

RAPPORT

Water voor waterstof

Onderzoek naar de relatie tussen waterbeschikbaarheid
en grootschalige elektrolyse

Klant: Ministeries van EZK en I&W

Referentie: BJ7490-RHD-0002

Status: Definitief/2

Datum: 9 juli 2024

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Laan 1914 no.35
3818 EX Amersfoort
Water & Maritime

+31 88 348 20 00 **T**
+31 33 463 36 52 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Water voor waterstof

Sub titel: Onderzoek naar de relatie tussen waterbeschikbaarheid en grootschalige elektrolyse

Referentie: BJ7490-RHD-0002

Uw kenmerk

Status: Definitief/2

Datum: 9 juli 2024

Projectnaam: Onderzoek waterbeschikbaarheid en elektrolyse

Projectnummer: BJ7490

Auteur(s): Inge Folmer, Hamed Rastegarian, Bart Boons, Tom Busking, Karst Lenzen, Peter Kuin en Janine Leeuwis

Opgesteld door: Janine Leeuwis-Tolboom

Gecontroleerd door: Gerard van Houwelingen

Datum:

Goedgekeurd door:

Datum:

Classificatie

Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden veelevoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever.

Let op: dit document bevat mogelijk persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V.. Voordat publicatie plaatsvindt (of anderszins openbaarmaking), dient dit document te worden geanonimiseerd of dient toestemming te worden verkregen om dit document met persoonsgegevens te publiceren. Dit hoeft niet als wet- of regelgeving anonimiseren niet toestaat.

Inhoud

Samenvatting	1
1 Introductie	3
1.1 Aanleiding en doel	3
1.2 Leeswijzer	3
1.3 Begrippen	4
1.4 Uitgangspunten	5
2 Waterstofproductie	7
2.1 Hernieuwbare waterstofproductie	7
2.2 Ontwikkeling elektrolysecapaciteit	8
2.3 Locaties en capaciteit per locatie	9
2.4 Type elektrolyzers	12
2.5 Kleinschalige elektrolyse	17
3 Water voor elektrolyse	19
3.1 Waterkwaliteit en -kwantiteit	19
3.2 Waterbehandelingstechnieken	24
3.3 Brijn- en afvalwater	28
4 Waterbeschikbaarheid	30
4.1 Bronnen	30
4.2 Voor- en nadelen van verschillende waterbronnen	41
4.3 Uitgangspunten beoordeling waterbeschikbaarheid per locatie	42
4.4 Westerschelde	44
4.5 Rotterdam	49
4.6 Noordzeekanaal	52
4.7 Kop van Noord-Holland	55
4.8 Eemshaven	61
4.9 West-Brabant	64
4.10 Chemelot	73
5 Mogelijke knelpunten en oplossingsrichtingen	76
5.1 Knelpunten waterbeschikbaarheid	76
5.2 Lozing en onttrekking uit water met een beschermde natuurstatus	78
5.3 Klimaatverandering	80
5.4 Fluctuatie in waterkwaliteit en waterbeschikbaarheid	82

5.5	Brijn- en afvalwaterlozing	83
5.6	Lozing van warm water uit koelinstallaties (warmtelast)	86
5.7	Beperkte waterbeschikbaarheid en mogelijkheden waterhergebruik	87
5.8	Beperkte waterbeschikbaarheid voor koelsystemen	89
5.9	Kosten en ruimtebeslag voor waterbehandeling	91
5.10	Toekomstige oplossingen	93
6	Conclusies en aanbevelingen	101
6.1	Watervraag elektrolyse	101
6.2	Waterbeschikbaarheid voor elektrolyse	102
6.3	Aanbevelingen voor vervolg	107
7	Geraadpleegde bronnen	109

Bijlagen

Bijlage 1: Watervraag voor elektrolyse per locatie

Bijlage 2: Beoordeling waterbeschikbaarheid van RWZI effluent

Bijlage 3: Zomerafvoeren hoofdwatersysteem bij lage rivierafvoeren

Bijlage 4: Watervraag voor de energieproductie

Samenvatting

Waterstof speelt een rol in een klimaatneutraal energiesysteem

Nederland streeft naar een klimaatneutraal energiesysteem in 2050. In deze energietransitie kan waterstof worden ingezet als schone, duurzame energiedrager en helpen bij het balanceren van vraag en aanbod op het elektriciteitsnet. Productie van hernieuwbare waterstof vindt plaats door middel van elektrolyse van water. Voor het proces van waterstofproductie met een elektrolyser is dus water nodig. Naast water voor de elektrolysereactie is ook water nodig voor de koeling als er gekozen wordt voor koeling met water.

Waterbeschikbaarheid is een issue voor grootschalige elektrolyse

In het Programma Energiehoofdstructuur (PEH) is watervoorziening voor grootschalige elektrolyseprojecten benoemd als issue. In (steeds vaker voorkomende) langdurig droge perioden staat de beschikbaarheid van zoet water immers onder druk in Nederland. Het doel van voorliggend onderzoek is het creëren van een informatiebasis voor (eventueel) vervolgbesluit over (de locatiekeuzes van) grootschalige elektrolyse op basis van inzichten met betrekking tot het waterverbruik, waterbeschikbaarheid en mogelijke knelpunten en oplossingsrichtingen. In het onderzoek is gekeken naar elf locaties die in beeld zijn vanwege de verwachte aanlandingspunten van op zee opgewekte windenergie of vanwege grote lokale energieverbruiken.

Watervraag van elektrolyse

De elektrolyser heeft ultrapuur water nodig om waterstof te produceren. Hoeveel water nodig is, hangt af van welke zuiveringsstappen nodig zijn om vanuit een waterbron ultrapuur water te maken. Als gebruik gemaakt wordt van zoet water, zoals zoet oppervlaktewater, grondwater, gezuiverd afvalwater (effluent), drinkwater of gedemineraliseerd water, is de vraag naar water lager, dan als voor een brakke of zoute waterbron wordt gekozen. Als het zoutgehalte van de waterbron toeneemt, neemt de efficiëntie van ontzilting en terugwinning van ontzilt water uit de waterbron af, wat leidt tot een grotere vraag naar water. De vraag naar ruw water voor elektrolyse wordt dus sterk beïnvloed door de welke waterbronnen wordt gebruikt. De benodigde hoeveelheid water om 1 GW te produceren is 0,9 tot 1,9 miljoen m³/jaar.

Koelwatervraag

Met de huidige technologische ontwikkeling wordt 60-70% van de totale ontvangen energie direct verbruikt voor de productie van waterstof uit elektrolyse. De rest is inefficiënt en resulteert in het genereren van warmte tijdens het elektrolyseproces. De gegenereerde warmte moet worden afgekoeld via een koelsysteem. Koelsystemen kunnen gebaseerd zijn op water, lucht of hybride systemen. Koelsystemen op basis van water kunnen onderscheiden worden in een gesloten koelsysteem en een doorstroomkoelsysteem. De benodigde hoeveelheid water en de benodigde kwaliteit van het water hangt sterk af van het type koelsysteem. De watervraag voor een gesloten koelsysteem is ongeveer 5x zo groot als voor het water wat nodig is voor elektrolyser zelf. Voor een doorstroomkoelwatersysteem is dat een factor 100, maar dan wordt het water wel na opnemen van de warmte direct teruggevoerd naar het waterlichaam. De lozing van warmte is dan wel een belangrijk aandachtspunt.

Beschikbare bronnen

Als mogelijke bronnen zijn onderzocht: zeewater, brak oppervlaktewater en brak grondwater, zoet oppervlaktewater, effluent van afvalwaterzuiveringsinstallaties, drinkwater (of proceswater van vergelijkbare kwaliteit) en gedemineraliseerd water. In het algemeen kan gesteld worden dat zeewater en grote brakke wateren zoals de Westerschelde, Nieuwe Waterweg en Eems ruim voldoende water beschikbaar hebben, nu en ook in de toekomst. Ook effluent van rioolwaterzuiveringen is een kansrijke bron van voor de waterstofproductie. Het gebruik van zoet oppervlaktewater is niet voor alle locaties mogelijk en staat onder druk door klimaatverandering. Gebruik van zoet grondwater, drinkwater en industriewater zijn geen logische opties. De drinkwatercapaciteit staat al onder druk.

Waterbeschikbaarheid per locatie

De beschikbaarheid van de beschouwde bronnen verschilt voor de onderzochte locaties. Voor alle locaties is er echter minimaal één bron beschikbaar waar naar verwachting ook in de toekomst nog water uit onttrokken kan worden om daar benodigde hoeveelheid ultrapuur water voor de elektrolyzers te maken. Omdat de watervraag voor koelwater veel groter is, is dat niet overal beschikbaar. Hoe verder landinwaarts, hoe kleiner de kansen op een geschikte bron voor koelwater. Voor gesloten koelsystemen zijn niet op alle locaties bronnen beschikbaar om in 2050 aan de watervraag te voldoen. Voor doorstroomkoelwatersystemen zijn alleen de locaties aan de kust geschikt waar zeewater of grote brakke wateren nabij liggen.

Knelpunten

Naast de aandachtspunten met betrekking tot de waterbeschikbaarheid per locatie moet er, zeker met het oog op de toekomst, rekening gehouden worden met knelpunten als gevolg van klimaatverandering (in het bijzonder meer en langere droge perioden), fluctuaties in waterbeschikbaarheid en waterkwaliteit en de watervraag van andere afnemers. Daarnaast zijn er aandachtspunten met betrekking tot natuurwetgeving, de lozing van afvalwater of brijnwater en de warmtelast van koelwater. Bij aanvraag van een vergunning voor onttrekking en/of lozing van water zal beoordeling aan de hand van natuurwetgeving en andere wetgeving moeten plaatsvinden. Dat kan (zeker in geval van water met een beschermde natuurstatus) knelpunten opleveren. In de zomer is bijvoorbeeld de ruimte om koelwater met een warmtevracht te lozen beperkt. Voor de lozing van brijn (met geconcentreerd zout en andere verontreinigingen), afvalwater en spuiwater moeten per lozingslocatie immissietoetsen worden uitgevoerd om het effect van individuele parameters op de oppervlaktewaterkwaliteit te bepalen.

Oplossingsrichtingen

Over het algemeen geldt dat de gesignaleerde knelpunten oplosbaar zijn door tijdig voor te sorteren op andere keuzes. Die keuzen hebben dan echter wel consequenties. Bijvoorbeeld kiezen voor een brakke of zoute waterbron als er onvoldoende zoet water beschikbaar is, leidt tot een uitgebreidere zuivering, met meer ruimtebeslag, hogere kosten en een zoutere brijnstroom. Als geen koelwater beschikbaar is kan gekozen worden voor luchtkoeling, maar daarvoor is meer ruimte en energie nodig. Deze extra kosten, benodigde ruimte en energie om rekening te houden met de waterbeschikbaarheid en bescherming van de waterkwaliteit moeten worden beschouwd in verhouding tot de totalen voor de waterstofproductie.

De toekomstige vooruitgang in elektrolyzers in de komende 25 jaar zou kunnen resulteren in een hogere efficiëntie en daarmee in minder warmteproductie en een lagere vraag naar koeling. Om de watervraag voor waterstofproductie verder te verminderen kan het zinvol zijn om koelwaterspui opnieuw te gebruiken of Zero-Liquid-Discharge technologieën toe te passen, waarbij het teruggewonnen water hergebruikt kan worden. Het belangrijkste nadeel is de hoge energievraag voor dit soort technologieën. Gebruik van restwarmte kan het koelvermogen van de waterstofproductie te verlagen, hetgeen de vraag naar water voor koeling vermindert en de kosten van waterbehandeling verlaagt. Als de water- en waterstofproductie op één locatie worden gecentraliseerd, nemen de mogelijkheden voor hergebruik van restwarmte toe. Om deze ideeën en ontwikkelingen naar de realisatiefase te brengen, is meer onderzoek en ontwikkeling nodig.

Conclusie en aanbevelingen

Dit rapport biedt een informatiebasis voor beleid over de (locatiekeuzes van) grootschalige elektrolyse. Het geeft inzicht in de watervraag voor waterstofproductie en de beschikbaarheid van mogelijke bronnen op locaties die in beeld zijn voor grootschalige elektrolyse. Voor de ontwikkeling van het beleid en de locatiekeuze van grootschalige elektrolyse vanuit het oogpunt van waterbeschikbaarheid is de belangrijkste aanbeveling om water en bodem echt sturend te maken. Om de duurzaamheid van groene waterstofproductie te garanderen is het nodig de juiste balans te vinden tussen de vraag naar energie, de vraag naar water en de beschikbaarheid van hulpbronnen, met het oog op het maximaliseren van de efficiëntie in het gebruik van deze hulpbronnen. Centralisatie vergroot de mogelijkheden om kansen te combineren en technologieën aan te passen aan toekomstige ontwikkelingen.

1 Introductie

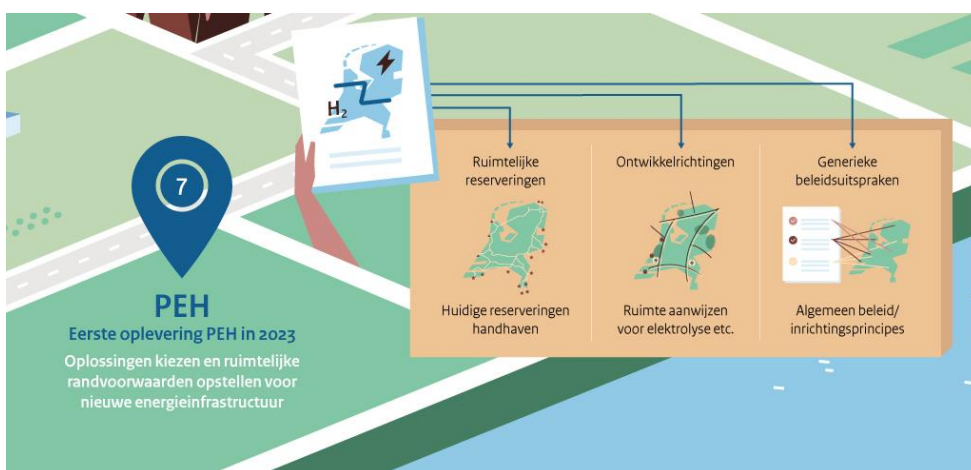
1.1 Aanleiding en doel

Context: Een klimaatneutraal energiesysteem in 2050

Het nationale doel is om minimaal 4 GW elektrolysecapaciteit in Nederland te ontwikkelen tot 2030 en gestreefd wordt naar 8 GW elektrolysecapaciteit in 2032. Voor de langere termijn gaan de scenario's uit van maximaal 45 GW elektrolysecapaciteit in 2050. De ruimtelijke planning van de nieuwe energie-infrastructuur die daarvoor nodig is vindt plaats via het Programma Energiehoofdstructuur (PEH). Hierin zijn voorkeursgebieden voor grootschalige ontwikkeling van waterstof benoemd. Daarnaast worden in het programma Verbindingen Aanlanding Wind Op Zee (pVAWOZ) aanlandlocaties voor windenergie van zee (in de vorm van elektronen of waterstof) onderzocht. Hierin worden ook locaties voor grootschalige elektrolyse beschouwd.

Issue: Toekomstbestendig waterverbruik

In het PEH wordt watervoorziening voor elektrolyseprojecten benoemd als issue. Ook in de NRD (Notitie Reikwijdte en Detail) voor de pVAWOZ-milieueffectrapportage is onderzoek naar de wateraspecten voorzien. Meer inzicht is nodig om te komen tot toekomstbestendig waterverbruik binnen de gebieden die in beeld zijn als locaties voor grootschalige elektrolyse.



Figuur 1-1: Uitsnede uit de infographic over PEH (Rijksoverheid, juli 2023)

Doel: Creëer een informatiebasis

Het doel van het onderzoek is het creëren van een informatiebasis voor (eventueel) vervolgbesluit over (de locatiekeuzes van) grootschalige elektrolyse op basis van inzichten met betrekking tot het waterverbruik, waterbeschikbaarheid en mogelijke knelpunten en oplossingsrichtingen.

1.2 Leeswijzer

Voorliggend rapport bevat de resultaten van het onderzoek. Allereerst geeft hoofdstuk 2 inzicht in de ontwikkelingen met betrekking tot grootschalige elektrolyse in Nederland: Welke locaties zijn in beeld en om welke capaciteiten gaat het? Vervolgens gaat hoofdstuk 3 in op de watervraag: Hoeveel water is nodig voor de productie van waterstof met behulp van elektrolyse? Met het inzicht in de watervraag per locatie geeft hoofdstuk 4 antwoord op de vraag of deze hoeveelheid water per locatie beschikbaar is. In hoofdstuk 5 is gekeken naar mogelijke knelpunten en oplossingsrichtingen. Het laatste hoofdstuk bevat de conclusies en aanbevelingen voor het vervolg.

1.3 Begrippen

Dit rapport gaat over water en waterstof. In de hoofdstukken hierna worden verschillende begrippen gebruikt en nader uitgelegd. Onderstaande tabel bevat een aantal belangrijke begrippen.

Tabel 1-1: Relevante begrippen in dit rapport

Begrip	Uitleg
Elektrolyse	Elektrolyse is het proces waarbij met behulp van elektriciteit water gescheiden wordt in waterstof en zuurstof. Op deze manier wordt hernieuwbare waterstof geproduceerd.
Elektrolyser	Installatie waarin het proces van elektrolyse plaatsvindt. Een elektrolyser is opgebouwd uit meerdere repeterende elementen. Er bestaan verschillende types elektrolyzers.
Waterstofproductie	Productie van waterstof, waarbij de capaciteit wordt uitgedrukt in GW (hoeveelheid elektrische energie die wordt omgezet in waterstof) of ton per jaar (hoeveelheid waterstof die wordt geproduceerd).
Watervraag	Bij waterstofproductie is water nodig voor 1) de elektrolysereactie en 2) koeling van de elektrolyseprocessen. Watergebruik is de totale watervraag, waterverbruik is het deel dat na gebruik niet meer beschikbaar is voor hergebruik.
Ultrapuur water	Vergaand gezuiverd water met een kwaliteit die geschikt is voor het elektrolyseproces. Ultrapuur water heeft geleidbaarheid van <math>< 5 \mu\text{S}/\text{cm}</math>.
Waterzuivering	Technologie om van ruwwater van een bepaalde kwaliteit schoner water te maken. Er bestaan verschillende soorten technologieën voor waterzuivering die, mede afhankelijk van de kwaliteit van de bron, tot een bepaalde waterkwaliteit leiden.
Brijn	Reststroom die vrijkomt bij de zuivering van water tot ultrapuur water, waarin de zouten en overige componenten uit het water geconcentreerd zijn.
Afvalwater	Water dat afkomstig is van de waterzuivering, bijvoorbeeld door het spoelen van membranen,
Doorstroomkoeling	Koelsysteem waarbij water uit een bepaalde bron door een warmtewisselaar wordt gepompt en daarna weer geloosd op de oorspronkelijke bron
Gesloten koelsysteem	Koelsysteem waarin gezuiverd water circuleert. Een groot deel van het water (circa 80%) verdampt, het overige deel wordt afgevoerd als afvalwater (koelwaterspui).
Waterbeschikbaarheid	Hoeveelheid water die van een bepaalde bron beschikbaar is voor toepassing.
Grondwater	Water onder maaiveld, vaak van goede kwaliteit. De samenstelling van het grondwater kan variëren per regio en diepte.
Oppervlaktewater	Water in sloten, beken, rivieren en kanalen. Onderscheiden worden het hoofdwatersysteem (beheerd door Rijkswaterstaat en de regionale watersystemen (beheerd door waterschappen).
Brak water	Oppervlaktewater of grondwater met een hoger zoutgehalte.
Drinkwater	Door drinkwaterbedrijven geleverd water van drinkwaterkwaliteit.
Industriewater	Via een distributienetwerk geleverd water aan de industrie niet zijnde drinkwaterkwaliteit. Dit kan zijn proceswater en of demiwater. Industriewater wordt veelal geleverd door dochterondernemingen van de drinkwaterbedrijven.
Effluent	Gezuiverd huishoudelijk en/of industrieel afvalwater uit riool- of afvalwaterzuiveringsinstallaties, dat normaal gesproken op oppervlaktewater wordt geloosd.
Debiet	Hoeveelheid water per tijdseenheid, bijvoorbeeld m^3 per seconde (eenheid voor de afvoer van een rivier) of miljoen m^3 per jaar (eenheid voor de drinkwaterproductie door een drinkwaterbedrijf).

1.4 Uitgangspunten

Het uitgevoerde onderzoek naar de waterbeschikbaarheid voor waterstofproductie betreft een verkenning op hoofdlijnen om een gezamenlijke informatiebasis te creëren. In deze verkenning zijn bepaalde uitgangspunten gehanteerd en diverse aannames gedaan, die in de volgende hoofdstukken waar nodig nader worden onderbouwd.

Waterstofproductie:

- Voor de ontwikkeling van de elektrolysecapaciteit in Nederland is in dit onderzoek gebruik gemaakt van de II3050v2 scenario's, waarbij alleen de capaciteit op land is beschouwd. Zie voor nadere toelichting paragraaf 2.2.
- Om de jaarlijks ingaande energie van de elektrolyser (vermogen x vollasturen) om te rekenen naar productie van waterstof (in kiloton/jaar), is gerekend met een elektrolyse-efficiëntie van 70% en de bovenste verbrandingswaarde van waterstof (142 MJ/kg).
- Voor de verdeling naar locaties is gebruik gemaakt van de II3050v2 scenario's, aangevuld met een analyse van de elektrolysecapaciteiten per locatie, zoals gedeeld door het ministerie van EZK. Voor de locaties die geen deel uitmaken van de II3050v2 scenario's, hanteren wij de elektrolysecapaciteiten uit pVAWOZ. Zie paragraaf 2.3 voor de uitgangspunten met betrekking tot locaties en capaciteiten per locatie.

Waterbeschikbaarheid:

- De volgende bronnen zijn beschouwd: zeewater, brak oppervlaktewater, zoet oppervlaktewater, grondwater, effluent van riool- of afvalwaterzuiveringsinstallaties, drinkwater en industriewater.
- Voor de beoordeling van de waterbeschikbaarheid per locatie is uitgegaan van de maximale vraag in 2030 en 2050 volgens de hiervoor genoemde scenario's en rekening gehouden met het minimale aanbod van mogelijke bronnen binnen een straal van 10 kilometer. Overige uitgangspunten zijn beschreven in paragraaf 4.2.

Waterzuivering:

- De gepresenteerde behandelingstechnieken zijn de belangrijkste stappen die moeten worden toegepast om water van een bepaalde bron te zuiveren tot water voor elektrolyse of koeling, echter afhankelijk van de waterkwaliteit, kan de behandeling voor verschillende locaties beperkt afwijken.
- De inschatting van de kosten voor de verschillende behandelingstechnieken betreffen een ruwe schatting met een marge van +/- 50%.
- Het aangegeven zoutgehalte van waterbronnen vermeld in Tabel 1-2 wordt gebruikt als basis voor de beoordeling van de vereiste waterbehandelingsstappen en schattingen van de kosten.

Tabel 1-2: Zoutgehalte van diverse waterbronnen

Bron		Zeewater	Brak grondwater	Brak oppervlaktewater	Zoet oppervlaktewater	Effluent Rioolwaterzuiveringen	Drinkwater	Demiwater
Zoutgehalte*	g/L	30-40	10-20	10 –15	<2	<2	<2	<0.1
Troebelheid	NTU	10-30	<10	10-30	10-50	<15	<5	<0.1

*Totaal opgeloste vaste stoffen

- De CAPEX (capital expenditure, kapitaaluitgaven) voor bouw- en operationele kosten van de belangrijkste waterbehandelingsstappen omvatten de constructiekosten voor de waterbehandeling, exclusief bijvoorbeeld de bouw van de waterinnamevoorziening, materieel transport en interne kosten van de investeerder. De kosten van de waterbehandelingsvoorzieningen zijn hierbij gebruikt als benchmark en bedragen op basis van ervaring (in ontwerp en kostenramingen van waterbehandelingssystemen) ongeveer 40% van de totale bouwkosten.
- De OPEX (operational expenditure, operationele kosten) zijn de jaarlijkse kosten van de waterbehandeling (zoals energievraag, chemicaliëngebruik, maar uitgezonderd bijvoorbeeld energie voor transport van ingenomen water en eindproducten). De energievraag is hiervoor berekend per zuiveringsstap, waarbij op basis van ervaring de totale energievraag ongeveer 70% van de totale operationele kosten bedraagt.
- De kostenramingen zijn ruwe schattingen met een marge van $\pm 50\%$

Knelpunten en oplossingsrichtingen:

- De focus van het onderzoek is waterbeschikbaarheid, dus per locatie wordt antwoord gegeven op de vraag of voldoende water beschikbaar is voor waterstofproductie (elektrolyse en koeling). Knelpunten met betrekking tot de lozing van reststromen of warmtelast worden benoemd, maar niet per bron of locatie uitgewerkt.
- Voor de gesignaleerde knelpunten met betrekking tot waterbeschikbaarheid worden oplossingsrichtingen op hoofdlijnen benoemd, maar niet in detail uitgewerkt.

2 Waterstofproductie

Waterstof vervult een essentiële rol in de energietransitie vanwege zijn veelzijdige toepassingen in verschillende processen, zowel als energiedrager als grondstof. Waterstof kan worden ingezet als schone, duurzame energiedrager in de energietransitie en kan bijvoorbeeld helpen bij het balanceren van vraag en aanbod op het elektriciteitsnet. Tegelijkertijd wordt waterstof als chemische grondstof gebruikt in tal van productieprocessen, zoals de productie van ammoniak voor meststoffen, het raffineren van olieproducten, en de fabricage van verschillende chemicaliën en materialen.

Waterstof kan worden geproduceerd uit hernieuwbare bronnen zoals zonne- en windenergie, waardoor het een koolstofarme en hernieuwbare brandstof wordt. Bij het productieproces komt helemaal geen koolstof vrij, alleen aanverwante activiteiten, zoals de constructie van de installaties en de fabricage van alle instrumenten en machines hebben een tijdelijke CO₂-voetafdruk. Door waterstof te integreren in diverse sectoren zoals transport, industrie en energieopslag, kan het bijdragen aan de vermindering van broeikasgasemissies en de overgang naar een meer veerkrachtige, duurzame energie-economie.

2.1 Hernieuwbare waterstofproductie

Productie van hernieuwbare waterstof vindt plaats door middel van elektrolyse van water (figuur 2-1). Wanneer gebruik gemaakt wordt van hernieuwbare elektriciteit, is de definitie hernieuwbare waterstof van toepassing ([Renewable hydrogen – European Commission](#)).



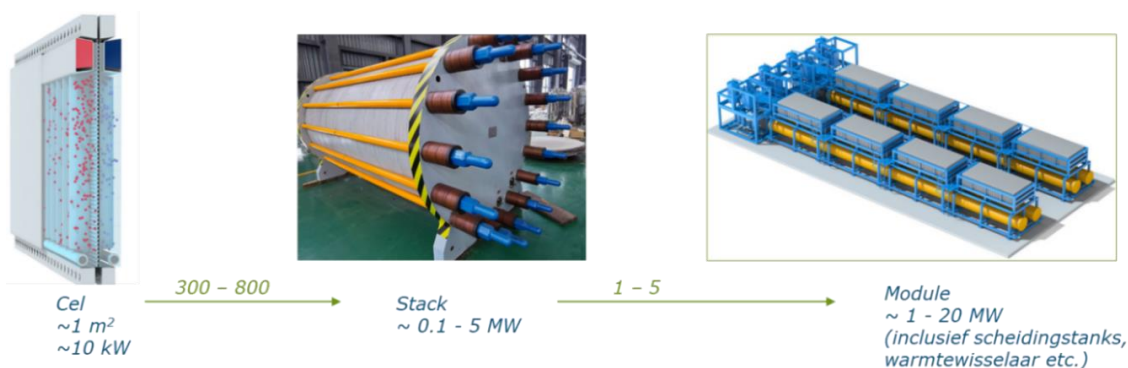
Figuur 2-1: Schematische weergave waterstofproductie door middel van elektrolyse.

Hernieuwbare waterstof speelt een belangrijke rol in de verduurzaming van het energiesysteem. Elektrificatie en waterstof zijn voor de industrie belangrijke opties om klimaatneutraal te worden.

Een elektrolyser wordt opgebouwd uit meerdere repeterende elementen, zie figuur 2-2. De kleinste en meest fundamentele schaal waarop de elektrolyse plaatsvindt, is in een elektrolyser cel. Een elektrolyser cel bestaat uit de elementaire componenten die benodigd zijn om elektrolyse veilig te laten plaatsvinden:

- De negatieve electrode (kathode) waar de waterstof geproduceerd wordt,
- De positieve electrode (anode) waar de zuurstof wordt geproduceerd
- Een separator, die enerzijds de zuurstof- en waterstofkant van elkaar scheidt en anderzijds ionentransport en daarmee het sluiten van elektrische kring mogelijk maakt.

Een paar honderd cellen vormen samen een stack, die tezamen in een frame worden gemonteerd en gemeenschappelijk elektrisch worden aangesloten en waar vanuit een gemeenschappelijke waterstof en een gemeenschappelijk zuurstofleiding lopen. Eén of enkele stacks vormen tezamen een module, waarin ook scheidingstanks, om de gassen van vloeistoffen te scheiden, en warmtewisselaars zijn opgenomen.



Figuur 2-2 Onderdelen van een elektrolyser van klein naar groot.

De verschillende typen elektrolyzers, toegelicht in paragraaf 2.4, onderscheiden zich op celniveau, hetgeen consequenties heeft op de eigenschappen op stack- en moduleniveau en daarmee ook op het typische toepassingsgebied van de verschillende typen elektrolyzers.

2.1.1 Ruimtegebruik waterstofproductie

In paragraaf 2.4 wordt het ruimtegebruik van verschillende typen elektrolyzers kwalitatief genoteerd. Deze duiden het ruimtegebruik van de modules zelf aan. Maar naast de modules zelf, beslaat al het andere instrumentarium een groot gedeelte van de locatie. Denk hierbij aan het instrumentarium om de elektrische stroom van een hoog naar een laag spanningsniveau te brengen, of het ruimtegebruik t.b.v. koeling of waterstofcompressie. Het ruimtegebruik van deze drie voorbeelden is sterk afhankelijk van welke techniek wordt toegepast, luchtkoeling heeft bijvoorbeeld een groter ruimtegebruik dan een gesloten koelsysteem. De druk waarmee de waterstof geproduceerd wordt in de elektrolyzers bepaalt ook de benodigde compressiestappen nadat de waterstof de elektrolyzers verlaten heeft, en daarmee ook het benodigde ruimtegebruik van het compressiesysteem. De waterbron bepaalt uiteraard de benodigde zuiveringsstappen en het daarmee gepaard gaande ruimtegebruik.

Derhalve is het ruimtegebruik van de waterstofproductielocatie sterk afhankelijk van ontwerpkeuzes en is een eenduidige bepaling van het ruimtegebruik niet mogelijk. Ondanks de onzekerheden zijn ordegrottes wel te geven, zo beslaan de elektrolyzers ongeveer een kwart van de gehele locatie. Daarnaast geldt dat hoe groter de totale elektrolyse capaciteit is, hoe minder ruimte er per megawatt benodigd is. Dus afhankelijk van de schaalgrootte heeft een gehele waterstofproductie ongeveer 35 – 70 MW productiecapaciteit per hectare. Dus een waterstofproductielocatie van 1 GW, zal ongeveer 15 ha beslaan, afhankelijk van de gekozen technieken en randvoorwaarden.

2.2 Ontwikkeling elektrolysecapaciteit

De doelstelling voor de elektrolysecapaciteit in Nederland in 2030 is 4 GW (Gigawatt), waarbij het aantal GW het geïnstalleerd elektrisch ingangsvermogen is van de elektrolyzers. De benodigde elektriciteit voor de productie van hernieuwbare waterstof in de elektrolyzers is (voor een groot deel) afkomstig van windenergie op de Noordzee. Omdat de windturbines zoveel mogelijk het windprofiel¹ volgen, fluctueert de productie van waterstof gedurende een jaar met het aanbod van windenergie. De volumes geproduceerde waterstof zijn daarom afhankelijk van de geïnstalleerde elektrolysecapaciteit en het aantal vollasturen (het aantal uren in een jaar dat de elektrolyser met het volledige elektrische ingangsvermogen opereert).

¹ De elektrolyzers worden aangesloten op het hoogspanningsnet. Om te zorgen dat de elektrolyzers zoveel mogelijk het profiel van duurzame elektriciteitsbronnen volgt, is 'temporele correlatie' vereist (Bron: [Gedelegeerde Verordening \(EU\) 2023/... van de Commissie van 10 februari 2023 ter aanvulling van Richtlijn \(EU\) 2018/2001](#)).

Voor de ontwikkeling van de elektrolysecapaciteit in Nederland is in deze studie gebruik gemaakt van de I13050v2 scenario's (tabel 2-1). In het kader van de snel veranderende en het onzekere toekomstige energiesysteem in Nederland binnen de energietransitie, hebben netbeheerders in Nederland tezamen de studie Integrale Infrastructuurverkenning 2030-2050 uitgevoerd. Binnen deze studie, afgekort als I13050, worden verschillende scenario's onderscheiden waarbij een gedeelte van de waterstof op de Noordzee zal worden geproduceerd, op productieplatforms en/of energie-eilanden, en vervolgens d.m.v. buisleiding aan land worden gebracht.

