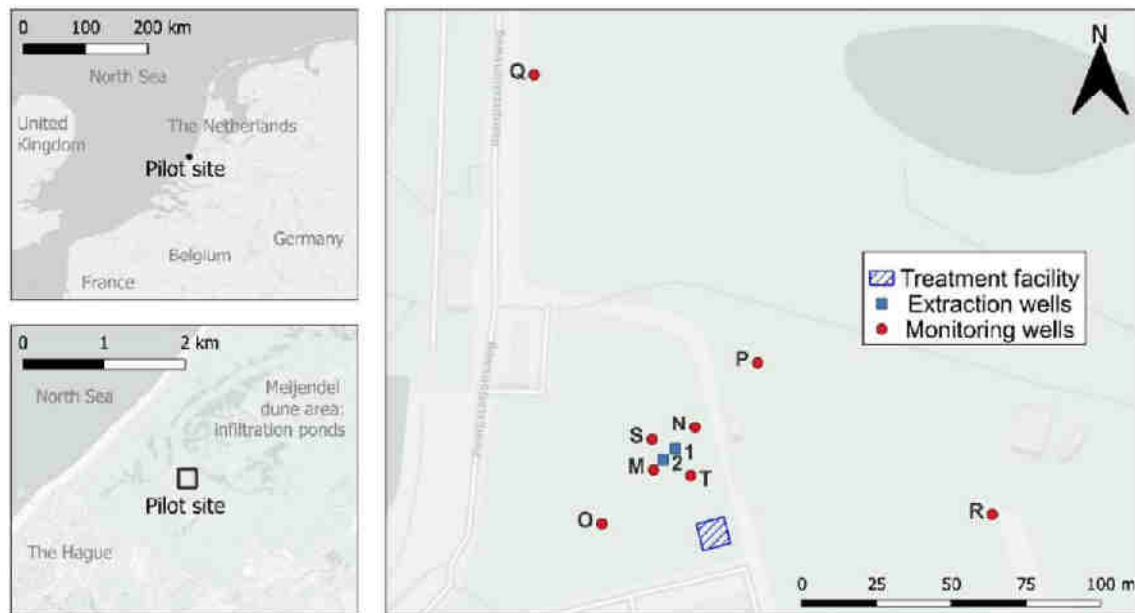


Figure 2.1: Overview of the well-field for the FRESHMAN demonstration pilot in Scheveningen. The numbers and letters given as labels correspond with the names of the wells given in Figure 2.2 and Table 2.1.

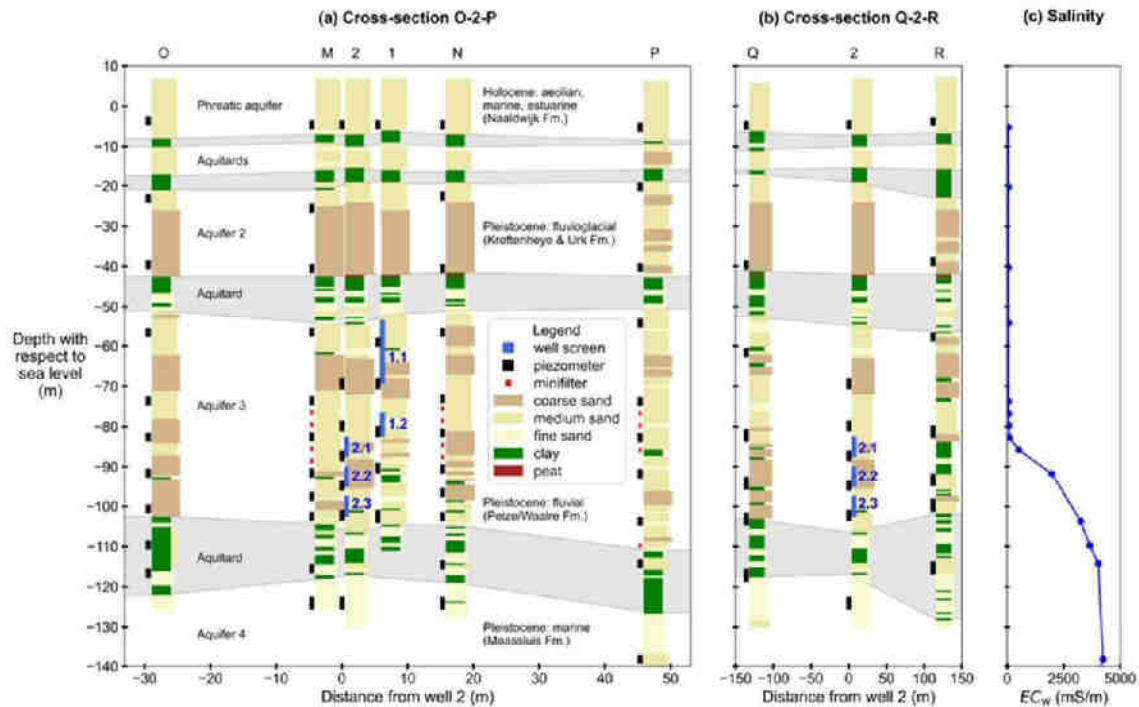


Figure 2.2: Hydrogeological setting at the pilot site for cross-sections O-2-P (a) and Q-2-R (b) (Figure 2.1), and the salinity profile observed in well P September 2021 (c). More detailed information about the monitoring equipment in each well is given in Table 2.1 and Appendix A.

2.2 Pilot well field

The well field that has been installed for the FRESHMAN demonstration pilot in Scheveningen is given in Figures 2.1 and 2.2. A summary of the information on each well is given in Table 2.1, and a more detailed overview is given in APPENDIX A.

Table 2.1: Overview of the monitoring equipment installed in each well.

	Extraction wells		Monitoring wells							
	1	2	M	N	O	P	Q	R	S	T
X-coordinate (RD)	81183	81179	81176	81190	81158	81211	81138	81289	81176	81188
Y-coordinate (RD)	459452	459448	459445	459459	459427	459480	459578	549428	459455	459443
Distance to extraction well 2 (m)	5.5	0	4.6	15.3	29.4	45.4	136.0	111.7	7.8	10.6
Elevation of land surface (m-asl [*])	6.95	6.95	6.96	6.93	6.88	6.25	5.84	7.71	6.91	7.07
End depth of well (m)	120	140	135	135	135	213	140	140	140	135
Extraction screens	2	3								
Piezometer screens	6	7	11	11	10	12	7	7	2	2
Minifilter screens			4	4		7				
LT-dataloggers	5	7	8	8	7	9	7	7		
LTC-dataloggers	3	2								
GEM-cable	2	2	1	1	1	1	1	1		
Crosshole-ERT cables			1	1					1	1
AH DTS – glass fibre cables	1	1	1	1						

*m-asl = meters above sea level

Two extraction wells have been installed (BR-001 and BR-002, abbreviated as 1 and 2 in Figures 2.1 and 2.2 and Table 2.1). Extraction well 1 is equipped with two well screens (1.1 and 1.2) in the fresh part of the third aquifer. Well screen 1.1 is located from 54 to 69 m-bsl with an unscreened section between 59.5 and 64 m-bsl to cover a local clay layer, while well screen 1.2 sits from 77 to 82 m-bsl. Extraction well 2 is equipped with three 4-meter-long partially penetrating well screens (2.1, 2.2 and 2.3) in the brackish transition zone from 83 to 105 m-bsl (Figure 2.2). The extraction screens have been backfilled with 1.0-1.6 mm sand and separated by 1-meter-thick clay seals. Each well screen is equipped

with a frequency-controlled pump (Grundfos) and connected to a treatment facility through separate pipelines for desalination by reverse osmosis (Figure 2.1). Each pipeline is equipped with flow sensors (Endress+Hauser Proline Promag W 400 HART) to continuously monitor extraction rates. Sensors for electrical conductivity (Endress+Hauser Memosens CLS82D) are also installed on each pipeline, which proved to be a suitable proxy for the salinity of extracted groundwater (Figure 2.3). The use of multiple individual well screens enables a targeted manipulation of the salinity distribution within the aquifer, and a more flexible selection of the extracted groundwater salinity.

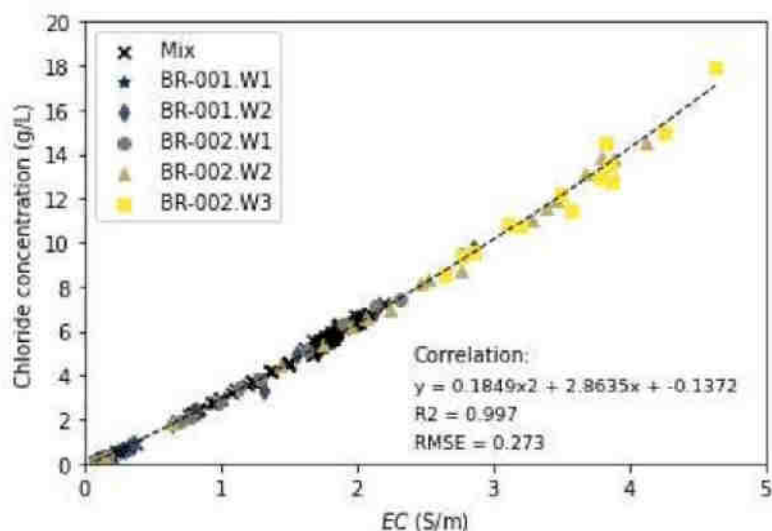


Figure 2.3: Correlation between EC_w and the concentration of chloride measured in the extracted groundwater.

The two extraction wells are surrounded by eight monitoring wells (WP FM – WP FT, abbreviated as M – T in Figures 2.1 and 2.2 and Table 2.1). Both the extraction wells and the monitoring wells are equipped with several monitoring techniques to monitor qualitative and quantitative changes in the groundwater (Table 2.1, Figure 2.2 and APPENDICES A and B). Wells 1, 2, and M – R are equipped with multiple piezometers with 1- to 2-meter-long screens at different depths for multi-level sampling. The piezometers were installed with internal diameters of 36-57 mm, except for the deepest piezometer of each well, which was installed with a diameter of 68 mm to allow for periodic geophysical logging (APPENDIX C). Additionally, GEM-cables were installed in these wells to easily check for changes in the general vertical distribution of fresh, brackish and saline groundwater, to enable active steering of the pilot operation. Four additional monitoring screens (0.3 m long, 36 mm in diameter) were installed in wells M, N and P for more specific water quality analyses. These ‘minifilters’ were fitted with 4-mm-diameter risers, which limited the potential for their development after installation and flushing prior to sampling. Monitoring wells S and T only include two piezometers and the innovative monitoring technique ‘Crosshole – ERT’ (electrical resistivity tomography), which is also installed in wells M and N, to monitor changes in the salinity distribution around the extraction wells in quasi-3D. Wells 1, 2, M and N include a second innovative monitoring technique called ‘AH-DTS’ (activated heating – distributed temperature sensing) to monitor groundwater flow. The results of the innovative monitoring techniques Crosshole-ERT and AH-DTS are reported in separate deliverables (Deltares, 2023; 2025).

2.3 Drilling, backfilling and developing wells

The wells were installed between May and August 2021 by uncased rotary circulation drilling to accommodate the relatively large borehole diameters (500-1000 mm) and depths (120-140 m) required for the desired monitoring equipment. While drilling, the borehole diameters were tapered to 400-500 mm. First, an exploratory well was drilled in February 2020 to a depth of 204 m-bsl (well P; Figure 2.1). Based on monthly monitoring results from this well (e.g., Figure 2.2c), the rest of the well field was installed about 1.5 years later.

For drilling, aboveground containers were filled with 27 m³ drinking water as initial drilling fluid. The drilling fluid mixed with the drilled sediments and admixed groundwater and was recirculated through a 127-mm-diameter drilling string from the borehole back to the containers, allowing suspended solids to settle and resulting in slight salinization of the drilling fluid over time. The sediment was regularly removed from the container. Borehole stability was ensured by maintaining a borehole pressure of about 1 meter above the land surface, with drinking water being added to the containers to compensate for the loss of drilling fluid to the aquifer. In wells I and P, sediment cores were taken for detailed lithological and chemical characterization of the sediment material (APPENDIX D).

After well completion, the relatively fresh drilling fluid intruded into the more saline deeper parts of the subsurface, causing the bulk electrical conductivity (EC_{bulk}) observed right after well completion to be lower than that recorded in later borehole logs (Figure 2.4a). The bulk electrical conductivity measured in the open borehole within the shallower fresh groundwater range (40-80 m-bsl) was only slightly elevated with respect to later measurements in piezometers, due to the limited salinization of the recirculating drilling fluid while drilling at these depths as well as the formation of a firm borehole skin that prevented the later intrusion of more saline drilling fluid at these depths. Consequently, well development predominantly resulted in a strong increase of the electrical conductivity at greater depths, and only a minimal decrease at the shallower depths. This restoration was particularly evident at the depths of piezometer screens, which were more easily developed than minifilters (Figure 2.4a,b). The increase of the bulk electrical conductivity was particularly slow between 117 and 122 m-bsl (Figure 2.4a). In this transect, the relatively fresh drilling fluid is less likely to intrude into the less permeable deposits but can get trapped in the clay seals upon backfilling the well (Figure 2.4a-c). Overall, the electrical conductivity values indicated that well development largely restored the original relatively sharp transition from fresh to brackish and saline groundwater at a depth of 83 m-bsl (Figure 2.4a).

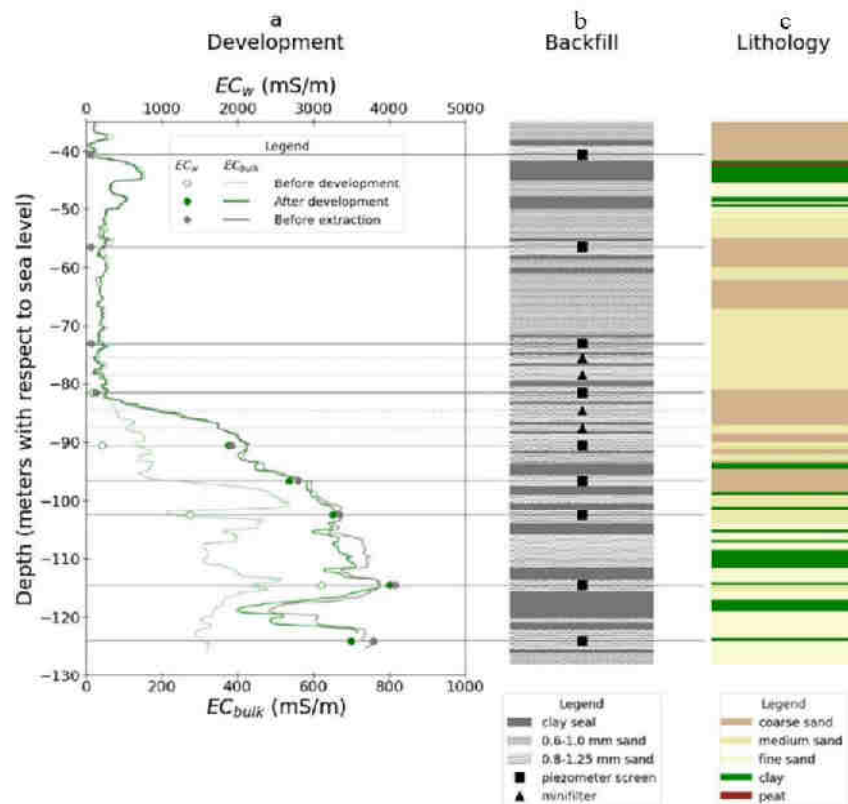


Figure 2.4: The electrical conductivity measured in sampled groundwater (EC_w) and in the geophysical borehole logs (EC_{bulk}) from monitoring well N before and after well development and right before the extraction (a). The backfill of the borehole (b) and the lithological profile (c) are given as a reference. Horizontal lines indicate the depths of piezometer screens (solid) and minifilters (dotted).

After installation, pumping tests were performed to characterize hydrogeological properties and to determine the expected effects of the planned extraction that had to be reported to the permitting authority. These pumping tests have already been reported by Van Dooren and Schout (2023).

2.4 Hydrogeological experiments

Once the system was tested and the permit was granted, the pilot commenced on the 31st of January 2022 with the continuous extraction of brackish groundwater (Figure 2.5). This continued until the 31st of July 2023, when an idle phase followed. In November 2023, an operational calamity of Dunca's MAR system was simulated for the first time by extracting deep fresh groundwater for four months without extracting brackish groundwater. In March 2024, the brackish groundwater extraction was activated again, and fresh and brackish groundwater were extracted simultaneously for approximately one month. In April 2024, the fresh groundwater extraction was stopped but the brackish groundwater extraction continued until November 2024. Then, a second operational calamity was simulated by extracting deep fresh groundwater for four months again, but this time with concurrent extraction of brackish groundwater in order to stabilize the interface between deep fresh and brackish groundwater. The demonstration pilot ended in March 2025, but the extraction of brackish groundwater continued to feed the reverse osmosis system for additional treatment experiments.

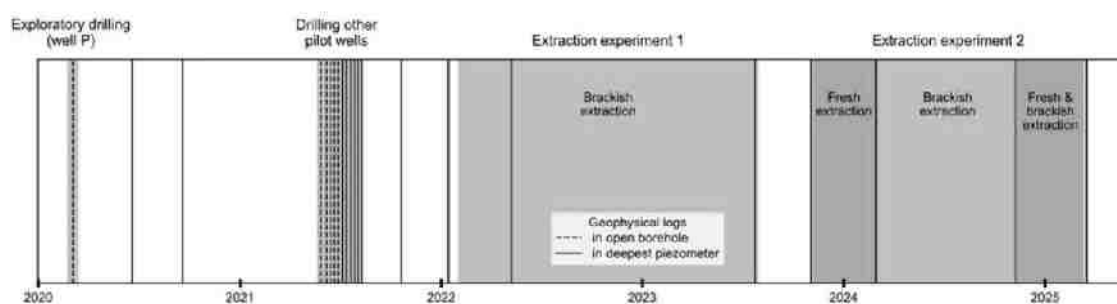


Figure 2.5: Timeline of well installation, groundwater extraction experiments, and geophysical borehole logging (vertical lines).

2.5 Water quality analyses and data handling

Water quality has been analysed multiple times throughout the pilot (APPENDIX B). Before sampling piezometers, 3 times the volume of the riser and screen was purged. A submersible pump was required to sample most piezometers due to low hydraulic heads (<8 m). The sampling flow rate was kept below 500 mL/min. In the field, a flow-through cell was used to determine the electrical conductivity (WTW Cond 3110), pH (WTW SenTix 41 or 81), temperature (TLC 1598, Testo 104, Testo 106 or TFX 410), and dissolved oxygen (Hach HQ30D). For additional lab analyses, the water was sampled without filtration and directly cooled to $5 \pm 3^\circ\text{C}$.

Laboratory analyses included electrical conductivity (500 mL, WTW Cond 7310), chloride concentration (100 mL, Thermo Fisher Gallery plus discrete analyser), and turbidity (500 mL, Hach TU5200). More detailed water quality analyses were conducted on selected samples only. Alkalinity was determined by titration (500 mL, Metrohm 848 Titrino plus). The concentrations of ammonium, silicate, orthophosphate, and sulphate were determined with a spectrophotometer (100 mL, Thermo Fisher Gallery plus discrete analyser). For total metal concentrations, 100 mL samples were acidified with 0.55 mL 22% nitric acid ($\text{pH} \leq 2$) and subsequently analysed using ICP-MS (Thermo Fisher iCAP RQ ICP-MS). Dissolved organic carbon (DOC) was measured through a total organic carbon analyser (Shimadzu TOC-LCPH) after acidifying 250 mL samples with 1 mL of sulfuric acid (2 mol/L). Samples with high salinities required dilution prior to analysis of sulphate, DOC and metals.

Salinity was determined from 788 samples, and more detailed analyses were conducted on 451 of them. Ionic balance errors greater than 15% occurred in 13 out of 451 samples, primarily associated with inconsistent concentrations of sodium and magnesium in brackish and saline groundwater. In addition, one sample obtained on 28 November 2023 and 14 samples obtained between 24 and 30 April 2024

were concluded to have been insufficiently acidified after possible contact with air. All analyses of these 28 samples (~6%) were therefore excluded from further analysis.

Conservative mixing between fresh and saline groundwater was the primary process considered for observed water quality changes. For this, chloride transport was assumed to be conservative. Samples taken from piezometers 5 (ca. 73 m-bsl) and 17 (ca. 138 m-bsl) of the exploratory well (P) at the end of the brackish groundwater extraction stage were selected to represent the fresh and saline endmembers (APPENDIX E), with corresponding chloride concentrations of 1.29 mmol/L (Cl_{fw}) and 467 mmol/L (Cl_{sw}), respectively. This well had most time to equilibrate after installation and the salinity at these piezometer screens remained fairly constant during groundwater extraction. Based on most major ions (chloride, sulphate, sodium, calcium, magnesium and potassium), the water quality of the selected saline endmember is representative for diluted seawater.

Deviations in parameter concentrations relative to conservative mixing between the fresh and saline endmembers were attributed to other hydrogeochemical processes. For any given sample, the deviation of the concentration of a specific parameter relative to conservative freshwater-saltwater mixing (Δm) was determined as (Appelo and Postma 2004; Sola and Vallejos 2022):

$$\Delta m = m_{\text{sample}} - m_{\text{mix}} = m_{\text{sample}} - \left(m_{\text{sw}} - (m_{\text{sw}} - m_{\text{fw}}) \frac{Cl_{\text{sw}} - Cl_{\text{sample}}}{Cl_{\text{sw}} - Cl_{\text{fw}}} \right) \quad \text{Eq. 1}$$

where Cl_{sample} is the chloride concentration in the sample and m_{mix} the expected concentration of parameter m based on conservative mixing. The actual concentrations of parameter m in the sample, the freshwater endmember and the saltwater endmember are denoted as m_{sample} , m_{fw} , and m_{sw} , respectively. All concentrations are expressed in mmol/L. A negative Δm indicates a deficit (i.e., removal from solution), while a positive Δm indicates a surplus (i.e., mobilization) of the parameter relative to the concentration expected from conservative mixing. To compare deviations of parameters with different concentrations, the relative deviation (Δm_{rel}) was used:

$$\Delta m_{\text{rel}} = \frac{\Delta m}{m_{\text{mix}}} \quad \text{Eq. 2}$$

The relative contribution of a parameter to the total composition of a sample (f_m) was characterized by its concentration (m_{sample}) in mmol/L relative to the total concentration of measured cations and anions in mmol/L:

$$f_m = \frac{m_{\text{sample}}}{\sum \text{cations} + \sum \text{anions}} \quad \text{Eq. 3}$$

2.6 Geophysical measurements

After each drilling, the natural gamma radiation and bulk electrical conductivity (EC_{bulk}) of the surrounding sediment and groundwater were logged from the open borehole (9512 Slim hole induction tool, Century) to infer the lithology and salinity distribution and to determine suitable placement of piezometer and well screens (Figure 2.5 and APPENDIX C). The deepest piezometers of wells 1, 2, M and N were also logged both before and immediately after well development to determine the impact of well development on the salinity distribution (Figure 2.5).

During the field pilot, both geophysical borehole measurements and resistivity measurements with GEM-cables were conducted to complement the salinity data obtained from water quality analyses (APPENDIX B). The geophysical borehole measurements were conducted in all pilot wells just before extraction started, again after 3.5 and 18 months of the first extraction experiment, and at the end of the three phases of the second extraction experiment to determine the effect of groundwater extraction on the salinity distribution (Figure 2.5 and APPENDIX C).

Resistivity measurements with GEM-cables were conducted at least once every two weeks. The measured resistivity (ρ_{GEM} in $\Omega \text{ m}$) was corrected from the groundwater temperature (T_{gw} in $^{\circ}\text{C}$) to a

reference temperature ($T_{ref} = 20^{\circ}\text{C}$) using a temperature constant (α_T) of 0.02, and converted to bulk electrical conductivity (EC_{bulk} in S/m) following Hayashi (2004):

$$EC_{bulk} = \frac{1}{\rho_{GEM}(1 + \alpha(T_{pw} - T_{ref}))} \quad \text{Eq. 4}$$

Groundwater temperature was assumed to be constant at 12°C . Several electrode pairs of the GEM-cables were positioned adjacent to piezometer screens, allowing the bulk electrical conductivity (EC_{bulk}) to be compared with the electrical conductivity of simultaneously sampled groundwater (EC_w). These pair-specific relationships (formation factors) were subsequently used to estimate groundwater electrical conductivity from resistivity data at times without available water quality analyses. The average correlation determined for electrode pairs within 0.25 m of piezometer screen centers (Figure 2.6) was used for electrode pairs lacking nearby piezometers or having only a single corresponding water quality sample. Electrode pairs that are positioned deeper (red) or shallower (blue) belong to the extraction wells and show significant scatter due to rapid changes in the salinity distribution upon extraction and are therefore omitted from the correlation used. As no clear relationship between the formation factor and the material in the aquifer or borehole was found, this is the most accurate way to determine the groundwater electrical conductivity for all electrode pairs of the GEM-cables. With the resulting calculated time series of groundwater electrical conductivity at all electrode pairs, changes in groundwater salinity could be determined with a higher temporal resolution compared to the water quality analyses or geophysical borehole measurements.

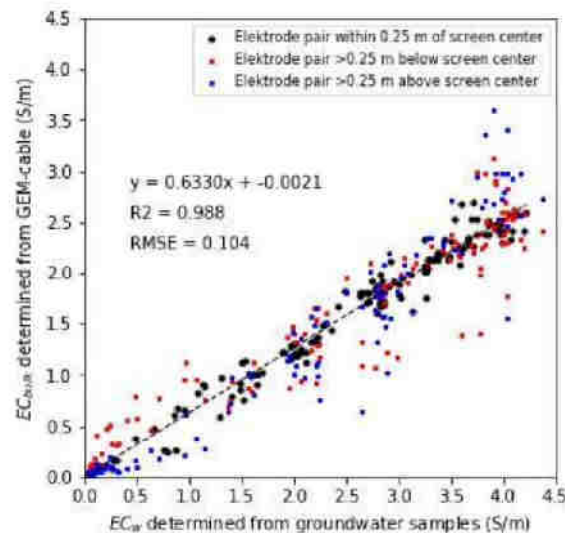


Figure 2.6: Correlation between the electrical conductivity determined from groundwater samples (EC_w) and from resistivity measurements (EC_{bulk}) with electrode pairs of GEM-cables at corresponding depths. The fit shown only considers the electrode pairs within 0.25m of a piezometer screen centre (black dots).

In total, 24,869 resistivity measurements were conducted since completion of the well field, using two Chauvin Arnoux C.A 6460 Earth Testers ($0.5 - 2000 \Omega$), modified by Dunca to enable selection among 13 different electrode configurations. A low battery value during eight measurement rounds potentially affected 936 recordings. In addition, 88 measurements were reported as negative or zero, 59 measurements yielded implausible values of 1 or 2, and 92 individual measurements exhibited abrupt changes by a factor of at least 1.5 compared to the preceding and subsequent round for the same electrode pair, which could not be related to operational changes. These anomalies were potentially due to manual transcription errors or improper connection of the GEM-cable to the device. These 1175 measurements (~5%) were therefore excluded from further analysis.

2.7 Hydraulic head measurements

Data-loggers for water level and temperature ('LT-loggers') were installed in several piezometers such that the hydraulic heads are monitored in all aquifers at all wells (APPENDIX A). The measured hydraulic heads are logged every one or two minutes and data is saved when head changes of >1 cm occur (APPENDIX B). Hand measurements of hydraulic heads have been conducted several times to calibrate the logged data. Five loggers with the additional function of electrical conductivity logging ('LTC-loggers') are installed in the extraction wells in piezometer screens that are positioned at depths greater than the depth of extraction screen 1.1 to monitor upconing of more saline groundwater. The measured conductivity is logged every 5 minutes and data is saved when head changes of >1 cm occur (APPENDIX B).

3. Action C2: Implementation and operation of the FRESHMAN technique in Koksijde (replication project)

3.1 Change in replication site: from Avekapelle to Koksijde

A conditional permit for the initial replication project in Avekapelle was granted on 17 May 2023 to De Watergroep and Aquaduin. Despite consultancy of several partners and extensive discussions prior to filing the permit, two critical conditions remained under discussion:

- If the monitoring and measurements show that the project has a negative impact on the water quality of the ambient water course (Kromme Gracht), causing inconvenience to users (including farmers), appropriate measures must be taken so that sufficient water with suitable quality is still available.
- No (additional) pollution should be introduced into the groundwater or polder system. If it is suspected that this criterion is not met, the test shall be suspended until it can be completely ruled out.

The results of hydrogeological modelling indicated that during the test and certainly at the beginning of the extraction, water with a high salinity (up to 5700 $\mu\text{S}/\text{cm}$) would be discharged downstream in the Kromme Gracht. The formulation in the permit introduced the pertinent and serious risk that local stakeholders could request a suspension of the test based on measurement results at any time during the testing period, even at start-up. Therefore, the operational time of the pilot became uncertain due to juridical/administrative discussions. This was considered to be an unacceptable risk for pilot investment and operation. This argument was raised repeatedly to the concerned stakeholders and the permit authority, but unfortunately proved to be in vain.

An additional condition in the permit was that after the pilot test the landscape needed to be restored. Practically, this implied that the infiltration ditch (10-meter wide, 4-meter depth) needed to be filled up after the pilot to the actual situation. The original idea of the replication, i.e., investments in preparation of the replication test could be implemented as part of the full-scale scheme, thus was no longer valid. The condition to restore the landscape leads to direct additional costs for restoration and potential re-excavation works for a full-scale project.

Based on these unexpected developments, De Watergroep and Aquaduin considered the risk of failure of the replication project to be unacceptable. Meanwhile De Watergroep and Aquaduin developed additional projects in this region based on water reuse, treatment of surface water and seawater. One of these projects is based on groundwater extraction at a former ammunition depot near Koksijde, situated in a polder close to the coast. An economical evaluation showed that groundwater extraction at the ammunition depot with subsequent treatment at Water Production Centre (WPC) Torreele is feasible as both investment and operational costs are low.

3.2 Description of the new replication site

In 2020 Aquaduin performed a pumping test at the old ammunition site at Koksijde to determine the hydraulic parameters of the phreatic aquifer (GEOLOAB 2020 and Lebbe 2020). At this site, the phreatic aquifer consists of sand on top of a Tertiary clay layer. Along the site, a drainage canal (Langgeleed Canal) that drains the dunes north of it, flows from west to east over a length of 600 m (Figure 3.1). The site is situated close to WPC Torreele, where wastewater effluent is treated to be used as a source for MAR in the coastal dunes (Van Houtte and Verbauwhede 2021), and where the extracted water from the aquifer can Figure 3.1).

Implementing groundwater extraction from the land south of the Langgeleed Canal (Figure 3.1) can be considered as riverbank filtration (RBF). In this way part of the freshwater that is drained from the dunes could be 'harvested' instead of being lost to the sea. However, borehole logging (EM39-measurement) performed at the site shows that brackish to salt water is present at the bottom of the phreatic aquifer (Figure 3.2), which could threaten the abstraction of fresh groundwater from the aquifer.



Figure 3.1: Overview of the new replication site (Koksijde): Potential zone for groundwater extraction, drainage canal of fresh dune water (Langeleed Canal) and location of the pumping test performed in 2020.

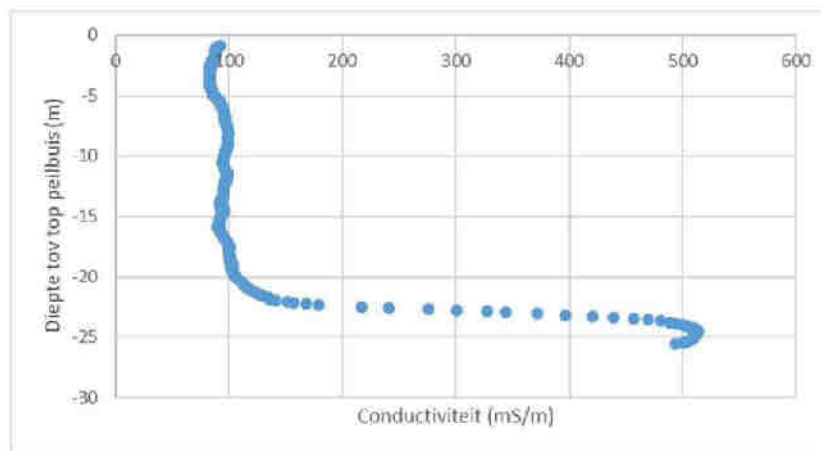


Figure 3.2: Vertical profile of conductivity in the phreatic aquifer at the old ammunition site in Koksijde.

The presence of brackish to salt water at the bottom of the phreatic aquifer poses a threat to potential fresh groundwater extraction. Further investigation is needed how to control the upconing of brackish water and this research was chosen as the new replication project for the LIFE FRESHMAN project, in which both Aquaduin and De Watergroep will participate. It fits within the concept of LIFE FRESHMAN as the phreatic fresh groundwater lens at the site can presumably be maintained and exploited by a combination of riverbank filtration (push) and brackish groundwater extraction (pull).

The research proposed in the new replication project involves pumping tests both at the upper and lower part of the phreatic aquifer and a modelling of the future groundwater extraction. In this way the effect of the brackish groundwater present at the lower part of the aquifer on the freshwater extraction in the upper part of the aquifer can be investigated and potentially mitigated. The objective of the new replication project is to make the best choice for the configuration of the extraction wells to avoid extraction of brackish water on the long term. In other words, to maintain a stable source of drinking water, in spite of the potential threat of salinization.

3.3 Permits and realization of the well field

For the replication pilot, an extra pumping well in the lower (brackish) part of the aquifer (PPd) and three additional monitoring wells (PB5, PB6o/d and PB7) were found to be necessary, see Figure 3.3. De Watergroep was assigned to perform the drillings and the mathematical modelling. Aquaduin is responsible for the permits, performing the pumping tests and the monitoring.



Figure 3.3: Existing (green dots) and new (blue dots) wells at the replication site.

The permit for the first pumping test was granted by the Municipality of Koksijde in April 2024. Based on price comparison (multiple quotations), the pumping test was awarded to GEOLAB and the EM39-measurements to the Geology Department of the University of Ghent (decision of the Board of Directors of Aquaduin, May 29th, 2024). In June 2024, De Watergroep installed the pumping well and monitoring wells as agreed in the program (Figures 3.4 and 3.5). The well scheme of the deep pumping well PPd is added in Figure 3.6. As this well is important for the replication test, a short test pumping was conducted for approximately one hour. Pumping was conducted at an average of 16,7 m³/h and this resulted in a reduction of the level in the well of 4,7 m. The specific well capacity is then 3,6 m³/h. A report was produced on the installation of the well field and its operational functioning, based on short pumping tests (Vandenbohede, 2024). This is the formal SAT report for the technical infrastructure of the replication site.



Figure 3.4: Four new wells installed by De Watergroep in June 2024 (PPd is an extraction well for brackish groundwater; PB5-7 are monitoring wells).



Figure 3.5: Drilling of monitoring well PB6o/d.

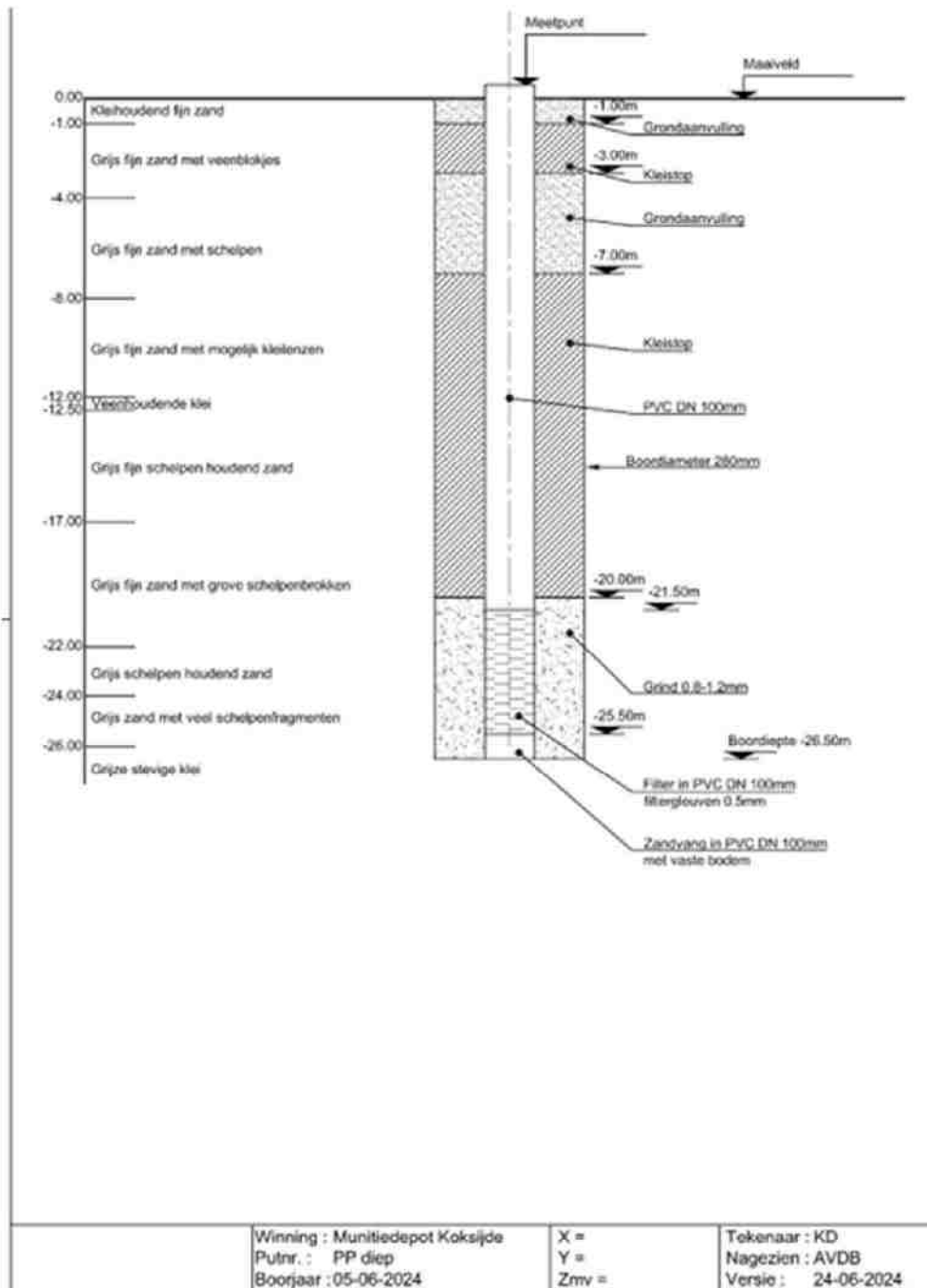


Figure 3.6: Well scheme of deep pumping well PPd.

3.4 Project planning and monitoring plan

The scheme for the pumping tests and monitoring plan was proposed to the Steering Group of LIFE FRESHMAN and endorsed. Prior to the start of the pumping test electrical resistivity tests were performed in monitoring wells PB1 and PB7. The first pumping test took place in September 2024. The experimental tests ran for four months and were terminated in March 2025 (see Table 3.1). For water quality analyses, existing groundwater packages were used based on an official tender performed in 2023.

Table 3.1: Planning of the experiments of the replication project.

External Lab	Prior to pumping test	First pumping test				Rest period 1	Second pumping test				Rest period 2	Third pumping test				After pumping test
		Start PP	Midway PP	End PP	LL		Start PFD	Midway PFD	End PFD	LL		Start PPS/PFD	Midway PPS/PFD	End PPS/PFD	LL	
GRC	Set of parameters important for control of groundwater	1		2		1		2		1		2				
VL 2.4.1	Set of parameters essential for extraction permit of groundwater	1	1			1	1			2						
GROEF B	Full set of parameters for compliance monitoring of drinking water											2				
PFAS	PFAS parameters according to drinking water guidelines			1	1			1	1			2	1			
PST	Selection of pesticides			1	1			1	1			2	1			
VEW	List of parameters for which VMM sets additional standards											2				
PP	Upper pumping well			groundwater												
PFD	Lower pumping well			groundwater												
LL	Langgeleed Canal			surface water												
Operator			First pumping test					Second pumping test					Third pumping test			
	Groundwater level		Online					Online					Online			
Temperature	Set of parameters important for control of groundwater		Daily (working days)					Daily (working days)					Daily (working days)			
Conductivity	Set of parameters essential for extraction permit of groundwater		Daily (working days)					Daily (working days)					Daily (working days)			
pH	Full set of parameters for compliance monitoring of drinking water		Daily (working days)					Daily (working days)					Daily (working days)			
External partner			First pumping test					Second pumping test					Third pumping test			
EM39	Electrical resistivity in PB1 and PB7		PB1, PB7					PB1					PB1, PB7			
PP1	piezometer near pumping test															
PP2	piezometer 600 m to the east															

3.5 Pumping tests

3.5.1 Performance of pumping tests

Three pumping tests were conducted, each involving pumping for six to seven weeks followed by a two-week period without any extraction. During the first pumping test, pumping was performed on the shallow pumping well PPO with a filter in the sand package above the clay layer. During the second pumping test, pumping was done on the deep pumping well PPD with filter in the package below the clay layer. During the final pumping test, pumping was performed with both pumping wells PPO and PPD. Table 3.2 shows in detail the pumping schedule.

During each pumping test, the following measurements were performed:

- the water level in the pumping well (or pumping wells during test 3) by means of a pressure probe. These measurements were corrected for changing air pressure and converted to a reduction based on a water level measured before the start of pumping;
- the water level in the monitoring wells by means of pressure probes. The pumping well not used during trials 1 and 2 is also used as a monitoring well. These measurements were corrected for changing air pressure and converted to a reduction based on a water level measured before the start of pumping;
- an EM39 measurement after each pumping test in PB1 and after pumping test 3 also in PB7;
- the conductivity, pH and temperature of the pumped water;
- the conductivity, pH and temperature of the water in the Langgeleed Canal;
- the water level of the Langgeleed Canal;
- a number of water samples were taken.

Table 3.2: Scheme of the pumping test.

	Phase	From	Until	Period (d)	Flow (m ³ /h)
Pumping test 1 PPO	Pumping phase	11/9/2024 11:20	23/10/2024 9:15	41.91	7.783
	Resting phase	23/10/2024 9:15	5/11/2024 11:15	13.08	
Pumping test 2 PPd	Pumping phase	5/11/2024 11:15	18/12/2024 8:42	42.89	7.787
	Resting phase	18/12/2024 8:42	17/01/2025 13:16	30.19	
Pumping test 3 PPO and PPd	Pumping phase	17/01/2025 13:16	4/03/2025 13:22	46.00	7.304 (PPO) 7.639 (PPd)
	End of test	4/03/2025 13:22			

3.5.2 Interpretation of pumping tests

The interpretation of all pumping tests was performed by Vandenhohede (2025). Measured rises and drawdowns of groundwater levels are described and related to precipitation and water levels in the Langeleed Canal as both may influence groundwater dynamics, especially in the longer term. Precipitation is measured at a meteorological station Koksijde ALMC located in the dunes at a distance of about 2 km from the site 'Munitions Depot' and operated by the Flemish Agency of Environment (VMM). The water level data of the Langeleed Canal are from manual measurements near the site combined with logging data from a measuring point located 1 km downstream the pumping test site. Measurements from this monitoring point were available as of November 18th, 2024.

The data from the pumping test were interpreted in 2 ways:

- the **Multi-Layer Unsteady** state (MLU) is used to derive hydraulic parameters based on pumping test data (Hemker and Randall 2013). As MLU assumes laterally homogeneous layers and external influences (coming from precipitation surplus or from surface water) are not considered, MLU is not suitable to interpret the entire experiment and only the first 2.000 hours were used for interpretation;
- **MODFLOW-NWT** (Niswonger et al. 2011), a three-dimensional finite-difference groundwater flow model developed by the [U.S. Geological Survey \(USGS\)](#), was used to calculate the groundwater flow in a phreatic system based on the data derived during the pumping test. The analysis of inflow areas and residence times in the saturated zone is done with **MODPATH** (Pollock 2012).

Density is not considered for calculating groundwater flow and head values as the density contrast in this phreatic aquifer is negligible. The influence of precipitation and variation of the level of the Langeleed was monitored in well PB7, situated 650 meters east of the pumping test. PB7 has a filter at the base of the groundwater reservoir which means that potential influences are attenuated (Figure 3.7).

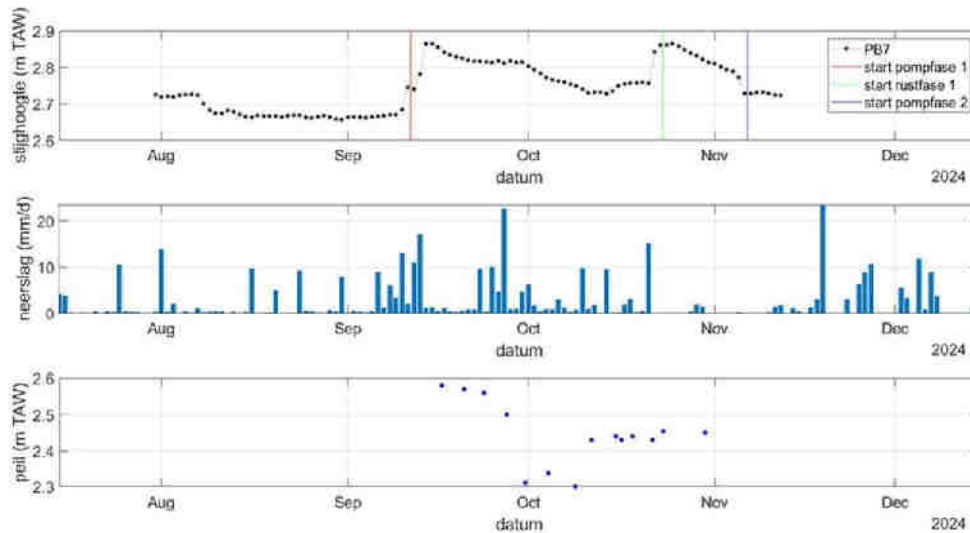


Figure 3.7: Measured head in PB7 (top), daily precipitation at Koksijde (middle), and the Langgeleed water level (bottom).