In deze studie staat de beoogde elektrolysecapaciteit op land centraal en wordt de elektrolysecapaciteit op zee niet meegenomen. Dit gaat om een aanzienlijk aandeel in de totale beoogde elektrolysecapaciteit, bijvoorbeeld in het scenario Nationaal Leiderschap (NAT) gaat het in 2050 om 20 GW elektrolysecapaciteit op zee en 25 GW op land. Omdat de I13050v2 scenario's elektrolysecapaciteiten voor 2040 en 2050 bevatten, maken wij voor 2030 gebruik van de IP2024 scenario's (investeringsplannen 2024).

Om de jaarlijks ingaande energie van de elektrolyser (vermogen x vollasturen) om te rekenen naar productie van waterstof (in kiloton/jaar), is gebruik gemaakt van een elektrolyse-efficiëntie van 70% en de bovenste verbrandingswaarde van waterstof (142 MJ/kg).

De genoemde scenario's:

- KA: Klimaatambitie, scenario op basis van al het bestaande en voorgenomen energie- en klimaatbeleid (Klimaat en Energieverkenning 2022).
- ND: Nationale Drijfveren, scenario dat nóg sterker inzet op elektrificatie van de energievraag en duurzame opwek op land.
- INT: Internationale Handel, scenario dat inzet op ontwikkeling van de eigen economie door maximaal in te zetten op de internationale wereldwijde energie- en grondstoffenketens.
- NAT: Nationaal Leiderschap, scenario waarin Nederland streeft naar een energetisch efficiënt systeem binnen de Nederlandse mogelijkheden en stuurt nationaal sterk op de invulling van de energiemix.

Tabel 2-1: Ontwikkelingen van elektrolysecapaciteit op land in Nederland a.h.v. de IP2024 (2030) en I13050v2 (2040 en 2050) scenario's.

	2030 min	2030 max	2040 min	2040 max	2050 min	2050 max
Scenario	KA (IP2024)	ND (IP2024)	INT (I13050v2)	NAT (I13050v2)	INT (I13050v2)	NAT (I13050v2)
Geïnstalleerd vermogen elektrolyse op land [GW]	3	7,6	7,8	16,8	10	25
Vollasturen	5159	4856	3552	4045	3690	4159

2.3 Locaties en capaciteit per locatie

Zoals in de introductie van dit hoofdstuk is beschreven, speelt waterstof een cruciale rol in de energietransitie als energiedrager en als grondstof in industriële processen. Hernieuwbare waterstof zal in Nederland grotendeels worden opgewekt door elektriciteit opgewekt uit windenergie op de Noordzee. Bij toewijzing van potentiële locaties voor grootschalige elektrolyse is daarom enerzijds rekening gehouden met de verwachte aanlandingspunten van de opgewekte windenergie op zee, en anderzijds locaties waar grote energievraag bestaat om zo onnodige aanleg van infrastructuur te voorkomen. Daarbuiten is de waterstofproductie en -transport niet zonder risico's, tezamen met de aanlandingslocaties maakt dit de (omgeving van) industriële clusters de meest logische locaties voor grootschalige waterstofproductie.

In tabel 2-2 en figuur 2-3 staan de elektrolysecapaciteiten en productievolumes van waterstof per locatie. Voor de regioafbakening en verdeling naar locaties hebben wij gebruik gemaakt van de I13050v2 scenario's, aangevuld met een analyse van de elektrolysecapaciteiten per locatie, gedeeld door EZK. De gehanteerde scenario's zijn Internationale handel (INT) en Nationale sturing (NAT), omdat deze voor de meeste locaties overeenkomen met respectievelijk de minimale en maximale elektrolysecapaciteit. De productievolumes waterstof zijn berekend a.d.h.v. de vollaasturen uit tabel 2-1. Voor de locaties Tilburg en Chemelot/Maasbracht, die geen deel uitmaken van de I13050v2 scenario's, zijn de elektrolysecapaciteiten uit pVAWOZ² gehanteerd, met de aanname dat deze capaciteiten aanwezig zijn in 2050.

De geïnstalleerde elektrolysecapaciteiten in 2030 en 2040 zijn geschaald met de totale elektrolysecapaciteit in Nederland uit tabel 2-1. Voor de som (elektrolysecapaciteit, productievolume waterstof) zijn Geertruidenberg en Tilburg weggelaten, omdat deze locaties alternatieve locaties voor Moerdijk zijn in pVAWOZ. Dit geldt ook voor Terneuzen (alternatief voor Borsele) en Den Helder (alternatief voor Kop van Noord-Holland).

In 2050 wordt met deze verdeling een groot deel van de totale elektrolysecapaciteit voor Nederland gerealiseerd op deze locaties. Opgeteld is de elektrolysecapaciteit 10,27 GW in het 2050 min scenario, t.o.v. 10 GW in het I13050v2 INT scenario voor heel Nederland. En in het 2050 max scenario is de elektrolysecapaciteit 21,38 GW, t.o.v. 25 GW in het I13050v2 NAT scenario voor heel Nederland. Daarmee is een schatting gemaakt van de maximale elektrolysecapaciteiten als input voor het schatten van de waterbehoefte. De precieze locaties voor grootschalige elektrolysecapaciteiten zijn nog niet bekend (de scenario's zijn slechts indicaties), zowel de locaties als de capaciteiten kunnen in de toekomst veranderen. De onnauwkeurigheid in de elektrolysecapaciteiten en waterstofproductie is daarom groter dan de precisie van de getallen genoemd in tabel 2-2.

² Binnen programma VAWOZ is de rol van elektrolyzers vooral netbalancing, daarom zijn de locaties van elektrolyzers in pVAWOZ dichtbij aanlandlocaties van wind op zee.



Figuur 2-3: Kaart met de potentiële locaties voor waterstofproductie

Tabel 2-2: Elektrolysecapaciteit en productie waterstof per locatie (getallen ter indicatie en onder voorbehoud).

Locatie	Parameter	2030 min	2030 max	2040 min	2040 max	2050 min	2050 max
Borsele	elektrolyse [GW]	0,42	1,18	1,09	2,61	1,39	3,89
	productie H2 [kton/jaar]	38	102	69	188	91	287
Terneuzen*	elektrolyse [GW]	0,42	1,18	1,09	2,61	1,39	3,89
	productie H2 [kton/jaar]	38	102	69	188	91	287
Eemshaven	elektrolyse [GW]	0,71	1,72	1,84	3,81	2,36	5,67
	productie H2 [kton/jaar]	65	149	116	274	155	418
Noordzeekanaal-gebied	elektrolyse [GW]	0,10	0,24	0,25	0,52	0,32	0,78
	productie H2 [kton/jaar]	9	20	16	38	21	58
Kop van NH	elektrolyse [GW]	0,43	1,02	1,11	2,25	1,42	3,35
	productie H2 [kton/jaar]	39	88	70	162	93	247
Den Helder**	elektrolyse [GW]	0,43	1,02	1,11	2,25	1,42	3,35
	productie H2 [kton/jaar]	39	88	70	162	93	247
Rotterdam	elektrolyse [GW]	0,72	1,35	1,88	2,99	2,40	4,45
	productie H2 [kton/jaar]	66	116	118	214	157	328
Moerdijk	elektrolyse [GW]	0,29	0,35	0,75	0,77	0,97	1,15
	productie H2 [kton/jaar]	27	30	48	55	63	85
Geertruidenberg***	elektrolyse [GW]	0,16	0,36	0,41	0,80	0,53	1,18
	productie H2 [kton/jaar]	15	31	26	57	35	87
Tilburg***	elektrolyse [GW]	0,21	0,21	0,55	0,47	0,70	0,70
	productie H2 [kton/jaar]	19	18	34	34	46	52
Chemelot/ Maasbracht	elektrolyse [GW]	0,42	0,64	1,09	1,41	1,4	2,1
	productie H2 [kton/jaar]	38	55	69	101	92	155
Som elektrolyse [GW]		3,08	6,50	8,01	14,37	10,27	21,38
Som productie H2 [kton/jaar]		282	560	505	1031	672	1578

* Terneuzen is een alternatieve locatie voor Borsele in pVAWOZ. Daarom is deze niet meegeteld in het totaal.

** Den Helder is een alternatieve locatie voor Kop van Noord-Holland in pVAWOZ. Daarom is deze niet meegeteld in het totaal.

*** Geertruidenberg en Tilburg zijn alternatieve locaties voor Moerdijk in pVAWOZ. Daarom zijn deze niet meegeteld in het totaal.

2.4 Type elektrolyzers

In het elektrolyseproces, weergegeven in figuur 2-1, komen verschillende technische disciplines samen in één proces, waarbij tot een optimaal functionerend geheel op cel-, stack- en moduleniveau wordt ontworpen. Denk hierbij aan onder andere warmte-generatie, elektrische omzettingen, de scheiding van en interactie tussen gas en vloeistof en het voorkomen van menging van waterstof en zuurstof, hetgeen zou resulteren in een explosief gas. Naast deze technische aspecten zijn uiteraard kosten, energie-efficiëntie en watergebruik van belang bij het ontwerp van een waterstoffabriek en de daarin gebruikte elektrolyzers.

Naast deze samenkomst van vele (technische) disciplines, is er ook een breed scala aan mogelijke contexten waarin een elektrolyser opereert, met voor iedere context andere optimale operationele

parameters. Zo kan de gewenste druk van de geproduceerde waterstof per toepassing verschillen, bijvoorbeeld bij het bijmengen in een aardgasnet is een veel lagere druk nodig dan het omzetten van waterstof in ammoniak. Ook de gewenste zuiverheid van de geproduceerde waterstof kan verschillen, als transportbrandstof bijvoorbeeld, is een veel hogere zuiverheid nodig dan bijvoorbeeld de inzet in (bio)raffinage. Ook het vermogen om de elektrolyser snel te kunnen op- en afschakelen kan een belangrijke eigenschap zijn voor de toepassing van een elektrolyser om het elektriciteitsnet te ontlasten bijvoorbeeld.

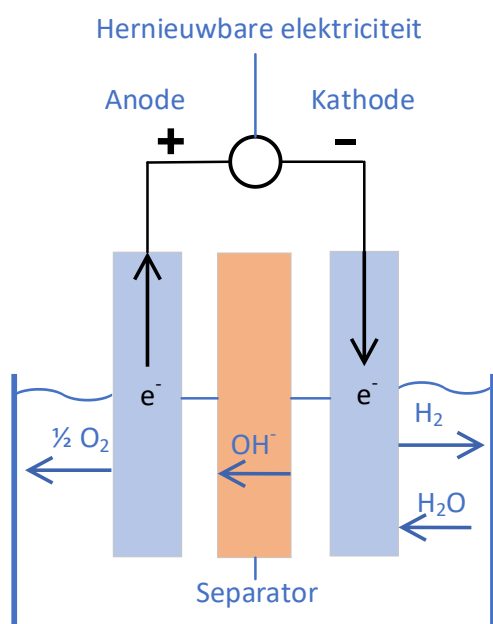
De verscheidenheid aan toepassingen voor elektrolyzers en de vele technische parameters waarop een elektrolyser kan worden ontworpen, resulteert in een diversiteit aan typen elektrolyzers met elk zijn eigen, voor- en nadelen. In de volgende paragrafen worden vier typen elektrolyzers verder toegelicht.

Watergebruik

Het watergebruik voor de elektrolysereactie zelf is ongeveer constant voor alle elektrolysertypen, ongeacht de benodigde waterkwaliteit voor de reactie. Maar wat betreft het watergebruik ten behoeve van koeling is de warmteproductie maatgevend en hierin bestaan wél verschillen tussen de vier elektrolysertypen. Het watergebruik voor zowel de elektrolysereactie als de koeling (waarbij verschillende koelmechanismen worden beschouwd) wordt uitvoeriger toegelicht in paragraaf 3.1.

2.4.1 Alkaline elektrolyser (AWE of AEL)

Dit type elektrolyser heeft de meest volwassen techniek en wordt veelvuldig toegepast. Een alkaline elektrolyser maakt gebruik van twee elektrodes waardoor elektrische geleiding plaatsvindt, vaak gemaakt van of gecoat met nikkel, in een zeer basische, zeer corrosieve en zeer giftige kaliloop oplossing. De waterstof producerende kant (kathode) wordt gescheiden van de zuurstof producerende kant (anode) door middel van een membraan. Dit 500 μm dikke, semipermeabele membraan staat het transport van de OH^- ionen door de poriën van toe, zodat de elektrische kring gesloten wordt zoals aangegeven in figuur 2-4.



Tabel 2-3: De belangrijkste eigenschappen van een alkaline elektrolyser.

Eigenschappen Alkaline Elektrolyser
Commercieel beschikbaar, TRL: 9
Energiegebruik: 55 kWh/kgH ₂
Prijs: 0,5 - 1,3 M€ / MW
Temperatuur: 65 – 100 °C
Benodigde waterkwaliteit: < 5 $\mu\text{S}/\text{cm}^*$
Koelvermogen: 20 kW _{th} /kgH ₂
Snelheid op- afschakelen: >1 min.
Druk: 1 - 30 bar
Waterstof zuiverheid: 99,5%
Maakt geen gebruik van schaarse metalen
Ruimtegebruik: Groot
Grote modules commercieel beschikbaar (1 - 5 MW)

* micro-Siemens per centimeter is een maatstaf voor de elektrische geleidbaarheid van een stof, hetgeen maatgevend is voor de hoeveelheid aanwezige ionen en daarmee indicatief voor de waterkwaliteit

Figuur 2-4: Schematische weergave van een alkaline elektrolyser cel.

Toepassing en context

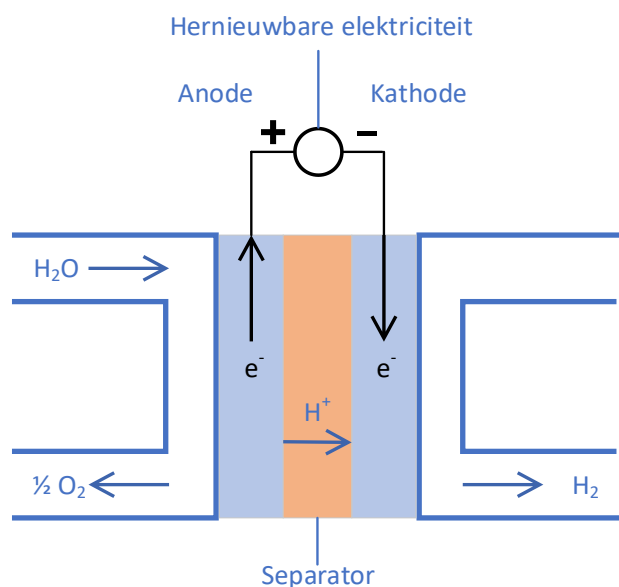
Alkaline elektrolyzers worden in het algemeen relatief vaak toegepast, simpelweg omdat deze techniek de laagste CAPEX (veelgebruikte afkorting voor capital expenditure, kapitaaluitgaven) en vaak ook de laagste kosten per kilogram waterstof levert over de gehele levensduur (LCOH). Alkaline elektrolyzers produceren typisch zoveel mogelijk stationair, d.w.z. met een relatief gelijkmatig profiel (omdat dit type niet erg snel kan op- en afschakelen). Echter kunnen alkaline elektrolyzers ook worden toegepast in combinatie met andere elektrolysertypen om zo tot een optimale waterstofproductie te komen, waarin de gebreken van de alkaline elektrolyser kunnen worden gecompenseerd door de sterktes van een ander type elektrolyser.

Gegeven het relatief hoge ruimtegebruik voor de elektrolyser zelf, alsmede het ruimtegebruik dat nodig is voor de eveneens hoge koelbehoefte, maakt dat alkaline elektrolyzers bij voorkeur worden toegepast in een situatie waarin het ruimtegebruik geen dominante factor is. Ook is de energie-efficiëntie van deze techniek relatief laag, dus leent de alkaline elektrolyser zich goed voor een situatie met goedkope elektriciteit.

2.4.2 Proton exchange membrane elektrolyser (PEM)

De PEM-elektrolyser vertegenwoordigt een geavanceerde technologie, die steeds meer aan populariteit wint vanwege zijn efficiëntie en flexibiliteit. In tegenstelling tot alkaline elektrolyzers maakt de PEM-elektrolyser geen gebruik van een circulerende vloeistof waardoor de elektrische geleiding plaatsvindt, maar van een protonuitwisselingsmembraan. Dat membraan is een vaste stof waardoor enerzijds de elektrische stroom wordt geleid en anderzijds de waterstof en zuurstof van elkaar worden gescheiden. Doordat er geen grote hoeveelheden corrosieve vloeistof circuleert, is de PEM elektrolyser een stuk compacter dan de alkaline variant.

Tabel 2-4: Belangrijkste eigenschappen van een proton exchange membrane (PEM) elektrolyser.



Figuur 2-5: Schematische weergave van een proton exchange membrane (PEM) cel.

Eigenschappen PEM Elektrolyser
Commercieel beschikbaar, TRL: 9
Energiegebruik: 50 kWh/kgH ₂
Prijs: 1 - 1,5 M€/ MW
Temperatuur: 70 – 90 °C
Benodigde waterkwaliteit: < 0,2 μS/cm
Koelvermogen: 15 kW _{th} /kgH ₂
Snelheid op- afschakelen: <1 min.
Druk: 30 bar
Waterstof zuiverheid: 99,99 %
Maakt gebruik van schaarse metalen (platinum, iridium)
Ruimtegebruik: Klein
Gevoelig voor verontreinigingen

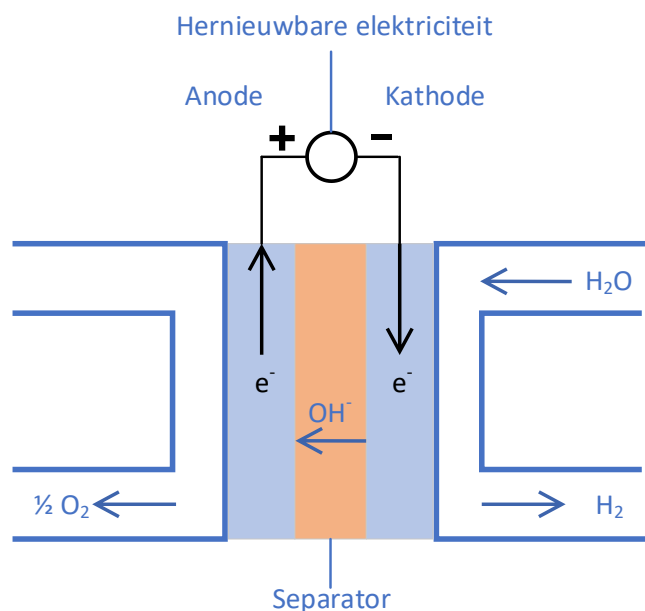
Toepassing en context

De PEM-elektrolyser wordt vaak gekozen vanwege zijn snelle respons op variabele elektriciteitsvraag, waardoor het ideaal is voor toepassingen met fluctuerende energieaanbod, zoals bij duurzame energiebronnen als zonne- en windenergie, soms in combinatie met alkaline elektrolyzers vanuit kostenoverweging. Dankzij de compacte bouw, hoge zuiverheid van de geproduceerde waterstof en het snelle reactievermogen kunnen PEM-elektrolyzers efficiënt worden ingezet voor kleinschalige en mobiele toepassingen, zoals in de transportsector of als onderdeel van gedecentraliseerde energieoplossingen.

2.4.3 Anion exchange membrane elektrolyser (AEM)

De Anion Exchange Membrane (AEM) elektrolyser is een innovatief alternatief voor alkaline en PEM binnen de waterstofproductiesector, die zich onderscheidt door zijn gebruik van anionuitwisselingsmembranen. De AEM elektrolyser wordt wel eens beschreven als de combinatie van de goede eigenschappen van alkaline en PEM elektrolyzers. Net als bij alkaline elektrolyzers gaat het OH^- ion door de separator om enerzijds de elektrische kring te sluiten en anderzijds de zuurstof- van de waterstofkant te scheiden. Echter wordt bij een AEM een veel minder corrosieve vloeistof of zelfs ultrapuur water gebruikt, hetgeen voordelen biedt op het gebied van veiligheid. Anderzijds kan een AEM elektrolyser ook relatief snel op- en afschakelen net als een PEM elektrolyser maar is de verwachting dat een AEM elektrolyser relatief goedkoper wordt in vergelijking met PEM. Mede door het vermijden van schaarse metalen in de toekomst. Echter is de AEM elektrolyser nog in een ontwikkelfase en nog niet veelvuldig op megawatt-schaal toegepast.

Tabel 2-5: Belangrijkste eigenschappen van een anion exchange membrane (AEM) elektrolyser.



Figuur 2-6: Schematische weergave van een anion exchange membrane (AEM) cel.

Eigenschappen AEM Elektrolyser
In ontwikkeling, TRL: 6
Energiegebruik: 53 kWh/kgH ₂
Prijs: onbekend
Temperatuur: 45 – 60 °C
Benodigde waterkwaliteit: < 0,2 μS/cm
Koelvermogen: 17 kW _{th} /kgH ₂
Snelheid op- afschakelen: <1 min.
Druk: < 35 bar
Waterstof zuiverheid: 99,99 %
Maakt (in de toekomst) geen gebruik van schaarse metalen
Ruimtegebruik: Klein
Gevoelig voor verontreinigingen

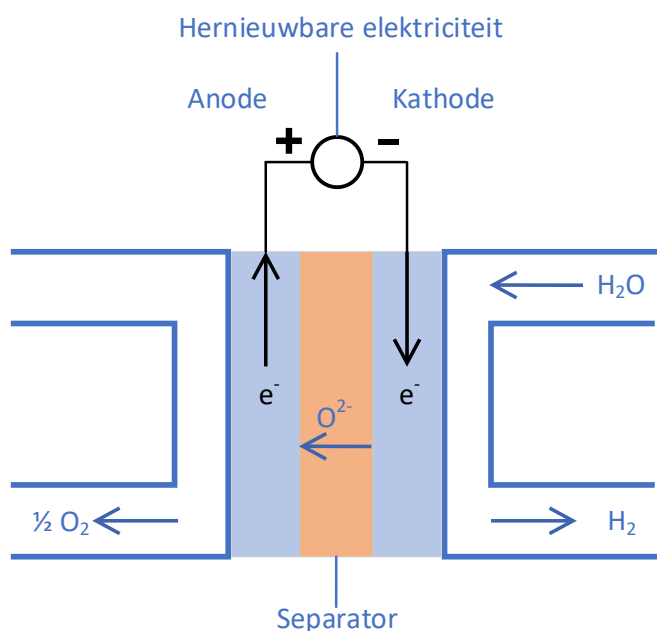
Toepassing en context

Evenals de PEM elektrolyser, is ook de verwachting van de AEM elektrolyser dat die typisch met wisselende stroomvoorziening opereert, gezien de snelle op- en afschakeltijd. Daarnaast zetten AEM-ontwikkelaars in op het vermijden van het gebruik van schaarse metalen, waarmee de AEM concurrerend moet worden met zowel PEM als AEL elektrolyzers in de reeds beschreven contexten van die twee technieken. Echter is de techniek nog allerminst volwassen en nog niet grootschalig voor langere tijd toegepast, en daarom is niet direct te zeggen of en in welke exacte context de AEM te verwachten is.

2.4.4 Solid Oxide Elektrolyser (SOEL)

De Solid Oxide Elektrolyser (SOEL) is eveneens een veelbelovende, maar niet vaak toegepaste technologie binnen de wereld van waterstofproductie. In tegenstelling tot de andere elektrolysemethoden, maakt de SOEL geen gebruik van een membraan als separator, maar een die bestaat uit een oxide-elektrolyt, vaak keramische materialen. De splitsingsreactie van water ziet er anders uit dan voor de andere elektrolyser typen. Een oxide ion O^{2-} wordt van de kathode naar de anode-kant getransporteerd. Een groot verschil met de andere technieken is dat SOEL bij zeer hoge temperaturen plaatsvindt en derhalve met waterdamp wordt gevoed. Een ander groot verschil is dat bij SOEL het proces ook omgedraaid zou kunnen worden, d.w.z. er kan stroom gegenereerd worden door waterstof en zuurstof (of lucht) te voeden aan de SOEL, waardoor het in feite als een brandstofcel werkt.

Tabel 2-6: Belangrijkste eigenschappen van een solid oxide elektrolyser (SOEL)



Eigenschappen SOEL Elektrolyser
In ontwikkeling/ demonstratie, TRL: 7-8
Energiegebruik: 40 kWh/kgH ₂
Prijs: 2,5 – 5 M€ / MW
Temperatuur: 650 – 800 °C
Benodigde waterkwaliteit: stoom
Koelvermogen: < 5 kW _{th} /kgH ₂
Snelheid op- afschakelen: >1 min.
Druk: 1 bar
Waterstof zuiverheid: 99,9 %
Maakt gebruik van schaarse metalen (yttrium)
Ruimtegebruik: groot
Grootste beschikbare module is 2,5 MW

Figuur 2-7: Schematische weergave van een solid oxide elektrolyser (SOEL) cel.

Toepassing en context

Zeker de hoge efficiëntie in vergelijking met de andere typen elektrolyzers maken de SOEL een veelbelovende techniek. Met name de hoge temperatuur van de SOEL en het vermogen om direct waterdamp te splitsen maakt ze aantrekkelijk voor gebruik in industriële processen waarbij (rest)warmte op hoge temperatuur aanwezig is. Denk hierbij aan kernreactoren, staalproductie, de chemische, cement-, en glasindustrie. SOEL zal waarschijnlijk in dit type, hoog-temperatuur-industrie kunnen worden toegepast.

2.5 Kleinschalige elektrolyse

Onder kleinschalige elektrolyse beschouwen we een elektrolysecapaciteit van kleiner dan 100 MW, wat zich vertaalt in maximaal ongeveer 18 kg waterstof per uur. Waar grootschalige elektrolyse zich voornamelijk concentreert in en rond de grote industriële clusters in Nederland, kan kleinschalige elektrolyse in principe overal in Nederland worden gerealiseerd. Daarom is het noodzakelijk om de context en randvoorwaarden waarbinnen kleinschalige elektrolyse logischerwijs opereert, te beschrijven. Aan de hand van deze randvoorwaarden kan vervolgens de geschiktheid van een specifieke locatie worden ingeschat. Aan sommige randvoorwaarden, zoals voldoende waarborging van veiligheid en ruimtelijke inpassing, zal moeten worden voldaan, los van alle andere randvoorwaarden.

2.5.1 Context en randvoorwaarden kleinschalige elektrolyse

Zon- en windparken

Zoals eerder beschreven, is voor de productie van hernieuwbare, groene waterstof d.m.v. elektrolyse een hernieuwbare energiebron noodzakelijk. De nabijheid van duurzame energiebronnen zoals zon- en windparken is daarom een voordeel voor kleinschalige elektrolyse om de allergrootste pieken in het wind- of zonprofiel op te vangen. Door dicht bij de hernieuwbare energiebron de overtollige stroom om te zetten in waterstof, wordt het lokale aangesloten elektriciteitsnet minimaal belast.

Veiligheid

De productie van waterstof brengt veiligheidsrisico's met zich mee, waterstof is zeer licht ontvlambaar en explosief. Dit is daarom een zeer belangrijk aspect in de bepaling van de geschiktheid van een locatie voor (kleinschalige) elektrolyse. De nabijheid van omwonenden, natuur, andere chemische processen en infrastructuur moet daarom worden afgewogen in een gegeven context om onbedoelde blootstelling aan waterstof en de daarmee gepaard gaande veiligheidsrisico's te beperken.

Gebieden waar te grote elektriciteitsproductie leidt tot netcongestie

In gebieden waar het elektriciteitsnet overbelast is, zou kleinschalige elektrolyse kunnen helpen door een overschot elektriciteit om te zetten in waterstof om zodoende het elektriciteitsnet te ontlasten. Een vereiste is dan uiteraard wel dat de elektrolyser zich nabij een elektriciteitsproducent bevindt, om te verzekeren dat het net daadwerkelijk ontlast wordt. Andere typen problemen op het elektriciteitsnet, zoals een lokaal tekort aan stroom, kunnen uiteraard niet worden opgelost m.b.v. elektrolyse. Ook bij de zogeheten aansluitcongestie, congestie die veroorzaakt wordt door een tekort aan mogelijke aansluitingen op onderstations, biedt kleinschalige elektrolyse geen oplossing.

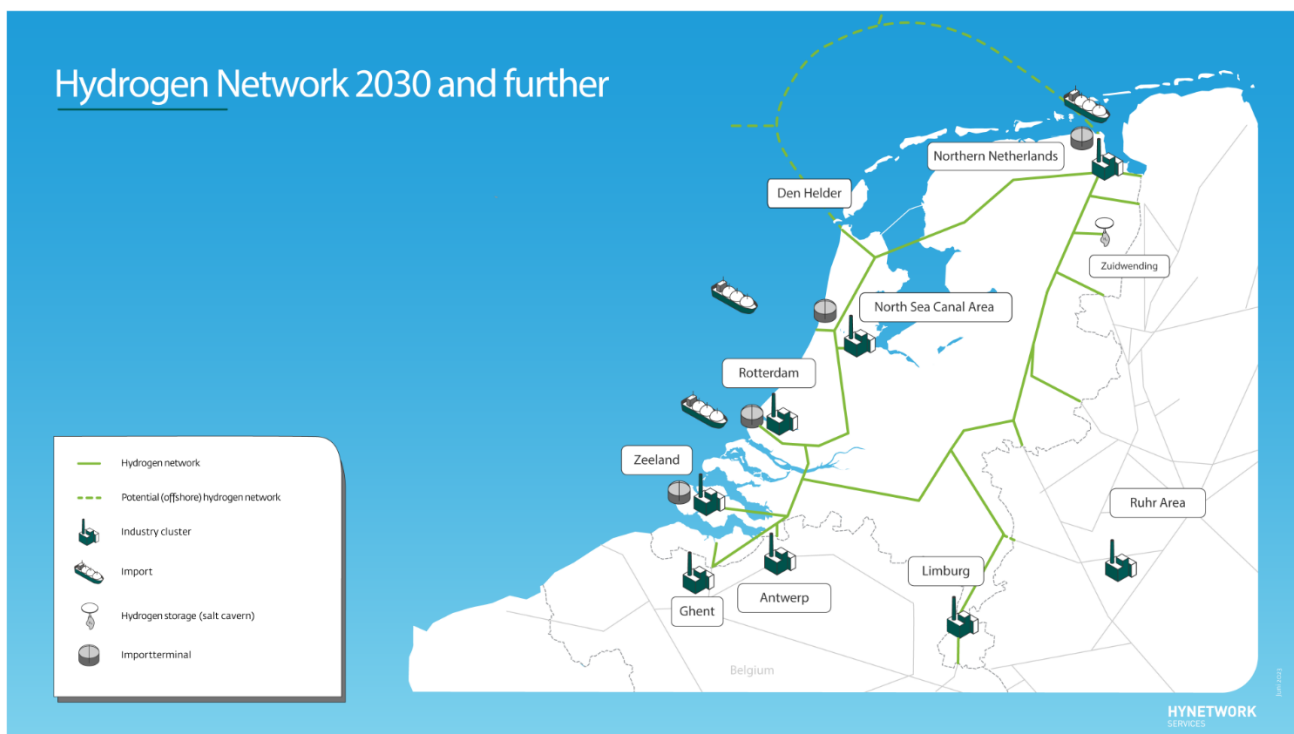
Waterstoftankstations

Naast stroomtoevoer is ook de afvoer van de geproduceerde waterstof een belangrijk aspect. Door kleinschalige elektrolyse in de nabijheid van waterstoftankstations te plaatsen, vindt de geproduceerde waterstof een bestemming waardoor nieuwe infrastructuur en de daarmee gepaard gaande kosten zoveel mogelijk worden vermeden. Deze tankstations kunnen zowel direct waterstofvoertuigen beleveren alsook via buistrailers (tube-trailers) worden gedistribueerd. Belangrijk aspect hierbij is dat beide afvoermethoden op zeer hoge druk (>300 bar) opereren en waterstof bevatten. Beide brengen veiligheidsrisico's met zich mee. Dit bemoeilijkt de ruimtelijke inpassing van de kleinschalige elektrolyser.

Nationaal of regionaal waterstofnetwerk

Een andere mogelijkheid om de waterstof af te voeren is het invoeden in een waterstofnet. Dit kan een regionaal net of het nationale net betreffen. Dit heeft als voordeel dat de druk een stuk lager ligt dan bij waterstoftankstations. Voor het nationale waterstofnetwerk van Hynetwork Services (HNS) zal naar

verwachting op maximaal 66,2 bar(a) opereren³. De nabijheid van regionale of nationale waterstofinfrastructuur waarop ingevoed kan worden, maakt een locatie logischer voor de toepassing van kleinschalige elektrolyse. In figuur 2-8 is het toekomstige nationale waterstofnetwerk afgebeeld.