3.5.3 Model schematization and results

The groundwater reservoir is divided into 7 aquifer layers, each with a resistance layer in between. The thickness of these resistance layers is 0 m, but a resistance is associated with each one that accounts for the vertical flow and exchange of water. The exception is the clay layer present between 12 and 12.5 below ground level; this layer has a thickness of 0.5 m and a resistivity. The first aquifer layer represents the water table. Layers 2, 3, 4 and 5 are the sandy layers above the clay layer, layers 6 and 7 are the sandy layers below the clay layer. Layers 5 and 7 are the pumped layers. Monitoring wells PB3, PB4 and PB6.2 are located in layer 4; PB2, PB5 and PB6.4 in layer 3; PB1, PB6.1, PB7 and PPO in layer 7. With MLU, graphs are produced comparing calculated and observed drawdowns for the first 2,000 minutes (Figure 3.8).

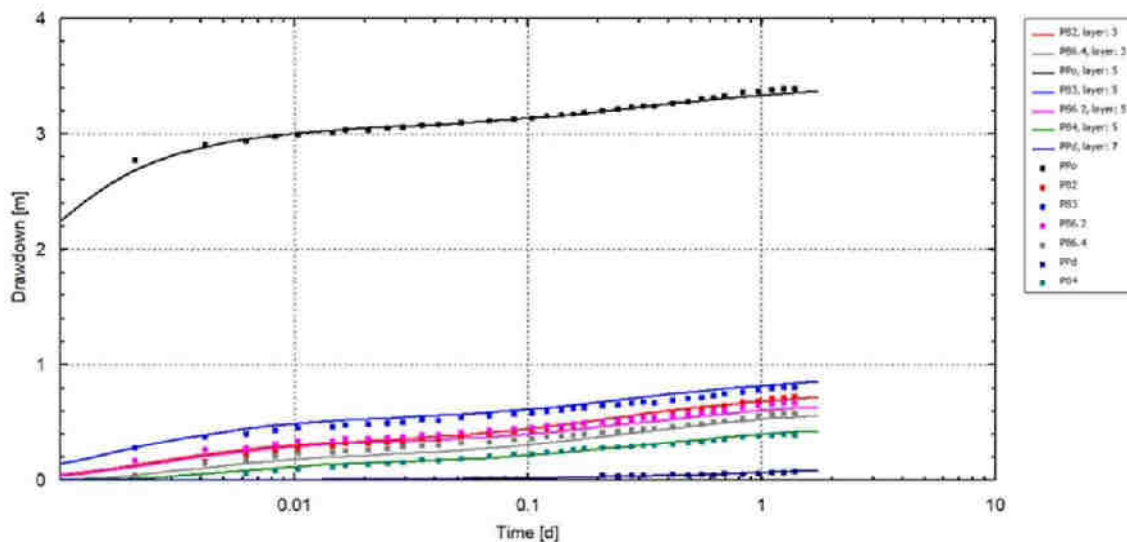


Figure 3.8: Comparison between observed (points) and calculated (solid line) reductions in the pumping well and the different monitoring wells for the first pumping test.

For the MODFLOW method a model area of 2 km by 1.75 km was selected with the Ammunition Depot site more or less centrally located: the east and west and south edges are 1 km away, the north boundary 0.75 km. A finite-difference grid of 235 rows, 250 columns and 7 layers is used. Around the site, cells

of 1 m by 1 m are used. Further away from the site, the row and column widths increase to 2.5 m, 5 m, 10 m and 20 m. The Kortrijk Formation forms the basis of the model. A time-dependent model is created with a load step of 1 day. A total of 55 load periods were used. The starting point is an equilibrium with a situation without pumping, calculated in the first load period. For the remaining load periods, the calculation is time-dependent. The first and last row and column of layer one form a fixed head limit. Similar to the MLU method, the hydraulic parameters are subject to calibration. The values for the hydraulic parameters are kept constant for each model layer, except for layer 5. This is the clay layer consistently found in the various borings at the site. However, this layer is missing in the surrounding borings. The calibration for the first pumping test is shown in Figure 3.9.

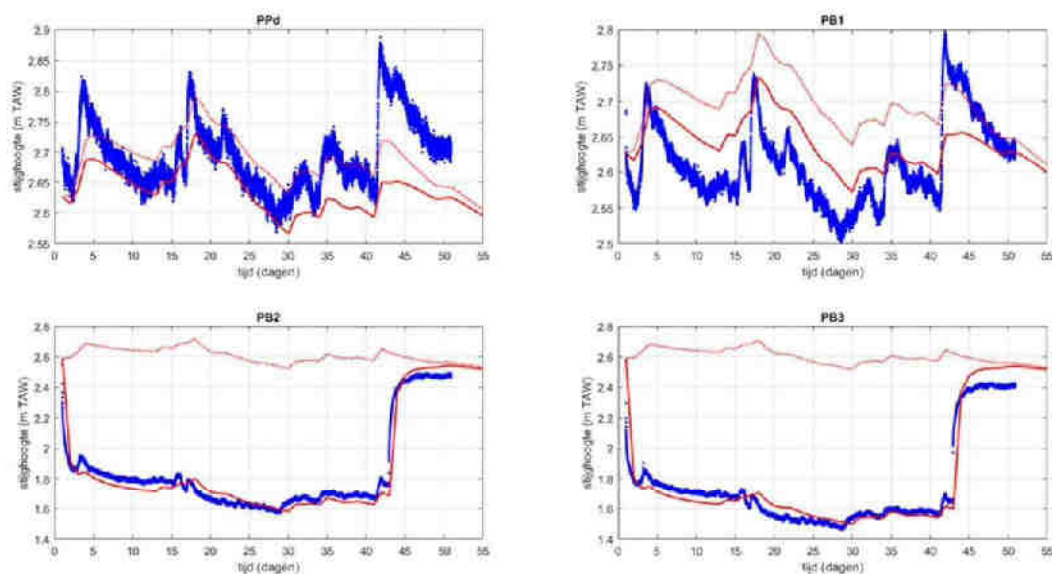


Figure 3.9: Comparison between observed (blue) and calculated (red) head levels in the monitoring wells during the execution of pumping test 1. The red dashed line represents the head if pumping were not performed.

With the MODFLOW method 2 kinds of maps are generated:

- a map with the calculated drawdowns at the end of the pumping test for each layer (Figure 3.10);
- a map with the calculated residence time of groundwater entering the system (Figure 3.11);
- from this information also a cross section was produced (Figure 3.12).

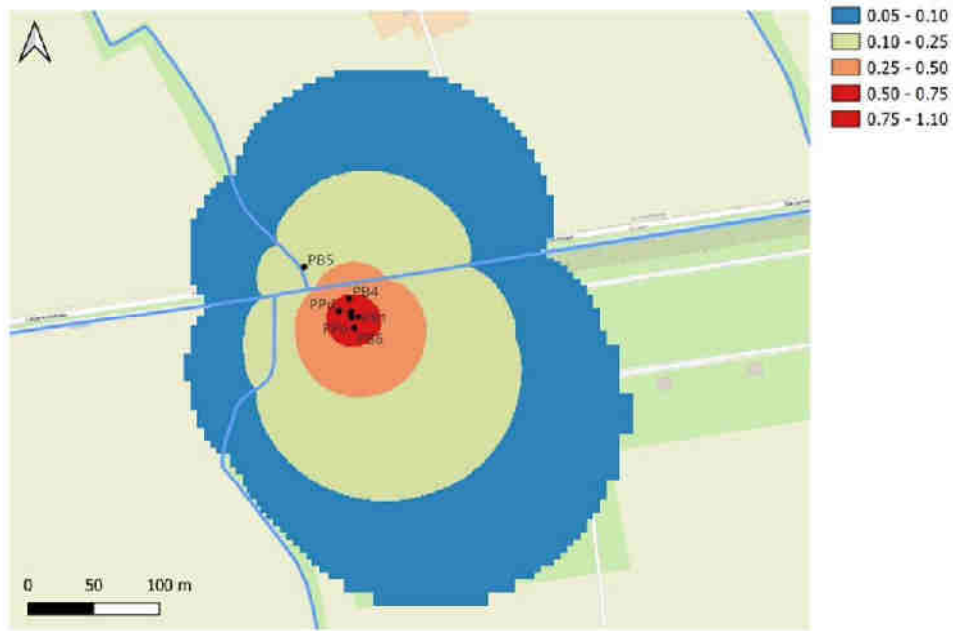


Figure 3.10: Calculated drawdown (m) at the end of the pumping phase of pumping test 1 in model layer 1.

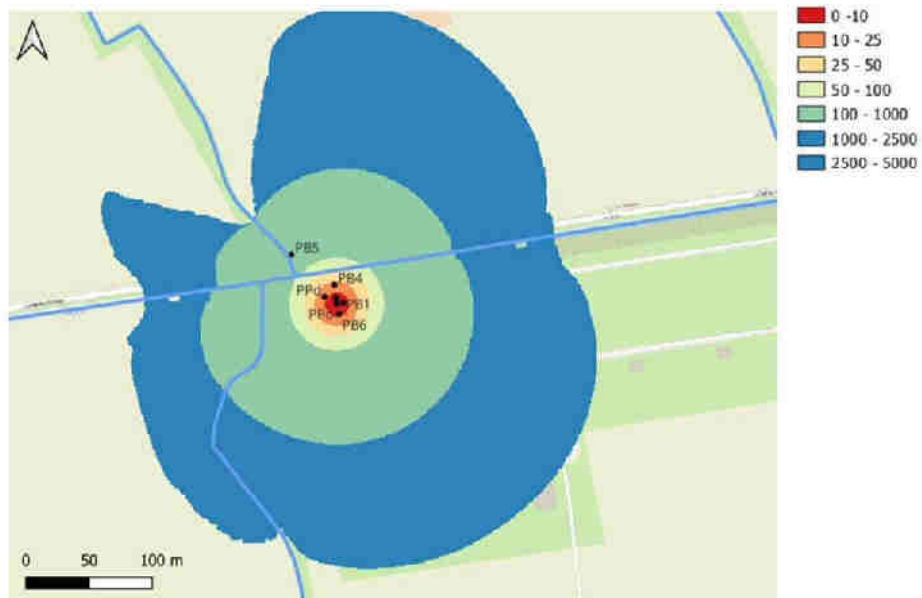


Figure 3.11: Residence time (days) of water entering the groundwater system at the water table level and being pumped by the PP0 pumping well during pumping test 1. Watercourses are indicated in blue.

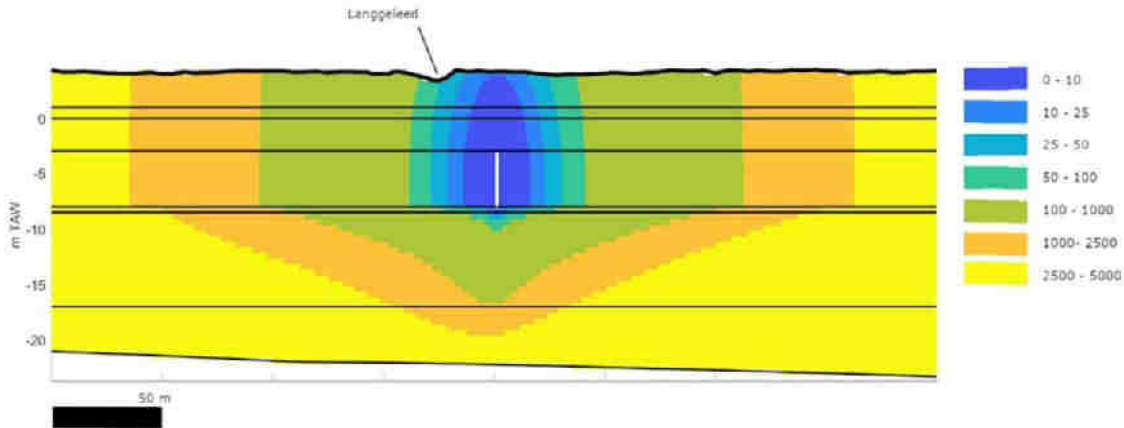


Figure 3.12: Residence time (days) of water from a given location in the groundwater reservoir until it enters the pumping well PPO during pumping test 1. This is shown in a north-south oriented vertical section through the location of the sump pit. The black lines indicate the boundaries of the model layers.

Table 3.3 summarizes the parameter values that can be derived based on the three MLU pumping tests and table 3.4 lists the values of the hydraulic parameters based on the MODFLOW simulations of the pumping tests. With the MODFLOW model the three tests could be simulated with an almost identical set of parameters. Only minor differences appear for the horizontal permeability of the sand package above the clay layer and the storage near the water table. The simulation of pumping test 3 requires a slightly higher value for the horizontal permeability of the sand package above the clay layer, being 10 m³/d instead of 8 m³/d. For the simulation of pumping test 1, a slightly higher value for the storage near the water table was used, being 0.031 instead of 0.02.

With the exception of the resistance of the clay layer, the parameter values of the MODFLOW model (Table 3.4) are in keeping with what was derived with the MLU method (Table 3.3). As the MODFLOW model is based on the entire pumping test duration these values give more information about the long-term behaviour of the aquifer where the resistance of the clay layer becomes more important.

The drawdown in the observation wells is determined by the extraction and boundary conditions such as precipitation and the water level in the Langgeleed Canal. The MODFLOW model was used to map the spatial impact of extraction. When pumping at both PPd (average pumping rate of 7.62 m³/h) and PPO (average pumping rate of 7.32 m³/h), there is a lowering of more than 5 cm in the sand layer above the clay layer to a distance of 385 m to the south and 280 m to the north of the pumping wells. In the sand layer below the clay layer, there is a lowering of more than 5 cm to a distance of 390 m to the south and 310 m to the north.

Table 3.3: Summary of parameter values derived with MLU based on the three pumping tests.

	Water table	Upper sandy aquifer			Clay layer		Lower sandy aquifer		
	Sy (-)	Kh (m/d)	Kv (m/d)	S (-)	c(d)	Kv(m/d)	Kh (m/d)	Kv (m/d)	S (-)
Pumping test 1	0.031	8.74	6.19	0.0042	19.41	0.0258	31.26		
Pumping test 2					131.56	0.0038	16.05		0.00036
Pumping test 3	0.297	7.26	4.55		85.91	0.0058	13.59		0.00065

Table 3.4: Summary of the hydraulic parameters used for the MODFLOW simulations of the three pumping tests.

	Water table	Upper sandy aquifer			Clay layer		Lower sandy aquifer		
	Sy (-)	Kh (m/d)	Kv (m/d)	S (-)	c(d)	Kv(m/d)	Kh (m/d)	Kv (m/d)	S (-)
Pumping test 1	0.031	8	5.5	0.004	200	0.0025	15	5	0.005
Pumping test 2	0.02	8	5.5	0.004	200	0.0025	15	5	0.0005
Pumping test 3	0.02	10	5.5	0.004	200	0.0025	15	5	0.0005

4 Action D1: Monitoring the effects on the climate problem targeted

4.1 Demonstration project (Meijndel, The Netherlands)

4.1.1 Freshening by extracting brackish groundwater

In the first 1.5-year experiment (Figure 2.5), brackish groundwater was extracted continuously over a period of 1.5 years from the three well screens in well 2 (Figures 2.2 and 4.2). The relative contribution of the individual well screens was periodically adjusted to increase the depth of freshening, by stepwise reducing the extraction rate of the upper screen and increasing the extraction rate of the lower screens. This resulted in rapid and local downconing of the fresh to brackish groundwater transition zone from 83 m-bsl before the extraction to about 95 m-bsl at the central wells (1, 2, M and N) after 1.5 years, based on the 0.15 and 1 g/L isochlors (Figure 4.1a,b), the EC-contour of 500 mS/m calculated from the resistivity measurements of the GEM-cables (Figure 4.2a), and the results from the geophysical borehole measurements (APPENDIX C). This freshening was, to a lesser degree (Figure 4.1b) and more gradually (Figure 4.2a), also observed at observation wells O and P. At observation wells Q and R, located 136 and 112 meters from the extraction wells, almost no change was observed in the salinity distribution. Consequently, freshening is more significant in the centre of the well field where extraction takes place and dissipates radially outward until no significant effect can be observed anymore. Assuming no effects on the salinity distribution beyond a radius of 100 m, the freshwater volume locally increased by approximately 36,000 m³ by downconing freshwater replacing native brackish groundwater, of which about 11,000 m³ occurred within the radial domain between wells O and P.

The salinity of groundwater extracted from each individual well screen was comparable to the salinity expected from linearly interpolating the salinity distribution determined from GEM-cables (Figure 4.2b), suggesting relatively uniform mixing along the well screen. Where the upper well screen (2.1) freshened already completely within three months, it took 1.5 years for the middle screen (2.2) to freshen below 100 mS/m (~0.15 g/L Cl; Figure 4.2b). The simultaneous more subtle upward movement of the brackish to saline groundwater (12 and 16 g/L isochlors; Figure 4.1a and b) resulted in a narrowing of the fresh-saline transition zone, also observed from the resistivity measurements from the GEM-cables (Figure 4.2a). This narrowing was more significant and rapid in the central wells 1, 2, M and N compared to wells O and P. Although the deepest well screen (2.3) initially salinized, it eventually also exhibited partial freshening (Figure 4.2b), likely facilitated by the impeded upward movement of saline groundwater by the vertical resistance of the aquitard directly underneath. The rapid narrowing of the transition zone suggests that the salinity of extracted groundwater mainly reflected mixing between fresh and more saline groundwater. Under this assumption, up to 58% of the 586,000 m³ of brackish groundwater extracted was admixed fresh groundwater. This volume (338,000 m³) approximates 9 times the local growth of the freshwater lens within a 100-meter radius from the extraction well and 30 times the growth within the radial domain between wells O and P. Thus, the loss of fresh groundwater due to mixing in the brackish extraction well screens far exceeded the gain in locally available freshwater, and would further increase if extraction continued.

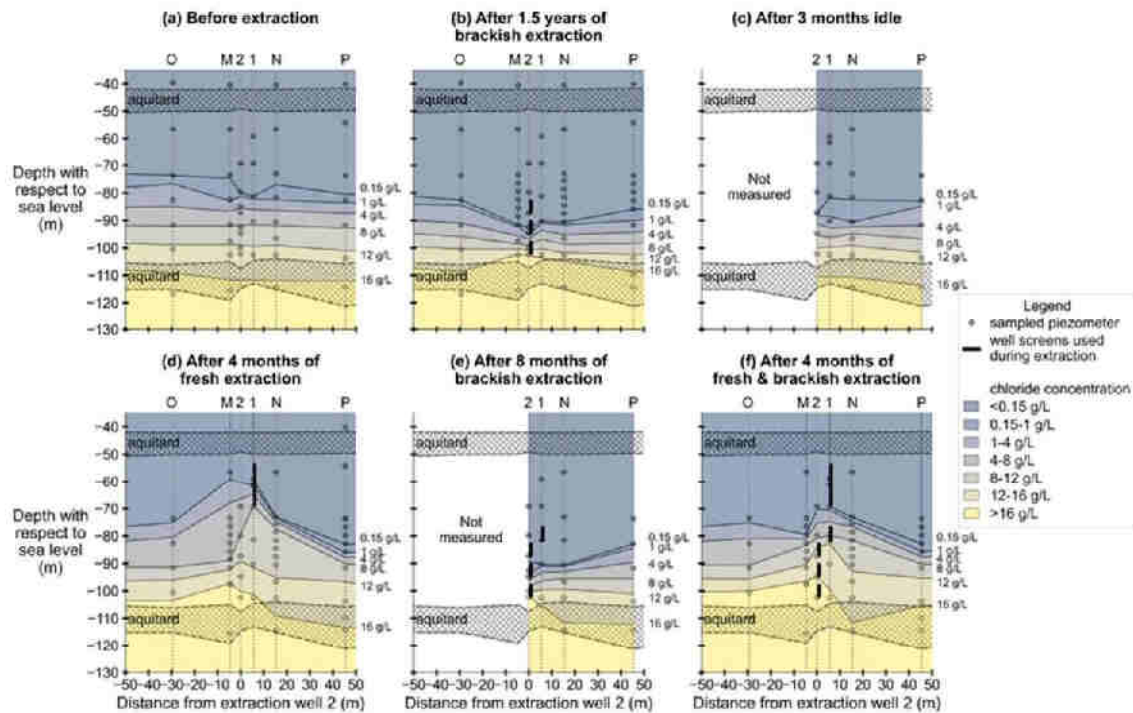


Figure 4.1: Indicative distribution of chloride concentrations before extraction (a), after 1.5 years of extracting brackish groundwater (b), after a three-month idle period (c), after four months of fresh groundwater extraction (d), after seven months of brackish groundwater extraction (e) and after four months of concurrent extraction of fresh and brackish groundwater (f). Isochlors are linearly interpolated between the sampled piezometer screens.

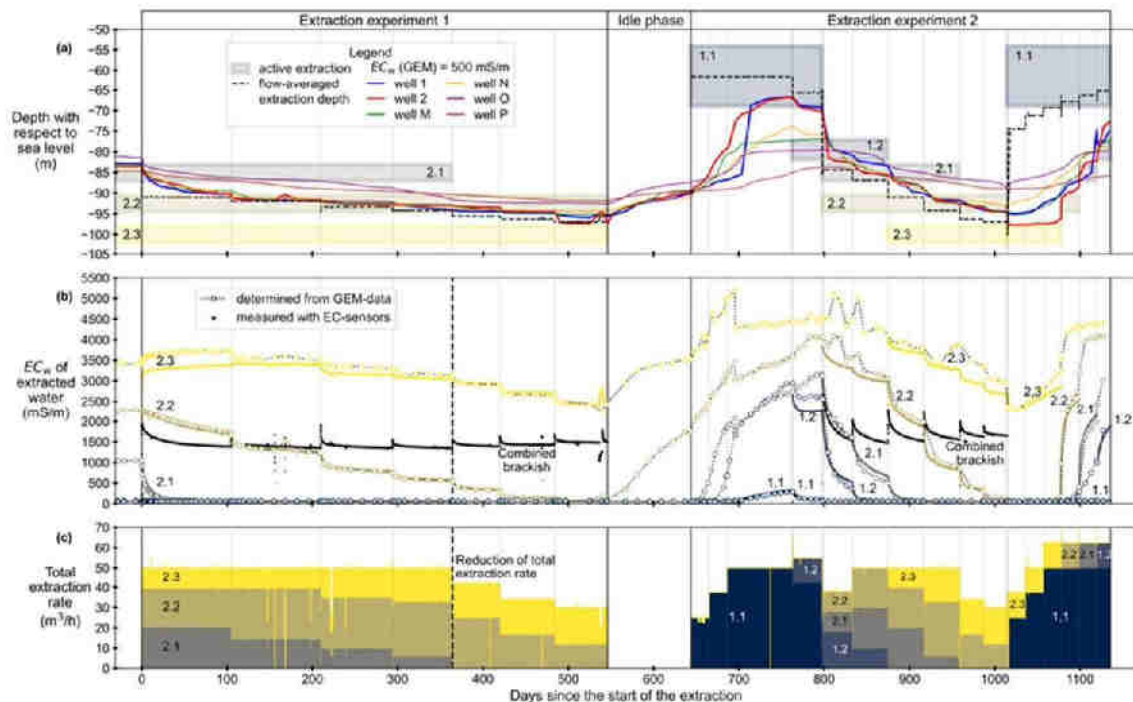


Figure 4.2: Flow-averaged extraction depth and depths where the electrical conductivity determined from GEM-cables equalled 500 mS/m in wells 1, 2, M, N, O and P (a), electrical conductivity of extracted groundwater measured with sensors and determined from GEM-cables (b), and extraction rates applied with each well screen (c).

During the first year, each of the periodic changes in extraction rates for the three individual well screens led to a sudden salinity increase of the combined extracted groundwater due to a temporary greater contribution of more saline groundwater, followed by gradual stabilization due to freshening of the well screens (Figure 4.2b). The stabilized salinity was fairly constant at about 1500 mS/m (~5 g/L Cl) due to the unaltered total extraction rate, regardless of the mutual extraction rates applied with the individual well screens (Figure 4.2b). This indicates that, due to the relatively high hydraulic conductance of the aquifer, the extraction from any of the screens resulted in a similar flow field and induced mixing towards the well screens. After the first year, when the total extraction rate was stepwise reduced from 50 to 30 m³/h using only the deepest two well screens, their combined salinity stabilized at about 10% higher (1700 mS/m, ~5.6 g/L Cl; Figure 4.2b) due to reduced downconing.

4.1.2 Salinization by extracting deep fresh groundwater

After a subsequent three-month idle period had partially restored the original salinity distribution (Figure 4.1), fresh groundwater was extracted from well screen 1.1 (Figure 2.2) in the second experiment (Figure 2.5) over the course of four months. Within this period, the extraction rate was stepwise increased from 25 to 50 m³/h, a rate that is still only about 0.5% of Dunea's total freshwater extraction in the coastal dunes near The Hague. This resulted in rapid local upconing of brackish groundwater, as reflected by the successive increase of the electrical conductivity in piezometers 1.5, 1.4 and 1.3 (Figure 4.3), and eventually also leading to salinization of the extracted groundwater to approximately 380 mS/m (~1 g/L Cl; Figures 4.2b and 4.3). The 1 g/L isochlor eventually reached the centre of the extraction well (62 m-bsl; Figure 4.1d). Where the 8 g/L isochlor eventually reached the bottom of the extraction well screen (70 m-bsl; Figure 4.1d), the more saline isochlors were less mobile due to density effects (Reilly and Goodman 1987) and the presence of a confining clay layer underneath, resulting in broadening and vertical asymmetry of the saline half of the transition zone near the well. Moreover, this broadening of the transition zone was more rapid and pronounced at the central wells. Up to well salinization, 48,000 m³ of fresh groundwater (≤ 100 mS/m) was extracted.

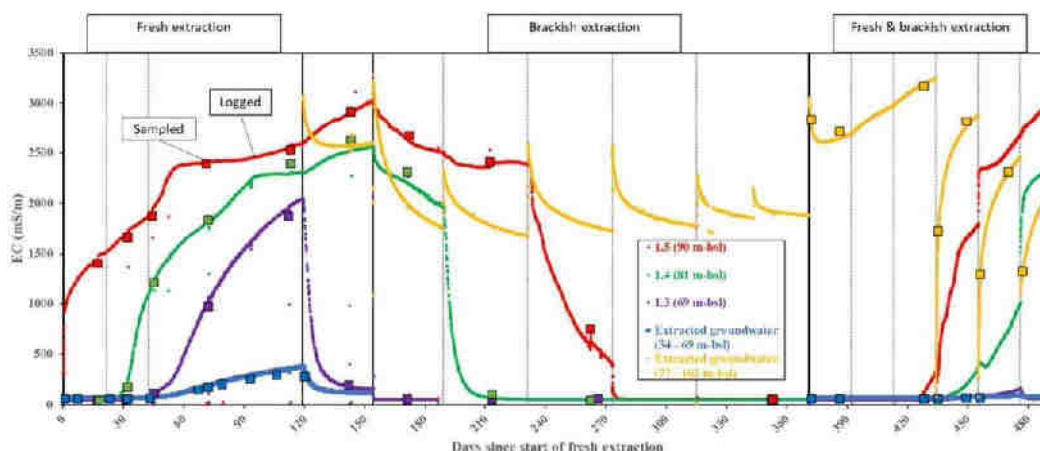


Figure 4.3: Electrical conductivity (EC) sampled and logged from piezometer screens 1.3, 1.4 and 1.5 and from extracted groundwater during the extraction experiments in the second half of the demonstration project.

The upconing response to fresh groundwater extraction was more evident and rapid compared to the downconing response to brackish groundwater extraction, mostly because of the larger vertical distance of the freshwater extraction screen to the transition zone (Figure 4.2a). Moreover, where no significant difference in downconing was evident between the extraction wells (1 and 2) and the central monitoring wells (M and N) during brackish groundwater extraction, upconing during fresh groundwater extraction was more significant in the extraction wells (1 and 2) compared to the central monitoring wells (M and N), indicating that density effects are more pronounced right at the extraction.

4.1.3 Restoration of the salinity distribution by extracting brackish groundwater

When the salinization slightly stabilized, well screen 1.2 was activated. Consequently, the salinity of groundwater extracted by well screen 1.1 decreased again to 120 mS/m (0.2 g/L Cl; Figure 4.2). This already indicates that deeper extraction is successful in reverting the salinization of well screen 1.1. After this short test phase of simultaneous extraction of fresh and brackish groundwater, the fresh groundwater extraction was deactivated and only brackish groundwater was extracted with the deeper well screens for six months to restore the aquifer's original salinity distribution, preparing for a second four-month phase of fresh groundwater extraction. Just like in the first phase of brackish groundwater extraction, the average depth of the extraction was gradually increased by stepwise decreasing the flow rate of the upper screens and increasing the flow rate of the lower screens. Consequently, the transition of fresh to brackish groundwater shifted downwards again (Figure 4.1c), also reflected by the successive decrease of the electrical conductivity observed in piezometer screens 1.3, 1.4 and 1.5 (Figure 4.3).

After each change of flow rates, the salinity of the combined extracted groundwater gradually stabilized, just like in the first phase of brackish groundwater extraction. However, slightly higher levels were reached this time because the changes in flow rates occurred in quicker succession, preventing full stabilization. The salinity distribution at the end of this 7-month phase of brackish groundwater extraction was comparable to the salinity distribution after the first 1.5-year phase of brackish groundwater extraction (Figure 4.1b and c).

4.1.4 Stabilization by simultaneously extracting fresh and brackish groundwater

After this phase, both fresh and brackish groundwater were simultaneously extracted from well screens 1.1 and 2.3, respectively (Figure 2.2). Initially, slight downconing was observed at well 2 (Figure 4.2a) and the extracted brackish groundwater freshened (Figures 4.2b and 4.3), indicating that brackish groundwater was extracted at a rate too high with respect to the extraction of fresh groundwater. As the fresh extraction rate was again increased from 25 to 50 m³/h, slight salinization of piezometer screen 1.5 was observed (Figure 4.3) and subtle upconing was observed in all wells (Figure 4.2a). To improve protection against salinization of well screen 1.1, the brackish groundwater extraction was shifted to well screen 2.2. Later, when slight salinization was also observed in piezometer screens 1.4 and 1.3, the brackish groundwater extraction was shifted to well screens 2.1 and 1.2, respectively. The 1 and 8 g/L isochlors now eventually stabilized at the bottom of the fresh extraction well (70 m-bsl) and at the centre of the latest active brackish extraction screen (80 m-bsl), respectively (Figure 4.1f). The 0.5 S/m EC-contour also did not reach the fresh extraction well (Figure 4.2a).

The concurrent extraction of brackish groundwater increased freshwater recoverability to 142,000 m³, i.e., almost 3 times the volume of freshwater extracted without simultaneous brackish groundwater extraction. Considering the salinity of the extracted brackish groundwater and assuming it to be solely the result of conservative mixing of fresh and saline groundwater, a maximum of 19,000 m³ of fresh groundwater was intercepted by the brackish groundwater extraction, being only about 20% of the gain in freshwater recoverability. The freshwater volume within the radial domain between wells O and P shrank by 10,000 m³ after extracting only fresh groundwater for four months, while it shrank by about 5,000 m³ after extracting both fresh and brackish groundwater.

Although shallower brackish groundwater extraction offered better protection of the deep freshwater extraction well than deeper brackish groundwater extraction, the general salinity decrease in extracted groundwater (Figures 4.2b and 4.3) reflects that more freshwater is lost by mixing in the brackish extraction well screen. Nevertheless, the rate of freshwater lost when stopping extraction with screens 2.3, 2.2, 2.1 and 1.2 accounted for no more than 7.5, 9.7, 12.0, and 12.5% of the rate of freshwater extracted simultaneously from well screen 1.1, respectively.

Upconing of the 1 g/L during freshwater extraction was more pronounced at well M, with more diffuse mixing in the fresh half of the transition zone (Figure 4.1d). When simultaneously extracting brackish groundwater, less upconing and more narrowing of the fresh half of the transition zone were evident at well M (Figure 4.1). In contrast, upconing was less pronounced at well N and the fresh half of the

transition zone remained relatively unaffected by concurrent extraction of brackish groundwater (Figure 4.1d,f). Moreover, in contrast to well M, no initial downconing was observed in well N and upconing already started here at the onset of the simultaneous extraction of fresh and brackish groundwater. This lateral-asymmetrical up- and downconing was likely due to regional groundwater flow (De Louw et al. 2013), being directed mainly from wells P and N (northeast) to wells M and O (southwest), i.e., from the infiltration ponds to the city of The Hague (Figure 2.1), yielding broader transitions from fresh to brackish groundwater downstream. This illustrates that extraction of brackish groundwater upstream from fresh groundwater extraction wells provides more effective protection from salinisation than downstream brackish groundwater extraction.

4.1.5 Induced mixing and ion-exchange processes

The total variation of the chemical parameters with respect to chloride concentrations is given in Figures 4.4 and 4.5, reflecting the hydrogeochemical behaviour upon freshening and salinization.

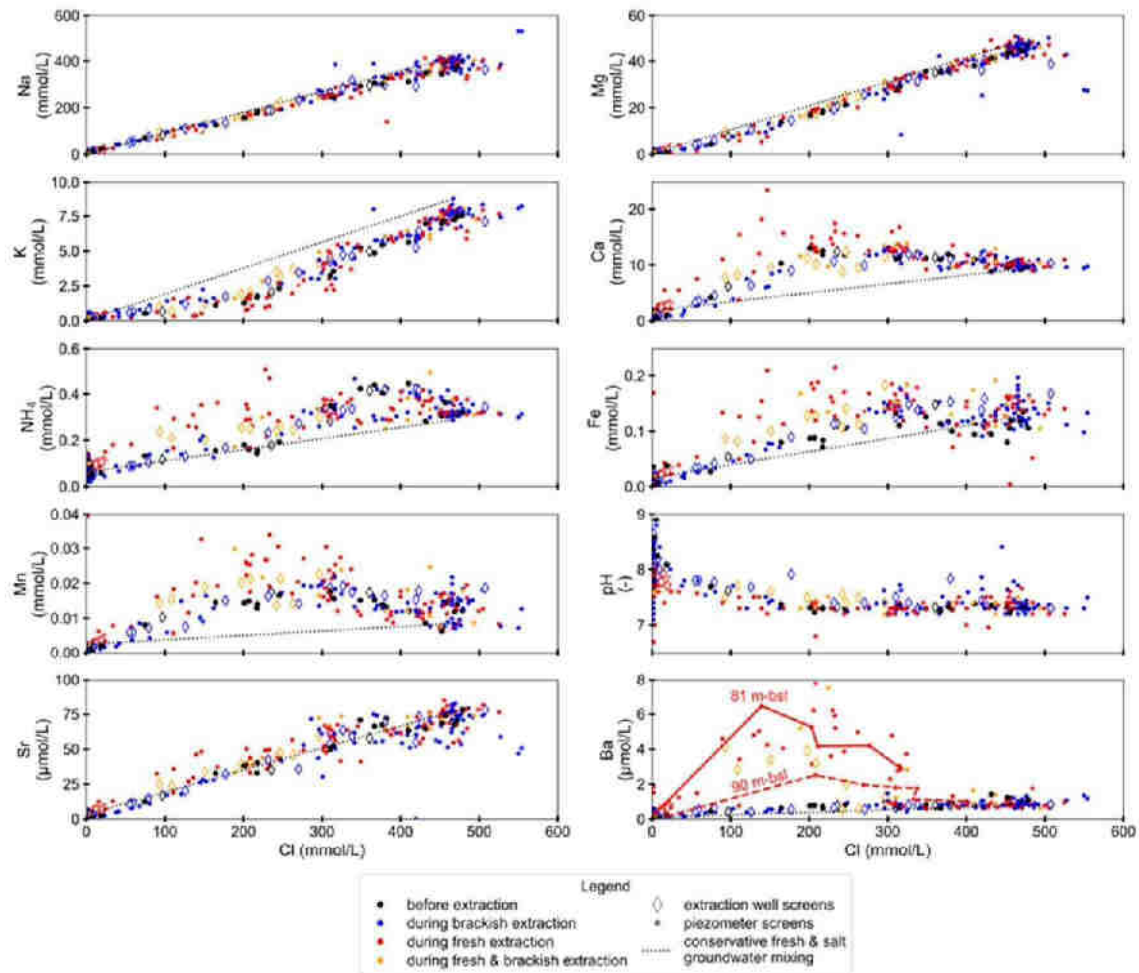


Figure 4.4: Cross plots of cation concentrations and pH versus chloride concentrations measured in groundwater from all pilot wells before and during extraction. The concentrations of barium observed at 81 and 90 m-bsl in well 2 are highlighted with red solid and dashed lines, respectively.

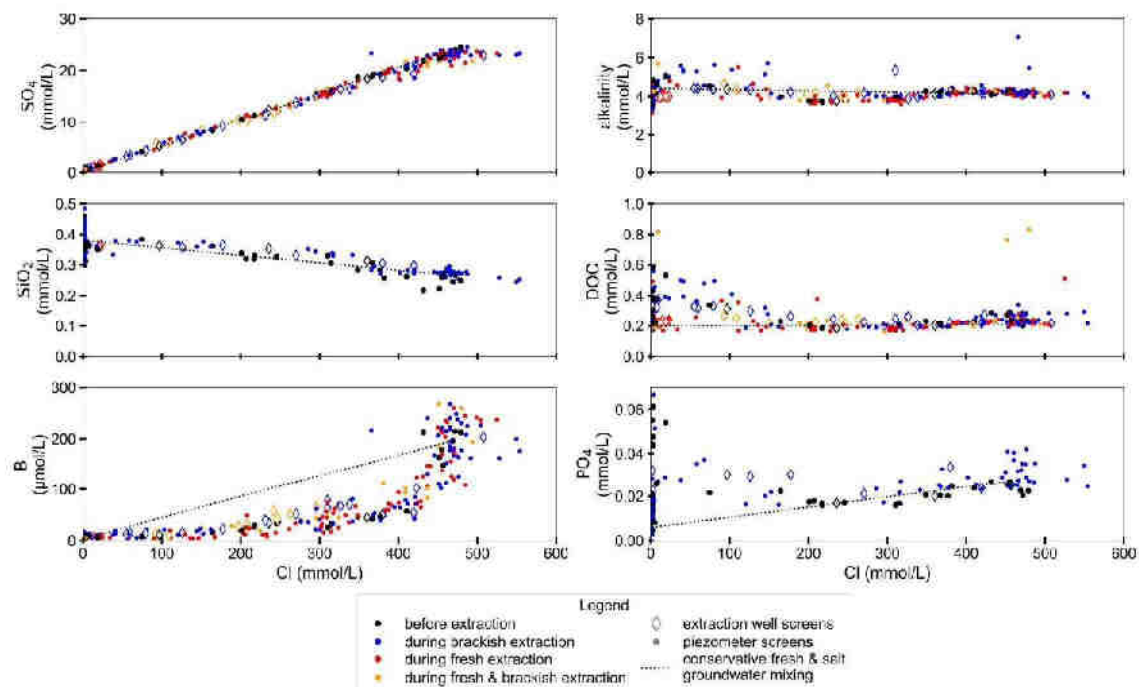


Figure 4.5: Cross plots of anion concentrations versus chloride concentrations measured in groundwater from all pilot wells before and during extraction.

As expected from the relative groundwater compositions of the fresh and saline groundwater endmembers (APPENDIX E), most water quality parameters generally followed the trends of chloride concentrations, decreasing with freshening and increasing with salinization, except for alkalinity, pH and concentrations of silicon (Figures 4.4 and 4.5). Some parameters, such as sulphate, predominantly followed conservative mixing across the fresh-to-saline groundwater range (Figure 4.5). However, concentrations of ammonium, barium, calcium, iron and manganese were elevated in the intermediate brackish range (50 to 450 mmol/L Cl) with respect to what would be expected from conservative mixing (Figure 4.4), likely due to cation exchange with magnesium, potassium and sodium (e.g., Valocchi et al. 1981; Appelo and Postma 2004). Boron concentrations are far lower than expected from conservative mixing (Figure 4.5), probably due to adsorption of anionic borate. This adsorption is likely facilitated by the exchange with bicarbonate (Ravenscroft and McArthur 2004; Russak et al. 2015), desorbing to maintain calcite saturation in response to calcium mobilization.

Concentrations below 50 mmol/L Cl, however, reflect a freshening signature, with ammonium, barium, calcium, iron and manganese now adsorbing at the expense of mainly sodium, followed by the less easily desorbing magnesium and potassium in completely fresh groundwater (Stuyfzand 1992) (Figure 4.4). The adsorption of calcium at low salinities likely triggered calcite dissolution to maintain saturation, leading to elevated alkalinity levels (Figure 4.5; e.g., Andersen et al. 2005; Seibert et al. 2018). Similar trends observed for phosphate and DOC (Figure 4.5) suggest deprotonation of anion adsorption sites at elevated pH values (Figure 4.4; Appelo and Postma 2004).

Exchange between cations relatively more abundant in the fresh groundwater endmember with those that are relatively more abundant in the saline endmember (Figure 4.6) was already evident in the native groundwater prior to extraction (Figure 4.4), and can be linked to the site's hydrogeological history. The freshening signature in the relatively fresh groundwater is likely due to the decades-long large-scale infiltration of fresh river water in the coastal dunes. The salinization signature in the underlying brackish groundwater may reflect both the historical salinization from before the 1950's (Stuyfzand 1993) as well as intermittent salinization from temporal pumping variations at the drinking water production site. The salinization signature remains relatively more pronounced because the impact of salinization lasts longer

compared to freshening (Prusty and Farooq, 2021) and mixing in the transition zone of freshwater lenses is dominated by slow transverse dispersion and diffusion (Ferman et al. 2011).

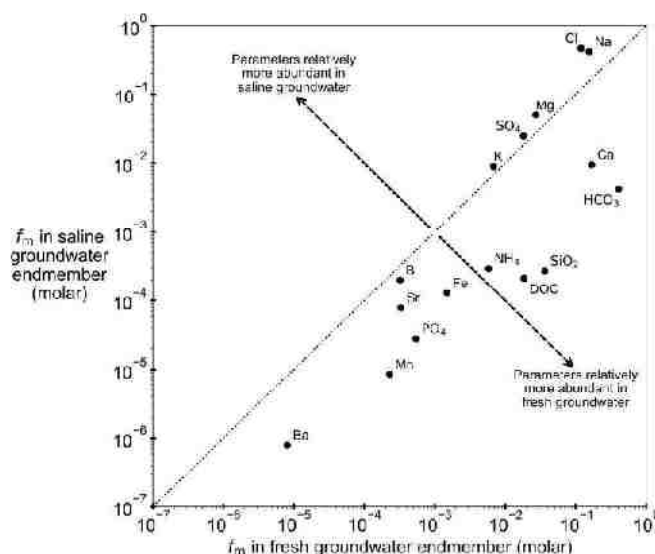


Figure 4.6: Relative concentrations (f_m) of parameters in the saline groundwater endmember with respect to those in the fresh groundwater endmember. The concentration values are reported in Appendix E. For DOC, the molar mass of C (12 g/mol) is assumed in this plot.

Upon freshening during brackish groundwater extraction, the groundwater compositions sampled from piezometer screens did not deviate significantly from the range of native groundwater compositions observed prior to the extraction (Figures 4.4 and 4.5). The similarity in composition implicates that conservative mixing of the native groundwater is the dominant process.

Upon salinization during subsequent fresh groundwater extraction, concentrations of freshwater cations increased to values higher than those observed in the native brackish groundwater, whereas those of saltwater cations decreased (Figures 4.4 and 4.5). This implicates that mixing induced ion exchange now is more dominant. This distinction between freshening and salinization aligns with the findings of Russak and Sivan (2010), though in this case the endmember is native brackish groundwater rather than the underlying most saline groundwater. This hysteresis is most probably explained by the contrast in the ionic strength of the inflowing water, with a higher ionic strength of inflowing groundwater stimulating mixing-induced ion exchange. Reinitiating freshening by extracting brackish groundwater after salinization led to groundwater compositions in piezometers resembling those observed during initial freshening, illustrating the reversibility of hysteretic ion exchange.

The effect of hysteretic ion exchange on anion concentrations was less pronounced. Yet, the slightly lower DOC concentrations and alkalinity observed during salinization in groundwater at <100 mmol/L Cl (Figure 4.5) may have been facilitated by enhanced mobilization of calcium, triggering more calcite precipitation and pH-driven protonation of anion adsorption sites. Concurrent adsorption of anionic borate caused only a minor decrease of the already low boron concentrations.

In the present study, hysteresis in the extraction wells was more pronounced in the priorly completely freshened groundwater at 81 m-bsl compared to the groundwater at 90 m-bsl that incompletely freshened during earlier brackish groundwater extraction (see barium in Figure 4.4). Since freshening during brackish groundwater extraction was not complete at 90 m-bsl, this suggests that the extent of hysteresis depends on the extent of freshwater flushing that has previously occurred, loading the adsorption sites with freshwater cations that can be released during subsequent salinization. Simultaneous extraction of

both brackish and fresh groundwater attenuated mobilization of freshwater cations relative to when extracting fresh groundwater alone (Figure 4.4), likely because the slower salinization pace allowed more complete equilibration of mobilizing cations with inflowing native groundwater.

4.1.6 Signature of extracted groundwater

During the first phase of the second experiment, freshwater extraction caused progressive salinization of well screen 1.1 after approximately seven weeks (Figure 4.7d). This induced mobilization of barium, calcium, iron and manganese also in the extracted groundwater, with barium increasing to up to 5 times the concentration expected without ion exchange. Simultaneously, concentrations of ions relatively more abundant in saline groundwater (Figure 4.6) decreased, with boron and potassium reaching half of the concentrations expected without ion exchange (Figure 4.7a). These pronounced ion-exchange effects were not observed when salinization was mitigated by simultaneously extracting brackish groundwater (Figure 4.7b,c), indicating that the scavenger well also stabilized the overall quality of fresh groundwater extracted from well screen 1.1.