Figuur 2-8: Het nationale waterstofnetwerk. Bron: [Hydrogen network Netherlands](#) > [Hynetwork](#)

2.5.2 Watervraag voor kleinschalige elektrolyse

Bij kleinschalige elektrolyse (<100 MW geïnstalleerd vermogen) kan de watervraag worden berekend met dezelfde kentallen als gebruikt voor grootschalige elektrolyse (Bijlage 1). Voor een drietal fictieve cases is de watervraag samengevat in tabel 2-7. Hierbij is uitgegaan van de watervraag voor elektrolyse en een gesloten koelsysteem.

Tabel 2-7 Watervraag voor kleinschalige elektrolyse (5, 20 en 100 MW), zie onderbouwing voor de getallen in hoofdstuk 3.

Elektrolysecapaciteit [MW]	Drinkwatervraag voor Elektrolyse [miljoen m ³ /jaar]	Drinwatervraag voor Gesloten Koelsysteem [miljoen m ³ /jaar]	Totale drinkwatervraag [miljoen m ³ /jaar]
5	0,0055	0,029	0,0345
20	0,022	0,116	0,138
100	0,11	0,58	0,69

Ondanks dat de watervraag voor kleinschalige elektrolyse een stuk lager is dan voor grootschalige elektrolyse, kan deze watervraag uiteraard nog altijd druk leggen op de lokale (drink)watervoorziening.

³ 'A follow-up study into the hydrogen quality requirements', KIWA & DNV, Augustus 2023 [document \(eerstekamer.nl\)](#)

3 Water voor elektrolyse

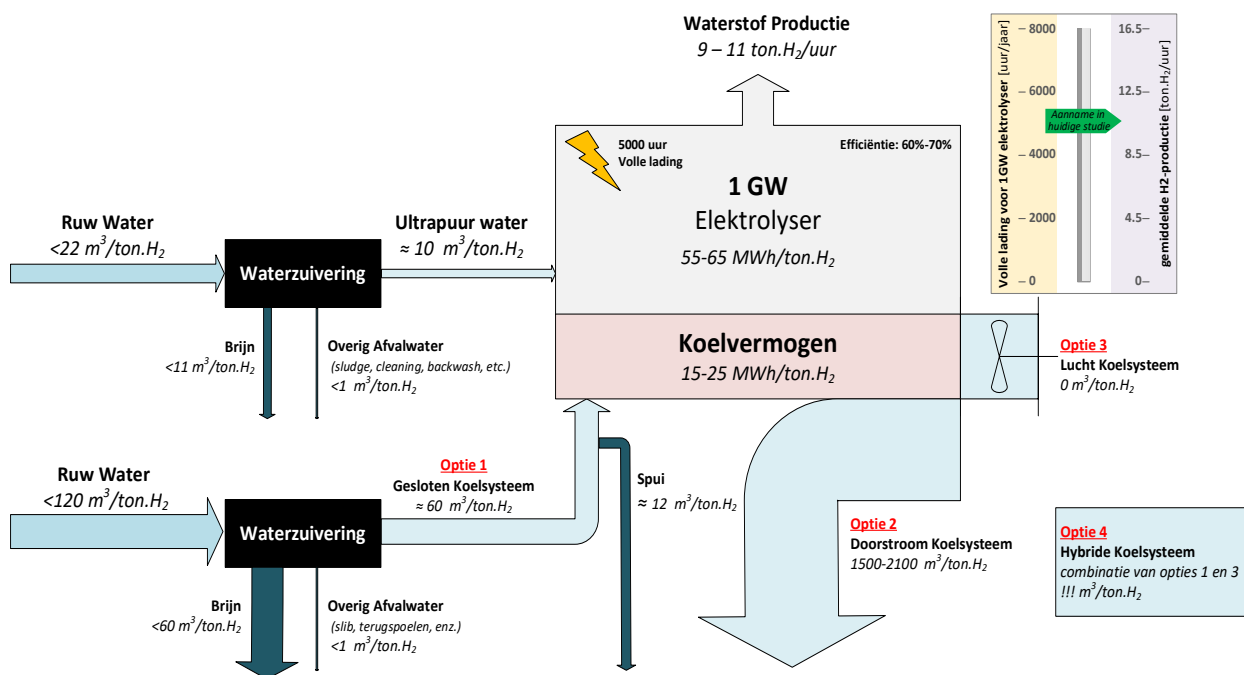
3.1 Waterkwaliteit en -kwantiteit

Voor de productie van waterstof uit water, is water benodigd voor twee processen, namelijk water voor de elektrolyse en water voor koeling van de elektrolyseprocessen. Hierin kan een onderscheid worden gemaakt tussen een gesloten koelsysteem en een doorstroomkoelsysteem. Andere koeltechnieken kunnen worden toegepast, indien bijvoorbeeld waterbeschikbaarheid op een locatie beperkt is. In paragraaf 3.1.2 is een korte toelichting gegeven op de diverse beschikbare koelsystemen, waaronder luchtkoeling en hybride koelsystemen. Luchtkoeling heeft geen watervraag en hybride koelsystemen hebben een beperkte watervraag die vooral seizoensafhankelijk is. Nadeel van de overige koelsystemen is het hogere energieverbruik ten opzichte van watergekoelde koelsystemen. In onderliggend rapport wordt volledig uitgegaan van het gebruik van koelsystemen op basis van koelwater, omdat de scope van de studie waterbeschikbaarheid is.

Afhankelijk van de toepassing (elektrolyse of koeling), varieert de benodigde waterkwantiteit en -kwaliteit:

- Voor elektrolyse is ultrapuur water benodigd. Ultrapuur water heeft een geleidbaarheid van 0,2 µS/cm). Echter voor sommige elektrolyzers is een waterkwaliteit met een geleidbaarheid tot 5 µS/cm voldoende (AWE elektrolyser).
- Voor koeling is de watervraag en benodigde waterkwaliteit afhankelijk van het type koelsysteem (RVO, 2015). Een gesloten koelsysteem behoeft normaliter een betere waterkwaliteit (water met een geleidbaarheid van <math><600 \mu\text{S}/\text{cm}^4</math>) dan een doorstroomkoelsysteem waar bijvoorbeeld zeewater voor gebruikt kan worden.

In figuur 3-1 is een globaal overzicht gegeven van de watervraag en waterstofproductie voor een 1 GW elektrolyser, gebaseerd op 8.000 operationele uren met een vollastcapaciteit van 5.000 uur per jaar.



Figuur 3-1: Globale inschatting van het waterverbruik en de waterstofproductie bij 1 GW elektrolyser

⁴ Geleidbaarheid is gerelateerd aan het zoutgehalte. De waterkwaliteit is vergelijkbaar met drinkwater, maar drinkwater heeft een hoger gehalte aan calcium wat moet worden verwijderd. Onder andere calcium kan leiden tot zoutafzettingen.

De waterbehoefte is in deze modulaire weergave als 'kleiner dan' weergegeven om aan te geven wat globaal wordt verwacht de maximale waterinname te zijn. Voor zowel ultrapuur water wordt de maximale watervraag bij het gebruik van zeewater verwacht, zoals nader wordt toegelicht in de volgende paragrafen. De watervraag wordt dus ook sterk beïnvloed door de waterbron en daarmee ook de benodigde waterbehandelingstechnologieën per bron en de hoeveelheid gevormd brijn- en afvalwater.

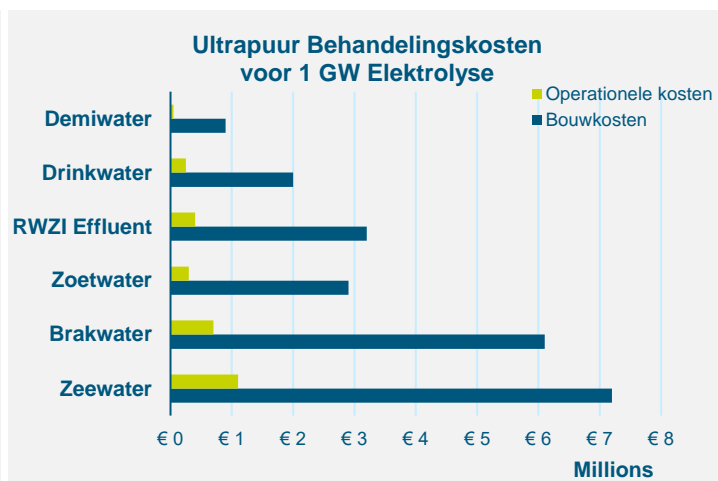
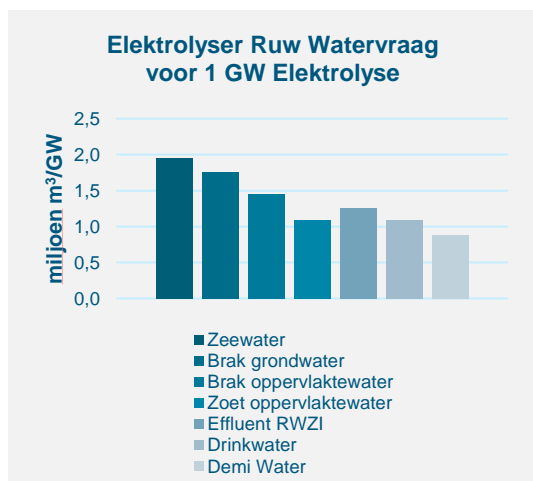
Voor de beoordeling van de watervraag in de volgende paragrafen voor de elektrolyzers is max. 6,5 GW in 2030 en max. 21,4 GW in 2050 voorzien als uitgangspunt, zie ook tabel 2-2.

3.1.1 Watervraag voor elektrolyse

Elektrolyse verbruikt ultrapuur water om waterstof te produceren. De vraag naar ruw water voor elektrolyse wordt sterk beïnvloed door de waterbronnen. Elke waterbron vereist zijn eigen specifieke behandelingsstappen om zuiver water te produceren. Naarmate het zoutgehalte van het ruwe water toeneemt, neemt de efficiëntie van de ontzouting en de terugwinning van het ontzoute water uit de waterbron af. Dit leidt tot een grotere vraag naar water, meer brijnproductie, een hoger energieverbruik en daarmee meer investeringen.

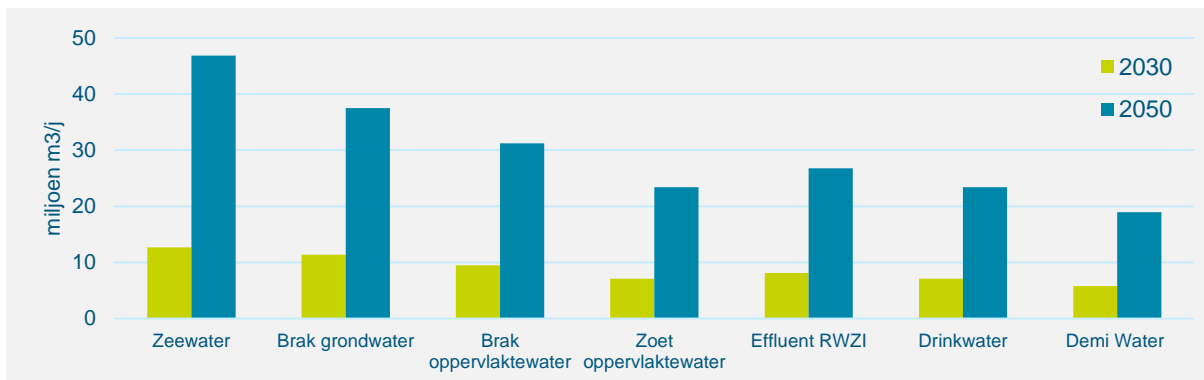
Globaal is een overzicht gegeven van de verwachte watervraag per potentiële waterbron in figuur 3-2 voor de productie van ultrapuur water voor gebruik in de elektrolyser bij 1 GW. In figuur 3-4 is dit per jaar weergegeven bij de verwachte productiehoeveelheden in 2030 en 2050 (uit tabel 2-2).

In figuur 3-3 is een inschatting gegeven van de operationele kosten (OPEX) en de bouwkosten (CAPEX) voor de productie van ultrapuur water voor 1 GW elektrolyser. Deze kosten zijn een globale inschatting met een marge van ±50% op basis van ervaring, zie ook de uitgangspunten in paragraaf 1.4. Deze kosten representeren alleen de bouw- en operationele kosten van de hoofdstappen voor waterbehandeling. De noodzakelijke waterbehandeling per waterbron wordt beschreven in hoofdstuk 3.2.



Figuur 3-2: Grafische weergave van de watervraag per waterbron voor de productie van ultrapuur water voor 1 GW

Figuur 3-3: Grafische weergave van CAPEX/OPEX per waterbron voor de productie van ultrapuur water voor 1 GW

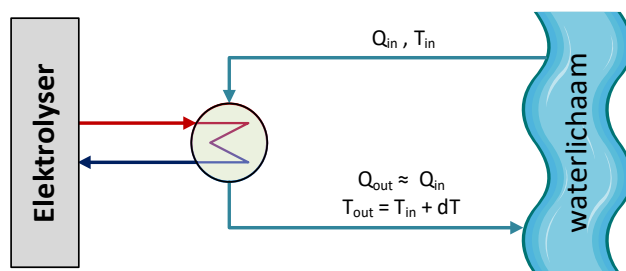


Figuur 3-4: Grafische weergave van de watervraag per waterbron voor de productie van ultrapuur water per jaar

3.1.2 Koelsystemen, hun watervraag en waterverbruik

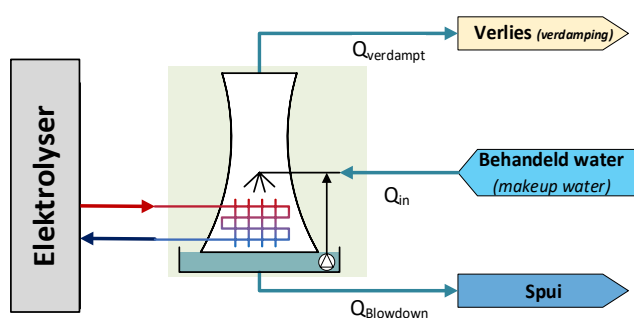
Doorstroomkoelsysteem

Een doorstroomkoelsysteem pompt water uit een nabijgelegen bron, waardoor het slechts één keer door het netwerk van warmtewisselaars gaat om proceswarmte te absorberen. Dit water wordt vervolgens teruggevoerd naar de oorspronkelijke bron, bijvoorbeeld een rivier, meer of oceaan.⁵ Deze systemen komen vaak voor als er grote hoeveelheden goedkoop water beschikbaar zijn. In een doorstroomkoelsysteem keert de warmtelast terug naar de oorspronkelijke bron, maar de verdamping is minimaal en er treedt geen significante verandering op in de chemische samenstelling van het water.



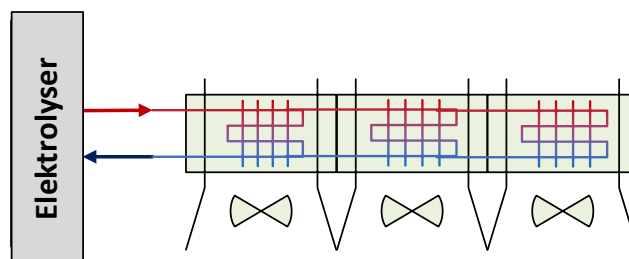
Gesloten koelsysteem

Een gesloten koelsysteem is een koelinstallatie die gebruik maakt van een vloeibaar koelmiddel (op water- of oliebasis) om warmte van een industrieel proces uit te wisselen zonder het daarbij bloot te stellen aan de atmosfeer. In dit systeem circuleert de vloeistof in een gesloten loop continu door buizen. Het koelmiddel absorbeert warmte van het proces of apparaat en geeft die warmte vervolgens af aan een ander watersysteem om af te koelen door middel van verdamping.



Luchtkoeling

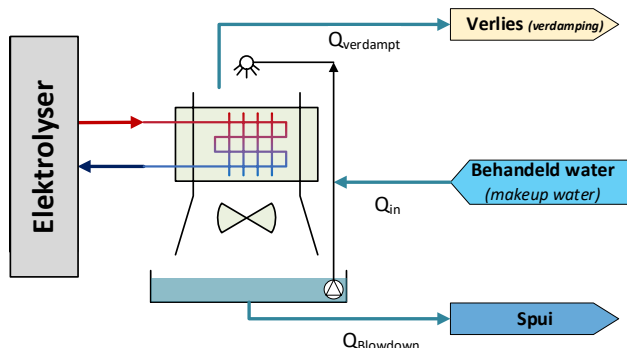
Luchtkoeling is een methode van koeling waarbij lucht wordt gebruikt als koelmiddel. Warmte kan worden afgevoerd door een groot oppervlak te creëren of door de luchtstroom over een te koelen object te verhogen. De lucht moet koeler zijn dan het object om effectief warmte te kunnen afvoeren. Er is geen waterbehoefte bij luchtkoeling.



⁵ Er is ook de mogelijkheid dat water op een andere bron wordt geloosd dan het wordt ingenomen, bijvoorbeeld bij het gebruik van grondwater en lozing op oppervlaktewater. Mogelijk is dit een interessant toekomstig scenario, waarbij zout grondwater aan de kust wordt onttrokken om verzilting van grondwater in het binnenland te beperken.

Hybride koelsysteem

Hybride koeling combineert de voordelen van zowel droge als verdampende warmteafvoertechnologieën. Bij deze benadering werkt het systeem in verschillende modi op basis van de omgevingsomstandigheden. In de droge modus gebruikt het systeem luchtkoeling (zonder water) wanneer de buitentemperatuur gematigd is. Dit bespaart water en vermindert het onderhoud. In de natte modus schakelt het systeem over op verdampingskoeling, waarbij water wordt gebruikt, wanneer de omgevingstemperatuur stijgt. Dit zorgt voor een efficiënte warmteafvoer tijdens warme periodes.

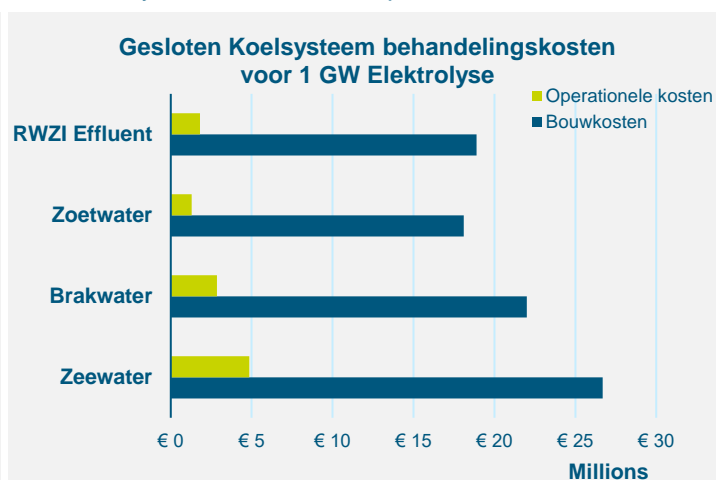
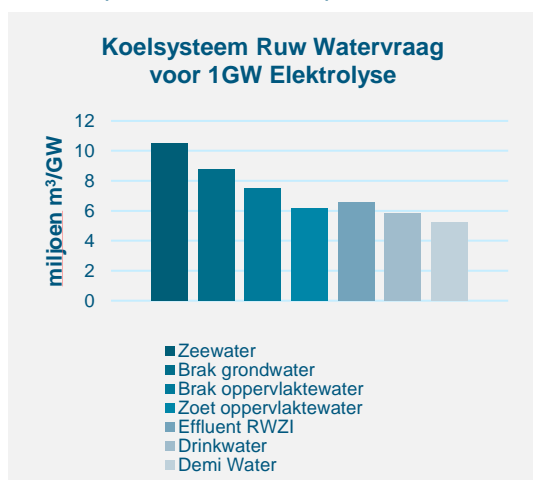


3.1.2.1 Watervraag voor gesloten koelsysteem

Gesloten koelsystemen vragen om water van goede kwaliteit (zacht water met een elektrisch geleidingsvermogen lager dan 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$) om te koelen. Zoals eerder vermeld gebeurt koeling in gesloten koelsystemen door middel van verdamping. In een gesloten koelsysteem wordt ongeveer 80% van het voedingswater verbruikt (verdampt) en de rest wordt afgevoerd als geconcentreerd afvalwater (spui). De vraag naar ruw water voor gesloten koelsystemen, net als voor ultrapuur water, wordt sterk beïnvloed door de waterbronnen. Elke waterbron vereist zijn eigen specifieke behandelingsstappen om zuiver water te produceren. Naarmate het zoutgehalte van ruw water toeneemt, neemt de efficiëntie van ontzouting en terugwinning van ontzout water af.

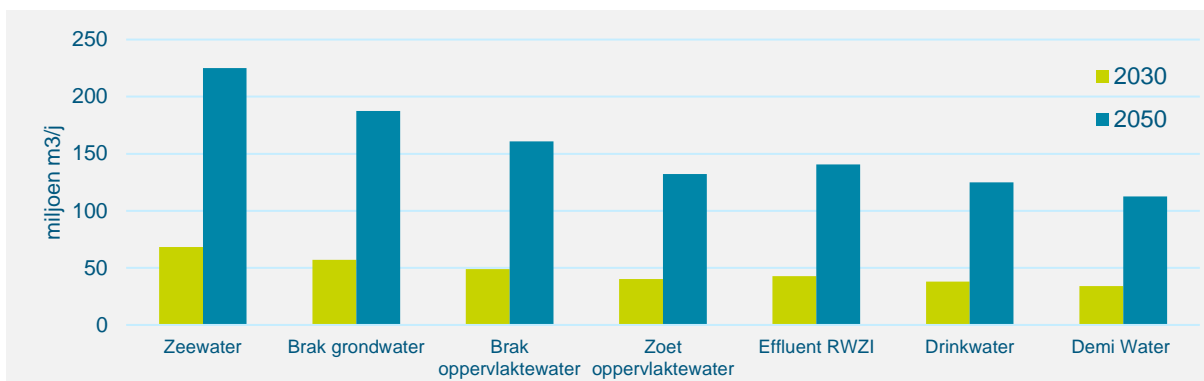
Zoals beschreven in paragraaf 3.1.1 voor de productie van ultrapuur water is eenzelfde kostenraming gemaakt voor de waterproductie voor gesloten koelsystemen. Globaal is een overzicht gegeven van de verwachte watervraag per potentiële waterbron in figuur 3-5 voor de productie van water voor gebruik in een gesloten koelsysteem bij 1 GW. In figuur 3-7 is dit per jaar weergegeven bij de verwachte productiehoeveelheden.

In figuur 3-6 is een inschatting gegeven van de operationele kosten (OPEX) en de bouwkosten (CAPEX) voor de productie van ultrapuur water voor 1 GW elektrolyser, zoals voor ultrapuur water.



Figuur 3-5: Grafische weergave van de watervraag per waterbron voor de productie van ultrapuur water voor 1 GW.

Figuur 3-6: Grafische weergave CAPEX/OPEX per waterbron voor de productie van ultrapuur water voor 1 GW.

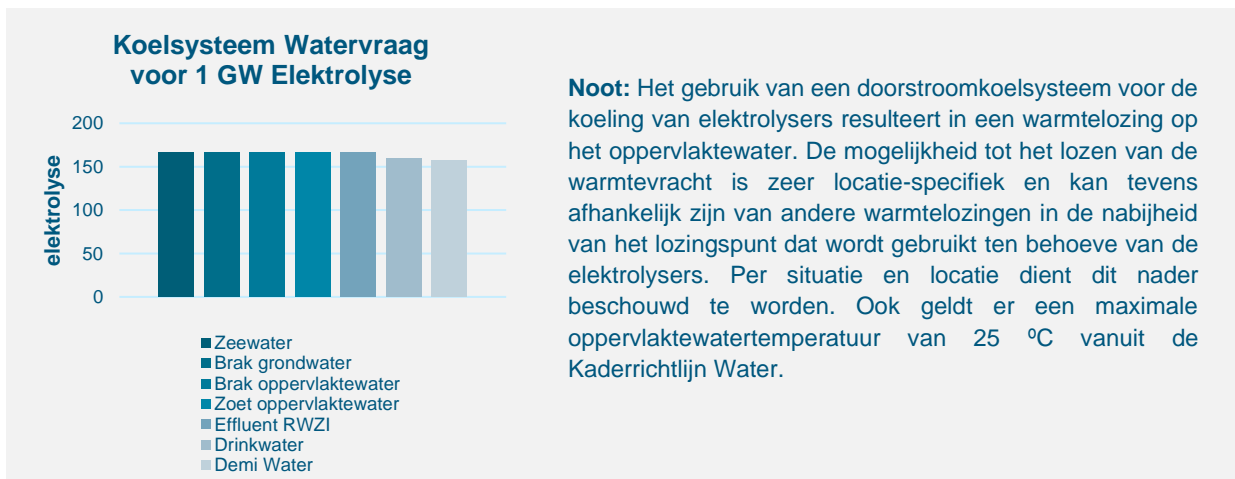


Figuur 3-7: Grafische weergave van de watervraag per waterbron voor de productie van water voor gesloten koelsystemen per jaar.

3.1.2.2 Watervraag voor doorstroomkoelsysteem

In tegenstelling tot een gesloten koelsysteem verbruikt het doorstroomkoelsysteem geen water. Het gebruikte water passeert het systeem één keer en keert met een licht verhoogde temperatuur terug naar het waterlichaam (bevat warmtebelasting). Voor doorstroomkoelsystemen is alleen gekeken naar de waterbehoefte en zijn de kostenramingen genegeerd omdat het ingenomen water in principe geen uitgebreide behandeling nodig heeft. De vereiste behandeling is locatie-specifiek en omvat alleen behandelingsstappen om de inname van vissen en andere aquatische soorten sterk te beperken bij het onttrekken van oppervlaktewater en een eventuele voorbehandeling/conditionering om aangroei in het koelsysteem te voorkomen en/of te verwijderen (bijv. door chloordosering). Dit is gelijk voor alle oppervlaktewatersystemen (zout/brak/zoet).⁶

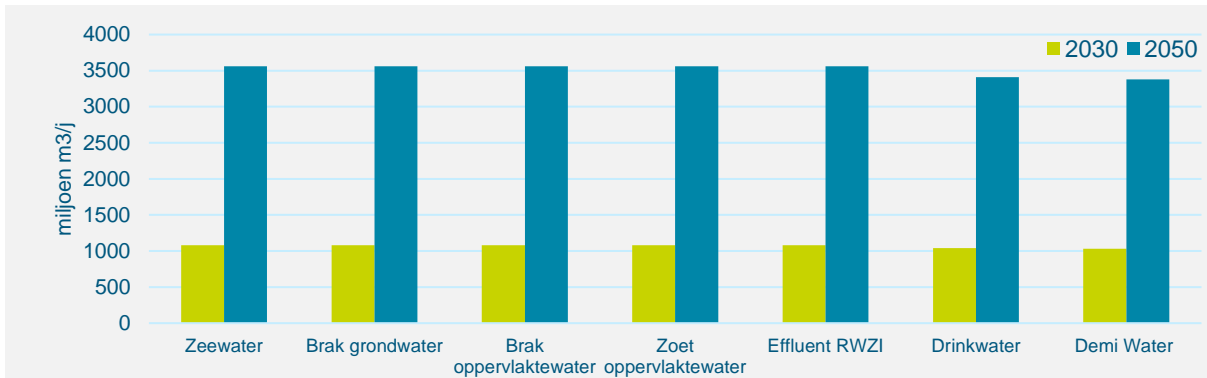
Omdat er geen waterbehandeling noodzakelijk is ten behoeve van doorstroomkoelwatersystemen en daarmee ook slechts minimaal sprake is van verlies van water in een behandelingsstap is de watervraag per waterbron vergelijkbaar bij 1 GW elektrolyser, zie figuur 3-8. Het totale waterverbruik bij gebruik van doorstroomkoelsystemen voor koeling is weergegeven in figuur 3-9.



Noot: Het gebruik van een doorstroomkoelsysteem voor de koeling van elektrolyzers resulteert in een warmtelozing op het oppervlaktewater. De mogelijkheid tot het lozen van de warmtevracht is zeer locatie-specifiek en kan tevens afhankelijk zijn van andere warmtelozingen in de nabijheid van het lozingspunt dat wordt gebruikt ten behoeve van de elektrolyzers. Per situatie en locatie dient dit nader beschouwd te worden. Ook geldt er een maximale oppervlaktewatertemperatuur van 25 °C vanuit de Kaderrichtlijn Water.

Figuur 3-8: Grafische weergave van de watervraag per waterbron voor gebruik in doorstroomkoelsystemen

⁶ Het betreft hierbij onder andere groffilters en fijnzeven en eventuele visretoursystemen kunnen ook worden gerealiseerd. Het is afhankelijk van de locatie en de eisen die worden gesteld voor het oppervlaktewaterlichaam om het aquatisch milieu te beschermen. Dit maakt een accurate inschatting van de kosten lastig.



Figuur 3-9: Grafische weergave van de watervraag per waterbron voor de productie van water voor gesloten koelsystemen per jaar.

3.2 Waterbehandelingstechnieken

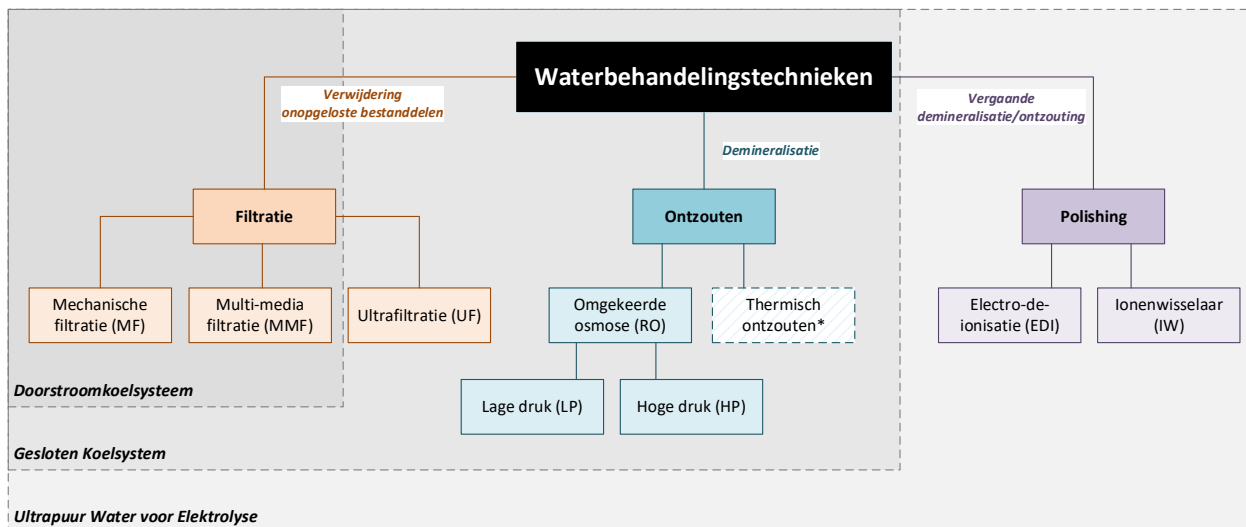
Voor de diverse waterbehoefes van de waterstofproductielocaties wordt een verschillende waterkwaliteit vereist. Voor een doorstroomkoelsysteem wordt de laagste waterkwaliteit gevraagd, voor een gesloten koelsysteem wordt een hogere waterkwaliteit (demiwater) vereist en voor waterstofproductie in de elektrolyser wordt een zeer hoge waterkwaliteit (ultrapuurwater) vereist. In figuur 3-10 is een schematische weergave gepresenteerd van de benodigde waterbehandelingstechnieken per waterbehoefte. De gepresenteerde behandelingstechnieken zijn de belangrijkste stappen die moeten worden toegepast. Echter afhankelijk van de waterkwaliteit, kan de behandeling voor verschillende locaties beperkt afwijken.

Algemeen geldt dat voor een doorstroomkoelsysteem de vermindering van onopgeloste delen voldoende is. Dit kan worden bereikt met onder andere mechanische filtratie, zoals groffilters en fijnzeven, of met multimedia filtratie. Een andere belangrijke reden voor de implementatie van een filtratiestap is de bescherming van het aquatisch milieu (vooral visintrek).

Voor een gesloten koelsysteem dient verdergaande verwijdering van onopgeloste delen plaats te vinden. Een gangbare methode hiertoe is ultrafiltratie. Om corrosie en scaling tegen te gaan dient het water ook onzout te worden tot demiwater. Membraantechniek, zoals omgekeerde osmose (RO), is hiervoor de beste keuze. Afhankelijk van het zoutgehalte van het ingenomen water wordt de RO bij hoge druk of bij lagere druk toegepast en worden verschillende typen membranen gebruikt.

Voor ultrapuur water voor waterstofproductie dient het zoutgehalte nog verder omlaag te worden gebracht dan voor een gesloten koelsysteem. Initieel kunnen dezelfde stappen worden gehanteerd, maar verdere ontzouting is noodzakelijk. Dit kan, afhankelijk van het zoutgehalte van de waterbron, worden bereikt door een trapsgewijze opstelling van meerdere RO's. Met elektrodeïonisatie (EDI) of een ionenwisselaar (IW) wordt vervolgens verdere ontzouting van het water gerealiseerd en kan ultrapuurwater-kwaliteit worden gegenereerd.

Demineralisatie van het water voor de productie van demi- of ultrapuurwater kan ook worden bereikt met thermisch ontzouten. Dit wordt kort beschouwd in paragraaf 5.9 als toekomstoplossing.



Figuur 3-10: Waterbehandelingsstappen voor elektrolyse als toepassing

3.2.1 Behandeling per waterbron

Bron zeewater

- Zeewater bevat hoge concentraties opgeloste zouten, in de range van 30 – 40 g/l.
- Voor de productie van ultrapuurwater uit zeewater is vergaande ontzouting noodzakelijk. Dit kan worden bereikt door achtereenvolgens ultrafiltratie (UF) voor de vergaande verwijdering van zwevende stof, deïonisatie met hogedruk RO (HP RO) op basis van minimaal een tweetraps-opstelling, en verdere ontzouting met een ionenuisselaar (IW) of elektrodeïonisatie (EDI). Door het ontzoutingsproces met membranen worden de ionen geconcentreerd en dit komt vervolgens vrij als brijn (zie paragraaf 3.3.1 voor een toelichting). EDI is een verdere ontzoutingstechniek tot ultrapuur water waarbij ook brijn wordt geproduceerd. Dit is normaliter zulk hoogwaardig water (demiwaterkwaliteit) dat dit kan worden teruggeleid naar de RO.
- Voor de productie van koelwater voor een gesloten koelsysteem uit zeewater is gedeeltelijke ontzouting voldoende. Dit kan worden bereikt met ultrafiltratie (UF), gevolgd door hogedruk RO. Hiermee wordt demiwaterkwaliteit bereikt.
- Voor een doorstroomkoelsysteem is de verwijdering van onopgeloste delen voldoende. Voornaamste doel is hierbij het voorkomen van visintrek (en andere aquatische organismen) en daarbij de bescherming van het aquatisch milieu. Hiervoor kan gebruik worden gemaakt van mechanische filtratie (MF) of multimedia filtratie (MMF). Daarnaast is een lichte voorbehandeling/conditionering nodig om aangroei in het koelsysteem te voorkomen en/of te verwijderen (bijv. door chloordosering).

Bron brak oppervlaktewater en brak grondwater

- Brak water bevat middelmatige concentraties opgeloste zouten, in de range van 10 – 20 g/l. Brak grondwater en brak oppervlaktewater doorlopen dezelfde behandlungsstappen.
- Voor de productie van ultrapuurwater uit brak water is vergaande ontzouting noodzakelijk. De zuiveringsstappen zijn vergelijkbaar met het gebruik van zeewater. Afhankelijk van de locatie van het brakke water dient in het ontwerp van de zuivering rekening te worden gehouden met het zuiveren van brak water met zeewaterkwaliteit. Door bijvoorbeeld getijdenbewegingen kunnen ook in getijdenwateren zeer hoge zoutconcentraties voorkomen. Dit mag niet ten koste gaan van de waterkwaliteit voor elektrolyse. Gemiddeld is echter sprake van een veel lagere saliniteit. Hieraan is ook gerekend voor deze studie. Ultrapuurwater kan worden bereikt door achtereenvolgens ultrafiltratie (UF) voor verwijdering zwevende stof, deïonisatie met lagedruk RO (LP RO) (mogelijk meertraps RO noodzakelijk), en verdere ontzouting met ionenuisselaar (IW) of elektrodeïonisatie (EDI).

- Voor de productie van koelwater voor een gesloten koelsysteem uit brakwater is gedeeltelijke ontzouting tot demiwaterkwaliteit voldoende. Dit kan worden bereikt met ultrafiltratie (UF), gevolgd door lagedruk RO.
- Voor de productie van koelwater voor doorstroomkoelsystemen wordt uitgegaan van dezelfde behandelingsstappen als voor zeewater.

Bron zoet oppervlaktewater⁷

- Zoet water bevat lage concentraties opgeloste zouten (< 2 g/l).
- Voor de productie van ultrapuurwater uit zoet oppervlaktewater is vergaande ontzouting noodzakelijk. De zuiveringsstappen zijn vergelijkbaar met het gebruik van zee- en brak water, maar normaliter zal één RO geopereerd bij lage druk voldoende zijn. Dit betekent een lager energieverbruik dan voor brak of zout water. Ultrapuurwater uit zoet water kan dus worden bereikt door achtereenvolgens ultrafiltratie (UF) voor verwijdering zwevende stof, deïonisatie met lagedruk RO (LP RO), en verdere ontzouting met een ionenwisselaar (IW) of elektrodeïonisatie (EDI).
- Voor de productie van koelwater voor een gesloten koelsysteem uit zoet water is gedeeltelijke ontzouting tot demiwaterkwaliteit voldoende. Dit kan worden bereikt met ultrafiltratie (UF), gevolgd door lagedruk RO.
- Voor de productie van koelwater voor doorstroomkoelsystemen wordt uitgegaan van dezelfde behandelingsstappen als voor zeewater.

Bron effluent afvalwaterzuiveringsinstallatie

- Effluent bevat lage concentratie opgeloste zouten (<2 g/l), met sporen van nutriënten, CZV en overige verontreinigingen afkomstig van de RWZI.
- Voor de productie van ultrapuurwater uit effluent is vergaande ontzouting noodzakelijk. Dit kan worden bereikt door achtereenvolgens ultrafiltratie (UF) voor verwijdering zwevende stof, deïonisatie met lagedruk RO (LP RO), en verdere ontzouting met ionenwisselaar (IW) of elektrodeïonisatie (EDI). De zuiveringsstappen zijn vergelijkbaar met het gebruik van oppervlaktewater.
- Voor de productie van koelwater voor een gesloten koelsysteem uit zoet water wordt uitgegaan van dezelfde behandelingsstappen als voor oppervlaktewater. Mogelijk is nog een aanvullende desinfectie noodzakelijk.
- Voor de productie van koelwater voor doorstroomkoelsystemen wordt uitgegaan van dezelfde behandelingsstappen als voor zeewater.

Bron drinkwater

- Drinkwater bevat een lage concentratie opgeloste zouten (<1 g/l)
- Voor de productie van ultrapuurwater uit drinkwater is vergaande ontzouting noodzakelijk. Dit kan worden bereikt door achtereenvolgens ultrafiltratie (UF) voor verwijdering zwevende stof, deïonisatie met lagedruk RO (LP RO), en verdere ontzouting met ionenwisselaar (IW) of elektrodeïonisatie (EDI). De zuiveringsstappen zijn vergelijkbaar met het gebruik van oppervlaktewater.
- Voor de productie van koelwater voor een gesloten koelsysteem uit drinkwater is ontharding van het water voldoende.
- Voor doorstroomkoelsystemen wordt drinkwater te hoogwaardig geacht. Deze toepassing is dus verder niet beschouwd.
- Voor proceswater zoals door de drinkwaterbedrijven geleverd zijn dezelfde zuiveringsstappen benodigd als voor drinkwater.

⁷ Soms wordt zoet oppervlaktewater onttrokken en voorbehandeld door een externe partij alvorens beschikbaar te worden gesteld aan bedrijven, zoals WRK-water. Dit heeft hiermee een vergelijkbare kwaliteit als zoet water (met lager zwevende-stofgehalte).

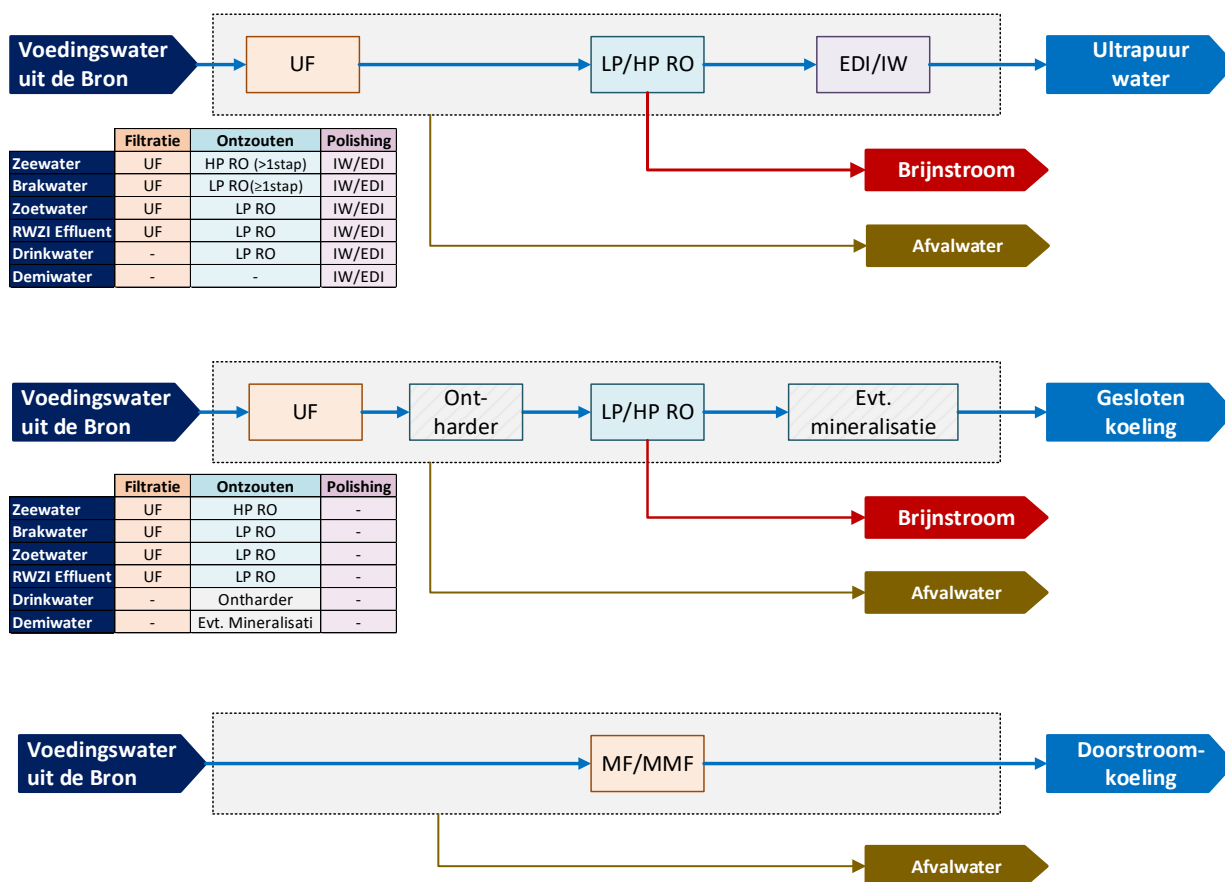
Bron demiwater

- Demiwater bevat zeer lage concentraties opgeloste zouten (< 0,1 g/l).
- Demiwater is vergaand gedemineraliseerd water dat door nabijgelegen externe partijen kan worden geleverd. Met een beperkte inspanning, zoals EDI of IW, is demiwater te zuiveren tot ultrapuur water voor elektrolyse. Er komt geen brijn vrij uit het gebruik van demiwater voor ultrapuurwaterproductie, dit komt echter wel vrij bij de leverancier van het demiwater.
- Demiwater kan direct worden gebruikt als koelwater (mogelijk remineralisatie nodig).
- Voor doorstroomkoelsystemen wordt demiwater te hoogwaardig geacht en is buiten beschouwing gelaten.

3.2.2 Stroomschema waterbehandelingsstappen

In figuur 3-11 is een stroomschema weergegeven per toepassing van het water, dus de productie van ultrapuur water voor elektrolyse, de productie van demiwater voor gesloten koelsystemen en de productie van water voor doorstroomkoelsystemen. Afhankelijk van de toepassing zijn verschillende behandelingsstappen noodzakelijk. Dit is reeds toegelicht in de voorgaande paragraaf.

Bij het toepassen van membraantechnieken, zoals RO, komt een brijnstroom vrij. Deze stroom wordt nader toegelicht in paragraaf 3.3.1. Uit de diverse behandelingsstappen komen verder ook afvalwaterstromen vrij die worden toegelicht in paragraaf 3.3.2.



Figuur 3-11: Stroomschema waterbehandeling per toepassing

3.3 Brijn- en afvalwater

Er wordt onderscheid gemaakt tussen drie typen waterstromen:

- Brijn
- Afvalwater waterzuivering
- Koelwaterspui

3.3.1 Brijn

In de ontzoutingsstappen voor de productie van water voor elektrolyse worden de zouten en overige componenten in het water geconcentreerd in een stroom die vervolgens vrijkomt. Deze stroom wordt brijn genoemd. Algemeen wordt brijn gedefinieerd als een geconcentreerde zoutoplossing (soms wordt het aangeduid als concentraat of reststromen). Afhankelijk van de herkomst van het water varieert de zoutconcentratie in brijn. Daarnaast kan brijn verontreinigd zijn met metalen, nutriënten, PFAS en allerlei andere componenten. De mate van verontreiniging is sterk afhankelijk van de herkomst van het water.

3.3.2 Afvalwater waterzuivering

Afvalwater van de waterzuivering is water dat afkomstig is van bijvoorbeeld de reiniging van membranen, of slib dat is afgescheiden bij de UF. De afvalwaterstromen uit de waterzuivering worden hieronder verder geduid:

Afvalwater van verwijdering zwevende stof Voordat het afvalwater door een UF wordt geleid, is het normaliter gewenst om coagulanten, zoals ijzer(III)chloride, toe te voegen voor betere verwijdering van onopgeloste bestanddelen. Gevolg is dat er verhoogde concentraties van ijzer of andere coagulanten in het slib aanwezig zijn.

Afvalwater reiniging membranen Binnen de waterbehandelingsstappen is reiniging noodzakelijk om optimale zuivering van de diverse behandelingsstappen te waarborgen. Voor de reiniging wordt water gebruikt voor doeleinden zoals de backflush of het spoelen van membranen. Geregeld dient echter ook gebruik gemaakt te worden van chemicaliën om de membranen van alle zuiveringsstappen te reinigen, om bijvoorbeeld aangroei of afzettingen van zouten te verwijderen. Dit vindt normaliter plaats met een procedure bekend als 'Cleaning-in-Place (CIP)'. Voor CIP wordt gebruikt gemaakt van diverse chemicaliën waarbij een verontreinigde afvalwaterstroom vrijkomt.

3.3.3 Koelwaterspui

In gesloten koelsystemen vindt verdamping van water plaats, waardoor een geconcentreerde koelwaterstroom ontstaat, waaruit moet worden gespuid om ophoping van stoffen te voorkomen. Deze koelwaterspui bevat een geconcentreerde zoutoplossing en bevat tevens de chemicaliën die worden gebruikt in het koelsysteem tegen onder andere corrosie en aangroei. Dit is dus spui verontreinigd met chemicaliën en het heeft een warmtelast.

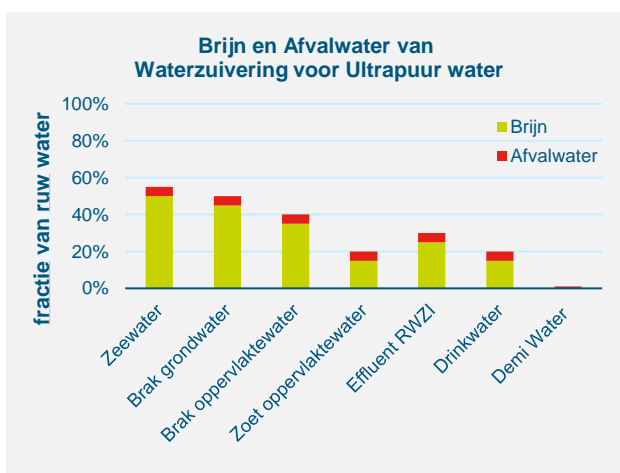
3.3.4 Kwantificering brijn/afvalwater

In figuur 3-12 en figuur 3-13 is met staafdiagrammen weergegeven welk percentuele fractie brijn en afvalwater vrijkomt bij de waterzuivering voor elektrolyse en voor gesloten koelsystemen ten opzichte van de hoeveelheid ingenomen water. Tevens is voor het gesloten koelsysteem aangegeven wat de verwachte percentuele fractie koelwaterspui is.

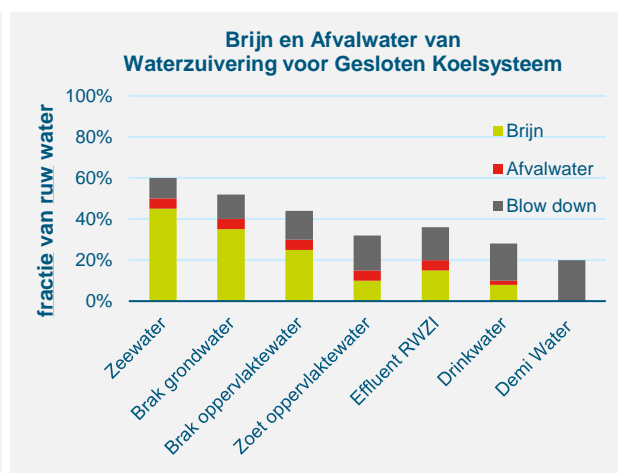
In de aannames is een afvalwaterstroom van 5% van het onttrokken water gehanteerd in alle scenario's, met uitzondering van het gebruik van demiwater. Dit betreft het slib van de filtratiestap voor de verwijdering

van onopgeloste bestanddelen en het schoonmaakwater van de membranen (CIP + backflush). De hoeveelheid brijn is gebaseerd op de water recovery en de efficiëntie waarmee zouten/ionen worden tegengehouden in de waterbehandelingstechnieken per waterbron als beschreven in paragraaf 3.23.2. Deze schattingen van het rendement per stap is gebaseerd op praktijkervaring en opgaves van de leveranciers.

Gemiddeld is er sprake van een 5x indikking van koelwater in gesloten koelsystemen, alvorens er wordt gespuid uit de koelsystemen. Dit is als uitgangspunt gehanteerd voor figuur 3-13.



Figuur 3-12: Brijn en afvalwater afkomstig van de waterzuivering voor elektrolyse



Figuur 3-13: Brijn en afvalwater afkomstig van de waterzuivering voor gesloten koelsysteem

Het lozen van brijn, spuiwater en afvalwater kan niet zonder meer plaatsvinden in het oppervlaktewater. Meer hierover is opgenomen in het hoofdstuk knelpunten in paragraaf 5.5.

4 Waterbeschikbaarheid

4.1 Bronnen

Voor de elektrolyse en koelwater is water nodig. Daarvoor zijn verschillende bronnen inzetbaar. In deze studie zijn als bronnen beschouwd:

- Zeewater
- Brak oppervlaktewater
- Zoet oppervlaktewater
- Grondwater (brak of zoet)
- Effluent van rioolwaterzuiveringen
- Drinkwater
- Industriewater (proces- of demiwater)

De prognose voor de productie van waterstof varieert van 3,0 - 6,5 GW in 2030 tot 10-21,5 GW in 2050, zie tabel 4-1. Op basis van de benodigde zuiveringsstappen die nodig zijn per bron, kan worden uitgerekend hoeveel water nodig is voor de elektrolyser, voor een gesloten koelsysteem of voor een doorstroomkoelsysteem (tabel 4-2). Er is of een doorstroomkoelsysteem of een gesloten koelsysteem. De getallen in de tabel hoeven qua koeling dus niet bij elkaar opgeteld te worden. De beoordeling is uitgevoerd voor waterbeschikbaarheid in 2030 en 2050. Hiervoor zijn de maximale elektrolysecapaciteiten gehanteerd, als een maximaal scenario.

Tabel 4-1: Elektrolysecapaciteit en productie waterstof voor alle locaties samen. Dit is een samenvatting van tabel 2-2.

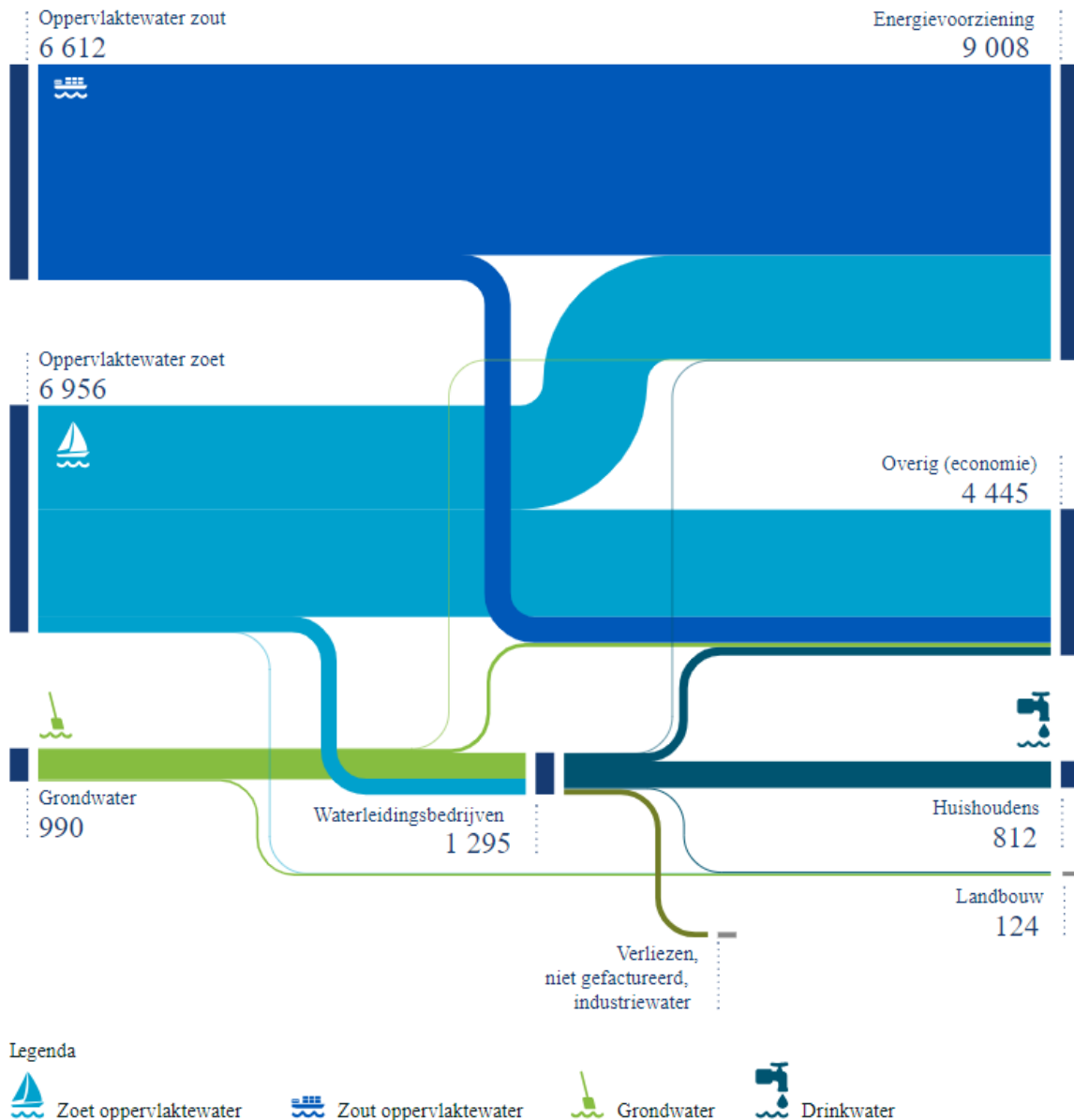
	2030 min	2030 max	2040 min	2040 max	2050 min	2050 max
Som elektrolyse [GW]	3,08	6,50	8,01	14,37	10,27	21,38
Som productie H2 [kton/jaar]	282	560	505	1031	672	1578

Tabel 4-2: Benodigde hoeveelheid water voor alle locaties samen, gebaseerd op 6,50 GW in 2030 en 21,38 GW in 2050 in miljoen m³/jaar m.u.v. de onderste twee rijen. E = Elektrolyser, GK = Gesloten Koelsysteem óf DK = Doorstroomkoelsysteem.

Bronnen	2030			2050		
	E	GK*	DK*	E	GK*	DK*
Zeewater	12,7	68	1079	42	225	3549
Brak oppervlaktewater	9,5	49	1079	31	161	3549
Zoet oppervlaktewater	7,1	40	1079	23	132	3549
Grondwater (brak)	11,4	57	1079	37	187	3549
Effluent rwzi	8,1	43	1079	27	140	3549
Drinkwater	7,1	38	1035	23	125	3405
Industriewater: Proces	7,1	38	1035	23	125	3405
Industriewater: Demi	5,8	34	1025	19	112	3371
Range miljoen m ³ /jaar	5,8 - 12,7	34 - 68	~ 1080	19 – 42	112 - 225	~ 3500
Range m ³ /uur	657 - 1444	3900 – 7800	~ 123000	2160 - 4751	12800 - 25700	~ 400000
Range m ³ /s	0,18 - 0,40	1,08 - 2,17	~ 34	0,60 - 1,32	3,6 - 7,1	~ 110

*De getallen in de tabel moeten niet bij elkaar opgeteld worden. Er wordt gekozen voor óf GK óf DK.

Deze benodigde hoeveelheden water kunnen in context geplaatst worden door het waterverbruik van heel Nederland te bekijken. In figuur 4-1 is het watergebruik van 2021 weergegeven (CBS, 2021). In de waterbalans is te zien dat een groot deel van het waterverbruik naar de energievoorziening gaat (9000 miljoen m³/jaar) Dit betreft vooral koelwater voor de energiecentrales (doorstroomkoeling). Dit is veel meer dan naar huishoudens en landbouw gaat.



Figuur 4-1: Watergebruik in Nederland in 2021 (in miljoen m³/jaar) Bron: CBS.

Vergelijking benodigde hoeveelheden II3050v2 scenario's voor 2030

Als we de benodigde hoeveelheden water voor de **elektrolyser in 2030** vergelijken met deze waterbalans en andere watersysteem kentallen, dan valt op dat de verwachte vraag voor de elektrolyser:

- Bij gebruik van drinkwater als bron (7,1 miljoen m³/jaar) vergelijkbaar is met 0,6% van de jaarlijkse productie van de drinkwaterbedrijven;
- Bij gebruik van industriewater (7,1 miljoen m³/jaar) vergelijkbaar is met 10% van de totale hoeveelheid industriewater (72 miljoen m³/jaar, bron Drinkwaterstatistieken 2022 Vewin);

- Bij gebruik van zoet oppervlaktewater (0,23 m³/s) vergelijkbaar is met een hoofdwatgang in een poldersysteem;
- Bij gebruik van effluent (929 m³/uur) vergelijkbaar is met de afvalwaterlozing van één rioolwaterzuivering (ervan uitgaande dat een gemiddelde RWZI 1000 m³/uur zuivert (DWA)).

Als we de benodigde hoeveelheden water voor het **gesloten koelwatersysteem in 2030** vergelijken met deze waterbalans en andere watersysteem kentallen, dan valt op dat de verwachte vraag voor het gesloten koelwatersysteem:

- Bij gebruik van drinkwater als bron (38 miljoen m³/jaar) vergelijkbaar is met 3% van de jaarlijkse productie van de drinkwaterbedrijven;
- Bij gebruik van industriewater als bron (38 miljoen m³/jaar) vergelijkbaar is met 53% van de totale geleverde hoeveelheid industriewater;
- Bij gebruik van oppervlaktewater (1,27 m³/s) vergelijkbaar is met een vaart tot een klein riviertje;
- Bij gebruik van RWZI effluent (4875 m³/uur) vergelijkbaar is met de afvalwaterlozing van circa vijf rioolwaterzuiveringen.

Als we de benodigde hoeveelheden water voor het **doorstroomkoelwatersysteem in 2030** vergelijken met deze waterbalans en andere watersysteem kentallen, dan valt op dat de verwachte vraag voor het doorstroomkoelwatersysteem:

- Vergelijkbaar is met 12% huidige vraag naar koelwater voor de energievoorziening.
- Bij gebruik van zoet oppervlaktewater (34 m³/s) vergelijkbaar is met de zomerafvoer van de Maas van 40 m³/s;
- Vergelijkbaar is met de afvalwaterlozing van één derde van de Nederlandse rioolwaterzuiveringen;

In de huidige Nederlandse waterbalans valt op dat voor de huidige doorstroomkoelsystemen in de energievoorziening voor 65% gebruik wordt gemaakt van zout oppervlaktewater en 35% van zoet water. Dit geeft aan dat voor significante hoeveelheden water die nodig zijn voor doorstroomkoelsystemen zeewater en brak water een grote rol spelen.

Wanneer deze vergelijking gemaakt zou worden met de scenario's **voor 2050** is de watervraag voor elektrolyse en koeling **ruim driemaal** zo groot.

4.1.1 Zeewater

Voor de waterstofproductielocaties in de kustregio is zeewater een goede bron met voldoende waterbeschikbaarheid. Bij het beoordelen of zeewater een geschikte bron is, is met name van belang of de geplande productielocatie in de nabijheid ligt van de zee. Voor doorstroomkoelsystemen kan de transport afstand namelijk niet te lang zijn (typisch minder dan 1 km).

4.1.2 Brak oppervlaktewater

Een deel van de Nederlandse oppervlaktewateren zijn brak. Voorbeelden hiervan zijn estuaria zoals de Westerschelde en de Eems. Ook de rivieren en kanalen zijn brak nabij de monding in de zee. Het zoute zeewater dringt de rivier op. Als de afvoeren van de rivieren laag zijn in de zomer, dan strekt de zoutindringing verder landinwaarts, dan in de winter bij hoge rivierafvoeren. Daarnaast is in de kustprovincies vaak ook het lokale oppervlaktewater brak, dus het water in de polders. Dit komt omdat er zout grondwater omhoog komt en daardoor het polderwater verzilt. In de zomer spoelen de waterschappen het watersysteem zo goed mogelijk door om deze verzilting tegen te gaan. De grote brakke waterlichamen zoals Westerschelde en Eems, Haringvliet hebben een hoge waterbeschikbaarheid. De zee voert immers elke getijcyclus weer grote hoeveelheden water aan.

4.1.3 Zoet oppervlaktewater

In de Nederlandse sloten, beken en rivieren stroomt over het algemeen zoet water. Nederland ligt in een Delta en dat zorgt voor voldoende aanvoer van zoet water via de Rijn en Maas. Rijkswaterstaat verdeelt het beschikbare water over het hoofdwatersysteem van de rivieren. De waterschappen laten in de zomer rivierwater in hun systeem in om te zorgen voor voldoende water o.a. voor peilhandhaving, beregening, en doorspoelen. In figuur 4-2 zijn de gebieden weergegeven die kunnen worden voorzien van water vanuit het hoofdwatersysteem. De witte gebieden kunnen niet worden voorzien van water uit het hoofdwatersysteem. Met pijlen is de verdeling van het rivierwater weergegeven. Dit is een momentopname, maar indicatief voor een droge situatie met lage rivierafvoer zoals optrad in juni 2022. In bijlage 3 is de verdeling van water in meer detail weergegeven voor de zomer van 2022. In bijlage 3 is tevens een kaart opgenomen van een situatie met een nog lagere rivierafvoer, namelijk augustus 2022 (bron: Rijkswaterstaat).

Hoewel er over het algemeen voldoende zoet water is, kunnen in de zomer toch tekorten ontstaan. Van watertekort is sprake als de vraag naar water vanuit verschillende maatschappelijke en ecologische behoeften groter is dan het aanbod van water met een voor de behoefte geschikte kwaliteit. De tekorten kunnen meerdere redenen hebben. In sommige gebieden is inlaten van rivierwater geen optie. Deze gebieden zijn volledig afhankelijk van neerslag, zoals de Achterhoek, de Veluwe, delen van Limburg, Brabant en Zeeland. In andere gebieden is het wel mogelijk om water in te laten, maar is de watervraag groter dan er wordt aangevoerd. Alle gebruikers vragen namelijk op hetzelfde moment om water, wat tot een piekvraag leidt. De Landelijke Coördinatiecommissie Waterverdeling (LCW) komt in actie als er sprake is van een langere periode van droogte en een lage afvoer van de rivieren; wanneer de vraag naar water groter is dan het aanbod. De LCW schetst een landelijk waterbeeld en adviseert over maatregelen om het beschikbare water te verdelen. Dit gebeurt op basis van de verdringingsreeks, waarin een rangorde van behoefte is vastgelegd bij watertekort. De verdringingsreeks bestaat uit vier categorieën. Het belang van veiligheid en het voorkomen van onomkeerbare schade is als hoogste categorie opgenomen in de verdringingsreeks. Voor de energievoorziening geldt dat het waterverbruik in categorie 4 valt, in het geval de leveringszekerheid van de energievoorziening in gevaar komt in categorie 2 (nutsvoorzieningen). Voor industrie geldt dat geringe hoeveelheden proceswater binnen categorie 3 van de verdringingsreeks vallen. Koelwater valt in categorie 4, samen met gebruikers als landbouw en scheepvaart. De waterverdeling gebeurt zodanig dat de schade zo veel mogelijk geminimaliseerd wordt. In tijden van extreme droogte zijn beperkingen op gebruik niet uit te sluiten.