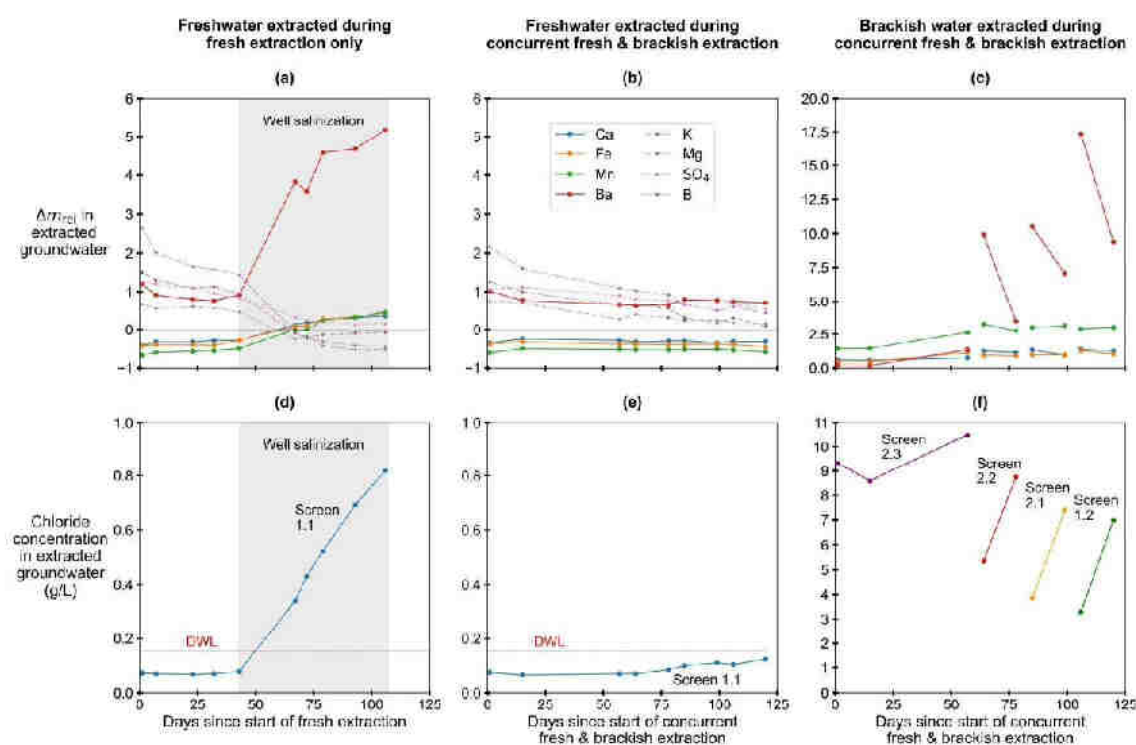


Figure 4.7: Major relative deviations of parameters (Δ_{rel} ; a-c) and chloride concentrations (d-f) in extracted groundwater during the second extraction experiment. Shown are: well screen 1.1 during freshwater extraction only (a,d); well screen 1.1 during concurrent fresh and brackish groundwater extraction (b,e); and brackish well screens 1.2-2.3 during concurrent fresh and brackish groundwater extraction (c,f).

The extracted brackish groundwater itself, however, did exhibit salinization-induced mobilization of cations that are relatively more abundant in fresh groundwater (Figure 4.6), particularly barium, beyond native concentrations (Figure 4.7c,f). This mobilization was not observed during freshening when only brackish groundwater was extracted. The extent of ion mobilization in extracted brackish groundwater thus depends on whether the system is freshening or salinizing. Notably, shifting to progressively shallower brackish screens reduced the salinity of extracted brackish groundwater (Figure 4.7f), but led to relatively more mobilization of mainly barium (Figure 4.7c). The relative deviations of freshwater cations subsequently decreased as salinization of the individual brackish screens progressed (Figure 4.7c,f), indicating that the composition of the extracted brackish groundwater approached that of the

saline groundwater endmember. Conservatively mixing brackish groundwater of different salinities extracted from multiple well screens also reduced the relative enrichment of cations more abundant in fresh groundwater with respect to the concentrations observed for a single well screen at the same average salinity (not shown). This indicates that mixing across well screens can buffer the mobilization seen in individual screens.

4.1.7 Mobilization of fines

Although groundwater turbidity was generally low after well development at the onset of the brackish groundwater extraction (<1 NTU), elevated turbidity levels were observed (>5 NTU) at piezometer screens near the transition from fresh to brackish groundwater (Figure 4.8a). These turbidity peaks coincided with zones of relative sodium enrichment and calcium depletion, and relatively high pH values, and migrated downward with the freshening front during extraction (Figure 4.8b-d). This elevated turbidity at the freshening front is likely caused by the swelling, repulsion and subsequent mobilization of clay particles from the aquifer matrix (Vinogradov et al. 2018). The turbidity of the extracted groundwater, however, remained low (<1 NTU), with no signs of well clogging. During the later extraction stages, groundwater turbidity levels also remained low, suggesting that most fine particles were sufficiently diluted in the well during extraction or filtered by the aquifer medium before reaching the well.

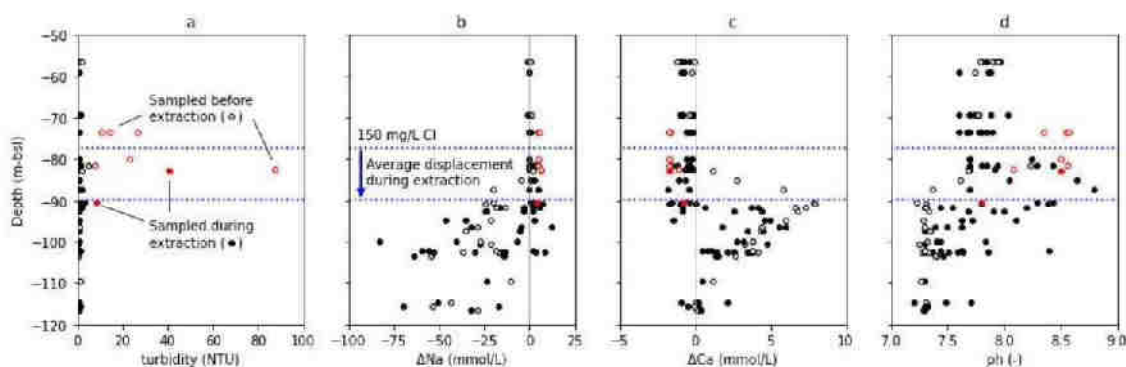


Figure 4.8: Turbidity (a), ΔNa (b), ΔCa (c), and pH (d) of groundwater sampled from wells 1, 2, M, N and O. Samples with elevated turbidity levels (>5 NTU) are highlighted in red. The blue dotted lines indicate the average displacement of the 150 mg/L isochlor at wells 1, 2, M, N and O during the first phase of brackish groundwater extraction.

4.1.8 Hydraulic heads during groundwater extraction

The hydraulic heads measured in the phreatic aquifer and in aquifers 2, 3 and 4 at monitoring well O, are given in Figure 4.9. Aquifer 3 hosts the extraction screens of the pilot wells 1 and 2. Hydraulic heads measured within that aquifer responded to changes in flow rates of the pilot. However, the hydraulic heads in this aquifer responded more significantly to (de)activation of series E, a series of conventional fresh groundwater wells with its extraction screens positioned in aquifer 2 at approximately 300 meters to the north of the pilot site with a total flow rate of 250 m³/h. The response to this extraction is even more evident from the hydraulic heads of aquifer 2, whereas no response to the pilot extraction is observed in that aquifer. The phreatic groundwater levels did not respond clearly to either of the extractions, partially because of the presence of aquitards, and partially because phreatic groundwater levels at infiltration and extraction sites of Dunea are regulated. However, increasing the flow rate may cause lowering of hydraulic heads in aquifer 2, as suggested by the response of heads to the (de)activation of series E.

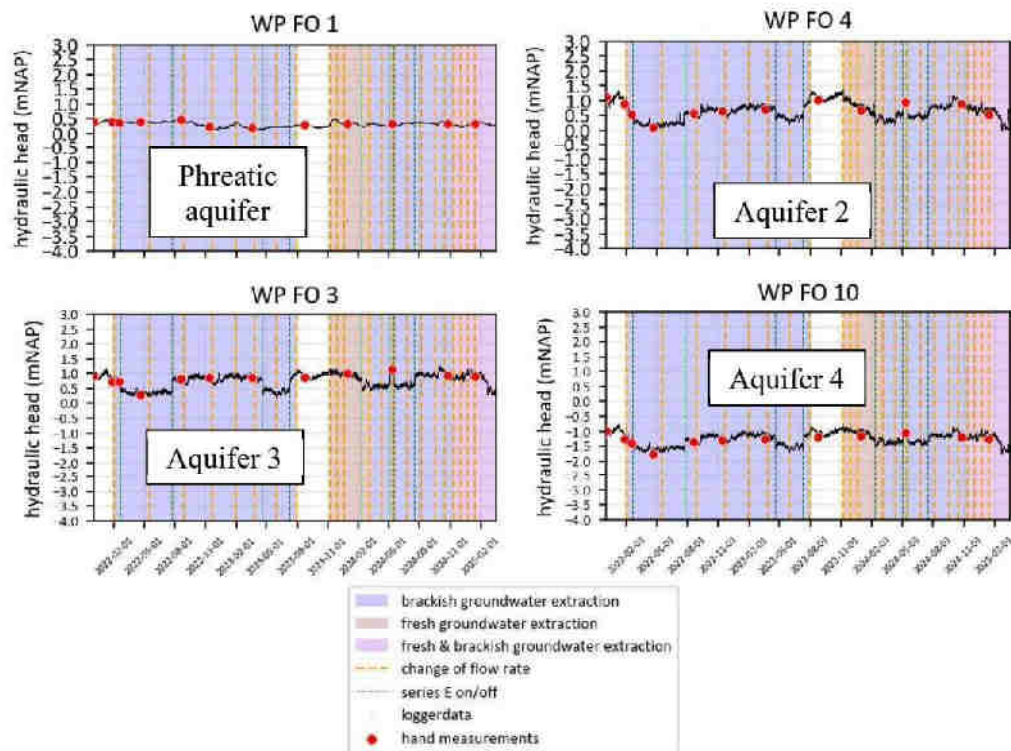


Figure 4.9: Hydraulic heads measured in WP FN 1 (top left), 3 (bottom left), 4 (top right) and 14 (bottom right), which are positioned in the four different aquifers.

4.1.9 Impact on nature values

To assess the impact of the demonstration pilot on the nature values of the area, the ambient vegetation, fauna and habitat types were monitored within the plan area before and after the project. The field inventories were conducted by a specialized ecological consultancy firm, on the same day (April 16) in 2020 (before the pilot) and 2025 (after the pilot; Figure 4.10).

The first field inventory (Daamen 2020) focused on the potential impact of the pilot on Natura 2000 habitats, and on species protected by the EU Bird and Habitat Directives. The conclusions were as follows:

- Based on an exploratory field study and desk study, it is concluded that direct effects resulting from the pilot project, such as loss of area or habitat due to land occupation or disturbance from mechanical effects, vibrations, light, and noise, are not likely. Other indirect effects resulting from the project, such as nitrogen deposition, fragmentation, desiccation, and optical disturbance, are also not likely. Therefore, negative effects resulting from the project on the conservation objectives of Natura 2000 areas can be ruled out.
- The plan area is not considered a nesting site for species with year-round protected nesting sites, nor is it significant for common breeding birds. Disturbance of breeding birds elsewhere on the pumping station site is not an issue, as the level of disturbance will not significantly impact the birds' conservation status. Furthermore, no scrub or other tall vegetation will be removed, and therefore, the intentional disturbance of birds is not applicable.
- No protected plants under the Habitat Directive species protection regime have been found in the wider area surrounding the plan area in the past five years. No protected plant species were also found during the field visit. The absence of protected plants during the field visit and source populations in the wider area rule out the plan area's function as a protected plant species. The

plan area is of no significance for protected animals under the Habitat Directive known from Meijndel, such as bats, various amphibian species (great crested newt, natterjack toad, tree frog), and the sand lizard. Therefore, any negative effects of implementing the pilot brackish water extraction on Habitat Directive species are ruled out.

- The plan area is not significant for species covered by the Protection Regime for Other Species. Some small mammals such as field mice and rabbits may be present in the plan area. These are mammals covered by the Protection Regime for Other Species, for which an exemption applies for violating prohibitions. The fields are not suitable for habitation by other mammal species.

The overall conclusion of the study was therefore: “The plan area is not significant as a nesting site for birds protected year-round or as a nesting site for common breeding birds. The plan area is not significant for species covered by the Habitats Directive Protection Regime or the Protection Regime for Other Species. Therefore, implementing the pilot project for brackish water extraction will not result in violation of prohibitions regarding birds and other protected species.”



Figure 4.10: Field location of the demonstration project before extraction (left; 16 April 2020) and after the extraction experiments (right; 16 April 2025).

According to the second field inventory (Dolman 2025), which was conducted immediately after completing the pilot, there are no indications of negative effects on protected species of flora, fauna or protected nature areas due to the pilot activities. This is in keeping with the lack of large-scale physical disturbance by the pilot and the absence of impacts on the phreatic groundwater level in the pilot area, as concluded in the previous section.

4.2 Replication project (Koksijde, Belgium)

4.2.1 Salinity distribution in the phreatic aquifer and effects of pumping

Prior to the pumping tests and between each pumping test, EM39 measurements were taken in PB1. Figure 4.11 compares the measurement prior to the pumping tests (10/09/2024) and after the first one (30/10/2024). A freshwater lens occurs in the phreatic package with brackish water at its base. Based on the pore water conductivity that resulted from the EM39 measurements, a TDS can be estimated. This gives the following division:

1. A layer with a bulk conductivity of about 20 mS/m. This occurs from the water table to about -0.5 to -1 m TAW (in Dutch: Tweede Algemene Waterpassing; reference height in Belgium). It is freshwater with a TDS of 440 to 940 mg/L.
2. A transition zone where bulk conductivity increases from 20 to 30 mS/m.
3. A layer with a bulk conductivity of about 30 mS/m. It occurs from -2 to -2.5 m TAW to about -12 m TAW. However, the TDS in this zone varies greatly from well to well, ranging from 500 to 2290 mg/L and appears to decrease toward the Langedeerd Canal. The bulk conductivity of 30 mS/m may then be specific to PB1 and may vary laterally. The water there is moderately fresh, weakly fresh or moderately brackish.
4. From -12 m TAW, bulk conductivity gradually increases. From -18 m TAW, bulk conductivity increases sharply to a maximum of 490 mS/m at -21 m TAW. At the base of this section occurs moderately brackish water with a TDS of about 3000 mg/L. Above that, water with a lower TDS occurs, being about 2400 mg/L.

The October 30th measurement shows no striking difference from what was measured prior to pumping. Consequently, pumping in the shallow part of the aquifer did not cause up-coning of the deeper brackish water. This is consistent with the observation that reductions of groundwater level in the deeper part of the aquifer remain limited. The greatest change is seen in the upper part of the aquifer. In the September 10th measurement, a slightly lower bulk conductivity was observed in the upper part of the aquifer, up to about -0.5 to -1 m TAW than below. Water samples indicate that water with a slightly lower conductivity/TDS is present in that zone. Separated by a transition zone, a bulk conductivity of 30 mS/m occurs deeper. This zone with bulk conductivity of 20 mS/m is found in the October 30 measurement to a depth of about -4 m TAW. In other words, the transition zone was drawn down about 3 to 3.5 m. The filter of the pumping well PPO goes from 7 to 11 m-mv or from -2.8 to -6.8 m TAW. This means that the shallow water is definitely drawn down into the pumping well.

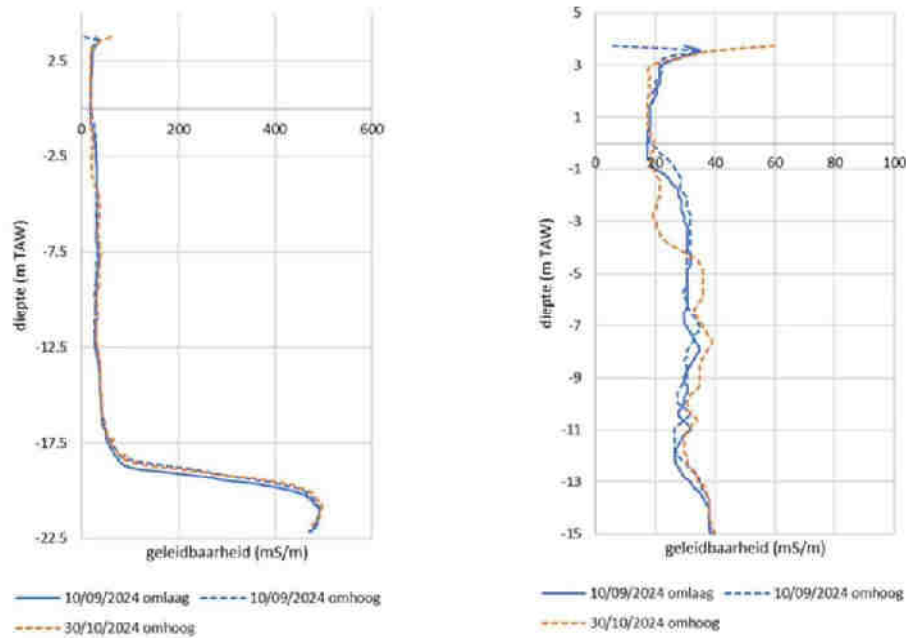


Figure 4.11: EM39 measurement in monitoring well PB1 before and after the first pumping test. On the right is a detail of the upper part of the aquifer. Dashed lines indicate measurements taken when the probe was moving up and solid lines are measurements taken when the probe was moving down.

After pumping in the deeper part of the aquifer (pumping test 2) the transition to brackish water at the base of the aquifer occurs slightly less deep (Figure 4.12). Whereas a conductivity of 200 mS/m initially occurs at -18.75 to -18.9 m TAW, after the second pumping test it is at a depth of -18.2 to -18.3 m TAW. Thus, there is an increase in this interface of 0.45 to 0.7 m. Pumping below the clay layer (-12 to -12.5 m TAW) thus causes the attraction of brackish water resulting in up-coning.

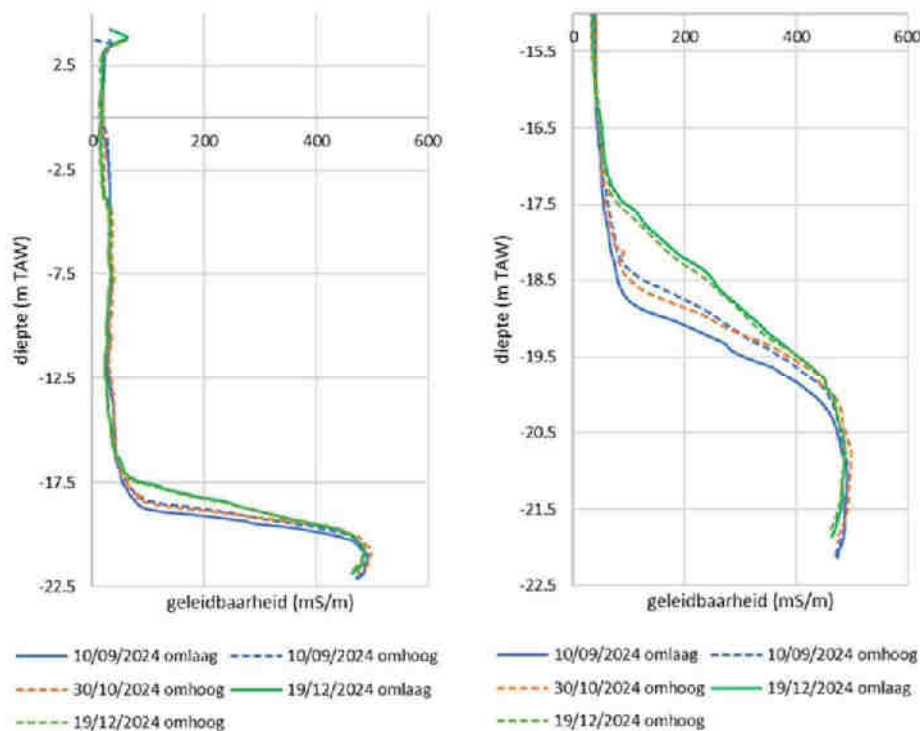


Figure 4.12: EM39 measurement in monitoring well PB1 before and after the second pumping test (details on the right part). Dashed lines indicate measurements taken when the probe was moving up and solid lines are measurements taken when the probe was moving down.

In the upper part of the aquifer, there was no change from the measurement made before the second pumping test which means that the expansion of the zone with a bulk conductivity of 20 mS/m, created during the first test, remained unchanged. In itself, this is not unexpected. The flow from the aquifer above the clay layer into the pump well PPd is limited which means that no further deepening of the zone with bulk conductivity of 20 mS/m has occurred. There is also no return to original thickness from before the first pumping test.

The third pumping test did not result in a further change of the water quality in the upper part of the aquifer (Figure 4.13) which means that the extension of the zone with a bulk conductivity of 20 mS/m remained as deep even after the third test. Pumping at PPO (with filter between -2.8 and 7.8 m TAW) did not change this, e.g., further deepening. In the lower part of the aquifer and more specifically in the deeper part of the transition zone, a conductivity of 400 mS/m occurs at -19.1 to -19.2 m TAW after the third pumping test, and this is an increase in this interface of 0.3 to 0.4 m. Deeper than -20.5 m TAW there is no difference from the previous measurements. Thus, conductivity has increased in the lower part of the transition zone, roughly between -18.5 and -20.5 m TAW, due to flow to the pumping well (filter between -17.6 and -21.6 m TAW) attracting the deeper brackish water.

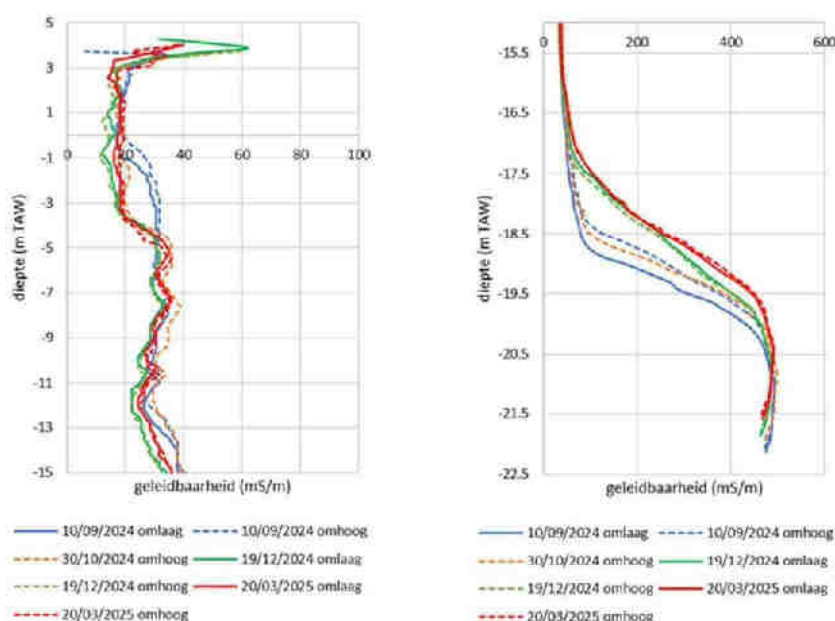


Figure 4.13: Details of the EM39 measurement in monitoring well PB1 before and after the different pumping tests (left: upper part and right: lower part of the aquifer). Dashed lines indicate measurements taken when the probe was moving up and solid lines are measurements taken when the probe was moving down.

4.2.2 Quality of the extracted water and of surface water

Figure 4.14 shows the conductivity of the pumped water and the water in the Langgeleed Canal. The conductivity of the water from the upper pumping well PPO dropped from 1,580 $\mu\text{S}/\text{m}$ to around 1,450 $\mu\text{S}/\text{m}$ during the first pumping test. During the third pumping test the conductivity of the upper pumping well went into the opposite direction: from 1,450 to around 1,600 $\mu\text{S}/\text{m}$. The key inorganic parameters are shown in Table 4.1. The water is of f4NaHCO_3^+ water type according to the classification of Stuyfzand (1993). This is a fresh to brackish water (f, chloride between 150 and 300 mg/L) with high bicarbonate content (4, between 488 and 976 mg/L). Sodium and bicarbonate are the dominant cation and anion in the ionic balance. The BFX is positive implying an excess of marine cations and salinity. Thus, although pumping into a freshwater lens, a signature of saltwater is still present. This accounts for the relatively high chloride, sodium and potassium concentrations and the limited calcium concentration in the ionic balance.