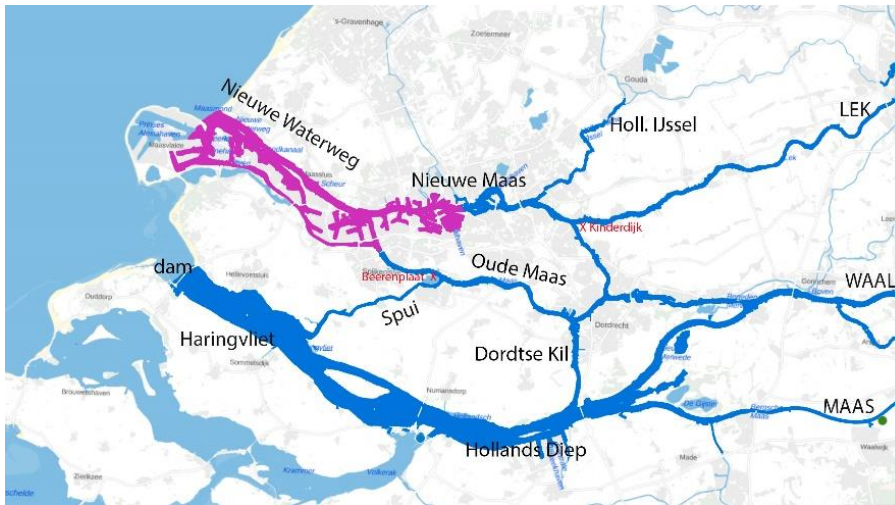
Als voor waterstofproductie wordt gekozen voor zoet oppervlaktewater kan tijdelijke verzilting van de bron optreden. Dichter bij de kust is er een risico op verzilting van het zoete water van zowel de rivieren door indringing van zeewater als het polderwater als gevolg van zoute kwel. Verzilting van het oppervlaktewater heeft nadelige effecten voor natuur en landbouw. Om verzilting tegen te gaan worden de polders met zoet water doorgespoeld. In de rivieren is het belangrijk dat er voldoende water richting de zee blijft stromen om te voorkomen dat het zoute zeewater te ver de rivier op kan komen. In figuur 4-3 is de verzilting van de monding van de Rijn en Maas getoond onder verschillende omstandigheden. De Nieuwe Waterweg bij Rotterdam heeft last van verzilting. Het zoute water is zwaarder dan het zoete water en vormt een zouttong op de bodem van de rivier. Ook het Noordzeekanaal is verzilt tot aan de overgang met het Amsterdam-Rijnkanaal. In bijzondere omstandigheden kan bij stormgebeurtenissen het brakke water vanaf Rotterdam richting het Haringvliet en het Hollands Diep stromen. Dit heet 'achterwaartse verzilting'.

Als gevolg van klimaatverandering is de verwachting dat de tekorten aan zoetwater toenemen. Dit komt enerzijds doordat de watervraag toeneemt. De verdamping neemt toe en daardoor is er meer water nodig voor peilhandhaving en beregening. Door zeespiegelstijging neemt de verzilting toe en is er ook meer water nodig om het watersysteem door te spoelen. Omdat de rivierafvoer afneemt, nemen de tekorten toe. Meer hierover is opgenomen in paragraaf 5.3.



Figuur 4-2: Wateraanvoer en waterverdeling vanuit het hoofdwatersysteem naar de regionale watersystemen. De witte gebieden kunnen niet worden voorzien van water uit het hoofdwatersysteem. De weergegeven debieten zijn voor de 3^e week van juni 2022, wat een droge omstandigheid was. De kaarten voor extreem droge omstandigheden zijn opgenomen in bijlage 3 (Bron: Rijkswaterstaat, 2024)

Verspreiding van zoet water (blauw) en brak water (paars) tijdens een gemiddelde Rijnafvoer



Verspreiding van zoet water (blauw) en brak water (paars) tijdens een lage Rijnafvoer



Verspreiding van zoet water (blauw) en zout en brak water (paars) tijdens een lage Rijnafvoer en noordwesterstorm wat resulteert in achterwaartse verzilt van Haringvliet en Hollands Diep.

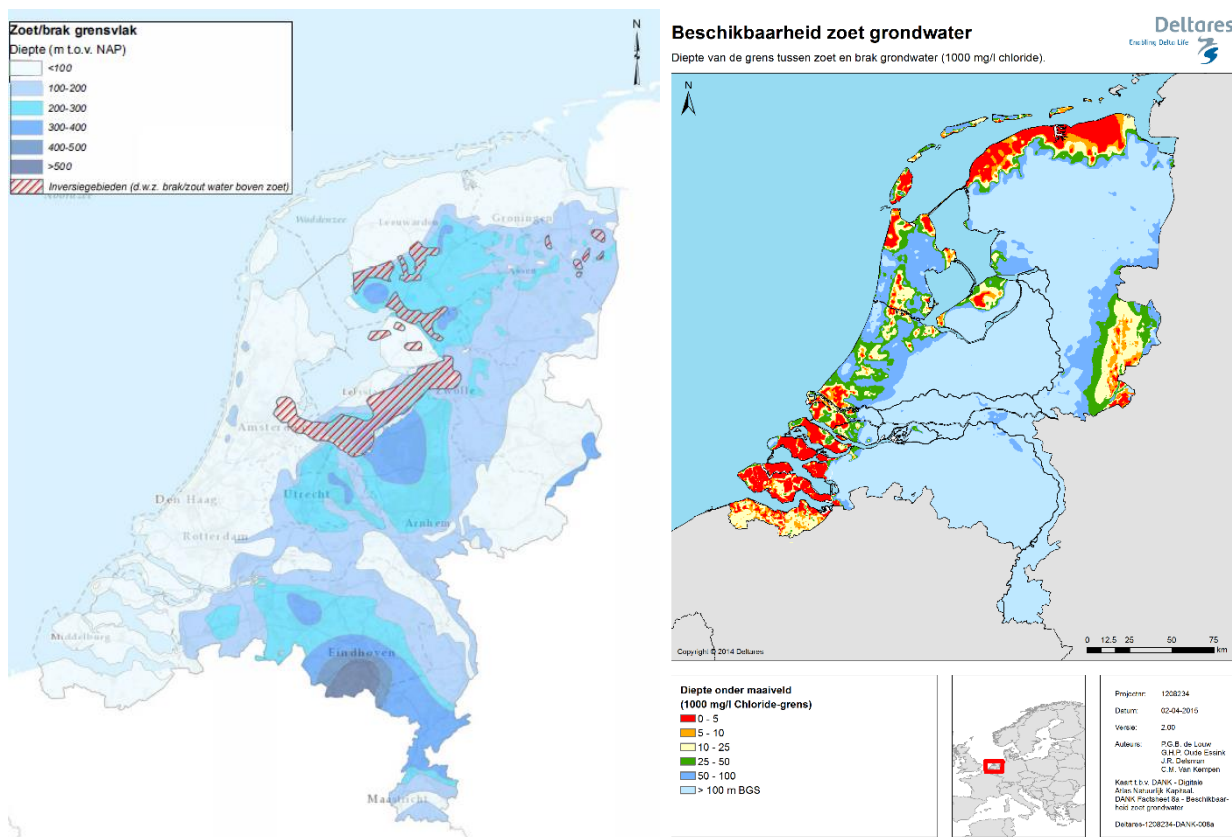


Figuur 4-3: Verziltig van de rivieren (Bron: <https://www.waterpeilen.nl/berichten/rijn-en-maas-stijgen-uit-het-dal>)

4.1.4 Grondwater

Onder het maaiveld bevindt zich grondwater. Grondwater is een goede betrouwbare bron van water. Het water heeft vaak een goede kwaliteit en de bron is stabiel wat betreft hoeveelheid en kwaliteit. Drinkwaterbedrijven in het binnenland, zoals Brabant Water, Vitens maken gebruik van grondwater voor de bereiding van drinkwater. Ook diverse industrieën maken gebruik van het grondwater voor hun productieproces, zoals de voedingsmiddelenindustrie. Tot slot gebruiken boeren het grondwater voor beregening. Het wordt steeds duidelijker dat de grens is bereikt van wat kan worden onttrokken uit het grondwater. Door onttrekkingen voor drinkwater, industrie en landbouw neemt de verdroging toe. Daarom vragen provincies (als bevoegd gezag voor grote onttrekkingen uit grondwater) om zorgvuldig om te gaan met onttrekkingen. Aan industrie vragen ze om te kijken of het mogelijk is om water te besparen, meer circulair te werken en te onderzoeken of het mogelijk is om op andere bronnen over te stappen.

In het westen en noorden van Nederland in de kustregio is het grondwater brak tot zout. Het zoute grondwater is oud zeewater dat tijdens overstromingen van de zee de ondergrond is ingetrokken. Door het aanleggen van polders stroomt dit zoute water weer richting het oppervlak (zoute kwel). Bij stijgende zeespiegel zal de zoute kwel toenemen is de verwachting. In het binnenland is de laag zoet water 100-200 meter dik. In de kustregio is dit vaak maar enkele meters (figuur 4-4). Onder de duinen liggen plaatselijk dikke zoetwaterbellen. In de kustzone maken de drinkwaterbedrijven geen drinkwater van het zoute grondwater. Zij voeren zoet rivierwater aan naar de regio om er rechtstreeks drinkwater van te maken of gebruiken rivierwater om de zoetwaterbellen in de duinen aan te vullen en vanuit daar drinkwater te maken. Voor de productie van waterstof in de kustregio moet er dus rekening worden gehouden dat het grondwater zout is.

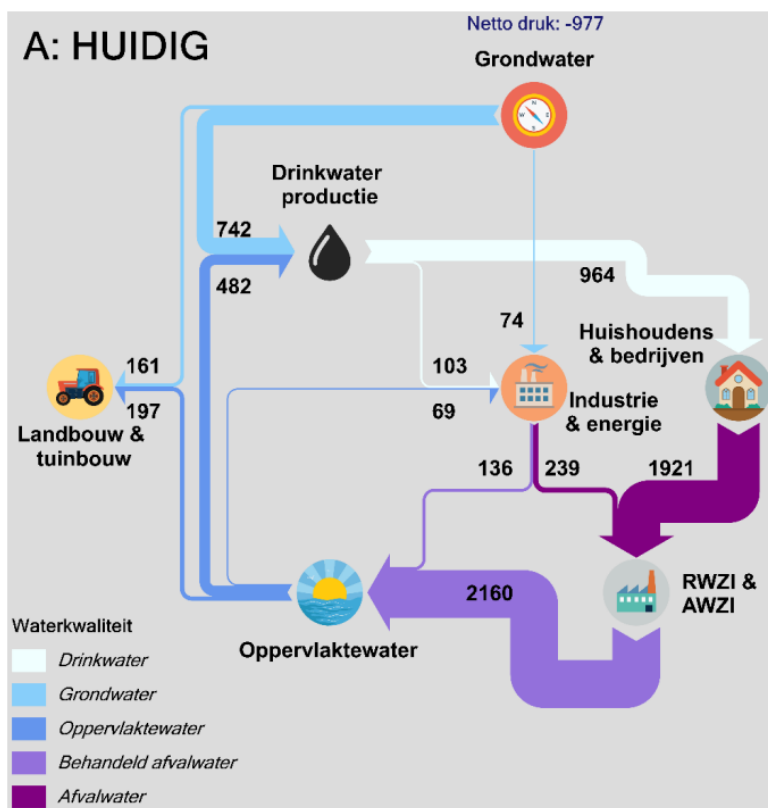


Figuur 4-4: Diepte van het zoet / brak grensvlak in grondwater. Kaart links: grondwatertools.nl en kaart rechts: Deltares, via website RIVM

Voor de hand zou liggen om als bron direct zeewater of brak oppervlaktewater te gebruiken in plaats van brak grondwater, omdat de inname eenvoudiger is. Toch kan lokaal grondwater ook een bron zijn. Dit is afhankelijk van de lokale omstandigheden en met name de locatie van de waterstofproductielocatie. Als zeewater of brak oppervlaktewater verder weg ligt van de productielocatie, dan is brak grondwater misschien wel een logische bron. Daarnaast zou het actief onttrekken van het zoute grondwater op de juiste manier ook verzilting van het polderwater kunnen tegengaan, omdat de zoute kwel wordt afgevangen. Dit vergt maatwerk en nadere studie.

4.1.5 Effluent riool- en afvalwaterzuiveringen

Huishoudelijk en industrieel afvalwater wordt in riool- en afvalwaterzuiveringsinstallaties gezuiverd. Daarna wordt het effluent in het oppervlaktewatersysteem geloosd. Dit is vaak een beek, een kanaal of een rivier. De continue stroom afvalwater is ongeveer net zo groot als de stroom drinkwater die aan huishoudens wordt geleverd. Omdat er ook regenwater via de riolering naar de rioolwaterzuiveringen wordt afgevoerd, is de jaargemiddelde stroom aan effluent zelfs groter die van de drinkwaterbedrijven (figuur 4-5). Effluentstromen vormen een significante en constante bron van zoet water en kunnen de zoetwaterbeschikbaarheid voor verschillende sectoren verhogen (Stowa, 2021). Gezien de droogte van de afgelopen jaren en de toenemende druk om circulair en duurzaam te werken, is er steeds meer belangstelling voor nuttig hergebruik van effluent. Effluent zou benut kunnen worden door industrie, landbouw of bijvoorbeeld voor grondwateraanvulling. De kwaliteit van het effluent is vaak niet goed genoeg om zonder aanvullende zuivering toe te passen. Afhankelijk van de toepassing is er bijvoorbeeld desinfectie nodig om bacteriën en virussen te doden, of geavanceerde zuivering om medicijnresten te verwijderen. Het concept van het toepassen van effluent als nuttig bron in het watersysteem wordt ook wel een waterfabriek genoemd (Stowa, 2021).



Figuur 4-5: Waterbalans waarin ook de afvalwaterstroom is weergegeven. Getallen zijn in miljoen m³/jaar (Stowa, 2021)

Toepassen van effluent van rioolwaterzuiveringen voor waterstofproductie is kansrijk. De rioolwaterzuiveringen liggen verspreid door het hele land, waardoor er vrijwel altijd een zuivering in de nabijheid van een productielocatie is. De stroom water is constant en ook in droge tijden beschikbaar, omdat huishoudelijk afvalwater ook in de droge zomers continue wordt gezuiverd. Daarvoor is het wel belangrijk om de zogenaamde droogweerafvoer te beschouwen, dus zonder het extra regenwater mee te rekenen. Tot slot is het belangrijk om te realiseren dat effluent soms al een functie heeft in het watersysteem. Vooral in gebieden zonder wateraanvoer zorgen de effluentlozingen van rioolwaterzuiveringen voor een belangrijk deel van de afvoer van waterlopen op hoger gelegen zandgronden.

4.1.6 Drinkwater

Nederland telt tien drinkwaterbedrijven met ieder zijn eigen voorzieningsgebied (zie figuur 4-6). Drinkwaterbedrijven hebben een wettelijke plicht om drinkwater te leveren binnen hun gebied. Er zijn hoge eisen voor zowel de beschikbaarheid (kwantiteit) als de betrouwbaarheid (kwaliteit). Deze regelgeving betekent wel dat bij calamiteiten dat de leveren van drinkwater⁸ voorrang heeft. In 2021 is in totaal 1.125 miljoen m³ drinkwater geleverd door de drinkwaterbedrijven. Ruim 70% van het in Nederland geproduceerde drinkwater wordt gebruikt door particuliere huishoudens.



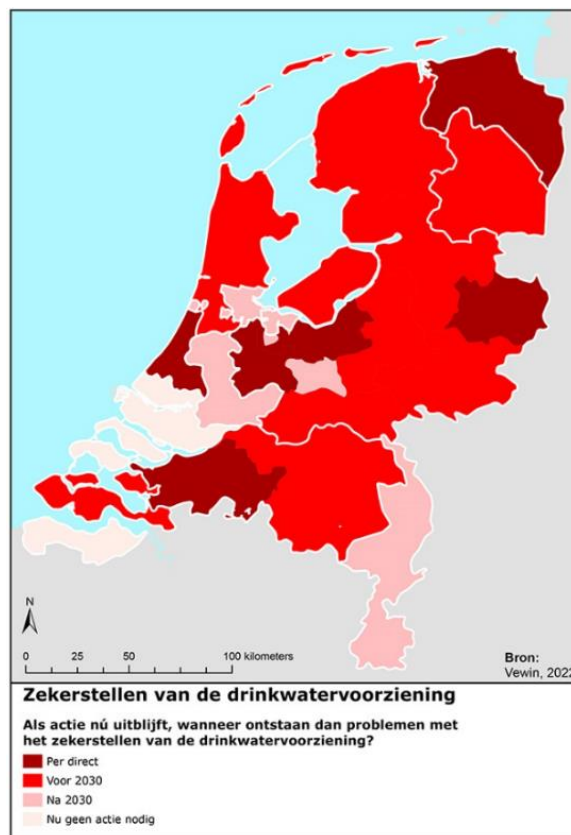
Figuur 4-6: Leveringsgebieden van Nederlandse drinkwaterbedrijven met de mogelijke productielocaties voor waterstof

In 2023 heeft het RIVM een onderzoek gepubliceerd (RIVM, 2023) over de verhouding tussen vraag naar drinkwater en beschikbaarheid van bronnen en productiecapaciteit bij de Nederlandse drinkwaterbedrijven op korte termijn (tot 2030). Geconcludeerd is dat alle drinkwaterbedrijven in Nederland krap zitten in

⁸ Definitie in Drinkwaterwet: water bestemd of mede bestemd om te drinken, te koken of voedsel te bereiden dan wel voor andere huishoudelijke doeleinden, met uitzondering van warm tapwater, dat door middel van leidingen ter beschikking wordt gesteld aan consumenten of andere afnemers. artikel 1.1.b.

mogelijkheden te voldoen aan de verwachte vraag naar drinkwater. Dit kan komen doordat de productiecapaciteit onvoldoende is, maar ook doordat de beschikbaarheid van voldoende water om drinkwater van te maken onder druk staat. Alle drinkwaterbedrijven geven aan voor 2030 actie te moeten ondernemen om aan hun leveringsverplichting te kunnen blijven voldoen. Bij enkele bedrijven is de urgentie groter, die hebben direct extra mogelijkheden om water te (mogen) winnen nodig. Dit geldt onder andere voor Waterbedrijf Groningen.

Hoewel dus alle drinkwaterbedrijven tussen nu en 2030 een opgave hebben om aan hun leveringsverplichting te kunnen blijven voldoen, zijn er wel sterke verschillen binnen de leveringsgebieden van sommige drinkwaterbedrijven. Evides geeft aan in de regio Rijnmond voorlopig nog voldoende capaciteit te hebben, maar in Zeeland is de productiecapaciteit krapper. Brabant Water is nu al bezig de productieruimte te vergroten in het westen van Noord-Brabant omdat daar al tekorten zijn, terwijl de druk in het oosten van de provincie een stuk lager is. Ook PWN en Waternet zijn op dit moment op zoek naar nieuwe bronnen en plannen aan het uitwerken om op korte termijn hun productiecapaciteit te kunnen vergroten.



Figuur 4-7: Urgentie voor actie om drinkwatervoorziening zeker te stellen (Vewin, 2022)

Voor de lange termijn (2040 en verder) zijn visies en investeringsplannen opgesteld die met enige regelmaat herijkt worden. De vraag naar drinkwater stijgt, maar ondertussen worden de beschikbare bronnen schaarser, zowel in kwaliteit als in kwantiteit zoals onderzocht in de Verkenning robuuste drinkwatervoorziening 2040 (Royal HaskoningDHV, 2021). Dit heeft ertoe geleid dat bijvoorbeeld de provincie Groningen al heeft aangegeven dat grondwater in de toekomst alleen nog ingezet mag worden voor de productie van drinkwater en niet voor andere doeleinden zoals industriewater. In de provincies Noord-Brabant en Zeeland is een tekort aan bronnen voor de toekomst. Daar wordt in het beleid nadrukkelijk ingezet op water besparen. Het is niet te verwachten dat inzet van drinkwater voor productie van waterstof in deze gebieden mogelijk is wanneer uitdrukkelijk wordt ingezet op waterbesparing.

Als in de toekomst de wens bestaat dat er in gebieden gebruik gemaakt wordt van drinkwater voor de productie van waterstof, moet er vroegtijdig met de betreffende drinkwatermaatschappijen in gesprek gegaan worden, zodat dit in hun lange termijn en investeringsplannen mee genomen kan worden. De drinkwaterbedrijven hebben nu geen capaciteit beschikbaar en hebben in hun toekomstplannen geen reservering voor levering van water voor waterstofproductie. Als drinkwater wordt gebruikt als bron voor waterstofproductie, zal voor deze extra vraag aanvullende capaciteit moeten worden gevonden. Vanwege de maatschappelijke druk om drinkwatergebruik te beperken wordt de kans dat het verzoek om ook aan waterstofproductie drinkwater te leveren gehonoreerd wordt echter gering geschat. De inzet van drinkwater als bron voor koelwater van gesloten systemen is in de gebieden waar inzet voor elektrolyse al niet mogelijk is, helemaal uitgesloten.

4.1.7 Industriewater

In diverse regio's wordt door een partij demiwater of proceswater geleverd. In 2021 was de totale omvang van dit door de branchevereniging Vewin genoemde 'ander water' 72 miljoen m³ (Vewin, 2023). Levering gebeurt vaak door commerciële dochterondernemingen van het drinkwaterbedrijf in hetzelfde gebied, omdat voor de zuivering en distributie dezelfde kennis benodigd is. Voor de beoordeling van proces- en demiwater is gekeken of bedrijven aangeven nog ruimte te hebben. Exacte capaciteiten zijn niet bekend, omdat dit commercieel gevoelige informatie is. Het is mogelijk voor deze bedrijven om hun capaciteit aan proces- en demiwater uit te breiden als hier vraag naar is. Zo levert Evides Industriewater sinds kort op de Maasvlakte dagelijks 650 m³ demiwater aan Shell (Volkskrant, 2023). Het water hiervoor komt uit het Brielse Meer wat op dit moment niet wordt benut voor drinkwaterproductie, maar wel door diverse industrieën. Op andere locaties is proceswater beschikbaar. Dit kan eventueel als bron fungeren als andere zoet waterbronnen niet voorhanden zijn. Deze bronnen zijn echter niet onafhankelijk van de drinkwaterproductie. Hierdoor staat de benutting van deze capaciteit ook onder druk in het licht van de krappe beschikbaarheid in de drinkwatervoorziening.

4.1.8 Conclusies beschikbaarheid bronnen

- Zeewater indien nabij heeft voldoende beschikbaarheid
- Grote brak waterlichamen zoals Westerschelde en Eems hebben voldoende waterbeschikbaarheid
- Zoetwatervoorziening in de kustregio's staat onder druk. In zomer is er sprake van verzilting en watertekort. Dat betekent dat de bron mogelijk niet altijd beschikbaar is en in de toekomst met klimaatverandering nog verder onder druk kan komen te staan.
- In de kustzone is er brak grondwater aanwezig met daarboven een kleine laag zoet grondwater. De mogelijkheden om deze zoete grondwatervoorraad te gebruiken zijn beperkt door wet- en regelgeving. In praktijk komt de bron grondwater daarom neer op onttrekken van brak grondwater. In het binnenland is het beleid van de provincies erop gericht om het gebruik van zoet grondwater door industrie te ontmoedigen.
- Rioolwaterzuiveringen zijn een stabiele bron van water. Het nuttig hergebruiken van dit voormalige 'afvalwater' wordt steeds vaker verkend als het concept waterfabriek. Door de ruimtelijke verspreiding van de rioolwaterzuiveringen over het land is er vaak een zuivering in de buurt van een mogelijke waterstofproductielocatie.
- Drinkwater heeft een stabiele kwaliteit en de levering van drinkwater in Nederland is betrouwbaar. Drinkwaterproductie staat onder druk en er wordt opgeroepen tot 'juiste water voor het juiste gebruik'.
- Gebruik van demi- of proceswater is interessant bij kleinschalige omvang en als dit lokaal aanwezig is. De beschikbaarheid van dit water staat net als bij drinkwater onder druk.
- De focus van het onderzoek is waterbeschikbaarheid, dus bovenstaande conclusies geven verwachtingen weer van de beschikbaarheid per bron voor waterstofproductie (elektrolyse en koeling). Er zijn echter vele factoren die bepalen of een locatie geschikt is voor een waterstofproductielocatie. Specifiek kunnen er knelpunten zijn met betrekking tot de lozing van reststromen of warmtelast. Hier zijn bovenstaande bronnen niet op beoordeeld. Dit moet in een nadere beoordeling plaatsvinden als de precieze locaties beter in beeld zijn.

4.2 Voor- en nadelen van verschillende waterbronnen

In tabel 4-3 zijn per potentiële waterbron de voor- en nadelen beschouwd. Iedere waterbron kent zowel voor- als nadelen. De opsomming in deze tabel is niet onuitputtelijk, maar geeft een globaal overzicht van voornaamste voor- en nadelen.

Tabel 4-3: Voor- en nadelen per waterbron, inclusief voorziene toekomstige ontwikkelingen

Bron	Voordelen	Nadelen	Toekomst
Zeewater	<ul style="list-style-type: none"> • Stabiele waterkwaliteit (samenstelling en temperatuur) • Onuitputtelijk 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoge energievraag voor behandeling • Lage water recovery in de waterbehandeling • Grote infrastructuur nodig • Ecologische effecten onttrekking 	<ul style="list-style-type: none"> • Stabiele betrouwbare waterbron voor de toekomst
Brak water	<ul style="list-style-type: none"> • Nagenoeg onuitputtelijk 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoge energievraag voor behandeling • Matige water recovery in de waterbehandeling • Ecologische effecten onttrekking • Sterke seizoensfluctuaties • Fluctuaties zoutgehalte door getijde 	<ul style="list-style-type: none"> • Bij zeespiegelstijging zal areaal brak water uitbreiden. Bron blijft in de toekomst ook bestaan. • Kwaliteitsverandering door klimaatverandering niet uitgesloten. • Mogelijk verminderde aanvoer zoetwater.
Zoetwater	<ul style="list-style-type: none"> • Hoge waterrecovery voor behandeling • Goede bron in het binnenland 	<ul style="list-style-type: none"> • Verzilting door getijden/lage rivierafvoer • Zoetwatertekort (droogte), bijv. onttrekkingsverbod bij lage waterstand • Ecologische effecten onttrekking 	<ul style="list-style-type: none"> • Door klimaatverandering zal zoet water schaarser worden. De vraag naar zoetwater neemt toe (Deltascenario's) terwijl de bronbeschikbaarheid afneemt. Verzilting zal vaker stroomopwaarts voorkomen. Hiermee is er geen garantie op waterbeschikbaarheid in 2050.
Brak grondwater	<ul style="list-style-type: none"> • Onttrekking van brak grondwater nabij de kustlijn vertraagt de verhoging van de saliniteit van grondwater verder naar het binnenland. • Grondwater is anaeroob: geen risico op biofouling 	<ul style="list-style-type: none"> • Over het algemeen vergelijkbaar met brak oppervlaktewater. Brak waterwinning uit oppervlaktewater ligt dan meer voor de hand. • Hogere energievraag voor oppompen 	<ul style="list-style-type: none"> • Door klimaatverandering zal zoute kwel toenemen en de grondwatervoorraad in de kustregio komt verder onder druk te staan.
Effluent RWZI	<ul style="list-style-type: none"> • Nuttig hergebruik afvalwater • Onuitputtelijk en jaarrond beschikbaar • Goede bron voor locatie nabij zoute/brakke wateren 	<ul style="list-style-type: none"> • Fluctuaties in waterkwaliteit (dagelijks en seizoensgebonden) • Niet altijd beschikbaar i.v.m. andere toepassingen (bijvoorbeeld voor minimale zomerafvoer bepaalde KRW-wateren of reeds verkocht voor andere doeleinden) 	<ul style="list-style-type: none"> • Effluent is nu nog afvalwater. Hergebruik van effluent wordt door waterschaarste en vanuit duurzaamheid steeds interessanter. De waterbron is ook voor andere doeleinden (landbouw, industrie, binnenlandse droogte) inzetbaar. Er kan in de toekomst dus competitie om deze bron ontstaan. Dit vraagt gedegen afstemming.
Drinkwater	<ul style="list-style-type: none"> • Stabiele waterkwaliteit • Weinig zuiveringsstappen • Weinig brijn 	<ul style="list-style-type: none"> • Drinkwatervoorziening krijgt voorrang • Er is een nationale doelstelling voor drinkwaterbesparing • Ontharding nodig • Uitbesteding • Indien verkocht aan waterstofproductie niet langer bruikbaar voor andere doelen (zoals natuurdoelen of landbouw/industrie) 	<ul style="list-style-type: none"> • Geen enkele garantie op voldoende waterlevering. • Drinkwatervoorziening gaat te allen tijde voor.

Bron	Voordelen	Nadelen	Toekomst
Demiwater	<ul style="list-style-type: none"> Vrijwel geen brijn⁹ Weinig zuiveringsstappen 	<ul style="list-style-type: none"> Uitbesteding Mineralisatie nodig voor koeling Indien verkocht aan waterstofproductie niet langer bruikbaar voor andere doeleinden (zoals natuurdoelen of landbouw/industrie) 	<ul style="list-style-type: none"> Onzeker, demiwaterproductie van meerdere waterbronnen afkomstig en uitbesteed. Leveringszekerheid wordt uit handen gegeven.

4.3 Uitgangspunten beoordeling waterbeschikbaarheid per locatie

In de volgende paragrafen is de waterbeschikbaarheid per mogelijke waterstofproductielocatie beoordeeld. Hiervoor zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De beoordeling is uitgevoerd voor 2030 en 2050, waarbij voor de productie van waterstof is uitgegaan van het maximale scenario, omdat dit scenario het meeste water vraagt. Deze getallen staan in tabel 2-2 en tabel 4-2 en bijlage 1.
- De locaties die genoemd zijn, zijn mogelijke locaties die in verkenningen zijn genoemd. Dit zijn bijvoorbeeld locaties dicht bij industrie, of locaties die gunstig liggen ten opzichte van de energiehoofdstructuur. Er zijn in de verkenning van mogelijke waterstofproductielocaties echter nog geen locaties gekozen. Dus als er staat locatie Rotterdam, dan wordt een zoekgebied aangeduid in de omgeving van Rotterdam. Dit kan de Tweede Maasvlakte zijn, het Botlek gebied, maar ook nog een locatie net buiten Rotterdam. Dit maakt de beoordeling soms wat ingewikkeld, omdat de waterbeschikbaarheid locatieafhankelijk is. Per zoekgebied zijn daarom aannames gedaan voor de mogelijke locaties.
- Voor de beoordeling is uitgegaan van bronnen die binnen een straal van 10 km beschikbaar zijn. Bronnen die op grotere afstand liggen zijn in theorie ook mogelijk. Een grotere transportafstand levert vooral hogere kosten op, maar voor deze eerste verkenning is 10 km gehanteerd.
- De beoordeling is een eerste vergelijking op hoofdlijnen hoeveel water er lokaal aanwezig is van elke bron en hoeveel water nodig is. Uit deze verkenning kunnen geen rechten worden ontleend dat er ook daadwerkelijk een vergunning verleend zal worden voor een onttrekking voor waterstofproductie. Het geeft vooral inzicht in welke bronnen waarschijnlijk haalbaar zijn per locatie en welke bronnen sowieso afvallen per locatie. Voor het verkrijgen van een vergunning moet een nadere beoordeling worden uitgevoerd waarbij onder andere de lozing van afvalwater/brijn/spuiwater en de temperatuur van de koelwaterlozing nader moeten worden uitgezocht. In een nadere beoordeling kunnen ook de belangen van andere watergebruikers in de regio worden meegewogen.
- Voor zeewater is het uitgangspunt dat er voldoende water beschikbaar is, als de zee nabij de productielocatie ligt.
- De waterbeschikbaarheid van zoet oppervlaktewater staat in de zomer onder druk. Daarom is gekeken naar waterbeschikbaarheid in de zomer. De basis voor de beoordeling zijn de kaarten aangeleverd door Rijkswaterstaat met daarop de waterverdeling bij lage rivierafvoeren en droge omstandigheden. Van deze kaart zijn twee versies beschikbaar de situatie in juni 2022 en de situatie in augustus 2022 (zeer droge omstandigheden). Deze kaarten zijn opgenomen in bijlage 3. Voor de beoordeling van oppervlaktewater is als vuistregel gehanteerd dat ongeveer 10% van het zomerdebiet als koelwater in een doorstroomkoelsysteem kan worden gebruikt.
- In de beoordeling van zoet oppervlaktewater is in de rapportage uitgegaan van de huidige rivierafvoer en waterverdeling. Door klimaatverandering gaan droge jaren met lage rivierafvoer vaker voorkomen. Naar klimaatverandering is al veel onderzoek gedaan. De nieuwste knelpuntenanalyse met prognose hoe de rivierafvoeren zullen afnemen en tot welke tekorten dit leidt wordt in het najaar van 2024

⁹Het gebruik van demiwater als bron betekent niet dat er helemaal geen brijn wordt gegenereerd; het betekent alleen dat het niet wordt gegenereerd tijdens de voorbehandeling voor gebruik in de elektrolyser. Echter, brijn wordt al gegenereerd op de locatie van de demiwaterproducent.

verwacht. Meer hierover is opgenomen in het hoofdstuk knelpunten in paragraaf 5.3. De beoordeling op basis van huidige debieten geeft een eerste indicatie in hoeverre er momenteel waarschijnlijk voldoende water beschikbaar is. Indien voor een locatie naar voren komt dat er waarschijnlijk voldoende zoet oppervlaktewater beschikbaar is in de huidige situatie, dan wordt aanbevolen om nader te onderzoeken welke invloed de klimaatverandering lokaal heeft op de waterbeschikbaarheid o.b.v. de nieuwste knelpuntenanalyse.