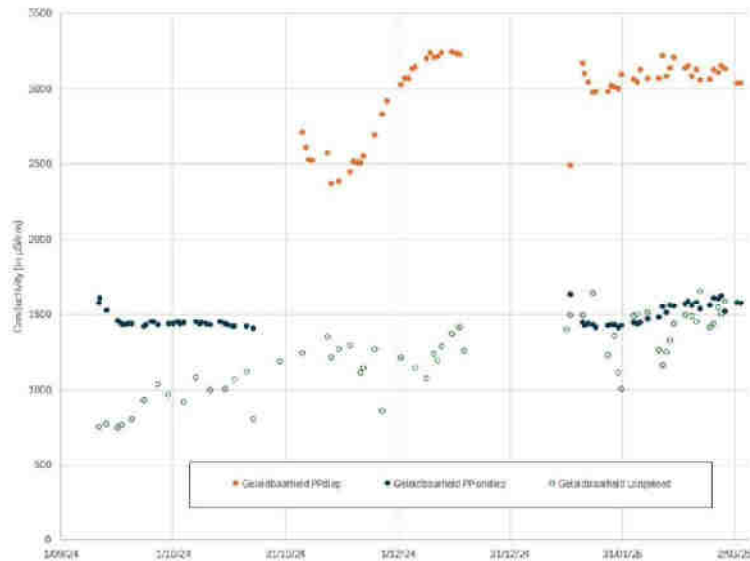


Figure 4.14: Conductivity of the extracted water and of the Langedeel Canal. Orange symbols are from the deeper pumping well; blue symbols are from the upper pumping well and open green symbols are from the Langedeel Canal.

Table 4.1: Overview of minimum, maximum and average concentration of groundwater from pumping well PPO.

	Unit	Minimum	Maximum	Average	Number
Conductivity	µS/cm	1400	1600	1490	7
Ammonium (N/l)	mg/l N	1,5	1,6	1,55	4
Arsenic	µg/l As	2,4	4	2,9	4
Barium	µg/l Ba	2,1	3	2,7	4
Boron	µg/l B	360	440	390	4
Calcium	mg/l Ca	56	83	76	4
Chloride	mg/l Cl	221	275	248	4
Fluoride	mg/l F	0,53	0,65	0,61	4
Iron	µg/l Fe	480	690	5435	4
Potassium	mg/l K	28	34	30	4
Copper	µg/l Cu	<1	<1	<1	2
Mercury	µg/l Hg	<0,1	<0,1	<0,1	2
Lead	µg/l Pb	<1	<1	<1	2
Magnesium	mg/l Mg	28	30	29	4
Manganese	mg/l Mn	47	61	51	4
Sodium	mg/l Na	192	221	209	4
Nitrate	mg/l N	<1	1,1	0,55	4
Nitrite	mg/l N	<0,03	0,054	0,026	4
Sulphate	mg/l SO4	46	78	66	4
Orthophosphate	mg/l PO4	1,8	2	1,9	4
Alkalinity at pH 4.3	mmol/l	8,1	8,2	8,1	3
Hardness (as CaCO3)	mg/l	140	208	184	3

In PPO's water, an exceedance of the reporting limit was observed for desphenylchloridazon (0.34 µg/L), ethylene diamine tetra-acetic acid (1.05 µg/L) and methyl desphenylchloridazon (0.05 µg/L). These values are well below the precautionary value of 4.5 µg/L. The sum of PFAS was below LOQ and the TFA content was 460 ng/l. The conductivity of the pumped water from the lower part of the aquifer (PPd) started at around 2,600 µS/cm and ended at 3,200 µS/cm. During the third pumping test the conductivity varied around 3,100 µS/cm. An overview of all samples from PPd is shown in Table 4.2. According to the classification of Stuyfzand (1993) the water is B3NaCl+. This means the water is brackish (B, chloride between 300 and 1000 mg/L) with a moderately high bicarbonate concentration (between 244 and 488 mg/L). Sodium and chloride are the dominant cation and anion in the ionic

balance. The BEX is positive indicating salinization. All this is obviously due to the presence of brackish water before the start of the trial and to the attraction of brackish water to the filter during the trial.

Table 4.2: Overview of minimum, maximum and average concentration of groundwater from pumping well PPD.

	Unit	Minimum	Maximum	Average	Number
Conductivity	µS/cm	2400	3248	3039	9
Ammonium (N/l)	mg/l N	1,7	2,1	2,03	6
Arsenic	µg/l As	0	0	0	6
Barium	µg/l Ba	3,2	6,7	5,3	5
Boron	µg/l B	590	650	623	6
Calcium	mg/l Ca	23,5	56,7	45,7	6
Chloride	mg/l Cl	570	799	692	6
Fluoride	mg/l F	0,53	0,66	0,58	6
Iron	µg/l Fe	290	580	493	6
Potassium	mg/l K	39,4	49,5	45,8	6
Copper	µg/l Cu	<1	<1	<1	4
Mercury	µg/l Hg	<0,1	<0,1	<0,1	4
Lead	µg/l Pb	<1	<1	<1	4
Magnesium	mg/l Mg	27,2	57,7	47,8	6
Manganese	mg/l Mn	26	58	48	6
Natrium	mg/l Na	478	583	530	6
Nitrate	mg/l N	<1	<1	<1	6
Nitrite	mg/l N	<0,03	0,034	0,0056	6
Sulphate	mg/l SO4	63	140	118	6
Orthophosphate	mg/l PO4	2,8	3,2	3,02	5
Alkalinity at pH 4.3	mmol/l		8,1	7,9	3
Hardness (as CaCO3)	mg/l	58,8	142	108	3

In PPD water, an exceedance of the reporting limit was observed for desphenylchloridazon (0.34 µg/L) and methyl desphenylchloridazon (0.02 µg/L). As for desphenylchloridazon and methyl desphenylchloridazon, this is well below the precautionary value of 4.5 µg/L. The sum of PFAS was below LOQ and the TFA content was 130 ng/l. Table 4.3 shows the results of monthly samples taken from the Langgeleed Canal. Conductivity varied from around 700 µS/cm to around 1,600 µS/cm (Figure 4.14 and Table 4.3). Water in the Langgeleed Canal has a pH that varies between 6.8 and 7.2 (Figure 4.15). The total PFAS concentration varied from 31 to 110 ng/l. The pesticides that were monitored are shown in Table 4.4. Some metabolites show high concentration levels in the Canal.

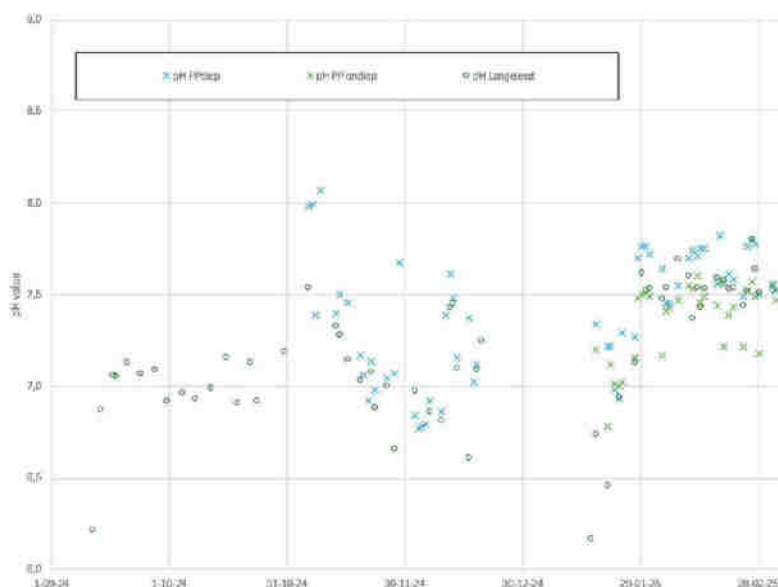


Figure 4.15: pH of the extracted water and of the Langgeleed Canal.

Table 4.3: Overview of minimum, maximum and average concentration of water from Langgeleed Canal (monthly samples from September 2024 until February 2025).

	Unit	Minimum	Maximum	Average	Number
Conductivity	µS/cm	749	1500	1149	10
Ammonium (N/I)	mg/l N	0,2	1,6	0,78	6
Arsenic	µg/l As	4	5,3	4,53	6
Barium	µg/l Ba	10	13	11	6
Boron	µg/l B	140	270	223	6
Calcium	mg/l Ca	97,9	152	135	6
Chloride	mg/l Cl	72	231	167	6
Fluoride	mg/l F	0,21	0,46	0,34	6
Iron	µg/l Fe	47	280	104	6
Potassium	mg/l K	12,3	16,7	14,5	6
Magnesium	mg/l Mg	9,74	24,1	19,0	6
Manganese	mg/l Mn	71	170	121	6
Natrium	mg/l Na	50,3	148	109	6
Nitrate	mg/l N	<1	2,7	1,27	6
Nitrite	mg/l N	0,1	0,23	0,16	6
Sulphate	mg/l SO4	44	85	67	6
Orthophosphate	mg/l PO4	2,8	3,2	3,02	5
Alkalinity at pH 4.5	mmol/l	7,6	8,1	7,9	3
Hardness (as CaCO3)	mg/l	58,8	142	108	3

Table 4.4: Overview of minimum, maximum and average pesticide concentrations in water from Langgeleed Canal (samples of September and December 2024 and January 2025).

	Unit	Minimum	Maximum	Average	Number
BAM	µg/l	0,070	0,120	0,090	3
Chloroxuron	µg/l	<0,02	<0,02	<0,02	3
AMPA	µg/l	0,122	0,631	0,293	3
VIS-01	µg/l	<0,02	0,020	<0,02	3
dimethenamid-ESA	µg/l	0,020	0,060	0,037	3
dimethenamid-OA	µg/l	<0,02	0,020	0,007	3
flufenacet-ESA	µg/l	0,030	0,160	0,093	3
flufenacet-OA	µg/l	<0,02	0,040	0,027	3
metazachlor-ESA	µg/l	<0,02	<0,02	<0,02	3
metazachlor-OA	µg/l	<0,02	<0,02	<0,02	3
metolachlor-ESA	µg/l	0,050	0,200	0,103	3
metolachlor-OA	µg/l	<0,02	0,060	0,030	3
tebuconazole	µg/l	<0,02	0,030	<0,02	3
Desfenylochlordazon	µg/l	0,700	2,010	1,423	3
Dimethyl sulfamide	µg/l	<0,02	0,040	<0,02	3
Methyl desfenylochlordazon	µg/l	0,120	1,020	0,500	3

Based on the observed salinity, temperature or pH of the pumped water, it is difficult to clearly infer that water from the Langgeleed Canal was pumped. Mixing with similar freshwater ensures this. Nevertheless, the MODFLOW simulations indicate that it is to be expected that at the end of pumping tests 1 and 3, water is pumped from the Langgeleed Canal. With prolonged pumping, the Langgeleed Canal is undoubtedly a source of water to the shallow wells via bank infiltration.

4.3 Treatment of brackish groundwater (demonstration project)

Since January 2022 until June 2025, we have extracted brackish groundwater and deep fresh groundwater, using five extraction well screens (Figure 2.1). This water is transported to a two-stage reverse osmosis (RO) treatment system, which is illustrated in Figure 4.16. A two-stage RO system is a water purification process where the feed water passes through two sequential RO membrane stages, with the permeate (filtered water) from the first stage serving as the feed for the second stage, enhancing overall freshwater recovery and water quality while reducing waste. The groundwater has a high quality; therefore, no pretreatment is required, except for a cartridge filter which serves as a protective measure. Deep groundwater contains no oxygen, and during treatment the water is kept in this anoxic state. This means that some gases (hydrogen sulphide and methane) will be present in the groundwater. These gases can migrate through the membranes into the freshwater produced by the membranes.

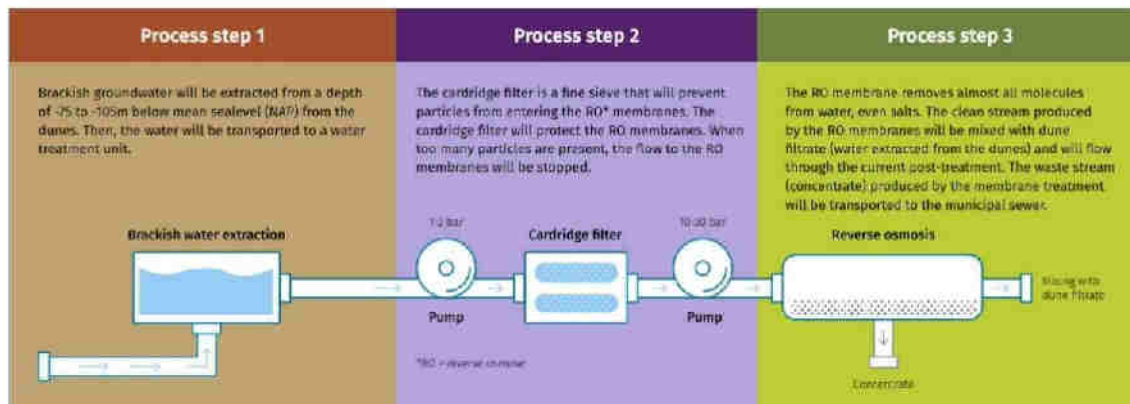


Figure 4.16: Water treatment scheme of the brackish groundwater pilot. The RO tubes are shown on the top left panel and the cartridge filters on the top right panel (two vertical tubes).

The RO membranes produce a constant stream of demineralized water, called permeate, and a waste stream, called concentrate. The system is flux driven, which means that the flux – production flow per membrane surface area in Liter per m² per hour (LMH) – remains constant during operation while the transmembrane pressure (TMP) varies. Antiscalant chemicals are dosed to prevent scaling of the RO membranes. As part of the pilot, a range of sensors has been installed to enable continuous monitoring of the water. This setup allows for real-time measurement of turbidity, pH, conductivity, pressure, and flow rate. In addition, water quality is assessed on a weekly basis through laboratory analyses.

4.3.1 Pumping regime and types of water extracted

An overview of the flows of each extraction well and the different groundwater types extracted during the entire pilot is shown in Table 4.5.

Table 4.5: Overview of flows of each extraction well, total extraction and type of water extracted during the pilot.

Date	Flow (m ³ /h)					Total	Type of water extracted
	Well 1.1	Well 1.2	Well 2.1	Well 2.2	Well 2.3		
							Brackish extraction
31-1-2022	0	0	20,5	19	10,5	50	
16-5-2022	0	0	14,5	25	10,5	50	Deep freshwater
28-8-2022	0	0	10	25	15	50	Deep freshwater
21-11-2022	0	0	6	27	17	44	Deep freshwater
30-1-2023	0	0	0	25	17	42	Deep freshwater
27-3-2023	0	0	0	17	17	34	Brackish water
30-5-2023	0	0	0	12	18	30	Brackish water
31-7-2023	0	0	0	0	0	0	No extraction
6-11-2023	25	0	0	0	0	0	Fresh extraction
27-11-2023	37,5	0	0	0	0	0	
18-12-2023	50	0	0	0	0	0	
7-3-2024	42,5	12,5	0	0	0	55	Fresh and brackish extraction
8-4-2024	0	18	10	10	0	38	Brackish extraction
13-5-2024	0	10	20	20	0	50	
24-6-2024	0	0	20	20	10	50	
5-8-2024	0	0	6	27	17	50	
16-9-2024	0	0	0	17	17	34	
18-10-2024	0	0	0	12	18	30	
11-11-2024	25	0	0	0	12,5	37,5	Fresh and brackish extraction
2-12-2024	37,5				12,5	50	
23-12-2024	50				12,5	62,5	
13-1-2025	50			12,5			
3-2-2025	50		12,5				
24-2-2025	50	12,5					

4.3.2 Flux experiments

To determine the optimal flux across the RO membranes, various flux levels were set during the study based on the flow rate through the membranes. During these tests, we monitored the water conductivity and the TMP. The goal was to achieve the highest flux at which the TMP remained stable. During this flux experiment, the chloride concentration of the feed water ranged between 5.0 and 5.7 grams per litre, and 25 m³/h was extracted from well 2.2 and 17 m³/h from well 2.3. The experiment examined fluxes of 15, 18, and 20 LMH at a recovery rate of 60%. Each flux change was monitored for at least one week. The results are shown in Figures 4.17 and 4.18.

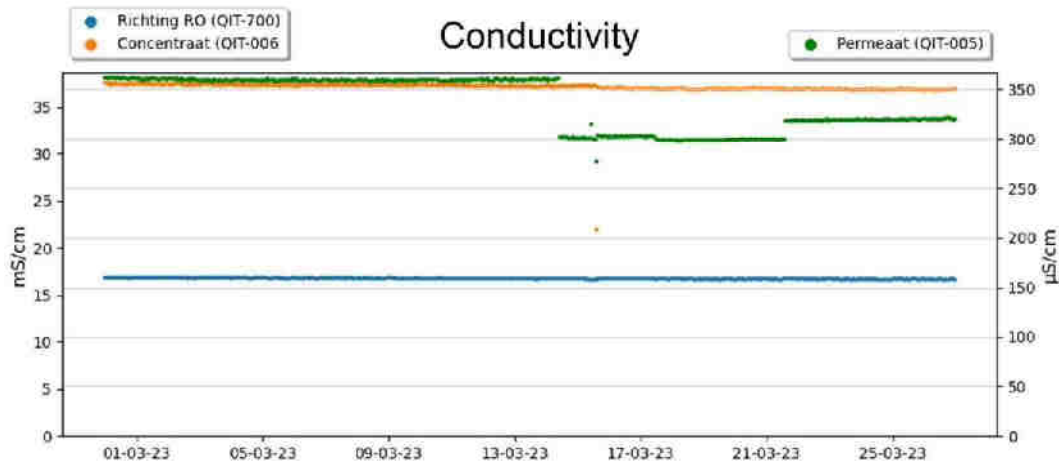


Figure 4.17: The conductivity of the permeate (in green, $\mu\text{S}/\text{cm}$), the concentrate (in orange, mS/cm), and the feed water (in blue, mS/cm) during the flux experiments. The freshwater recovery was set at 60%. Applied fluxes were 15, 20 and 18 LMH, respectively, as indicated in Figure 4.18.

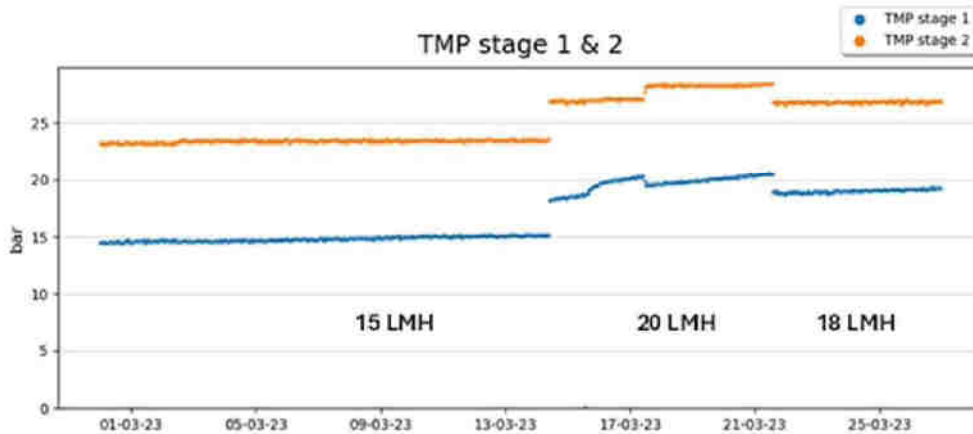


Figure 4.178: The TMP in the first stage (in blue) and the second stage (in orange) during the flux experiments.

A higher flux resulted in a slightly better water quality—in terms of conductivity—of the permeate: $300 \mu\text{S}/\text{cm}$ at 20 LMH compared to $350 \mu\text{S}/\text{cm}$ at 15 LMH. For comparison, the drinking water from Scheveningen pumping station has a conductivity of approximately $550 \mu\text{S}/\text{cm}$. It can also be observed that a flux of 20 LMH caused a significant increase in TMP, with a somewhat lower increase at 18 LMH (Figure 4.18). This indicates scaling of the membrane. Faster membrane scaling means the membranes need to be cleaned more frequently using a cleaning in place action (CIP). To ensure a stable membrane operation, a flux of 15 LMH was selected after analysis.

4.3.3 Recovery experiments

To determine the optimal recovery, various recovery rates (50%, 55%, 60%, and 65%) were assessed during the pilot. A higher recovery is desirable: the higher the recovery, the more permeate is produced from the feed water and the smaller the concentrate stream. During these tests, again the water conductivity and the TMP were monitored. The goal of this part of the study was to achieve the highest recovery at which the TMP remained stable. During this recovery experiment, the conductivity of the feed water decreased somewhat in the first week. This conductivity corresponds to a chloride concentration of the feed water of 5.8 to 6.3 grams per litre, retrieved from well 1.1 ($6 \text{ m}^3/\text{h}$), well 2.2 ($27 \text{ m}^3/\text{h}$) and well 2.3 ($17 \text{ m}^3/\text{h}$). During the experiment, the flux was set to 15 LMH. The results are shown in Figures 4.19 and 4.20.

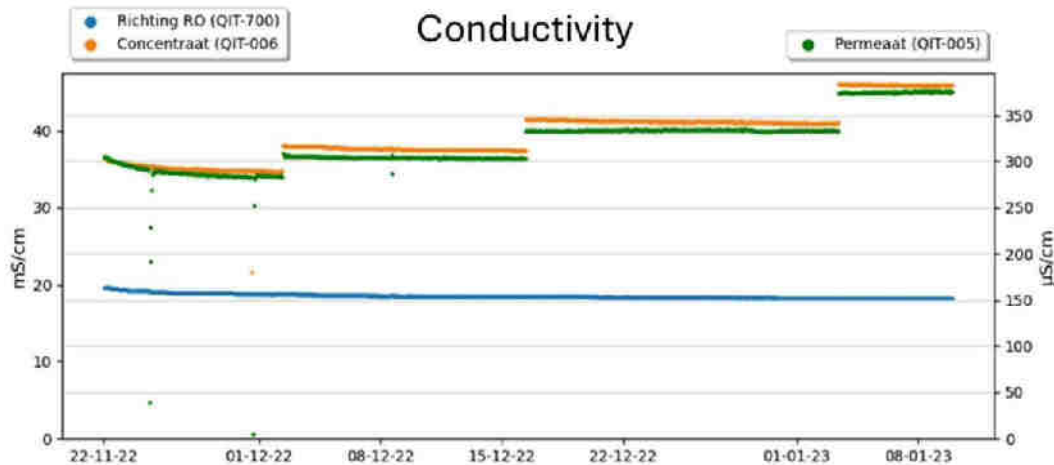


Figure 4.19: The conductivity of the permeate (in green, $\mu\text{S}/\text{cm}$), the concentrate (in orange, mS/cm), and the feed water (in blue, mS/cm) during the recovery experiment. The water flux was kept constant at 15 LMH. Applied recoveries were 50% to 65%, as indicated in Figure 4.20.