- Voor de beoordeling van drinkwater is gekeken naar de prognoses van de drinkwaterbedrijven en of zij nog ruimte hebben voor groei.
- Voor de beoordeling van rwzi's is gekeken naar de droogweerafvoer van RWZI's binnen een straal van 10 km. De beoordeling van de rwzi's is ook terug te vinden in bijlage 2.
- Industriewater heeft verschillende kwaliteiten. Dit kan demiwater zijn, maar ook proceswater. In het geval van proceswater is de kwaliteit vergelijkbaar met drinkwater maar zijn eventuele beperkte verontreinigingen nog aanwezig. De beschikbaarheid van de bronnen proces- en demiwater is onderzocht onder de noemer industriewater. Voor de beoordeling van industriewater is gekeken of bedrijven aangeven nog ruimte te hebben en welke vorm eventueel aanwezig is, maar capaciteiten zijn niet exact bekend.

Om de beoordeling te maken is gebruik gemaakt van de volgende categorieën (tabel 4-4).

Tabel 4-4: Legenda voor de beoordeling van de waterbeschikbaarheid

Legenda	
1a	Afstand tot bron >10 km
1b	Bron levert onvoldoende voor elektrolyse vraag
1c	Bron wel aanwezig, maar niet logisch
2a	Bron voldoende voor elektrolyse vraag
2b	Bron voldoende voor gesloten koelsysteem
2c	Bron voldoende voor doorstroomkoelsysteem

4.4 Westerschelde

In Zeeland zijn twee locaties aan de Westerschelde beschouwd: Borsele en Terneuzen. Beide locaties zijn een optie, zoals beschreven in paragraaf 2-3 en tabel 2-2. Omdat de waterbeschikbaarheid voor beide locaties verschillend is, is de beoordeling voor beide locaties apart uitgevoerd. Voor beide scenario's is met dezelfde hoeveelheden gerekend.

In tabel 4-5 is opgenomen hoeveel water benodigd is voor de potentiële waterstofproductielocatie in Borsele of Terneuzen. Er is onderscheid gemaakt tussen water benodigd voor de elektrolyser, voor een gesloten koelsysteem of voor een doorstroomkoelsysteem. De prognose voor de benodigde capaciteit van de waterstofproductielocatie is hierin verwerkt (zie tabel 2-2). In bijlage 1 is deze tabel ook opgenomen voor alle locaties en omgerekend naar andere eenheden (m³/uur en m³/s).

Tabel 4-5: Benodigde hoeveelheid water voor locatie Borsele of Terneuzen, gebaseerd op 1,18 GW in 2030 en 3,89 GW in 2050 in miljoen m³/jaar m.u.v. de onderste twee rijen. E=elektrolyser, GK = Gesloten Koelsysteem óf DK = Doorstroomkoelsysteem.

Bronnen	2030			2050		
	E	GK*	DK*	E	GK*	DK*
Zeewater	2,3	12	196	7,6	41	646
Brak oppervlaktewater	1,7	8,9	196	5,7	29	646
Zoet oppervlaktewater	1,3	7,3	196	4,3	24	646
Grondwater (brak)	2,1	10	196	6,8	34	646
Effluent rwzi	1,5	7,8	196	4,9	26	646
Drinkwater	1,3	6,7	188	4,3	23	620
Industriewater: Proces	1,3	6,7	188	4,3	23	620
Industriewater: Demi	1,0	6,2	186	3,4	20	613
Range miljoen m ³ /jaar	1,0 - 2,3	6,2 - 12	~ 190	3,4 - 7,6	20 - 41	~ 625
Range m ³ /uur	119 – 262	708 - 1416	~ 22000	393 - 864	2334 - 4668	~ 73000
Range m ³ /s	0,03 - 0,07	0,20 - 0,39	~ 6,2	0,11 - 0,24	0,65 - 1,3	~ 20

*De getallen in de tabel moeten niet bij elkaar opgeteld worden. Er wordt gekozen voor óf GK óf DK.

4.4.1 Borsele

De globale ligging van de potentiële waterstofproductielocatie in Borsele is opgenomen in figuur 4-8. Als naam voor de locatie is Borsele (gemeente Borsele) aangehouden. Dit is het zoekgebied. De locatie op de kaart is dus een aanname, waarbij is uitgegaan van o.a. de haven van Vlissingen, het Sloegebied en bedrijventerrein Arnestein bij Middelburg. De waterstofproductielocatie kan ook elders in het zoekgebied van gemeente Borsele komen (als deze er komt).



Figuur 4-8: Globale ligging van potentiële waterstofproductielocatie. De cirkels zijn de 5, 10 en 20 km contour rondom de locatie.

De beoordeling van de waterbeschikbaarheid is opgenomen in tabel 4-6 met daaronder de toelichting.

Tabel 4-6: Beoordeling waterbeschikbaarheid Borsele

Bronnen	2030	2050
Zee water	1a	1a
Brak oppervlaktewater	2c	2c
Zoet oppervlaktewater	1b	1b
Grondwater (brak/zout)	1c	1c
Effluent rwzi	2b	2b
Drinkwater	1b	1b
Industriewater (proces)	2a	?

Legenda	
1a	Afstand tot bron >10 km
1b	Bron levert onvoldoende voor elektrolyse vraag
1c	Bron wel aanwezig, maar niet logisch
2a	Bron voldoende voor elektrolyse vraag
2b	Bron voldoende voor gesloten koelsysteem
2c	Bron voldoende voor doorstroomkoelsysteem

Zeewater De afstand tot de zee vanaf Borsele/Vlissingen haven is circa 20 km. Daarmee is dit geen logische bron, omdat de afstand groter is dan 10 km.

Brak oppervlaktewater De locatie ligt aan de Westerschelde. Dit is een estuarium dat onder invloed van getijde staat. De Westerschelde is een brak oppervlaktewater met behoorlijk hoge zoutgehaltenes. Door het inkomende en uitgaande getij verschilt de samenstelling van het water van meer gelijkend op zeewater tot brak water. De getijdedebieten zijn zeer groot en er is voldoende water beschikbaar om uit te onttrekken voor zowel de elektrolyser, als voor koelwater. Er is ook voldoende water beschikbaar voor een doorstroomkoelsysteem. Waarbij wel moet worden opgemerkt dat de productielocatie dan vlak bij de Westerschelde gebouwd moet worden, omdat voor doorstroomkoelsystemen de debieten zo groot zijn dat transport over grote afstand niet haalbaar is. Of overige randvoorwaarden zoals de lozing van afvalwater en warmte van koelwater ook haalbaar zijn voor deze locatie moet in een nadere beoordeling worden uitgewerkt. De Westerschelde is ook Natura2000 gebied. Naar verwachting zal de lozing van warmte hier een probleem opleveren.

Zoet oppervlaktewater Op het eiland Walcheren is er geen permanente bron van zoet oppervlaktewater beschikbaar. Door zoute kwel is het water in de polder brak tot zout.

Grondwater Op Walcheren is er een dunne laag zoet grondwater (1 - 2 m) en daaronder is het grondwater brak tot zout. Het oppompen van brak/zout grondwater zou kunnen worden overwogen als alternatief voor het gebruik van water uit de Westerschelde, maar gebruik van brak oppervlaktewater ligt meer voor de hand.

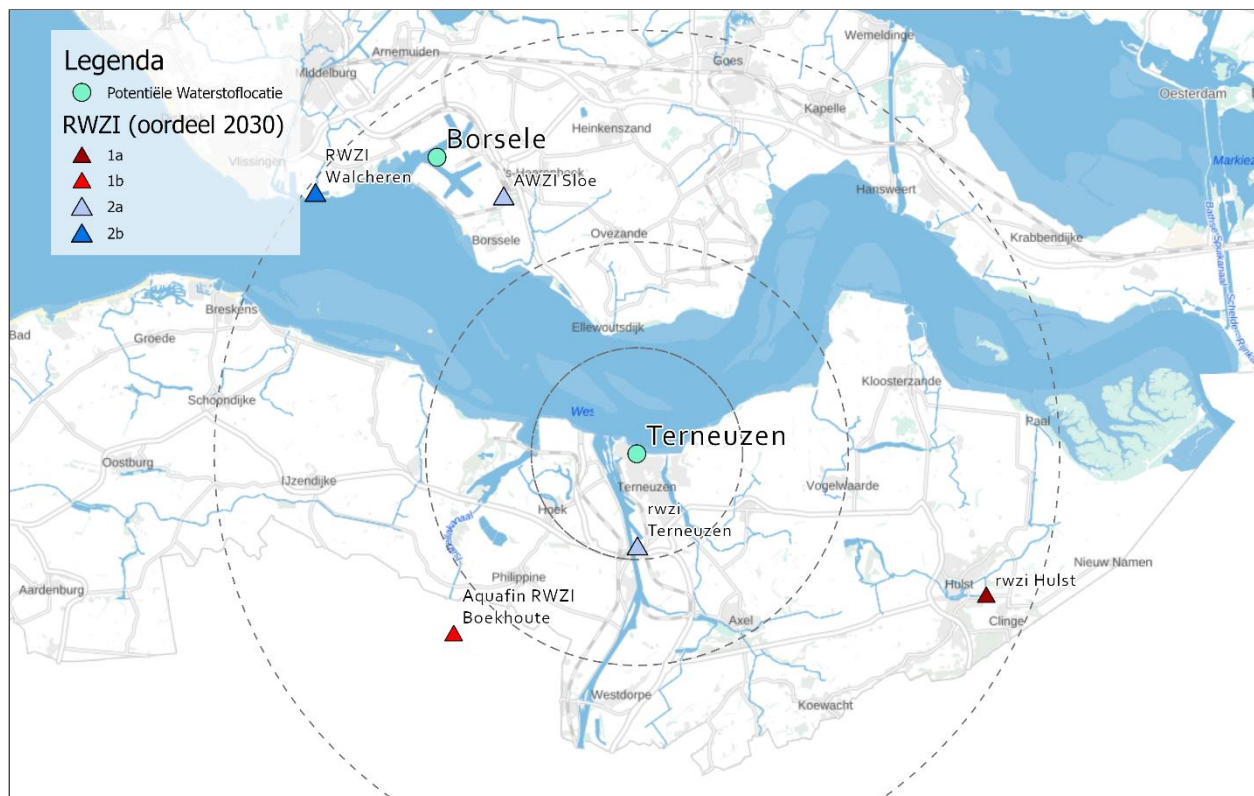
Effluent RWZI De dichtstbijzijnde rioolwaterzuivering is de RWZI Walcheren (2920 m³/uur) op 5-10 km (afhankelijk van de daadwerkelijk gekozen locatie van de waterstofproductielocatie). Het gemiddelde effluentdebiet (DWA) is voldoende voor zowel de elektrolyser als voor een gesloten koelwater systeem. Het is niet voldoende voor doorstroomkoeling. In gemeente Borsele ligt ook AWZI Sloe welke het afvalwater van de industrie in het Sloegebied behandelt. Deze AWZI levert voldoende water (460 m³/uur) voor de elektrolyser als die zou worden hergebruikt, maar niet voor koelwater.

Drinkwater Het drinkwaterbedrijf dat Zeeland van water voorziet is Evides. Evides zit zeer krap in de productiecapaciteit voor de regio Midden-Zeeland en is acuut op zoek naar nieuwe bronnen. Daarom zal Evides niet voldoende water kunnen leveren voor deze locatie.

Industriewater Evides maakt ook proces- en demiwater voor diverse industriële klanten. Voor de locatie Borsele is de locatie Wranghe van Evides Industriewater die proceswater produceert gunstig gelegen. Gezien de benodigde capaciteiten is het aannemelijk dat Evides alleen water zou kunnen leveren voor de elektrolyser en niet voor de koelwater systemen. De toekomstige uitbreiding van de capaciteit van deze locatie is nog onbekend.

4.4.2 Terneuzen

De globale ligging van de potentiële waterstofproductielocatie in Terneuzen is opgenomen in figuur 4-9. De locatie op de kaart geeft een indicatie van het zoekgebied. De waterstofproductielocatie kan ook elders in het zoekgebied rondom Terneuzen komen.



Figuur 4-9: Globale ligging van potentiële waterstofproductielocatie. De cirkels zijn de 5, 10 en 20 km contour rondom de locatie.

De beoordeling van de waterbeschikbaarheid is opgenomen in tabel 4-7 met daaronder de toelichting.

Tabel 4-7: Beoordeling waterbeschikbaarheid Terneuzen.

Bronnen	2030	2050
Zee water	1a	1a
Brak oppervlaktewater	2c	2c
Zoet oppervlaktewater	1b	1b
Grondwater (brak/zout)	1c	1c
Effluent rwzi	1b	1b
Drinkwater	1c	1b
Industriewater (proces)	2b	?

Legenda	
1a	Afstand tot bron >10 km
1b	Bron levert onvoldoende voor elektrolyse vraag
1c	Bron wel aanwezig, maar niet logisch
2a	Bron voldoende voor elektrolyse vraag
2b	Bron voldoende voor gesloten koelsysteem
2c	Bron voldoende voor doorstroomkoelsysteem

Zeewater De afstand tot de zee vanaf Terneuzen is ca. 30 km. Daarmee is dit geen logische bron, omdat de afstand groter is dan 10 km.

Brak oppervlaktewater De locatie ligt aan de Westerschelde. Dit is een estuarium dat onder invloed van getijde staat. De Westerschelde is een brak oppervlaktewater met behoorlijk hoge zoutgehaltes. Door het inkomende en uitgaande getij verschilt de samenstelling van het water van meer gelijkend op zeewater tot brak water. De getijdedebieten zijn zeer groot en er is voldoende water beschikbaar om uit te onttrekken voor zowel de elektrolyser, als voor koelwater. Er is ook voldoende water beschikbaar voor een doorstroomkoelsysteem. Waarbij wel moet worden opgemerkt dat de productielocatie dan vlak bij de Westerschelde gebouwd moet worden, omdat voor doorstroomkoelsystemen de debieten zo groot zijn dat transport over grote afstand niet haalbaar is. Of overige randvoorwaarden zoals de lozing van afvalwater en warmte van koelwater ook haalbaar zijn voor deze locatie moet in een nadere beoordeling worden uitgewerkt. De Westerschelde is ook Natura2000 gebied. Hiermee zal ook rekening moeten worden gehouden bij een mogelijke vergunningsaanvraag.

Zoet oppervlaktewater In Zeeuws Vlaanderen is er geen permanente bron van zoet oppervlaktewater beschikbaar. Het Kanaal Gent-Terneuzen is brak. Door zoute kwel is het water in de polder brak tot zout.

Grondwater In Zeeuws Vlaanderen is er een dunne laag zoet grondwater (8 - 10 m) en daaronder is het grondwater brak tot zout. Deze lokale dunne laag zoet water wordt goed beschermd aangezien de landbouw ook afhankelijk is van dit zoete grondwater. Gebruik van grondwater zou daarom waarschijnlijk neerkomen op het oppompen van brak/zout grondwater. Dit zou kunnen worden overwogen als alternatief voor het gebruik van water uit de Westerschelde, maar gebruik van brak oppervlaktewater ligt meer voor de hand.

Effluent RWZI De dichtstbijzijnde rioolwaterzuivering is de RWZI Terneuzen (663 m³/uur) op 5 km (afhankelijk van de daadwerkelijk gekozen locatie van de waterstofproductielocatie). Het gemiddelde effluentdebiet (DWA) is in potentie voldoende voor de elektrolyser, maar niet voor een gesloten koelwater systeem. Het is niet voldoende voor doorstroomkoeling. Het effluent van RWZI Terneuzen wordt echter al hergebruikt door DOW Terneuzen. DOW en waterschap Scheldestromen hebben hiervoor een langjarige samenwerking. Het is een succesvol voorbeeld van het concept waterfabriek. Hierdoor is er voor een potentiële waterstofproductielocatie geen RWZI effluent beschikbaar binnen een straal van 10 km.

Drinkwater Het drinkwaterbedrijf dat Zeeland van water voorziet is Evides. Evides zit heeft beperkte reserve capaciteit voor de regio Zeeuws-Vlaanderen. Vanwege het bredere kort aan drinkwater in Nederland en andere regio's van Evides en de grote omvang van de vraag is het niet waarschijnlijk dat drinkwater ingezet gaat worden op deze locatie voor elektrolyse.

Industriewater Evides maakt ook proces- en demiwater voor diverse industriële klanten. Voor de locatie Terneuzen maakt Evides Industriewater op dit moment al proceswater voor Dow. Het gaat hierbij om 60.000 m³ per dag. De vraag voor gesloten koelsystemen is 30% van deze productie en daarmee niet direct uitgesloten. De exacte resterende capaciteit van de productie op deze locatie op dit moment en toekomstige plannen zijn onbekend.

4.5 Rotterdam

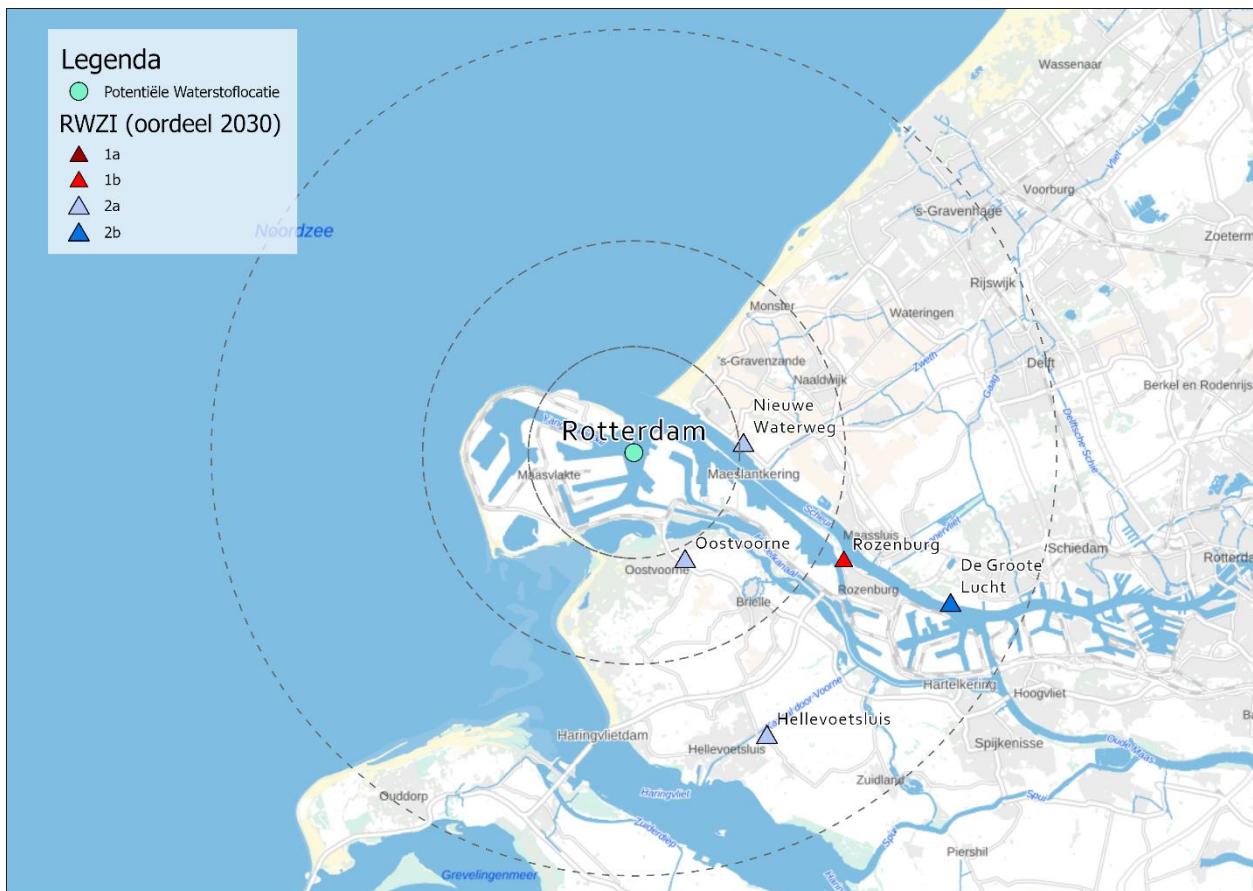
In tabel 4-8 is opgenomen hoeveel water benodigd is voor de potentiële waterstofproductielocatie in Rotterdam. Er is onderscheid gemaakt tussen water benodigd voor de elektrolyser, voor een gesloten koelsysteem of voor een doorstroomkoelsysteem. De prognose voor de benodigde capaciteit van de waterstofproductielocatie is hierin verwerkt (zie tabel 2-2). In bijlage 1 is deze tabel ook opgenomen voor alle locaties en omgerekend naar andere eenheden (m^3/uur en m^3/s).

Tabel 4-8: Benodigde hoeveelheid water voor locatie Rotterdam, gebaseerd op 1,35 GW in 2030 en 4,45 GW in 2050 in miljoen m^3/jaar m.u.v. de onderste twee rijen. E = elektrolyser, GK = Gesloten Koelsysteem óf DK = Doorstroomkoelsysteem.

Bronnen	2030			2050		
	E	GK*	DK*	E	GK*	DK*
Zeewater	2,6	14	224	8,7	47	739
Brak oppervlaktewater	2,0	10	224	6,5	33	739
Zoet oppervlaktewater	1,5	8,3	224	4,9	28	739
Grondwater (brak)	2,4	12	224	7,8	39	739
Effluent rwzi	1,7	8,9	224	5,6	29	739
Drinkwater	1,5	7,9	215	4,9	26	709
Industriewater: Proces	1,5	7,9	215	4,9	26	709
Industriewater: Demi	1,2	7,1	213	3,9	23	702
Range miljoen m^3/jaar	1,2 - 2,6	7,1 – 14	~ 221	3,9 - 8,7	23 - 47	~ 729
Range m^3/uur	136 - 300	810 - 1620	~ 25000	449 - 989	2670 - 5340	~ 83000
Range m^3/s	0,04 - 0,08	0,23 - 0,45	~ 7	0,12 - 0,27	0,74 - 1,48	~ 23

*De getallen in de tabel moeten niet bij elkaar opgeteld worden. Er wordt gekozen voor óf GK óf DK.

De globale ligging van de potentiële waterstofproductielocatie is opgenomen in figuur 4-10. Als naam voor de locatie is Rotterdam aangehouden. Dit is het zoekgebied. Als aanname is uitgegaan van Tweede Maasvlakte en het verder naar het binnenland gelegen Botlekgebied. De waterstofproductielocatie kan ook elders in het zoekgebied rondom Rotterdam komen. Dan moet goed gekeken of onderstaande beoordeling nog gebruikt kan worden. De beoordeling is namelijk locatie specifiek.



Figuur 4-10: Globale ligging van potentiële waterstofproductielocatie. De cirkels zijn de 5, 10 en 20 km contour rondom de locatie.

De beoordeling van de waterbeschikbaarheid is opgenomen in tabel 4-9 met daaronder de toelichting.

Tabel 4-9: Beoordeling waterbeschikbaarheid Rotterdam.

Bronnen	2030	2050
Zeewater	2c / 1a	2c/1a
Brak oppervlaktewater	2c	2c
Zoet oppervlaktewater	1c/2a?	1c/2a?
Grondwater (brak/zout)	1c	1c
Effluent rwzi	2a/b	2a
Drinkwater	1c	1b
Industriewater (proces & demi)	2a	2a

Legenda	
1a	Afstand tot bron >10 km
1b	Bron levert onvoldoende voor elektrolyse vraag
1c	Bron wel aanwezig, maar niet logisch
2a	Bron voldoende voor elektrolyse vraag
2b	Bron voldoende voor gesloten koelsysteem
2c	Bron voldoende voor doorstroomkoelsysteem

Zeewater Voor de 2^e Maasvlakte en Europoort is zeewater een logische bron. Voor het Botlekgebied betreft de afstand echter 20 km, waardoor dit geen logische bron (meer dan 10 km). De uiteindelijke locatie van de waterstofproductielocatie bepaald dus of zeewater kan worden ingezet. Als zeewater nabij is, dan is de waterbeschikbaarheid voldoende, ook voor doorstroomkoeling.

Brak oppervlaktewater De Nieuwe Waterweg stroomt door Rotterdam. Dit is een brak oppervlaktewater door de indringing van zeewater. Een groot deel van het water van de Rijn dat Nederland binnenkomt stroomt bij Rotterdam naar zee. De grote afvoer zorgt ervoor dat er zo min mogelijk zeewater kan binnendringen. De minimale afvoer van de Nieuwe Waterweg bedraagt in de zomer 450 – 800 m³/s (bijlage

1). Voor de elektrolyser is 0,08 m³/s in 2030 tot 0,27 m³/s in 2050 nodig. Dit is zo'n klein deel van de zomerafvoer (0,006%) dat er geen problemen met de waterbeschikbaarheid worden verwacht. Ook voor een gesloten koelsysteem (0,45-1,48 m³/s) is voldoende water beschikbaar. Verwacht wordt in 2050 dat 23 m³/s nodig zal zijn voor doorstroomkoeling. Dit is ca. 5% van de huidige zomerafvoer. Brak oppervlaktewater vanaf de Nieuwe Waterweg is daarmee een logische bron. Aandachtspunten zijn de warmtelast van de lozing van het koelwater. Dit zal nader onderzocht moeten worden.

Zoet oppervlaktewater Er is een beperkte zoetwatervoorraad in het Brielse Meer. De zoetwatervoorraad in het Brielse Meer wordt gebruikt door industrie en door de omliggende waterschappen. De watervoorziening vanuit het Brielse Meer staat onder druk als gevolg van klimaatverandering. Een probleem is bijvoorbeeld dat bij zeespiegelstijging de verzilting toeneemt in het riviersysteem vanuit waar het Brielse Meer wordt gevoed (Spui). De bufferende werking van het Brielse Meer is maar enkele dagen, dus als de inlaat verzilt, leidt dit vrij snel tot een watertekort (Arcadis, 2023). Verschillende partijen in de regio werken samen aan de zoetwatervoorziening van het Brielse Meer in een onderzoeksprogramma (website Delfland). Dit beperkt de ruimte voor zoetwatervoorziening vanuit het Brielse Meer. In overleg met omliggende waterschappen en industrie die gebruik maakt van Brielse Meer moet worden gekeken welke mogelijkheden er zijn. Eén van de huidige gebruikers van water uit het Brielse Meer is Evides Industriewater. Wellicht is er wel voldoende om de elektrolyser te voeden (rechtstreeks of ingekocht via Evides Industriewater), maar het Brielse Meer is gezien de voorspelde toekomstige tekorten geen logische bron.

Grondwater Er is dunne zoete grondwaterlaag en daaronder is het grondwater direct zout. Zoet grondwater is daardoor geen optie. Het oppompen van brak/zout grondwater zou kunnen worden overwogen als alternatief voor het gebruik van brak oppervlaktewater, maar gebruik van brak oppervlaktewater uit de Nieuwe Waterweg ligt meer voor de hand.

Effluent RWZI Er zijn meerdere RWZI's in de regio gelegen. Voor de beoordeling is onderscheid gemaakt in wat logisch zou zijn voor de Maasvlakte en voor het Botlekgebied. Voor de Maasvlakte geldt dat RWZI Nieuwe Waterweg (890 m³/uur) en RWZI Hellevoetsluis (812 m³/uur) genoeg effluent leveren voor de elektrolyser, maar niet voor koelwater. Ook RWZI Oostvoorne (237 m³/uur) zou voldoende kunnen leveren voor de elektrolyser, maar alleen in 2030, in 2050 niet meer. Voor het Botlekgebied is RWZI Groote Lucht (2550 m³/uur) een optie. Deze kan in 2030 water voor elektrolyser en een gesloten koelwatersysteem leveren. In 2050 is de waterbeschikbaarheid enkel voldoende voor de elektrolyser. RWZI Rozenburg ligt ook nabij, maar is echter te klein (147 m³/uur).

Drinkwater Op korte termijn (periode tot 2032) lijkt alleen voldoende drinkwater beschikbaar te zijn voor elektrolyse in de regio Rotterdam. Vanwege de beperkte drinkwaterbeschikbaarheid is het met het oog op de toekomst niet logisch dat drinkwater hiervoor ingezet gaat worden. Het is niet realistisch dat de groei die voorspeld is voor 2050 ook ingevuld wordt door drinkwater.

Industriewater De capaciteit voor demiwaterproductie van Evides Industriewater is 2.200 m³/uur in het Botlek gebied (Volkskrant, 2023). Dit water is grotendeels afkomstig uit het Brielse Meer. Hoeveel exact al verkocht is aan verschillende industrieën is onbekend, maar er wordt ingeschat dat er voldoende capaciteit aanwezig is om aan de elektrolysevraag van 2030 te voldoen. De benodigde hoeveelheid water is namelijk 136 m³/uur in 2030. Als gekeken wordt naar de termijn 2050 is het mogelijk dat Evides Industriewater aanvullende capaciteit ontwikkeld om aan de groeiende demiwater vraag in de regio te blijven voldoen. Dit water zal dan wel van elders moeten worden aangevoerd, gezien de druk op de zoetwatervoorziening vanuit het Brielse Meer. Ook proceswater is in de regio aanwezig en kan eventueel benut worden. Het is onrealistisch dat de hoge vraag van 810 m³/uur voor een gesloten koelwatersysteem ook geleverd kan worden uit de bestaande systemen.

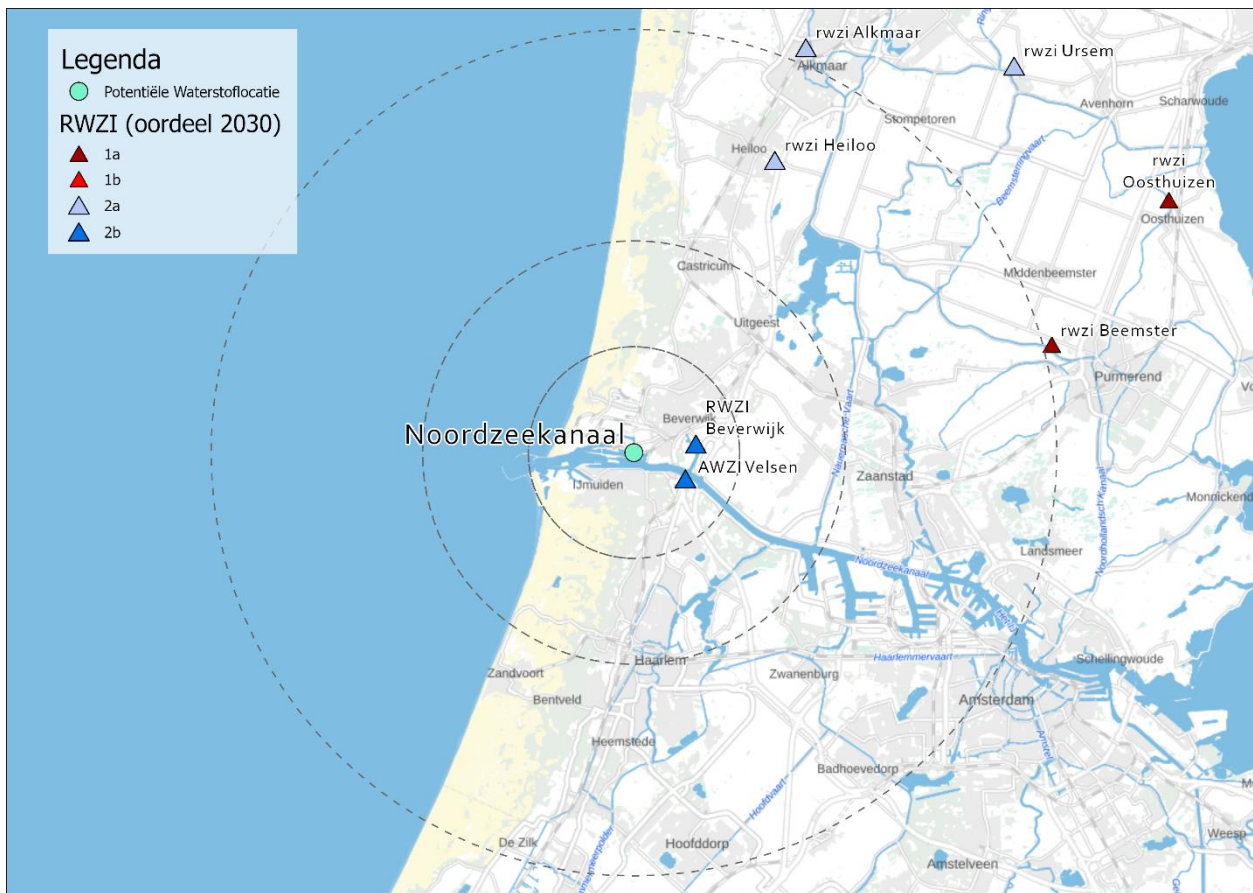
4.6 Noordzeekanaal

In tabel 4-10 is opgenomen hoeveel water benodigd is voor de potentiële waterstofproductielocatie in het Noordzeekanaalgebied. Er is onderscheid gemaakt tussen water benodigd voor de elektrolyser, voor een gesloten koelsysteem of voor een doorstroomkoelsysteem. De prognose voor de benodigde capaciteit van de waterstofproductielocatie is hierin verwerkt (zie tabel 2-2). In bijlage 1 is deze tabel ook opgenomen voor alle locaties en omgerekend naar andere eenheden (m^3/uur en m^3/s). De globale ligging van de potentiële waterstofproductielocatie is opgenomen in figuur 4-11. Als naam voor de locatie is Noordzeekanaal aangehouden. Dit is het zoekgebied. Als aanname is uitgegaan van Velzen-Noord. De waterstofproductielocatie kan ook elders in het zoekgebied rondom het Noordzeekanaal komen. Het Noordzeekanaal strekt zich verder naar het binnenland uit. Als locaties verder naar het binnenland aan het Noordzeekanaal worden overwogen, dan zijn onderdelen van de beoordeling niet meer geldig (zo neemt de afstand tot de zee dan toe en liggen er andere RWZI's). De beoordeling is namelijk locatie specifiek.