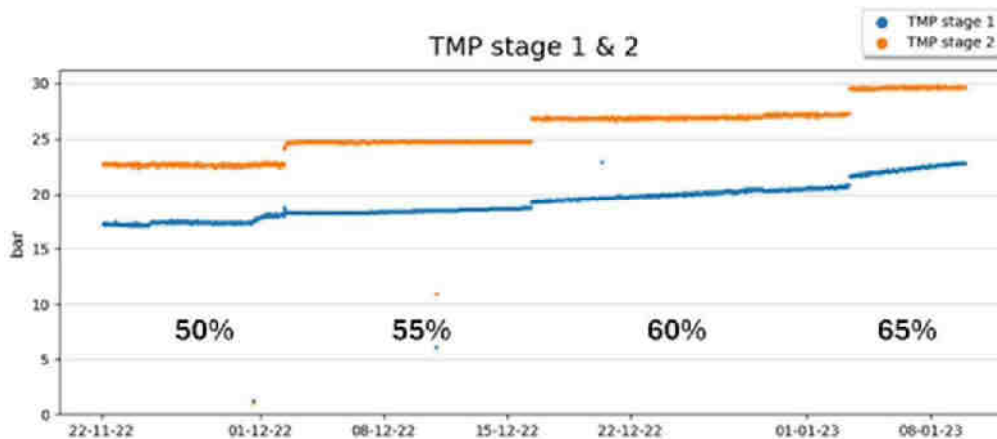


Figure 4.20: The TMP in the first stage (in blue) and the second stage (in orange) during the recovery experiments.

The results show that with higher recovery, the TMP increases because a higher pressure is required to produce more permeate from the feed water (Figure 4.20). For each setting, the TMP was calculated at the beginning and the end of the recovery experiment. An increase was observed between the start and end of each setting (ranging from 2% to 10%), likely due to membrane scaling. At 65% recovery, the largest increase in TMP was observed in the first stage. With higher recovery, a larger portion of the water is filtered through the membrane, which also increases the conductivity of the permeate, as shown by Figure 4.19. This increase in TMP indicates scaling, due to precipitation of minerals (e.g., calcite, barite) which clog the pores of the membranes. Since it is desirable to operate at the highest possible recovery with a stable TMP, a recovery of 60% was chosen.

4.3.4 Long-term tests with the selected flux and recovery

After the flux and recovery experiments, long-term tests were conducted using the selected flux of 15 LMH and a recovery of 60%. The intended duration was six weeks, but due to various operational issues, it was not possible to run the tests for more than two weeks. To also assess the robustness of the system, the flux was temporarily increased three times to assess whether the system could manage a temporary rise in drinking water demand. Due to several operational problems, including a faulty pressure gauge and conductivity meter, these experiments only ran for a few moments more than two weeks.

Tests with a temporary increase in flux (from 15 to 18 LMH) were conducted, but this resulted in a significant rise in TMP, causing the RO system to shut down multiple times. During the first long-term test with a flux of 15 LMH, the chloride concentration of the feed water was 6.3 grams per litre, and 17 m³/h was extracted from well 2.2 and 17 m³/h from well 2.3. The results indicate that TMP remained stable under the chosen settings. During the second long-term test, the chloride concentration gradually increased from 6.4 to 6.8 grams per litre, and 12 m³/h was extracted from well 2.2 and 18 m³/h from well 2.3. It shows that even at a slightly higher chloride concentration, the TMP remained stable. These results confirm that with a flux of 15 LMH, a recovery of 60%, and an incoming chloride concentration of approximately 6.5 grams per litre, a stable operation can be maintained for at least two weeks. With a lower chloride concentration of the feed water, the flux and/or recovery could potentially be increased, although this has not yet been investigated.

4.3.5 Water quality

Influent water and RO permeate

The water quality (salinity) of the incoming water depends on the type of abstraction, as described previously in this section. The water quality from each individual well was relatively stable, but since water from different wells—drawing from different depths—was mixed as feed water for the pilot, the overall water quality could vary. Water quality analyses were conducted during three research periods:

- **Brackish water extraction:** 14 June 2022 to 30 May 2023 (n=48)
- **Freshwater extraction:** 6 November 2023 to 7 April 2024 (n=22)
- **Long-term tests:** 8 April 2024 to 11 November 2024 (n=29)

As mentioned before, the chloride concentration of the brackish groundwater used for the RO ranged from 5.8 to 6.3 g/l. No organic micropollutants were detected in the brackish groundwater during the test drillings, nor in the brackish source wells or in the incoming brackish groundwater to the pilot. In the freshwater lens, however, some organic micropollutants occurred, notably PFAS. The following PFAS substances were detected in deep fresh groundwater: PFBA (0-3.1 ng/l), PFHxA (0-2.5 ng/l), PFHpA (0-1.1 ng/l), PFOA (5.1-9.4 ng/l) and PFHxS (1.1-1.2 ng/l). These substances were also detected in the deeper source pumps, but this occurred during the freshening of the wells. As a result, the fresh groundwater sank deeper, causing PFAS to be found at greater depth. It can be concluded that to date, no organic microcontaminants are present in the deep brackish groundwater.

Table 4.6 presents all water quality data of the RO permeate from the different research periods. The maximum concentrations of the substances have been compared with the applicable drinking water standards and Dunea's internal operational standards. The analysis shows that the concentrations of calcium, magnesium, and bicarbonate are too low according to legal requirements. This is of course an inevitable consequence of RO membrane filtration. One option to increase these concentrations is to remineralize the water (marble filtration) or possibly mix it with drinking water. This mixing must be done carefully.

Previous and ongoing research has already shown that unexpected mixing effects can occur when drinking water from conventional treatment plants is mixed with purified water from an alternative source. Mixing water produced with RO membrane filtration with conventionally treated water can lead to deterioration of the biological stability of the mixed water. When these two biologically stable water types are mixed, the presence of gases in the permeate (methane and hydrogen sulphide) may lead to increased microbial growth in the blended water. However, the blending risk can be mitigated by properly aerating the permeate to remove methane and hydrogen sulphide.

Table 4.6: Overview of permeate composition (maximum concentrations) measured during the extraction of brackish water, deep fresh groundwater and the long-term tests. Parameters in red do not meet the requirements, being either the internal Dunca standard or the National Drinking Water Standard (DWB).

Component	Unit	Brackish water Deep Freshwater Long-Term Test			Requirement	Standard
		Maximum	Maximum	Maximum		
Ammonium	mg/l N	0.11	0.06	0.18	0,04	Dunca
Aluminium (filtered)	µg/l Al	17	3.54	1.02	30	Dunca
Arsenic	µg/l As	<0.03	0.03	0.05	1	Dunca
Barium	µg/l Ba	1.52	<1	<1	20	Dunca
Boron	mg/l B	0.25	0.09	0.39	0,125	Dunca
Cadmium	µg/l Cd	<0.05	<0.05	<0.05	5	DWB
Calcium	mg/l Ca	0.47	0.16	0.14	Hardness > 1	DWB
Chloride	mg/l Cl	147	49.9	229	150	DWB
Chromium	µg/l Cr	<1	<1	<1	50	DWB
Fluoride	mg/l F	0.023	0.01	<0.01	1	DWB
Iron	mg/l Fe	0.015	0	0.01	0,05	Dunca
Potassium	mg/l K	2.37	0,55	4.21	-	-
Copper	µg/l Cu	1.5	1.2	1.95	2000	DWB
Mercury	µg/l Hg	<0.05	<0.05	<0.05	0,25	Dunca
Lead	µg/l Pb	<0.5	<0.5	4.41	10	DWB
Magnesium	mg/l Mg	0.5	<0.05	0.17	Hardness > 1	DWB
Manganese	µg/l Mn	1.36	0.25	1.48	50	Dunca
Methane	µg/l	65	90	54	-	-
Sodium	mg/l Na	91.7	34.7	150	150	DWB
Nickel	µg/l Ni	1.27	<0.5	<0.5	5	Dunca
Nitrate	mg/l N	0.12	0.95	0.38	3	Dunca
Nitrite	mg/l N	0	0	0	0,0075	Dunca
Selenium	µg/l Se	<0.5	<0.5	<0.5	2,5	Dunca
Silicate	mg/l Si	0.072	0.07	2.73	-	-
Sulphate	mg/l SO4	2,44	<2	<2	75	Dunca
Temperature	°C	12.3	12.5	13.1	25	DWB
Total Phosphate	mg/l P	0.01	0.052	0.019	0,15	Dunca
Bicarbonate	mg/l HCO3	8.02	7.81	8.4	> 60	DWB
Zinc	µg/l Zn	1.28	1.14	1.34	3000	DWB

During the long-term tests, the chloride concentration in the permeate was found to be several times above 150 mg/L (maximum 229 mg/l). This may be due to the high salt content of the intake water (between 6 and 7 grams per Liter of chloride). The RO membranes are also not capable of sufficiently removing boron to meet Dunca's internal standard, although the concentration remains below the drinking water standard of 1.5 mg/L. Additional treatment is required to bring boron levels within the operational standard. Since the RO permeate will be blended with the current drinking water produced at the site, in a 1:10 proportion, it seems unlikely that additional treatment for chloride or boron is needed. Dilution will solve the problem here, as is the case for hardness.

RO Concentrate

The water quality of the RO concentrate (waste stream) is shown in Table 4.7.

Table 4.7: Water quality of the concentrate with the maximum concentration shown during brackish groundwater extraction, deep freshwater extraction, and the long-term test with brackish groundwater.

Component	Unit	Brackish water	Deep freshwater	Long-Term Test
		Maximum	Maximum	Maximum
Ammonium	µg/L N	6,43	7,49	7,01
Aluminium (filtered)	µg/l Al	6,87	4,79	7,42
Arsenic	µg/l As	0,4	0,68	0,85
Barium	µg/l Ba	168	631	462
Boron	mg/l B	0,53	0,2	0,84
Bromide	µg/l Br	88988	14966	54072
Cadmium	µg/l Cd	<0.05	<0.05	<0.05
Calcium	mg/l Ca	631	615	910
Chloride	mg/l Cl	14904	6814	17261
Chromium	µg/l Cr	<1	1,01	4,91
Fluoride	mg/l F	1,53	1,54	0,648
Iron	mg/l Fe	10,8	8,22	14,4
Potassium	mg/l K	204	65,2	285
Copper	µg/l Cu	1,17	1,83	4,02
Mercury	µg/l Hg	<0.05	<0.05	<0.05
Lead	µg/l Pb	<0.5	0.75	2.31
Magnesium	mg/l Mg	862	441	1192
Manganese	µg/l Mn	1192	1227	1810
Methane	µg/l	<5	110	54
Sodium	mg/l Na	7901	3805	10042
Nickel	µg/l Ni	3,44	3,28	1,9
Nitrate	mg/l N	0,44	0,59	5,42
Nitrite	mg/l N	0,01	0,01	0,01
Selenium	µg/l Se	<0.5	0.56	0.71
Silicate	mg/l Si	22,7	49,1	24,2
Sulfate	mg/l SO4	2048	1015	2506
Temperature	°C	13,2	12,6	13,6
Total Phosphate	mg/l P	1,89	2,87	2,33
Turbidity	FTU	86,6	25,9	103
Bicarbonate	mg/l HCO3	641	1231	660
Zinc	µg/l Zn	1,38	2,97	10
pH	-	7,67	8,05	7,86

The water quality of the concentrate provides insight into which compounds may pose potential environmental issues: the concentrate contains elevated concentrations of reduced components such as ammonium, iron, and manganese, which have a high oxygen demand. In addition, the concentrate contains heavy metals and nutrients, which could potentially pose an environmental problem upon discharge. However, the salinity of the concentrate is not a problem, considering disposal to the sea.

The average chloride concentration of coastal seawater is approximately 18,000 mg/L, and the concentrate remains below this level with a maximum concentration of 17,261 mg/L.

4.3.6 Cleaning in place

Cleaning In Place (CIP) events took place every six months in the research period. During this event, the RO membranes were cleaned by recirculation and soaking with a solution with a low concentration of chemicals (caustic followed by acid) to remove scaling and fouling residues from the membranes (see Figure 4.21). Samples were taken from the chemical solution after CIP to analyse the nature of the scaling and fouling. Many metals were measured in this solution. Ions with the highest concentrations were sodium, iron, magnesium, manganese, silicon, aluminium, and potassium.

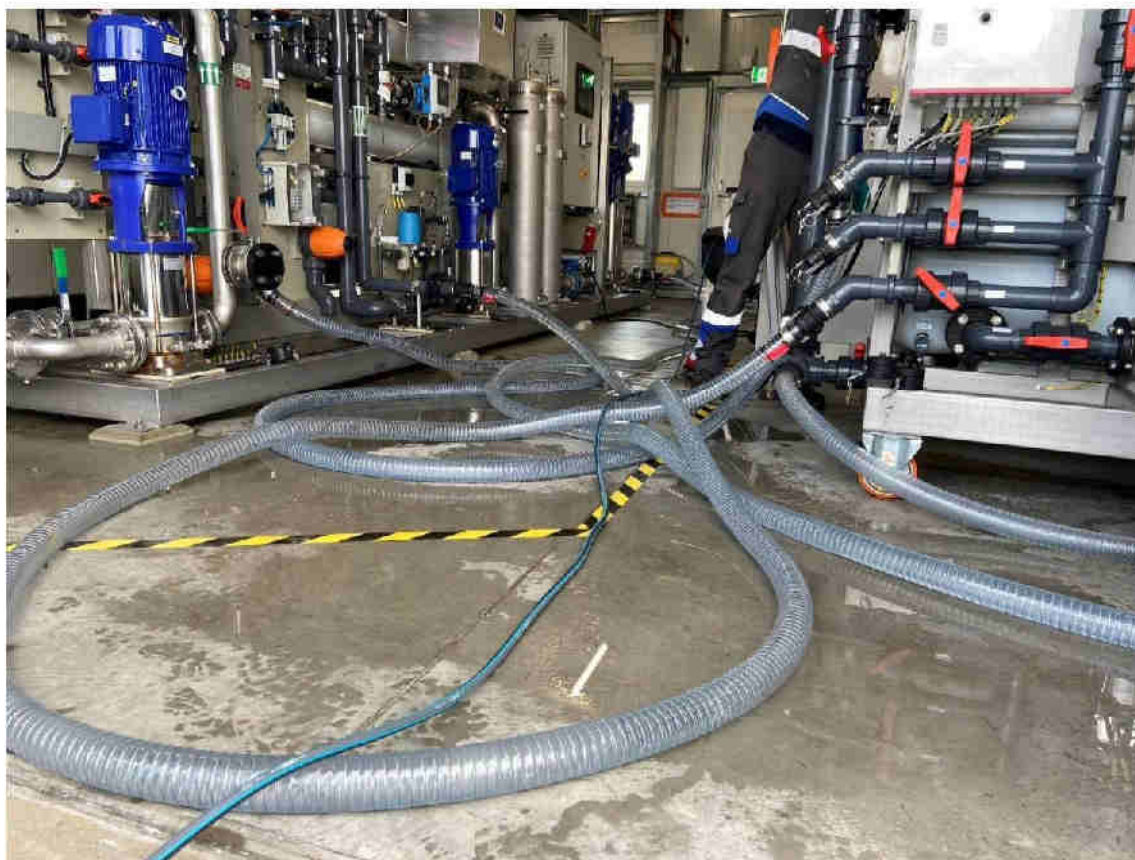


Figure 4.21: Cleaning in place operation.

5 Conclusions and recommendations

5.1 Demonstration project

5.1.1 Conclusions

- The theoretical concept of the Freshman technique, to enhance freshwater availability in coastal aquifers and improve the robustness of deep freshwater extraction wells, has been validated in the field:
 - o The extraction of brackish groundwater resulted in a significant downward shift of the transition from fresh to brackish groundwater at the demonstration site, increasing the local availability of freshwater in the vicinity of the extraction well by about 11,000 m³ within the radial domain between wells O and P and by about 36,000 m³ within a radius of 100 m. In contrast, a maximum of 338,000 m³ freshwater was lost by mixing in the brackish well during the 1.5-year extraction experiment. This indicates that the loss of fresh groundwater through brackish groundwater extraction far exceeded the gain in locally present freshwater, and would further increase if extraction continued for the purpose of sustaining the enlarged freshwater lens. However, this freshwater lost by mixing can be recovered through desalination using reverse osmosis (RO).
 - o Where solely extracting deep fresh groundwater resulted in rapid salinization and a freshwater recoverability of only about 48,000 m³, simultaneously extracting deeper brackish groundwater prevented salinization of the freshwater well, with no signs of salinization at nearly triple the extracted volume of 142,000 m³. The loss of fresh groundwater in the brackish extraction well amounted to a maximum of 20% of the gain in freshwater recoverability.
 - o Extracting brackish groundwater after salinization of the fresh groundwater extraction well reverted the upconing process, proving the reversibility of the salinization process.
- The observed groundwater quality changes during freshening due to brackish groundwater extraction were mainly dominated by conservative mixing of the ambient groundwater. However, salinization-induced cation exchange processes dominated the groundwater composition during extraction of fresh groundwater, with freshwater cations (barium, calcium, iron and manganese) mobilizing at the expense of saltwater cations (magnesium, potassium and sodium) and attaining higher concentrations than in the initial native groundwater. Freshwater cations were also enriched in the groundwater extracted with the freshwater extraction well upon salinization. Although the simultaneous extraction of brackish groundwater prevented the enrichment of these cations in the fresh extraction well, the groundwater extracted from the brackish well was affected by salinization-induced mobilization of freshwater cations, potentially affecting the suitability of this water for desalination. Moreover, mixing brackish groundwater of two different salinities can yield a different chemical composition compared to native groundwater with the same average salinity. This implies that the extraction strategy may be determined by the challenges expected with the groundwater composition in a desalination facility.
- The pilot results reveal that the extraction of fresh and brackish groundwater from the third aquifer does not have a significant impact on hydraulic heads in the second aquifer and on phreatic groundwater levels due to the presence of intermittent confining aquitards. As phreatic groundwater levels are not influenced by the pilot, it follows that impacts of the pilot on nature values in the vicinity of the pilot area were insignificant. Ecological inventories of the pilot area (habitat types and protected species) prior to and after the experiments support this assessment.
- The optimal conditions for brackish groundwater purification have been assessed by long-term testing of the RO membranes. It can be concluded that a flux of 15 LMH and a recovery of 60% are representative values for a full-scale operation. In order to be potable, the permeate needs

post-treatment: degassing and hardness adjustment. This can easily be achieved by mixing the permeate with the dune water pumped up at the site for drinking water production, followed by post-treatment to drinking water at the production location.

5.1.2 Recommendations

- We recommend extracting brackish groundwater mainly for the local protection of deep freshwater extraction wells, rather than applying the technique on a large scale solely for the production of drinking water through reverse osmosis. For the former goal, the effectiveness of the technique was proven. However, for the latter, the freshwater losses by mixing in the brackish well outweigh the volumetric expansion of the freshwater lens, which can only be recovered if the extracted brackish water is desalinated by, e.g., reverse osmosis. Moreover, the effects of a large-scale operation on phreatic groundwater levels and nature values depending on phreatic groundwater should be investigated more thoroughly.
- We recommend installing multiple individual extraction screens for brackish groundwater collection. The use of multiple screens not only offers more flexibility for manipulating the salinity distribution in the aquifer, but also for selecting a specific groundwater quality in the treatment process.
- As the quality of extracted fresh groundwater is crucial for drinking water purposes, we recommend always logging the salinity of extracted groundwater. We also recommend sampling representative endmembers of fresh and saline groundwater to determine the cation exchange processes expected during freshening and salinization in the aquifer. For quick approximate insights in the vertical salinity distribution at monitoring wells, we recommend conducting resistivity measurements with GEM-cables. Placing piezometers at identical depths of electrode pairs of the GEM-cables allows for calibration of the measured resistivity on the actual groundwater salinity. The GEM-cables can subsequently be used to increase the temporal resolution of the monitoring of groundwater dynamics, e.g., the movement of the transition from fresh to brackish groundwater. For a higher spatial (vertical) resolution, geophysical borehole measurements proved to offer valuable information.
- We recommend comparing the effectiveness of extracting brackish groundwater in protecting freshwater extraction wells with alternative techniques, like deep injection of freshwater. Such a comparison should not only consider the impacts on groundwater salinity, but also on the entire chemical composition of the groundwater (e.g., trace metals, sulphate and hardness).
- We recommend some additional RO membrane experiments which were not foreseen during the proposal stage. Firstly, we recommend widening the salinity range of the brackish groundwater to be assessed. Up to now, we focused on chloride concentrations of 5000-7000 mg/l, which is the expected average salinity of a full-scale brackish well field in Meijndel. However, it is also interesting to assess RO performance on individual (hypothetical) well series, both in the eastern part of Meijndel (1000-3000 mg/l) and in the western part (12.000 mg/l). The tests with brackish groundwater of high chloride concentration (12.000 mg/l) require replacement of the membranes.
- We also recommend investigating options for purification of the saline waste stream from the RO (called brine or concentrate), as Dunea will probably be obliged to purify the waste stream before discharging it to the sea.

5.2 Replication project

5.2.1 Conclusions

Near the site Munitiedepot, the phreatic Quaternary aquifer consists of marine deposits, specifically two sand packages separated by a 0.5 m thick clay layer situated at a depth between 12 and 12.5 m below ground level. The lower sand package is slightly coarser in grain than the upper and contains more shell fragments. The whole soil column is 26 to 28 m thick and lays on top of the clay of the Kortrijk Formation. A freshwater lens occurs in the phreatic package with brackish water at its base. Geophysical borehole measurements in monitoring well PBI allowed to divide the phreatic aquifer into 4 parts.

Interpretation of the pumping tests was performed based on the MLU modelling and on MODFLOW simulations. With the MODFLOW model the three groundwater abstraction tests could be simulated with almost an identical set of parameters.

Precipitation strongly influences groundwater levels and during periods of precipitation there is a rapid reaction; the drawdown due to groundwater extraction decreases quite rapidly. The extent to which this occurs depends on the intensity and duration of a precipitation event but is almost always within the span of a day. In periods without precipitation, the increase of drawdown is more gradual.

It was not possible to relate changes in the level of the Langgeleed Canal next to the site with changes of drawdown. However, this does not mean that there is no interaction. The observed head gradients and the MODFLOW simulations show that there is flow from the Langgeleed Canal to the shallow pumping well and this will also limit the reductions of groundwater heads somewhat. An interaction between pumping below the clay layer and the Langgeleed Canal is not expected (at the given flow rates of the pumping tests).

Extraction from the sand package above the clay layer results into freshening of water quality up to the filter level of PPO. The fresh shallow water with slightly smaller TDS is thus drawn toward the shallow pumping well. It does not cause a change in salinity below the clay layer. There is no up-coning of the brackish water at the base of the aquifer, due to the presence of the aquitard (clay layer) above.

Pumping in the package below the clay layer has a clear impact on the occurrence of brackish water at the base of the aquifer. It causes attraction of brackish water resulting in up-coning. This resulted in an increase of the conductivity of the pumped water from 2,400 $\mu\text{S}/\text{m}$ before the start of pumping to 3,250 $\mu\text{S}/\text{m}$ at the end of pumping tests 2 and 3.

5.2.2 Recommendations

Groundwater extraction from the Munitiedepot site could be an option for drinking-water production. However it should be limited to the upper part of the phreatic aquifer as contrary to pumping from the lower part it does not cause up-coning of brackish water. This is due to the presence of a small clay layer at 12 to 12.5 m depth.

To investigate the effect of a greater groundwater extraction, and the role of precipitation and surface water level of the Langgeleed Canal, a dynamic time-dependent groundwater model should be run. It should consider solute transport and density flow to assume the effect on the fresh/brackish water transition zone on the long term.

The extracted groundwater will need treatment for pesticides removal.