Tabel 4-10: Benodigde hoeveelheid water voor locatie Noordzeekanaal, gebaseerd op 0,24 GW in 2030 en 0,78 GW in 2050 in miljoen m^3/jaar m.u.v. de onderste twee rijen. E = elektrolyser, GK = Gesloten Koelsysteem óf DK = Doorstroomkoelsysteem.

Bronnen	2030			2050		
	E	GK*	DK*	E	GK*	DK*
Zeewater	0,5	2,5	40	1,5	8,2	129
Brak oppervlaktewater	0,4	1,8	40	1,1	5,9	129
Zoet oppervlaktewater	0,3	1,5	40	0,9	4,8	129
Grondwater (brak)	0,4	2,1	40	1,4	6,8	129
Effluent rwzi	0,3	1,6	40	1,0	5,1	129
Drinkwater	0,3	1,4	38	0,9	4,6	124
Industriewater: Proces	0,3	1,4	38	0,9	4,6	124
Industriewater: Demi	0,2	1,3	38	0,7	4,1	123
Range miljoen m^3/jaar	0,2 - 0,5	1,3 - 2,5	~ 39	0,7 - 1,5	4,1 - 8,2	~ 128
Range m^3/uur	24 - 53	144 - 288	~ 4500	79 - 173	468 - 936	~ 14600
Range m^3/s	0,01 - 0,01	0,04 - 0,08	~ 1,25	0,02 - 0,05	0,13 - 0,26	~ 4,05

*De getallen in de tabel moeten niet bij elkaar opgeteld worden. Er wordt gekozen voor óf GK óf DK.



Figuur 4-11: Globale ligging van potentiële waterstofproductielocatie. De cirkels zijn de 5, 10 en 20 km contour rondom de locatie.

De beoordeling van de waterbeschikbaarheid is opgenomen in tabel 4-11 met daaronder de toelichting.

Tabel 4-11: Beoordeling waterbeschikbaarheid Noordzeekanaal.

Bronnen	2030	2050
Zeewater	2c	2c
Brak oppervlaktewater	2c	2c
Zoet oppervlaktewater	2a	1b
Grondwater (brak/zout)	1b/2a	1c
Effluent rwzi	2b	2b
Drinkwater	1b	1b
Industriewater (Proces)	1c	?

Legenda	
1a	Afstand tot bron >10 km
1b	Bron levert onvoldoende voor elektrolyse vraag
1c	Bron wel aanwezig, maar niet logisch
2a	Bron voldoende voor elektrolyse vraag
2b	Bron voldoende voor gesloten koelsysteem
2c	Bron voldoende voor doorstroomkoelsysteem

Zeewater De afstand van Velzen-Noord tot de zee is ca. 5 km. Zeewater is daarmee beschikbaar voor de elektrolyser en koeling. Voor inzet van zeewater als doorstroomkoeling is nabijheid van zeewater binnen 1 km gewenst. Of dit haalbaar is, is afhankelijk van de exacte locatie van de productielocatie.

Brak oppervlaktewater Het Noordzeekanaal is een bron van brak oppervlaktewater met een zomerafvoer van 35 – 45 m³/s. Dit is in principe voldoende water om te voldoen aan de watervraag voor elektrolyse (0,01-0,04 m³/s), gesloten koelwatersysteem (0,06 – 0,19 m³/s) en eventueel doorstroomkoeling (1,3 – 4,1 m³/s). Bij de zeesluis van IJmuiden wordt alles in het werk gesteld om de indringing van zout zeewater zo klein mogelijk te maken. Als zout water het Noordzeekanaal optrekt, bereikt het namelijk ook het Amsterdam-

Rijnkanaal. Meerdere waterschappen zijn afhankelijk van het zoete water in het Amsterdam-Rijnkanaal. Bij het gebruik van brak water uit het Noordzeekanaal is het dus belangrijk om deze anti-verziltingsmaatregelen niet te verstoren (bellenscherm, selectieve onttrekking). Bij de juiste inzet zou de onttrekking ook een bijdrage kunnen leveren in de verziltingsbestrijding. Onttrekkingen bij de monding/ zeesluis zullen sneller worden toegestaan dan verder landinwaarts op het Noordzeekanaal.

Zoet oppervlaktewater Zoetwater is beperkt beschikbaar in de omliggende polders. Hier wordt door de waterschappen zoet water naar toe aangevoerd vanuit het IJsselmeer. Dit zoete oppervlaktewater staat wel onder druk door zoute kwel, waardoor de waterschappen continu het systeem moeten doorspoelen om het zoet te houden. In droge zomers is dit lastiger en wordt het oppervlaktewater zouter. Ook is het zo dat de zoetwatervoorraad van het IJsselmeer en de omliggende gebieden in toenemende mate onder druk staat door klimaatverandering (Mens et al., 2020). Voor de elektrolyser zou deze voorraad beperkt inzetbaar kunnen zijn, na overleg met waterschap. Hierbij kan mogelijk ook buffering toegepast worden. In 2050 zal dit waarschijnlijk niet meer mogelijk zijn, aangezien de zoetwatertekorten verder zullen oplopen.

Grondwater Nabij het Noordzeekanaal is een dunne laag zoet grondwater aanwezig met een beperkte voorraad. Nabij het duingebied is de voorraad zoetwater groter, maar hier is het over het algemeen goed beschermd tegen nieuwe onttrekkingen, omdat de drinkwaterbedrijven hier ook gebruik van maken. Het oppompen van brak/zout grondwater zou kunnen worden overwogen als alternatief voor het gebruik van brak oppervlaktewater. Wat ook kan worden meegewogen / onderzocht is om bewust zout grondwater te onttrekken wat ongewenst omhoogkomt in wellen. Zo kan mogelijk een win-win situatie worden gecreëerd voor beperkte hoeveelheden water (elektrolyser in 2030). Deze optie zou locatie specifiek kunnen worden onderzocht.

Effluent RWZI Er zijn twee RWZI's in de buurt van het Noordzeekanaal. RWZI Beverwijk (1774 m³/uur) kan voldoende leveren voor de elektrolyser en een gesloten koelwatersysteem, maar is voor doorstroomkoeling geen optie. RWZI Velsen (610 m³/uur) is kleiner maar kan ook voldoende leveren voor de elektrolyser en een gesloten koelwatersysteem.

Drinkwater Bij de locaties Noordzeekanaal en Den Helder is onvoldoende capaciteit beschikbaar om drinkwater in te zetten als bron voor waterstofproductie. De drinkwaterbedrijven in de regio hebben dringend behoefte aan het vergroten van de eigen capaciteit.

Industriewater N.V. Watertransportmaatschappij Rijn-Kennemerland produceert halffabricaat drinkwater vanuit Nieuwegein (gebied Waternet) en Waterwinstation Prinses Juliana vanuit Andijk (gebied PWN) in de richting van het Noordzeegebied. De capaciteit is nog onbekend, maar dit zal een onwaarschijnlijke bron zijn gezien het groeiende watertekort voor drinkwater. Het halffabricaat is namelijk een cruciale grondstof voor de productie van drinkwater door Waternet en PWN.

4.7 Kop van Noord-Holland

In de Kop van Noord-Holland zijn twee locaties beschouwd: Verspreide locaties in de Kop van Noord-Holland in de polders en Den Helder als locatie gelegen aan zee. Beide locaties zijn een optie, zoals beschreven in paragraaf 2-3 en tabel 2-2. Omdat de waterbeschikbaarheid voor beide locaties verschillend is, is de beoordeling voor beide locaties apart uitgevoerd. Voor beide scenario's is met dezelfde hoeveelheden gerekend.

In tabel 4-12 is opgenomen hoeveel water benodigd is voor de potentiële waterstofproductielocatie in het gebied Kop van Noord-Holland. Er is onderscheid gemaakt tussen water benodigd voor de elektrolyser, voor een gesloten koelsysteem of voor een doorstroomkoelsysteem. De prognose voor de benodigde capaciteit van de waterstofproductielocatie is hierin verwerkt (zie tabel 2-2). In bijlage 1 is deze tabel ook opgenomen voor alle locaties en omgerekend naar andere eenheden (m^3/uur en m^3/s).

Tabel 4-12: Benodigde hoeveelheid water voor locatie Kop van Noord-Holland of Den Helder, gebaseerd op 1,02 GW in 2030 en 3,35 GW in 2050 in miljoen m^3/jaar m.u.v. de onderste twee rijen. E = elektrolyser, GK = Gesloten Koelsysteem óf DK = Doorstroomkoelsysteem.

Bronnen	2030			2050		
	E	GK*	DK*	E	GK*	DK*
Zeewater	2,0	11	169	6,5	35	556
Brak oppervlaktewater	1,5	7,7	169	4,9	25	556
Zoet oppervlaktewater	1,1	6,3	169	3,7	21	556
Grondwater (brak)	1,8	8,9	169	5,9	29	556
Effluent rwzi	1,3	6,7	169	4,2	22	556
Drinkwater	1,1	6,0	162	3,7	20	534
Industriewater: Proces	1,1	6,0	162	3,7	20	534
Industriewater: Demi	0,9	5,4	161	3,0	18	528
Range miljoen m^3/jaar	0,9 - 2	5,4 - 11	~ 167	3 - 6,5	18 - 35	~ 549
Range m^3/uur	103 - 227	612 - 1224	~ 19000	338 - 744	2010 - 4020	~ 63000
Range m^3/s	0,03 - 0,06	0,17 - 0,34	~ 5,3	0,09 - 0,21	0,56 - 1,12	~ 17,4

*De getallen in de tabel moeten niet bij elkaar opgeteld worden. Er wordt gekozen voor óf GK óf DK.

4.7.1 Kop van Noord-Holland (verspreide locaties)

De globale ligging van de potentiële waterstofproductielocaties in de Kop van Noord-Holland is opgenomen in figuur 4-12. Als naam voor de locatie is Kop van Noord-Holland aangehouden. Dit is het zoekgebied. In de verkenningen zijn verschillende locaties genoemd o.a. Zwaagdijk-Oost buitengebied, Oterleek, verspreide huizen in Middenmeer en de Gelderse buurt en omgeving. Deze locaties zijn als aanname genomen om een indicatie te geven van de waterbeschikbaarheid midden in de polder van Noord-Holland. De waterstofproductielocatie kan ook elders in het zoekgebied in de Kop van Noord-Holland komen (als deze er komt). Dan moet goed gekeken of onderstaande beoordeling nog gebruikt kan worden. De beoordeling is namelijk locatie specifiek.



Figuur 4-12: Globale ligging van potentiële waterstofproductielocaties. De cirkels zijn de 10 km contouren rondom de locaties.

De beoordeling van de waterbeschikbaarheid is opgenomen in tabel 4-13 met daaronder de toelichting. De beoordeling van deze locatie is wat lastiger, omdat er meerdere beoogde locaties in de Kop van Noord-Holland zijn. Als de locaties beter in beeld zijn, dan kan de beoordeling ook nauwkeuriger worden uitgewerkt.

Tabel 4-13: Beoordeling waterbeschikbaarheid Kop van Noord-Holland.

Bronnen	2030	2050
Zeewater	1a	1a
Brak oppervlaktewater	1a	1a
Zoet oppervlaktewater	2b	2a
Grondwater (brak/zout)	1b/2a	1c
Effluent rwzi	2a	2a
Drinkwater	1b	1b
Industriewater	1a	1a

Legenda	
1a	Afstand tot bron >10 km
1b	Bron levert onvoldoende voor elektrolyse vraag
1c	Bron wel aanwezig, maar niet logisch
2a	Bron voldoende voor elektrolyse vraag
2b	Bron voldoende voor gesloten koelsysteem
2c	Bron voldoende voor doorstroomkoelsysteem

Zeewater De genoemde locaties liggen in het binnenland van de Kop van Noord-Holland en daarvoor is zeewater geen mogelijke bron.

Brak oppervlaktewater Er is geen bron van brak water beschikbaar in de buurt. Mogelijk treedt er lokaal en periodiek verzilting op in het polder- en boezemsysteem.

Zoet oppervlaktewater De watervoorziening van de Kop van Noord-Holland vindt plaats vanuit het IJsselmeer. De waterschappen voeren water aan voor peilhandhaving, beregening en om zoute kwel door te spoelen. Via een stelsel van kanalen wordt het water verspreid over het gebied (figuur 4-13). Op het Noordhollandsch Kanaal is zoet water beschikbaar met een zomerdebiet van ca. 5 m³/s. Ook de Wieringermeer ontvangt ca. 5 – 6 m³/s in de zomer. Deze aanvoer biedt wel mogelijkheden voor elektrolyse (nodig: 0,04-0,12 m³/s) en eventueel gesloten koelwatersysteem in 2030 (nodig: 0,20 m³/s). De beschikbaarheid van zoete oppervlaktewater in het gebied staat wel onder druk. In droge zomers is het lastig om voldoende water aan te voeren. De zoetwatervoorraad van het IJsselmeer en de omliggende gebieden staat in toenemende mate onder druk door klimaatverandering (Mens et al., 2020). De exacte beschikbaarheid hangt af van de locatie in het watersysteem en de beschikbaarheid zal mogelijk niet altijd jaarrond zijn door watertekorten en verzilting in de zomer.

De lozing van afvalwater en warmtelast is niet onderzocht. Maar voor locatie die in de polder liggen op grote afstand van een groot oppervlaktewaterlichaam, moet er rekening mee gehouden worden dat het lozen van koelwater en afvalwater een knelpunt kan vormen.

Grondwater Er is een dunne laag zoet grondwater aanwezig met een beperkte voorraad. Nabij het duingebied is de voorraad zoetwater groter, maar hier is het over het algemeen goed beschermd tegen nieuwe onttrekkingen, omdat de drinkwaterbedrijven hier ook gebruik van maken. Wat wel kan worden meegewogen / onderzocht is om bewust zout grondwater te onttrekken wat ongewenst omhoogkomt in wellen. Zo kan mogelijk een win-win situatie worden gecreëerd voor beperkte hoeveelheden water (elektrolyser in 2030). Deze optie zou locatie specifiek kunnen worden onderzocht.

Effluent RWZI In de Kop van Noord-Holland zijn meerdere mogelijke locaties genoemd. In een straal rondom deze locaties is gekeken naar geschikte RWZI's. Hierbij is een straal van 10 km gehanteerd.

Locatie Oterleek. Er liggen 4 RWZI's in de 10 km contour. RWZI Alkmaar (454 m³/uur), RWZI Heiloo (401 m³/uur) en RWZI Ursem (318 m³/uur) kunnen genoeg water leveren voor de elektrolyser, maar niet voor een gesloten koelwatersysteem. RWZI Geestmerambacht (1528 m³/uur) is groter en kan wel voldoende leveren voor zowel de elektrolyser als een gesloten koelsysteem.

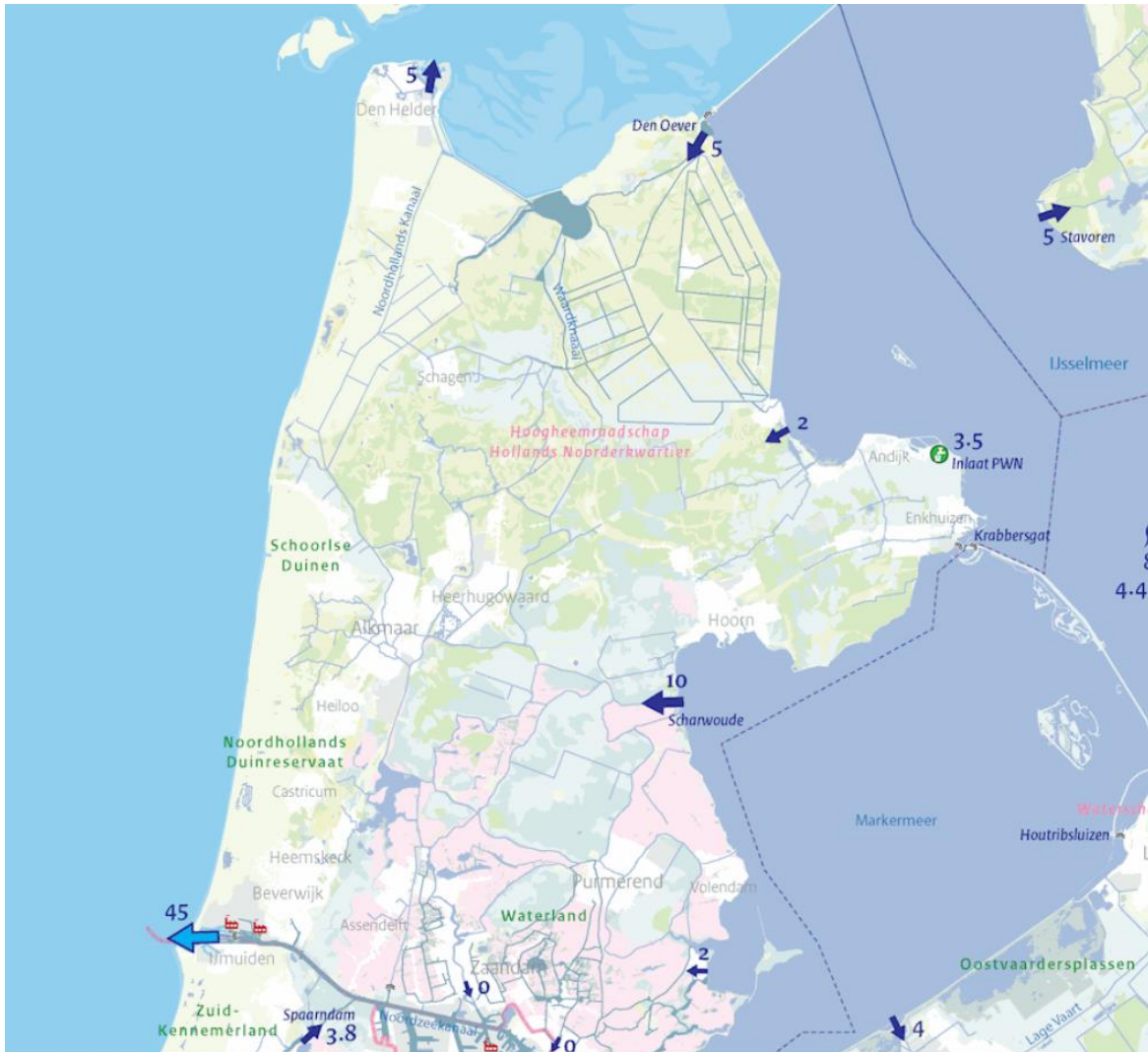
Locatie Zwaagdijk-Oost. Er ligt 1 RWZI in de 10 km contour, RWZI Wevershoof (1640 m³/uur) kan voldoende water leveren voor zowel de elektrolyser als een gesloten koelsysteem.

Locatie Middenmeer. Er ligt 1 RWZI in de 10 km contour, RWZI Wieringermeer is een hele kleine zuivering (94 m³/uur) en deze kan onvoldoende water leveren voor het elektrolyseproces. RWZI Wieringen ligt verder dan 10 km van Middenmeer (maar dit is natuurlijk erg afhankelijk van de uiteindelijke gekozen locatie). Ook dit is een kleine RWZI (85 m³/uur).

Locatie Gelderse buurt. Er liggen 2 RWZI's in de 10 km contour. RWZI Stolpen (352 m³/uur) en RWZI Den Helder (699 m³/uur) kunnen genoeg water leveren voor de elektrolyser, maar niet voor een gesloten koelwatersysteem.

Drinkwater Bij de locatie Kop van Noord-Holland is onvoldoende capaciteit beschikbaar om drinkwater in te zetten als bron voor waterstofproductie. Drinkwaterbedrijf PWN is druk op zoek naar nieuwe bronnen om de eigen capaciteit te vergroten.

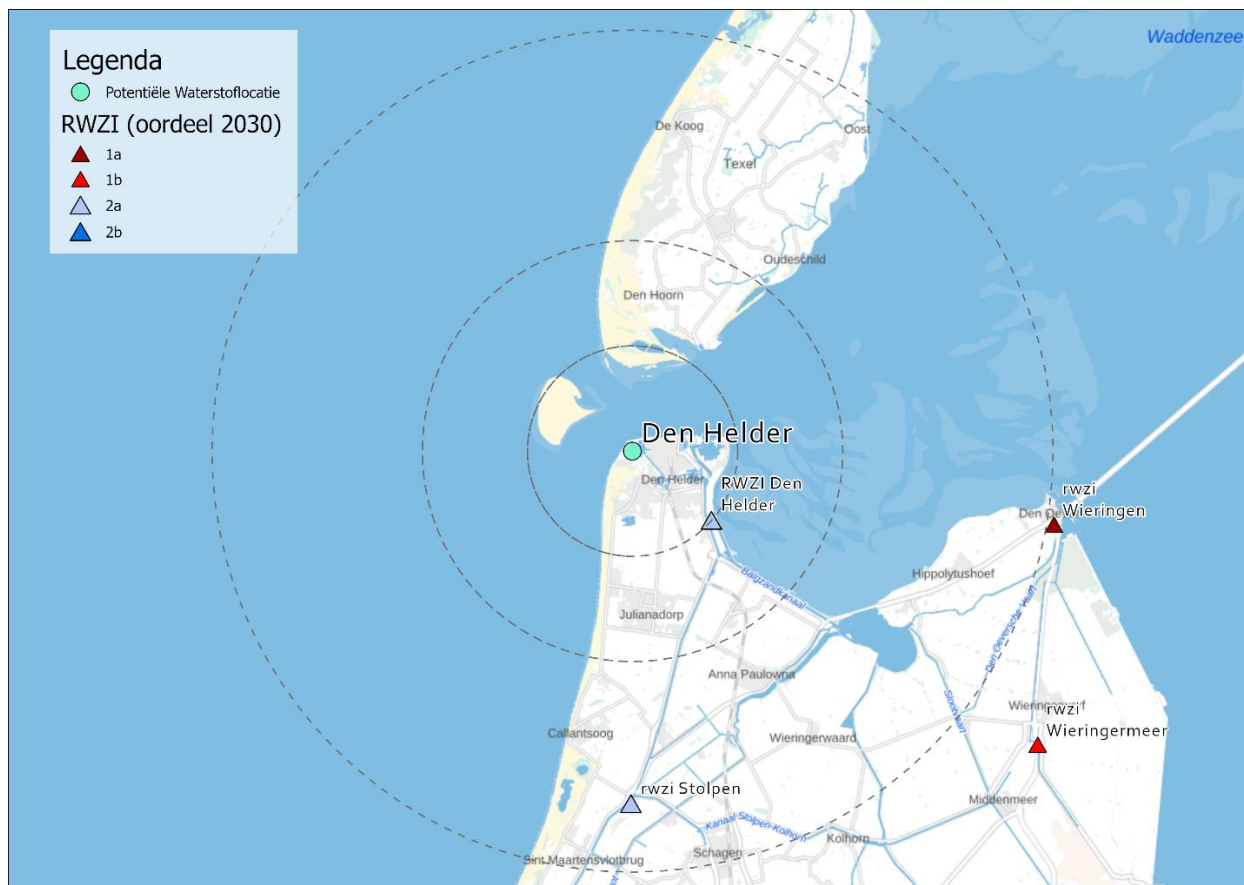
Industriewater Er is in de regio geen proces- of demiwaterleverancier aanwezig.



Figuur 4-13: Aanvoer van zoet oppervlaktewater naar de Kop van Noord-Holland in de zomer met lage rivierafvoer.

4.7.2 Den Helder

De globale ligging van de potentiële waterstofproductielocaties in Den Helder is opgenomen in figuur 4-16. De locatie op de kaart geeft een indicatie van het zoekgebied. De waterstofproductielocatie kan ook elders in het zoekgebied rondom Den Helder komen (als deze er komt).



Figuur 4-14: Globale ligging van potentiële waterstofproductielocaties. De cirkels zijn de 10 km contouren rondom de locaties.

De beoordeling van de waterbeschikbaarheid is opgenomen in tabel 4-14 met daaronder de toelichting.

Tabel 4-14: Beoordeling waterbeschikbaarheid Den Helder.

Bronnen	2030	2050
Zeewater	2c	2c
Brak oppervlaktewater	1a	1a
Zoet oppervlaktewater	2b	2a
Grondwater (brak/zout)	1b/2a	1c
Effluent rwzi	2a	2a
Drinkwater	1b	1b
Demiwater/Industriewater	1a	1a

Legenda	
1a	Afstand tot bron >10 km
1b	Bron levert onvoldoende voor elektrolyse vraag
1c	Bron wel aanwezig, maar niet logisch
2a	Bron voldoende voor elektrolyse vraag
2b	Bron voldoende voor gesloten koelsysteem
2c	Bron voldoende voor doorstroomkoelsysteem

Zeewater Den Helder ligt aan zee, waardoor zeewater als bron beschikbaar is. Aandachtspunten zijn de beschermde status van de Waddenzee en ook het deel van de Noordzee rondom Den Helder is Natura2000 gebied, waar rekening mee gehouden moet worden.

Brak oppervlaktewater Er is geen bron van brak water beschikbaar in de buurt. Mogelijk treedt er lokaal en periodiek verzilting op in het Noordhollandsch Kanaal, maar het Noordhollandsch Kanaal is ingedeeld als zoet oppervlaktewater in deze beoordeling.

Zoet oppervlaktewater De watervoorziening van de Kop van Noord-Holland vindt plaats vanuit het IJsselmeer. De waterschappen voeren water aan voor peilhandhaving, beregening en om zoute kwel door te spoelen. Via een stelsel van kanalen wordt het water verspreid over het gebied, zie figuur 4-13. Via het Noordhollandsch kanaal wordt het overtollige zoete water afgevoerd. Uit gegevens van Rijkswaterstaat blijkt dat bij lage rivierafvoer er nog een zomerdebiet van ca. 5 m³/s naar Den Helder stroomt. Dit debiet is groot genoeg om de elektrolyser te voorzien van water (0,04-0,12 m³/s) en eventueel gesloten koelwatersysteem in 2030 (0,20 m³/s). In 2050 is er 0,66 m³/s nodig voor een gesloten koelwatersysteem. Dit is aan de grote kant ten opzichte van het zomerdebiet van 5 m³/s. Aandachtspunten zijn dat de beschikbaarheid van zoete oppervlaktewater in het gebied onder druk staat en dat Den Helder aan het eind van de aanvoerroute ligt. Als er tekorten optreden (door klimaatverandering in droge zomers) dan kan het zijn dat het zoete water 'op' is voor Den Helder. Ook kan er lokaal verzilting optreden in het Noordhollandsch Kanaal.

Grondwater Er is een dunne laag zoet grondwater aanwezig met een beperkte voorraad. Zout grondwater wordt aangetroffen binnen 1-5 m onder maaiveld. Wat wel kan worden onderzocht is om bewust zout grondwater te onttrekken wat ongewenst omhoogkomt in wellen. Zo kan mogelijk een win-win situatie worden gecreëerd voor beperkte hoeveelheden water (elektrolyser in 2030). Deze optie zou locatie specifiek kunnen worden onderzocht.

Effluent RWZI De RWZI Den Helder (699 m³/uur) kan in het 2030 scenario genoeg leveren voor de elektrolysevraag maar net niet voor gesloten koelsystemen. In 2050 is er alleen genoeg water beschikbaar voor de elektrolysevraag.

Drinkwater Bij de locatie Den Helder is onvoldoende capaciteit beschikbaar om drinkwater in te zetten als bron voor waterstofproductie. Drinkwaterbedrijf PWN is druk op zoek naar nieuwe bronnen om de eigen capaciteit te vergroten.

Industriewater Er is in de regio geen proces- of demiwaterleverancier aanwezig.

4.8 Eemshaven

In tabel 4-15 is opgenomen hoeveel water benodigd is voor de potentiële waterstofproductielocatie in het gebied Eemshaven. Er is onderscheid gemaakt tussen water benodigd voor de elektrolyser, voor een gesloten koelsysteem of voor een doorstroomkoelsysteem. De prognose voor de benodigde capaciteit van de waterstofproductielocatie is hierin verwerkt (zie tabel 2-2). In bijlage 1 is deze tabel ook opgenomen voor alle locaties en omgerekend naar andere eenheden (m^3/uur en m^3/s). De globale ligging van de potentiële waterstofproductielocatie is opgenomen in figuur 4-15. Als naam voor de locatie is Eemshaven aangehouden. Dit is het zoekgebied. In de verkenningen voor mogelijke waterstofproductielocaties zijn ook genoemd Meeden buitengebied en Veendam industriegebied, deze locaties liggen zo ver van Eemshaven dat deze niet zijn meegenomen. Dit lijkt ook een logische aanname, omdat waterstofproductielocatie bij grootschalige industrielocaties zoals Eemshaven voor de hand liggen. Als in een later stadium een waterstofproductielocatie verder van de Eemshaven wordt overwogen, dan moet goed gekeken of onderstaande beoordeling nog gebruikt kan worden. De beoordeling is namelijk locatie specifiek.

Tabel 4-15: Benodigde hoeveelheid water voor locatie Eemshaven, gebaseerd op 1,72 GW in 2030 en 5,67 GW in 2050 in miljoen m^3/jaar m.u.v. de onderste twee rijen. E = elektrolyser, GK = Gesloten Koelsysteem óf DK = Doorstroomkoelsysteem.

Bronnen	2030			2050		
	E	GK*	DK*	E	GK*	DK*
Zeewater	3,3	18	285	11	60	941
Brak oppervlaktewater	2,5	13	285	8,3	43	941
Zoet oppervlaktewater	1,9	11	285	6,2	35	941
Grondwater (brak)	3,0	15	285	9,9	50	941
Effluent rwzi	2,2	11	285	7,1	37	941
Drinkwater	1,9	10	274	6,2	33	903
Industriewater: Proces	1,9	10	274	6,2	33	903
Industriewater: Demi	1,5	9,0	271	5,0	30	894
Range miljoen m^3/jaar	1,5 - 3,3	9 - 18	~ 282	5 - 11	30 - 60	~ 929
Range m^3/uur	174 - 382	1032 - 2064	~ 32000	573 - 1260	3402 - 6804	~ 106000
Range m^3/s	0,05 - 0,11	0,29 - 0,57	~ 8,94	0,16 - 0,35	0,95 - 1,89	~ 29,46

*De getallen in de tabel moeten niet bij elkaar opgeteld worden. Er wordt gekozen voor óf GK óf DK.



Figuur 4-15: Globale ligging van potentiële waterstofproductielocatie. De cirkels zijn de 5, 10 en 20 km contour rondom de locatie.

De beoordeling van de waterbeschikbaarheid is opgenomen in tabel 4-16 met daaronder de toelichting.

Tabel 4-16: Beoordeling waterbeschikbaarheid Eemshaven.

Bronnen	2030	2050
Zeewater	2c	2c
Brak oppervlaktewater	2c	2c
Zoet oppervlaktewater	1b	1b
Grondwater (zoet)	1c	1c
Effluent rwzi	1b	1b
Drinkwater	1b	1b
Industriewater (proces)	2a	1b

Legenda	
1a	Afstand tot bron >10 km
1b	Bron levert onvoldoende voor elektrolyse vraag
1c	Bron wel aanwezig, maar niet logisch
2a	Bron voldoende voor elektrolyse vraag
2b	Bron voldoende voor gesloten koelsysteem
2c	Bron voldoende voor doorstroomkoelsysteem

Zeewater Binnen een straal van 10 km is zeewater beschikbaar. Voor de Waddenzee geldt echter dat het gebied een beschermde status heeft als Natura2000 gebied.