6 References

- Andersen MS, Nyvang V, Jakobsen R, Postma D (2005) Geochemical processes and solute transport at the seawater/freshwater interface of a sandy aquifer. *Geochim Cosmochim Acta* 69:3979–3994. <https://doi.org/10.1016/J.GCA.2005.03.017>
- Appelo CAJ, Postma D (2004) *Geochemistry, groundwater and pollution*. CRC press
- Daamen, J. (2020). Natuurtoets pilot brakwaterwinning Pompstation Scheveningen - Toetsing in het kader van de Wet natuurbescherming. Bureau Waardenburg, rapport 20-107.
- De Louw PGB, Vandenbohede A, Werner AD, Oude Essink GHP (2013) Natural saltwater upconing by preferential groundwater discharge through boils. *J Hydrol (Amst)* 490:74–87. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2013.03.025>
- Deltares (2023). Innovative groundwater monitoring as applied in LIFE-Freshman. I. de Groot-Wallast (Ed.). Memo, October 25, 2023 (41 pp.).
- Deltares (2025). Monitoring of the FRESHMAN pilot with AH-DTS and ERT. Authors: P. Pauw, M. Pefkos & A. Nivorlis. Draft Report, June 2025.
- Dolman, S. (2025). Effectenonderzoek na realisatie brakwaterpilot, pompstation Scheveningen. Beoordeling in het kader van de Omgevingswet. Waardenburg Ecology, Rapportnr. 25-170.
- Dunea (2024) Waterkwaliteitsrapportages. In: *Kwaliteitsoverzichten*. <https://www.dunea.nl/drinkwater/waterkwaliteit-en-samenstelling/waterkwaliteitsrapportages>. Accessed 24 Mar 2025
- EEA (2018). *European waters - Assessment of status and pressures*. EEA report 7/2018.
- EEA (2022). *Europe's groundwater - a key resource under pressure*. EEA briefing 03/2022.
- EEA (2024). *Europe's state of water 2024 - The need for improved water resilience*. EEA report 07/2024.
- Eeman S, Leijnse A, Raats PAC, Van Der Zee SEATM (2011) Analysis of the thickness of a fresh water lens and of the transition zone between this lens and upwelling saline water. *Adv Water Resour* 34:291–302. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2010.12.001>
- GEOLAB (2020). Grondboringen en Pompproef Koksijde. Verslag 20.06.104 – 30/06/2020, 10 p.
- Hayashi M (2004) Temperature-Electrical Conductivity Relation of Water for Environmental Monitoring and Geophysical Data Inversion. *Environ Monit Assess* 96:119–128. <https://doi.org/10.1023/B:EMAS.0000031719.83065.68>
- Hemker, C.J., Randall, J. (2013). Modeling with MLU: applying the multilayer approach to aquifer test analysis. Tutorial.
- Lebbe, L. (2020). Interpretatie van pompproef uitgevoerd nabij de Langgeleed te Koksijde. Hydrogeo Consult, 20 p.
- Niswonger, R.G., Panday, S. & Ibaraki, M. (2011). MODFLOW-NWT, a Newton formulation for MODFLOW-2005. U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A37.
- Pollock, D.W. (2012). User guide for MODPATH Version 6 – a particle-tracking model for MODFLOW. U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A41.
- Prusty P, Farooq SH (2021) Understanding the effects of periodic freshening and salinization on coastal water quality and aquifer sediments through laboratory-based column experiments. *J Hydrol (Amst)* 603:127060. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2021.127060>
- Ravenscroft P, McArthur JM (2004) Mechanism of regional enrichment of groundwater by boron: the examples of Bangladesh and Michigan, USA. *Applied Geochemistry* 19:1413–1430. <https://doi.org/10.1016/J.APGEOCHEM.2003.10.014>
- Reilly TE, Goodman AS (1987) Analysis of saltwater upconing beneath a pumping well. *J Hydrol (Amst)* 89:169–204. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(87\)90179-X](https://doi.org/10.1016/0022-1694(87)90179-X)
- Russak A, Sivan O (2010) Hydrogeochemical tool to identify salinization or freshening of coastal aquifers determined from combined field work, experiments, and modeling. *Environ Sci Technol* 44:4096–4102. <https://doi.org/10.1021/es1003439>
- Russak A, Sivan O, Herut B, et al (2015) The effect of salinization and freshening events in coastal aquifers on nutrient characteristics as deduced from column experiments under aerobic and anaerobic conditions. *J Hydrol (Amst)* 529:1282–1292. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2015.07.034>

- Seibert SL, Holt T, Reckhardt A, et al (2018) Hydrochemical evolution of a freshwater lens below a barrier island (Spickeroog, Germany): The role of carbonate mineral reactions, cation exchange and redox processes. *Applied Geochemistry* 92:196–208.
<https://doi.org/10.1016/J.APGEOCHEM.2018.03.001>
- Sola F, Vallejos A (2022) Long and short-term cation exchange linked to a negative hydraulic barrier in a coastal aquifer. *Science of The Total Environment* 819:152013.
<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.152013>
- Stuyfzand PJ (1993) Hydrochemistry and hydrology of the coastal dune area of the Western Netherlands. KIWA
- Stuyfzand PJ (1992) Behaviour of major and trace constituents in fresh and salt intrusion waters, in the Western Netherlands. In: 12th Saltwater Intrusion Meeting, Barcelona, Spain.
- Valocchi AJ, Street RL, Roberts PV (1981) Transport of ion-exchanging solutes in groundwater: Chromatographic theory and field simulation. *Water Resour Res* 17:1517–1527.
<https://doi.org/10.1029/WR017i005p01517>
- van Dooren T, Schout G (2023) Hydrogeological field trial with pumping tests for the Freshman demonstration pilot. KWR2023.021. Nieuwegein, the Netherlands
- Van Houtte, E. and Verbauwheide, J. (2021). Case Study 25: Water recycling with Managed Aquifer Recharge in sand dunes of St-André (Koksijde) as one of the multiple safety barriers for drinking water to Veurne area, Belgium. In: Zheng, Y., Ross, A., Villholth, K.G. and Dillon, P. (eds.), 2021: Managing Aquifer Recharge: A Showcase for Resilience and Sustainability, p. 313-322. UNESCO, Paris.
- Vandenbohede, A. (2024). LIFE FRESHMAN – Replicatiesite munitiedepot Koksijde. Boorbeschrijving en putschema's bijkomende putten. De Watergroep, 15 p.
- Vandenbohede, A., 2025. LIFE FRESHMAN – Replicatiesite munitiedepot Koksijde. Pompproeven. De Watergroep, 85 p.
- Vinogradov J, Jackson MD, Chamcrois M (2018) Zeta potential in sandpacks: Effect of temperature, electrolyte pH, ionic strength and divalent cations. *Colloids Surf A Physicochem Eng Asp* 553:259–271. <https://doi.org/10.1016/J.COLSURFA.2018.05.048>

APPENDIX B: Monitoring plan of the demonstration project

- **Sensors for flow rate and EC** on the pipelines coming from each extraction well screen:
 - Data were registered every 5 minutes, also when extraction well screens are inactive.
- **LT(C)-loggers** in piezometers (L = groundwater level, T = temperature, C = conductivity):
 - Data were checked every X minutes and saved whenever the head change is > 1 cm.
 - X = 1 for all LT-loggers in piezometer screens, X = 2 for all LT-loggers in extraction well screens, X = 5 for all LTC-loggers in piezometer screens.
- **Geophysical borehole measurements** in wells 1, 2, and M-T:
 - 10-1-2022: Reference measurements prior to the start of the pilot
 - 19-5-2022: Measurements prior to the first change of flow rates
 - 24-7-2023: Measurements prior the first rest phase.
 - 1-11-2023: Measurements prior to the first simulated calamity
 - 29-2-2024: Measurements at the end of the first simulated calamity.
 - 7-11-2024: Measurements prior to the second simulated calamity.
 - 12-3-2025: Measurements at the end of the second simulated calamity.
- **Resistivity measurements with GEM-cables** were conducted up to 2x/week for the central wells (1, 2, and M-P) after a change in the operation. The frequency of the measurements is lower at the outer wells (Q and R) and when no change in operation has occurred in a while (up to 1x/2 weeks).
- **Water quality analyses:**
 - Calibration measurements for salinity (February and March 2022, January 2023, February 2024, March 2025):
 - All piezometers and extraction screens that are placed at the same depth as the electrode pairs of GEM-cables in wells 1, 2, and M-R were analysed on field parameters and salinity.
 - Reference measurements of groundwater at the start and end of the first pilot phase of brackish groundwater extraction (January 2022 and July 2023):
 - All piezometers were analysed on field parameters and salinity
 - All piezometers and extraction screens in wells 1, 2, and M-P were analysed on all relevant chemical constituents.
 - Additional measurements of groundwater in the first pilot phase of brackish groundwater extraction (April 2022 and August 2022):
 - Selected piezometers and extraction screens (mainly in the transition zone from fresh to saline groundwater) in wells 1, 2, M and N were analysed on all relevant chemical constituents.
 - Reference measurements of groundwater at the end of all subsequent pilot phases (October 2023, February 2024, October 2024, March 2025):
 - Selected piezometers and extraction screens (mainly in the transition zone from fresh to saline groundwater) in wells 1, 2, M, N and P were analysed on all relevant chemical constituents.
 - Additional measurements of groundwater during extraction of fresh groundwater and subsequent extraction of brackish groundwater (November 2023 – November 2024):
 - The above measurements in selected piezometers in wells 1, 2, M and N were repeated five times during fresh extraction and four times during brackish extraction.
 - Measurements during extraction of fresh groundwater, subsequent extraction of brackish groundwater and simultaneous extraction of fresh and brackish groundwater (November 2023 – March 2025):
 - Active extraction screens in wells 1 and 2 were sampled and analysed frequently on all relevant chemical constituents (1x every one – seven weeks and at least right before and after each operational change).

APPENDIX C: Geophysical borehole measurements in the demonstration project

- 20200304 - GBM in open borehole - exploratory drilling.pdf
- 20200619 - GBM - restoration of exploratory drilling - 1.pdf
- 20200918 - GBM - restoration of exploratory drilling - 2.pdf
- 202105 - 202108 - GBM in open borehole - all pilot wells.pdf
- 202105 - 20211020 - GBM - disturbance & well development.pdf
- 20220114 - GBM - reference measurement before Freshman pilot.pdf
- 20220509 - GBM - measurement before first change of flow rates.pdf
- 20230724 - GBM - measurement at end of brackish groundwater extraction I.pdf
- 202311 - GBM - measurement at end of idle phase.pdf
- 20240129 - GBM - measurement at end of fresh groundwater extraction.pdf
- 202411 - GBM - measurement at end of brackish groundwater extraction II.pdf
- 20250312 - GBM - measurement at end of fresh & brackish groundwater extraction.pdf

These files are available at the project coordinator (Dunea) upon request.

APPENDIX D: Lithology and chemistry of sediment cores from the demonstration project

Sediment analyses Freshman-pilot.xlsx

This file is available at the project coordinator (Dunea) upon request.

Table A.1: Lithology and chemistry of samples from sediment cores taken from well P.

	Core depth	44-45 m-bls			56-57 m-bls			114-115 m-bls			124-125 m-bls		
	Formation	Urk			Waalre			Maassluis			Maassluis		
	Sample	top	mid	bot	top	mid	bot	top	mid	bot	top	mid	bot
Lithology	<2 μm (%)	0	0	0	0.09	1.25	0.17	0.09	0.58	0.55	3.66	3.20	3.36
	<16 μm (%)	0	0	0	2.07	6.40	2.84	1.88	2.91	2.70	14.8	14.0	14.3
	<63 μm (%)	0	0	0.51	7.73	22.0	8.71	5.44	7.79	7.19	39.2	38.2	35.4
	<2 mm (%)	100	100	100	94.9	85.7	99.0	95.1	91.2	98.7	89.8	90.2	86.5
	D10 (μm)	216	240	254	82.9	29.7	69.4	124	110	127	7.41	8.69	8.05
	D50 (μm)	329	373	398	183	115	189	216	234	228	82.1	83.3	91.8
	D90 (μm)	494	571	603	306	236	350	336	378	349	212	207	219
	D[4,3] (μm)	343	391	414	189	126	201	220	238	230	99.0	98.5	105
Chemistry	Al ₂ O ₃ (%)	2.48	2.08	2.40	4.66	5.93	4.02	3.16	2.48	2.44	6.24	5.92	5.68
	BaO (%)	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.04	0.04	0.04
	CaCO ₃ (%)	1.75	0.92	0.78	0.06	0.19	0.08	0.47	0.04	0.04	10.7	10.4	9.08
	CaO (%)	0.10	0.15	0.10	0.32	0.47	0.52	0.12	0.22	0.22	2.00	2.08	2.31
	CuO (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Fe ₂ O ₃ (%)	0.60	0.37	0.40	0.86	1.43	1.02	1.10	0.80	0.80	2.60	2.33	2.24
	HfO ₂ (%)	0.02	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04	0.02	0.04
	K ₂ O (%)	1.10	0.95	1.14	1.48	1.66	1.32	1.08	0.91	0.90	1.64	1.62	1.58
	MgO (%)	0.14	0.10	0.11	0.30	0.52	0.40	0.34	0.24	0.24	1.54	1.47	1.38
	Mn ₃ O ₄ (%)	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.06	0.05	0.07
	Na ₂ O (%)	0.50	0.39	0.38	0.88	0.98	0.74	0.59	0.51	0.50	1.10	1.10	1.10
	Org. C (%)	0.21	0.07	0.07	0.04	0.12	0.28	0.22	0.15	0.21	1.08	1.07	1.03
	P ₂ O ₅ (%)	0.02	0.02	0.02	0.03	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.08	0.08
	S (%)	-	-	-	0.05	0.02	0.03	0.06	0.08	0.07	0.27	0.26	0.25
	SiO ₂ (%)	92.2	94.2	93.9	90.0	86.6	90.1	91.4	93.1	92.9	67.6	68.8	70.4
	TiO ₂ (%)	0.06	0.05	0.05	0.20	0.36	0.24	0.16	0.10	0.11	0.37	0.36	0.34
	V ₂ O ₅ (%)	0.06	-	-	0.02	0.04	0.02	-	-	-	-	-	-
	WO ₃ (%)	0.08	0.10	0.06	0.05	0.09	0.05	0.04	0.09	0.08	0.02	0.02	0.02
	ZrO ₂ (%)	-	-	-	0.02	0.04	0.04	0.02	-	-	0.04	0.05	0.04
	LOI 550°C (%)	0.54	0.33	0.30	0.45	0.97	0.91	0.69	0.58	0.58	3.94	3.84	3.83

Table A.2: Lithology and chemistry of samples from sediment cores taken from well 1.

	Depth	64-65 m-bls			93-94 m-bls			96-97 m-bls			103-104 m-bls			109-110 m-bls			
	Formation	Peize-Waalre			Peize-Waalre			Peize-Waalre			Peize-Waalre			Peize-Waalre			
	Sample	top	mid	bot	top	top	mid	bot	mid	bot	top	mid	bot	top	mid	bot	
Lithology	<2 μm (%)	0.42	0.49	0.16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	<16 μm (%)	2.80	2.53	1.70	0	0	0.06	0.90	1.42	0	0.97	0.81	0	0	0.14	0.06	
	<63 μm (%)	6.87	5.18	3.63	1.40	1.00	1.02	2.58	3.50	0	3.32	2.49	1.29	2.33	2.62	1.62	
	<2 mm (%)	99.2	99.9	99.8	99.9	99.8	99.6	99.8	99.7	99.9	99.9	99.7	99.9	99.8	99.9	99.7	
	D10 (μm)	120	152	193	148	146	146	141	120	230	147	146	153	97.4	92.8	108	
	D50 (μm)	258	282	305	239	231	228	228	206	346	236	230	241	160	156	171	
	D90 (μm)	426	451	454	378	359	349	356	336	515	359	348	368	251	249	263	
	D[4,3] (μm)	265	290	312	251	243	239	238	217	362	243	238	251	167	164	178	
Chemistry	Al ₂ O ₃ (%)	3.09	2.73	2.48	3.16	3.24	3.38	3.44	3.92	1.82	2.86	2.68	2.60	2.96	3.22	2.75	
	BaO (%)	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	
	CaCO ₃ (%)	0.49	0.25	0.16	0.36	0.43	0.45	0.46	0.92	0.10	1.50	1.67	1.58	0.27	0.36	0.21	
	CaO (%)	0.22	0.18	0.20	0.34	0.34	0.35	0.29	0.37	0.14	0.22	0.21	0.25	0.30	0.30	0.25	
	CuO (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.05	0.07	0.04
	Fe ₂ O ₃ (%)	0.68	0.53	0.44	0.56	0.60	0.62	0.56	0.82	0.31	0.62	0.60	0.60	0.70	0.68	0.57	
	HfO ₂ (%)	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.02	0.02	0.04	0.04	0.03	
	K ₂ O (%)	1.11	1.00	0.96	1.14	1.16	1.18	1.27	1.34	0.80	1.04	0.98	1.00	1.11	1.18	1.07	
	MgO (%)	0.26	0.19	0.17	0.26	0.27	0.28	0.27	0.36	0.11	0.14	0.14	0.13	0.14	0.16	0.10	
	Mn ₃ O ₄ (%)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	
	Na ₂ O (%)	0.56	0.47	0.44	0.66	0.69	0.70	0.70	0.82	0.40	0.52	0.50	0.53	0.58	0.62	0.54	
	Org. C (%)	0.16	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.08	0.30	0.05	0.11	0.09	0.11	0.09	0.09	0.10	
	P ₂ O ₅ (%)	0.02	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	-	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	
	S (%)	0.03	-	-	-	-	0.03	0.02	0.06	0.02	-	-	-	0.02	-	0.02	
	SiO ₂ (%)	92.4	93.6	94.2	92.5	92.2	92.0	92.0	89.8	95.5	92.0	92.2	92.2	92.7	92.3	93.3	
	TiO ₂ (%)	0.14	0.10	0.09	0.14	0.16	0.16	0.12	0.16	0.08	0.10	0.10	0.10	0.18	0.20	0.16	
	V ₂ O ₅ (%)	-	-	-	-	-	-	0.02	-	0.02	-	-	0.04	-	-	0.02	
	WO ₃ (%)	0.05	0.08	0.06	0.05	0.04	0.07	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.07	0.06	0.05	
	ZrO ₂ (%)	-	-	-	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	-	-	-	-	0.02	0.03	0.02	
	LOI 550°C (%)	0.54	0.52	0.45	0.35	0.47	0.35	0.39	0.79	0.24	0.55	0.50	0.59	0.44	0.45	0.41	

APPENDIX E: Composition of hydrochemical endmembers in the demonstration project.

Parameter	Unit	Drinking water (29 June 2021)	Fresh groundwater endmember (well P, screen 5; 31 July 2023)	Saline groundwater endmember (well P, screen 17; 31 July 2023)
EC_w	mS/m	52.1	55.6	4150
pH	-	8.4	7.6	7.3
Turbidity	NTU	0.4	0.23	1.02
Cl	mg/L	53	45.8	16500
Alkalinity	mg/L	175	269	252
SO ₄	mg/L	45	18.9	2310
Na	mg/L	57	38.7	9600
Ca	mg/L	43	73.5	371
Mg	mg/L	8.1	7.20	1170
K	mg/L	5.4	2.91	342
Fe	mg/L	<0.005 ^a	0.91	7.02
Mn	mg/L	<0.005 ^a	0.14	0.46
NH ₄	mg/L	<0.02 ^a	1.14	5.20
PO ₄	mg/L	0.15 ^a	0.56	2.60
SiO ₂	mg/L	-	22.8	16.0
DOC	mg/L	1.54 ⁿ	2.41	2.50
Al	µg/L	2.0 ^a	3.64	3.93
As	µg/L	1.8 ^a	0.41	0.64
B	µg/L	45 ^a	37.9	2110
Ba	µg/L	-	12.0	106
Co	µg/L	-	0.14	0.17
Cr	µg/L	-	0.16	4.42
Cu	µg/L	0.5 ^a	0.75	4.65
Ni	µg/L	-	0.97	0.41
Sr	µg/L	-	315	6740
Zn	µg/L	-	0.87	22.5
Sum of anions and cations	meq/L	10.7	12.2	1060

^a Not sampled, but average value reported by Dunea in the water quality report of the second quarter of 2021 for main production site Scheveningen (Dunea 2024).

Aan Provinciale Staten

Onderwerp:

Behandelvoorstel Motie 1555 Onderzoek naar effecten van PFAS in Natura 2000-gebied Meijndel & Berkheide

Geachte Statenleden,

In uw vergadering van 11 december 2024 nam u in het kader van de Herziening Omgevingsbeleid 2024 motie 1555 aan met het volgende verzoek aan het college:

- Onderzoek te doen naar verhoogde concentraties van PFAS in de duinen door de productie van drinkwater en, bij voorkeur gezamenlijk met drinkwaterbedrijf Dunea, door seaspray op de instandhoudingsdoelen in Natura2000-gebied Meijndel & Berkheide;
- De uitkomsten van dit onderzoek zo spoedig mogelijk met Provinciale Staten te delen;

Deze brief beschrijft ons behandelvoorstel voor deze motie met als conclusie dat eerst algemeen onderzoek langs o.a. de Zuid-Hollandse kust plaatsvindt en de resultaten hiervan met u worden gedeeld. Dit is tevens toegelicht in de beantwoording van Statenvragen 4032¹.

Onderzoek naar effect van seaspray op de drinkwaterwinning

Arcadis heeft in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) onderzoek uitgevoerd naar "PFAS in seaspray aerosolen en zeeschuim"². In dit rapport is de beschikbare kennis over PFAS in seaspray gebundeld en benoemd welke kennis nog ontbreekt. Het ministerie van IenW, de kustprovincies (Noord-Holland, Zuid-Holland en Zeeland), het RIVM en de drinkwaterbedrijven werken nu samen aan een uitgebreid vervolgonderzoek³. Hiervoor hebben wij financiële middelen toegezegd. In het vervolgonderzoek wordt onder andere de verspreiding van PFAS door seaspray onderzocht en gekeken naar de effecten van PFAS in seaspray op de bodem en drinkwaterwinningen ook in Natura 2000-gebieden. De precieze onderzoeksopzet wordt in de eerste helft van 2025 mede namens ons bepaald en gaat o.a. over de depositie van PFAS op de bodem langs de kust en over de verspreiding van PFAS uit seaspray naar grondwater en drinkwaterinnamepunten langs de kust. Er wordt onderzoek gedaan op een aantal locaties langs de kust waar drinkwaterwinning in Natura 2000-gebieden plaatsvindt. De resultaten van dit seaspray onderzoek vormen de basis voor de

¹ <https://pzh.notubiz.nl/document/13755975/1#search=%22PFAS%20zeeschuim%22>

² PFAS in seaspray aerosolen en zeeschuim

³ [Voortgangsrapportage PFAS Zeeland van de PFAS-coördinatoren | Rapport | Rijksoverheid.nl](#)

beoordeling van de effecten van seaspray op Natura 2000-gebied Meijendel en Berkheide. Een deel van het onderzoek zal wetenschappelijk van aard zijn, waardoor de uiteindelijk resultaten pas na 4 of 5 jaar beschikbaar zullen zijn. Tussentijdse resultaten zullen eerder met uw Staten worden gedeeld, we streven ernaar om jaarlijks een update te geven.

Hiermee adviseren wij u om de motie als afgedaan te beschouwen.

Hoogachtend,

Gedeputeerde Staten van Zuid-Holland,
Secretaris,

Voorzitter,

drs. M.J.A. van Bijnen MBA

mr. A.W. Kolff