Brak oppervlaktewater De locatie ligt aan de Eems. Dit is een estuarium dat onder invloed van getijde staat. De Eems is een brak oppervlaktewater. Met inkomend en uitgaand getij zijn de debieten zeer groot en is er voldoende water beschikbaar om uit te onttrekken voor zowel de elektrolyser, als voor koelwater. Er is ook voldoende water beschikbaar voor een doorstroomkoelsysteem. Waarbij wel moet worden opgemerkt dat de productielocatie dan vlak bij de Eems gebouwd moet worden, omdat voor doorstroomkoelsystemen de debieten zo groot zijn dat transport over grote afstand niet haalbaar is. Of overige

randvoorwaarden zoals de lozing van afvalwater en warmte van koelwater ook haalbaar zijn voor deze locatie moet in een nadere beoordeling worden uitgewerkt. De Eems is ook Natura2000 gebied. Hiermee zal ook rekening moeten worden gehouden bij een mogelijke vergunningsaanvraag.

Zoet oppervlaktewater In de omgeving Eemshaven is geen wateraanvoersysteem voor zoetwater. De omliggende gebieden krijgen water aangevoerd vanuit het IJsselmeer (bijvoorbeeld Groningen, Delfzijl), maar voor de Eemshaven geldt dit niet. De voorraad zoet water is dus afhankelijk van lokale neerslag. Naar verwachting is dit onvoldoende om een betrouwbare bron van water te vormen. Eventueel kan met buffering van dit lokale water voldoende water worden geregeld, maar het zal geen stabiele betrouwbare bron zijn.

Grondwater Zoet grondwater is aanwezig in een dunne laag van ca. 10 m. Onder deze laag is het grondwater zout. Op een grotere afstand van de kust, verder richting het zuiden, zijn wellicht meer bronnen. Echter heeft de provincie Groningen als gevolg van de voorziene tekorten als langetermijnbeleid dat grondwater alleen bestemd is voor drinkwaterproductie.

Effluent RWZI Nabij Eemshaven ligt RWZI Uithuizermeeden. Dit is een kleine RWZI met een beperkt effluent debiet van 128 m³/uur. Dit is te weinig om aan de elektrolysevraag te voldoen. De RWZI Delfzijl (443 m³/uur) kan voldoen in de elektrolysevraag, maar ligt op 10 – 20 km afstand.

Drinkwater Waterbedrijf Groningen heeft een urgent drinkwatertekort. Daaruit kan geconcludeerd worden dat drinkwater geen beschikbare bron is voor de locaties Eemshaven en Delfzijl.

Industriewater De firma North Water heeft recent een industriewater productielocatie in gebruik genomen in Garmerwolde. Hiervoor wordt oppervlaktewater uit het Eemskanaal en in een latere fase ook RWZI-effluent benut van RWZI Garmerwolde. Er is een transportleiding aangelegd naar de Eemshaven over een afstand van hemelsbreed 25 km. De capaciteit van de transportleiding is momenteel 1000 m³/uur en wordt op termijn uitgebreid naar 2000 m³/uur (bron: North Water en H₂O actueel). Het is onbekend hoeveel resterende capaciteit nog aanwezig is. De vraag voor de elektrolyser is 200-700 m³/uur. Voor 2030 (200 m³/uur) is wellicht nog capaciteit. 700 m³/uur lijkt onwaarschijnlijk.

4.9 West-Brabant

In West-Brabant zijn drie locaties beschouwd: Moerdijk, Geertruidenberg en Tilburg. Alle drie de locaties zijn een optie, zoals beschreven in paragraaf 2-3 en tabel 2-2. Omdat de waterbeschikbaarheid voor de locaties verschillend is, is de beoordeling voor de locaties apart uitgevoerd. De benodigde hoeveelheden water verschillen ook per locatie.

4.9.1 Moerdijk

In tabel 4-17 is opgenomen hoeveel water benodigd is voor de potentiële waterstofproductielocatie in het industriegebied van Moerdijk. Er is onderscheid gemaakt tussen water benodigd voor de elektrolyser, voor een gesloten koelsysteem of voor een doorstroomkoelsysteem. De prognose voor de benodigde capaciteit van de waterstofproductielocatie is hierin verwerkt (zie tabel 2-2). In bijlage 1 is deze tabel ook opgenomen voor alle locaties en omgerekend naar andere eenheden (m^3/uur en m^3/s). De globale ligging van de potentiële waterstofproductielocatie is opgenomen in figuur 4-16. De locatie op de kaart geeft een indicatie van het zoekgebied. De waterstofproductielocatie kan ook elders in het zoekgebied rondom Moerdijk komen (als deze er komt).

Tabel 4-17: Benodigde hoeveelheid water voor locatie Moerdijk, gebaseerd op 0,35 GW in 2030 en 1,15 GW in 2050 in miljoen m^3/jaar m.u.v. de onderste twee rijen. E = elektrolyser, GK = Gesloten Koelsysteem óf DK = Doorstroomkoelsysteem.

Bronnen	2030			2050		
	E	GK*	DK*	E	GK*	DK*
Zeewater	0,7	3,7	58	2,2	12	191
Brak oppervlaktewater	0,5	2,6	58	1,7	8,6	191
Zoet oppervlaktewater	0,4	2,2	58	1,3	7,1	191
Grondwater (zoet)	0,6	3,1	58	2,0	10	191
Effluent rwzi	0,4	2,3	58	1,4	7,6	191
Drinkwater	0,4	2,0	56	1,3	6,7	183
Industriewater: Proces	0,4	2,0	56	1,3	6,7	183
Industriewater: Demi	0,3	1,8	55	1,0	6,0	181
Range miljoen m^3/jaar	0,3 - 0,7	1,8 - 3,7	~ 57	1 - 2,2	6 - 12	~ 188
Range m^3/uur	35 - 78	210 - 420	~ 6500	116 - 256	690 - 1380	~ 21500
Range m^3/s	0,01 - 0,02	0,06 - 0,12	~ 1,82	0,03 - 0,07	0,19 - 0,38	~ 5,97

*De getallen in de tabel moeten niet bij elkaar opgeteld worden. Er wordt gekozen voor óf GK óf DK.



Figuur 4-16: Globale ligging van potentiële waterstofproductielocatie. De cirkels zijn de 5, 10 en 20 km contour rondom de locatie.

De beoordeling van de waterbeschikbaarheid is opgenomen in tabel 4-18 met daaronder de toelichting.

Tabel 4-18: Beoordeling waterbeschikbaarheid Moerdijk.

Bronnen	2030	2050
Zeewater	1a	1a
Brak oppervlaktewater	1a	1a
Zoet oppervlaktewater	2c	2b
Grondwater (zoet)	1c	1c
Effluent rwzi	2b	2b
Drinkwater	1b	1b
Industriewater (proces)	2a	2a

Legenda	
1a	Afstand tot bron >10 km
1b	Bron levert onvoldoende voor elektrolyse vraag
1c	Bron wel aanwezig, maar niet logisch
2a	Bron voldoende voor elektrolyse vraag
2b	Bron voldoende voor gesloten koelsysteem
2c	Bron voldoende voor doorstroomkoelsysteem

Zeewater Moerdijk ligt op een afstand van 50 km van de zee. Het gebruik van zeewater is daarmee geen logische optie, aangezien dit verder dan 10 km is.

Brak oppervlaktewater Moerdijk ligt aan het Hollandsch Diep. Dit is in principe zoet oppervlaktewater wat wel gevoelig is voor verzilting. Zie verder onder zoet oppervlaktewater. Permanent brak oppervlaktewater is niet binnen een straal van 10 km aanwezig.

Zoet oppervlaktewater Water vanuit het Hollandsch Diep is beschikbaar met een afvoer van 30 – 80 m³/s in de zomermaanden (bijlage 1). Voor de elektrolyser is 0,01 – 0,04 m³/s nodig. Voor een gesloten koelsysteem 0,07 – 0,23 m³/s. Dit is een klein deel van de zomer afvoer, dus daarom is er waarschijnlijk wel water beschikbaar hiervoor. Voor een doorstroomkoelsysteem is 1,8 m³/s nodig in 2030. In het 2030 scenario zou dit waarschijnlijk wel een optie zijn qua waterbeschikbaarheid. In het 2050 scenario is de bron niet voldoende voor doorstroomkoeling, aangezien de watervraag (6,1 m³/s) dan >10% van de zomerafvoer vraagt. Twee aandachtspunten zijn: verzilting en de lozing van afvalwater en warmte uit koelwater. Het Hollandsch Diep is gevoelig voor achterwaartse verzilting (dit is verzilting die optreedt door stormgebeurtenissen, zie figuur 4-3) en is daarom niet altijd beschikbaar. Hier moet rekening worden gehouden in het ontwerp van de productielocatie en de zuivering (buffering, tijdelijk zuivering). Of overige randvoorwaarden zoals de lozing van afvalwater en warmte van koelwater ook haalbaar zijn voor deze locatie moet in een nadere beoordeling worden uitgewerkt.

Grondwater Er is zoet grondwater tot een diepte van ca. 100 m-mv. Echter ontmoedigt de provincie Noord-Brabant nieuwe onttrekkingen van grondwater voor de industrie en verzoekt het de industrie over te stappen op alternatieve bronnen. De bron grondwater is daardoor niet logisch.

Effluent RWZI Op 10 km afstand van Moerdijk ligt RWZI Nieuwveer. De droogweerafvoer is 2468 m³/uur en deze grote RWZI heeft daardoor in potentie genoeg effluent om de elektrolyser en een gesloten koelsysteem te voorzien van water. RWZI Lage Zwaluwe (68 m³/u) ligt dichterbij, op 8,5 km, maar heeft enkel voldoende afvoer voor de elektrolysevraag in het 2030 scenario.

Drinkwater Brabant Water is in West-Brabant op zoek naar nieuwe bronnen om aan de watervraag te kunnen voldoen. Daardoor is er op dit moment nauwelijks of geen ruimte is om drinkwater in te zetten als bron voor waterstofproductie op de locatie Moerdijk.

Industriewater Op bedrijventerrein Moerdijk levert Hydrobusiness, een dochteronderneming van Brabant Water, proceswater aan de industrie. De totale capaciteit is 1.100 m³/uur. Benodigde hoeveelheden water zijn 40-140 m³/uur voor de elektrolyser en 230-770 m³/uur voor een gesloten koelwatersysteem. De resterende capaciteit voor dit proceswater die nog niet benut wordt is momenteel nog onbekend. Er is voor deze beoordeling aangenomen dat er nog wat ruimte beschikbaar is in de capaciteit maar onvoldoende voor een gesloten koelsysteem. Dit moet nader uitgezocht worden.

4.9.2 Geertruidenberg

In tabel 4-19 is opgenomen hoeveel water benodigd is voor de potentiële waterstofproductielocatie in het gebied Geertruidenberg. Er is onderscheid gemaakt tussen water benodigd voor de elektrolyser, voor een gesloten koelsysteem of voor een doorstroomkoelsysteem. De prognose voor de benodigde capaciteit van de waterstofproductielocatie is hierin verwerkt (zie tabel 2-2). In bijlage 1 is deze tabel ook opgenomen voor alle locaties en omgerekend naar andere eenheden (m³/uur en m³/s). De globale ligging van de potentiële waterstofproductielocatie is opgenomen in figuur 4-17. De locatie op de kaart geeft een indicatie van het zoekgebied. De waterstofproductielocatie kan ook elders in het zoekgebied rondom Geertruidenberg komen (als deze er komt).

Tabel 4-19: Benodigde hoeveelheid water voor locatie Geertruidenberg, gebaseerd op 0,36 GW in 2030 en 1,18 GW in 2050 in miljoen m³/jaar m.u.v. de onderste twee rijen. E = elektrolyser, GK = Gesloten Koelsysteem óf DK = Doorstroomkoelsysteem.

Bronnen	2030			2050		
	E	GK*	DK*	E	GK*	DK*
Zeewater	0,7	3,8	60	2,3	12	196
Brak oppervlaktewater	0,5	2,7	60	1,7	8,9	196
Zoet oppervlaktewater	0,4	2,2	60	1,3	7,3	196
Grondwater (zoet)	0,6	3,2	60	2,1	10	196
Effluent rwzi	0,5	2,4	60	1,5	7,8	196
Drinkwater	0,4	2,1	57	1,3	6,9	188
Industriewater: Proces	0,4	2,1	57	1,3	6,9	188
Industriewater: Demi	0,3	1,9	57	1,0	6,2	186
Range miljoen m ³ /jaar	0,3 - 0,7	1,9 - 3,8	~ 59	1 - 2,3	6,2 - 12,4	~ 193
Range m ³ /uur	36 - 80	216 - 432	~ 6700	119 - 262	708 - 1416	~ 22000
Range m ³ /s	0,01 - 0,02	0,06 - 0,12	~ 1,9	0,03 - 0,07	0,2 - 0,39	~ 6

*De getallen in de tabel moeten niet bij elkaar opgeteld worden. Er wordt gekozen voor óf GK óf DK.



Figuur 4-17: Globale ligging van potentiële waterstofproductielocatie. De cirkels zijn de 5, 10 en 20 km contour rondom de locatie.

De beoordeling van de waterbeschikbaarheid is opgenomen in tabel 4-20 met daaronder de toelichting.

Tabel 4-20: Beoordeling waterbeschikbaarheid Geertruidenberg.

Bronnen	2030	2050
Zeewater	1a	1a
Brak oppervlaktewater	1a	1a
Zoet oppervlaktewater	2b	2b
Grondwater (zoet)	1c	1c
Effluent rwzi	2b	2b
Drinkwater	1b	1b
Industriewater	1a	1a

Legenda	
1a	Afstand tot bron >10 km
1b	Bron levert onvoldoende voor elektrolyse vraag
1c	Bron wel aanwezig, maar niet logisch
2a	Bron voldoende voor elektrolyse vraag
2b	Bron voldoende voor gesloten koelsysteem
2c	Bron voldoende voor doorstroomkoelsysteem

Zeewater Geertruidenberg ligt op een afstand van 70 km van de zee. Het gebruik van zeewater is daarmee geen logische optie, aangezien dit verder dan 10 km is.

Brak oppervlaktewater Geertruidenberg ligt aan de Amer. Dit is het benedenstroomse deel van de Maas. In principe is de Amer een zoet oppervlaktewaterlichaam waar geen verzilting optreedt. Zie verder onder zoet oppervlaktewater. Permanent brak oppervlaktewater is niet binnen een straal van 10 km aanwezig.

Zoet oppervlaktewater Water vanuit de Amer is beschikbaar met een afvoer van 15 – 58 m³/s in de zomermaanden. Voor de elektrolyser is 0,01 – 0,04 m³/s nodig. Voor een gesloten koelsysteem 0,07 – 0,23 m³/s. Dit is een klein deel van de zomer afvoer, dus daarom is er waarschijnlijk wel water beschikbaar hiervoor. Eventueel in combinatie met buffering om perioden met lage rivierafvoer te overbruggen. Daarmee is zoet oppervlaktewater een optie voor de elektrolysevraag en een gesloten koelsysteem. De Amer heeft onvoldoende beschikbaarheid voor doorstroomkoeling, aangezien de watervraag dan 1,9 – 6,2 m³/s is en de Amer bij lage afvoeren 15 m³/s afvoert. Als beoordelingscriterium is 10% van de zomerafvoer gehanteerd. De Maas is als regenwater rivier kwetsbaar voor lange droge perioden. Door klimaatverandering gaan deze ook vaker voorkomen. Er moet rekening mee gehouden worden dat voor onttrekkingen uit de Maas in de toekomst vaker de verdringingsreeks ingezet zal worden als er een watertekort optreedt. Of overige randvoorwaarden zoals de lozing van afvalwater en warmte van koelwater ook haalbaar zijn voor deze locatie moet in een nadere beoordeling worden uitgewerkt.

Grondwater Er is zoet grondwater aanwezig. Echter ontmoedigt de provincie Noord-Brabant nieuwe onttrekkingen van grondwater voor de industrie en verzoekt het de industrie over te stappen op alternatieve bronnen.

Effluent RWZI In de buurt van Geertruidenberg bevinden zich RWZI Dongemond (1017 m³/uur), RWZI Waspik (99 m³/uur) en RWZI Lage Zwaluwe (68 m³/uur). De eerste levert genoeg effluent voor de elektrolyser en een gesloten koelsysteem. De overige RWZI's leveren enkel genoeg effluent voor de elektrolysevraag.

Drinkwater Brabant Water is in West-Brabant op zoek naar nieuwe bronnen om aan de watervraag te kunnen voldoen. Daardoor is er op dit moment nauwelijks of geen ruimte is om drinkwater in te zetten als bron voor waterstofproductie op de locatie Geertruidenberg.

Industriewater Er is in de regio geen proces- of demiwater aanwezig.

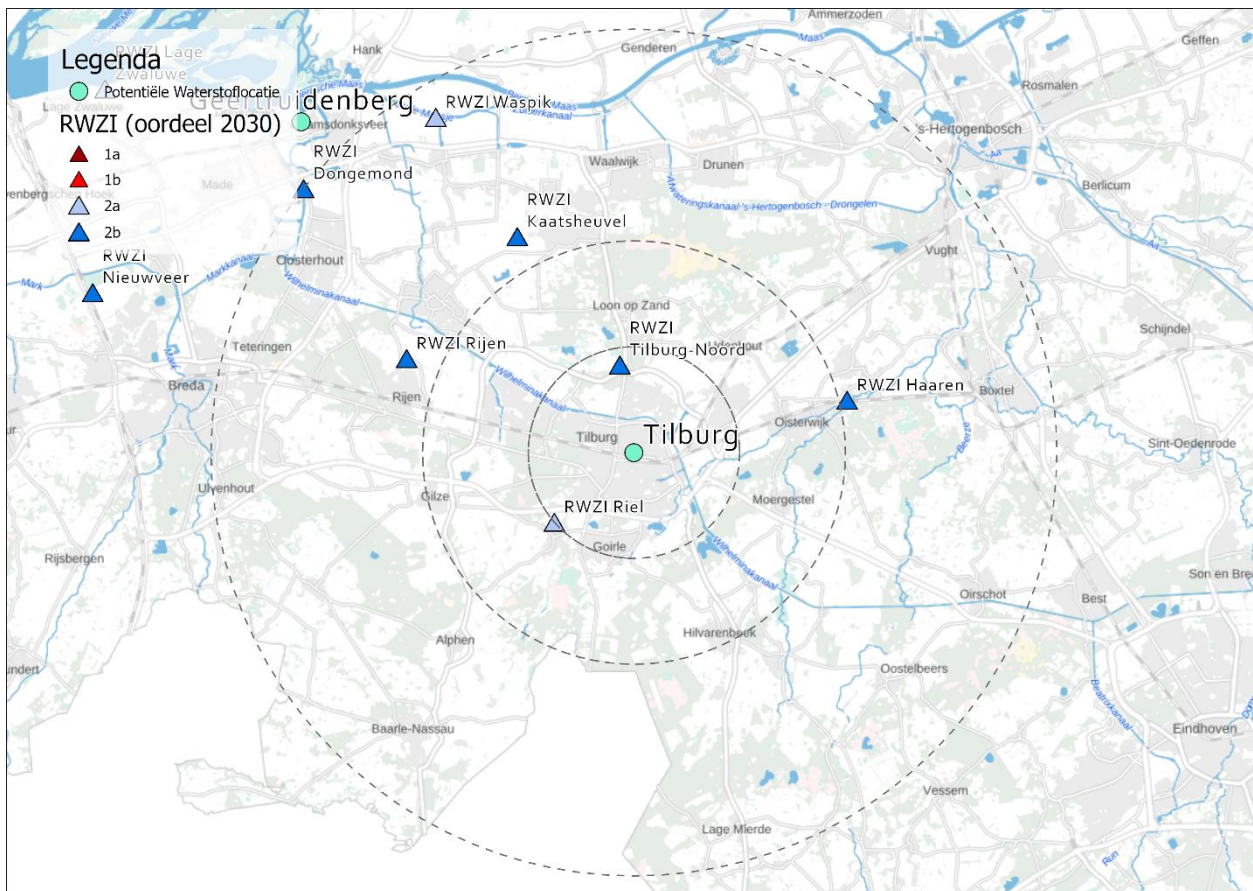
4.9.3 Tilburg

In tabel 4-21 is opgenomen hoeveel water benodigd is voor de potentiële waterstofproductielocatie in het gebied Tilburg. Er is onderscheid gemaakt tussen water benodigd voor de elektrolyser, voor een gesloten koelsysteem of voor een doorstroomkoelsysteem. De prognose voor de benodigde capaciteit van de waterstofproductielocatie is hierin verwerkt (zie tabel 2-2). In bijlage 1 is deze tabel ook opgenomen voor alle locaties en omgerekend naar andere eenheden (m³/uur en m³/s). De globale ligging van de potentiële waterstofproductielocatie is opgenomen in figuur 4-18. De locatie op de kaart geeft een indicatie van het zoekgebied. De waterstofproductielocatie kan ook elders in het zoekgebied rondom Tilburg komen (als deze er komt).

Tabel 4-21: Benodigde hoeveelheid water voor locatie Tilburg, gebaseerd op 0,21 GW in 2030 en 0,7 GW in 2050 in miljoen m³/jaar m.u.v. de onderste twee rijen. E = elektrolyser, GK = Gesloten Koelsysteem óf DK = Doorstroomkoelsysteem

Bronnen	2030			2050		
	E	GK*	DK*	E	GK*	DK*
Zeewater	0,4	2,2	35	1,4	7,4	116
Brak oppervlaktewater	0,3	1,6	35	1,0	5,3	116
Zoet oppervlaktewater	0,2	1,3	35	0,8	4,3	116
Grondwater (zoet)	0,4	1,8	35	1,2	6,1	116
Effluent rwzi	0,3	1,4	35	0,9	4,6	116
Drinkwater	0,2	1,2	33	0,8	4,1	111
Industriewater: Proces	0,2	1,2	33	0,8	4,1	111
Industriewater: Demi	0,2	1,1	33	0,6	3,7	110
Range miljoen m ³ /jaar	0,2 - 0,4	1,1 - 2,2	~ 34	0,6 - 1,4	3,7 - 7,4	~ 115
Range m ³ /uur	21 - 47	126 - 252	~ 3900	71 - 156	420 - 840	~ 13000
Range m ³ /s	0,01 - 0,01	0,04 - 0,07	~ 1,09	0,02 - 0,04	0,12 - 0,23	~ 3,64

*De getallen in de tabel moeten niet bij elkaar opgeteld worden. Er wordt gekozen voor óf GK óf DK.



Figuur 4-18: Globale ligging van potentiële waterstofproductielocatie. De cirkels zijn de 5, 10 en 20 km contour rondom de locatie.

De beoordeling van de waterbeschikbaarheid is opgenomen in tabel 4-22 met daaronder de toelichting.

Tabel 4-22: Beoordeling waterbeschikbaarheid Tilburg.

Bronnen	2030	2050
Zeewater	1a	1a
Brak oppervlaktewater	1a	1a
Zoet oppervlaktewater	2b	2a
Grondwater (zoet)	1c	1c
Effluent rwzi	2b	2b
Drinkwater	1b	1b
Demiwater/Industriewater	1a	1a

Legenda	
1a	Afstand tot bron >10 km
1b	Bron levert onvoldoende voor elektrolyse vraag
1c	Bron wel aanwezig, maar niet logisch
2a	Bron voldoende voor elektrolyse vraag
2b	Bron voldoende voor gesloten koelsysteem
2c	Bron voldoende voor doorstroomkoelsysteem

Zeewater Tilburg ligt op een afstand van 100 km van de zee. Het gebruik van zeewater is daarmee uitgesloten.

Brak oppervlaktewater Er is geen brak oppervlaktewater in de buurt van deze locatie.

Zoet oppervlaktewater De zoetwatervoorziening van Tilburg verloopt via een lang stelsel van kanalen. Maas water wordt in Zuid-Limburg in de Limburgse en Brabantse Kanalen gelaten. Via Vlaanderen stroomt het water weer naar Nederland en gaat via de Zuid-Willemsvaart en het Wilhelminakanaal naar Tilburg. De zomeraanvoer bedraagt 1,0 – 2,5 m³/s ten zuiden van Tilburg. Voor de elektrolyse is 0,01-0,02 m³/s nodig,

voor het gesloten koelwatersysteem 0,04 – 0,14 m³/s en eventueel voor doorstroomkoeling 1,1 – 3,7 m³/s. De watervraag voor de elektrolyser zal waarschijnlijk nog wel uit het Wilhelminakanaal kunnen worden onttrokken. Eventueel tot 2030 ook koelwater voor een gesloten koelsysteem, maar in 2050 wordt de vraag naar koelwater al groter dan 10% van het debiet (als grenswaarde gehanteerd in de beoordeling). De mogelijkheid tot het gebruik van water uit het Wilhelminakanaal is allerm minst gegarandeerd. De wateraanvoeroute vanaf Maastricht is lang en onderweg zijn er vele andere partijen die ook water uit het Limburgse en Brabantse kanalenstelsel gebruiken. Door klimaatverandering en toenemende droogte moet goed gekeken worden hoe het beschikbare water wordt verdeeld.

Rondom Tilburg lopen ook diverse beken. Deze beken worden gevoed door neerslag en kwel. In de zomer is droogval van beken en watertekort in de beken een groot probleem. Onttrekking vanuit beken is als niet kansrijk beoordeeld. Er is één uitzondering. Ten noorden van Tilburg loopt de Zandleij. Deze is in de zomer grotendeels gevoed met effluent van RWZI Tilburg-Noord (0,5 m³/s). De RWZI levert meer effluent dan de Zandleij nodig heeft om te functioneren. Hier zou wat oppervlaktewater kunnen worden ingenomen voor de elektrolyser. Effectiever is wellicht om rechtstreeks van de RWZI in te nemen.

De lozing van afvalwater en warmtelast is niet onderzocht. Maar voor een ver binnenlands gelegen locatie als Tilburg, moet er rekening mee gehouden worden dat het lozen van koelwater en afvalwater een knelpunt kan vormen.

Grondwater Er is zoet grondwater aanwezig in de omgeving. Echter ontmoedigt de provincie Noord-Brabant nieuwe onttrekkingen van grondwater voor de industrie en verzoekt het de industrie over te stappen op alternatieve bronnen.

Effluent RWZI In de omgeving liggen verschillende RWZI's die genoeg water kunnen leveren voor een gesloten koelsysteem c.q. de elektrolysevraag. RWZI Tilburg-Noord (2026 m³/uur) is hiervan veruit de grootste, gevolgd door RWZI Rijen (481 m³/uur), RWZI Kaatsheuvel (383 m³/uur) en RWZI Haaren (349 m³/uur). Afhankelijk van de uiteindelijke productielocatie heeft één van deze RWZI's de meest gunstige ligging. Het effluent van de meeste RWZI's heeft al een functie om de beken watervoerend te houden. Daarnaast wordt een deel van RWZI Kaatsheuvel al hergebruikt in de Efteling.

Drinkwater Brabant Water is in West-Brabant op zoek naar nieuwe bronnen om aan de watervraag te kunnen voldoen. Daarnaast heeft Brabant Water recentelijk de opdracht gekregen om de drinkwaterwinning op locatie Tilburg te verminderen. Er wordt ingeschat dat er geen drinkwater voor elektrolyse beschikbaar is op deze locatie.

Industriewater Er is in Tilburg geen productie van proces- of demiwater aanwezig.

4.10 Chemelot

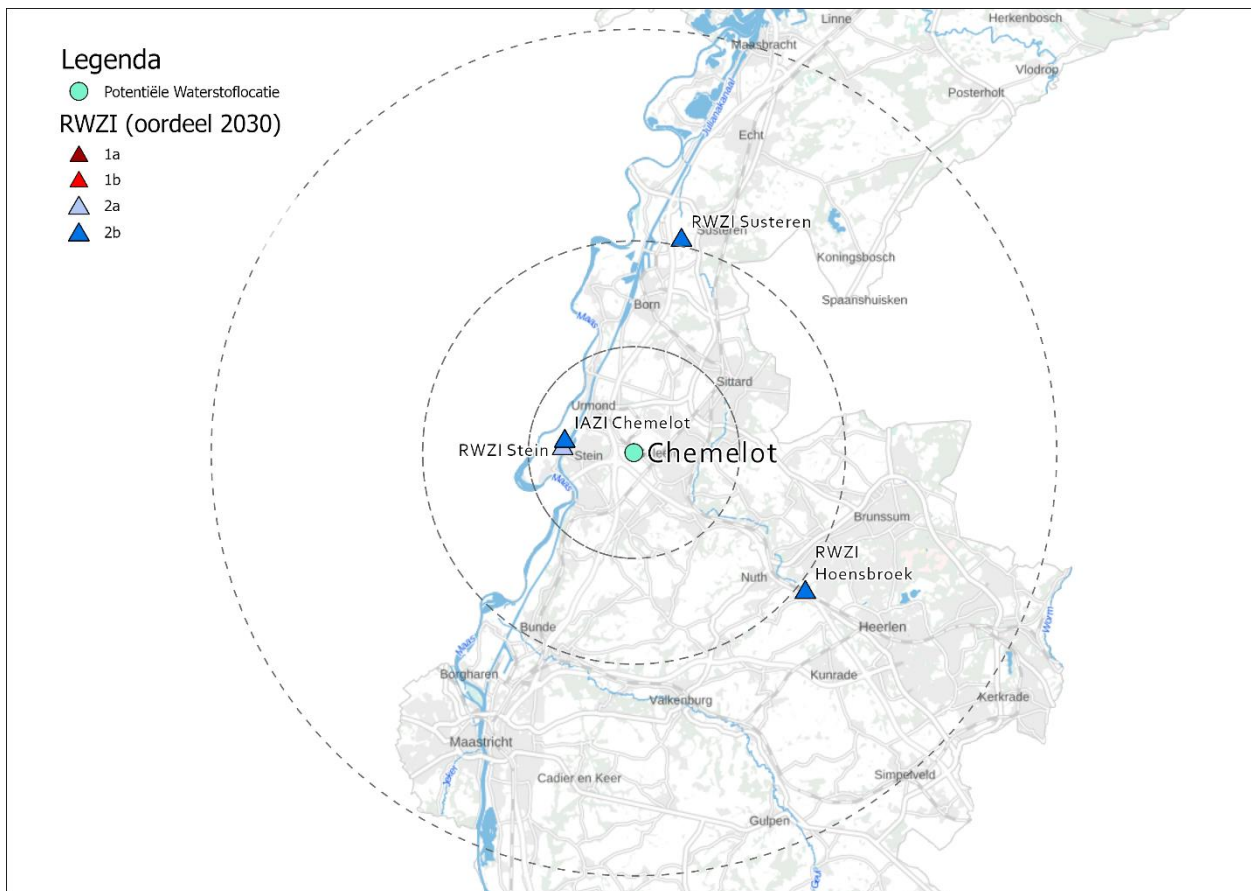
In tabel 4-23 is opgenomen hoeveel water benodigd is voor de potentiële waterstofproductielocatie in het gebied bij Chemelot. Er is onderscheid gemaakt tussen water benodigd voor de elektrolyser, voor een gesloten koelsysteem of voor een doorstroomkoelsysteem. De prognose voor de benodigde capaciteit van de waterstofproductielocatie is hierin verwerkt (zie tabel 2-2). In bijlage 1 is deze tabel ook opgenomen voor alle locaties en omgerekend naar andere eenheden (m³/uur en m³/s).

Tabel 4-23: Benodigde hoeveelheid water voor locatie Chemelot, gebaseerd op 0,64 GW in 2030 en 2,1 GW in 2050 in miljoen m³/jaar m.u.v. de onderste twee rijen. E = elektrolyser, GK = Gesloten Koelsysteem óf DK = Doorstroomkoelsysteem.

Bronnen	2030			2050		
	E	GK*	DK*	E	GK*	DK*
Zeewater	1,2	6,7	106	4,1	22	349
Brak oppervlaktewater	0,9	4,8	106	3,1	16	349
Zoet oppervlaktewater	0,7	4,0	106	2,3	13	349
Grondwater	1,1	5,6	106	3,7	18	349
Effluent rwzi	0,8	4,2	106	2,6	14	349
Drinkwater	0,7	3,7	102	2,3	12	334
Industriewater: Proces	0,7	3,7	102	2,3	12	334
Industriewater: Demi	0,6	3,4	101	1,9	11	331
Range miljoen m ³ /jaar	0,6 - 1,2	3,4 - 6,7	~ 105	1,9 - 4,1	11 - 22	~ 344
Range m ³ /uur	65 - 142	384 - 768	~ 11970	212 - 467	1260 - 2520	~ 39000
Range m ³ /s	0,02 - 0,04	0,11 - 0,21	~ 3,32	0,06 - 0,13	0,35 - 0,7	~ 10,91

*De getallen in de tabel moeten niet bij elkaar opgeteld worden. Er wordt gekozen voor óf GK óf DK.

De globale ligging van de potentiële waterstofproductielocatie is opgenomen in figuur 4-19. De locatie op de kaart geeft een indicatie van het zoekgebied. De waterstofproductielocatie kan ook elders in het zoekgebied rondom Chemelot komen (als deze er komt). In de verkenningen voor mogelijke waterstofproductielocaties is ook gesproken over Maasbracht. Aangezien Maasbracht 20 km van Chemelot ligt, is het niet mogelijk om dit in dezelfde beoordeling mee te nemen. Veel van de onderstaande uitspraken zullen echter ook gelden voor Maasbracht.



Figuur 4-19: Globale ligging van potentiële waterstofproductielocatie. De cirkels zijn de 5, 10 en 20 km contour rondom de locatie.

De beoordeling van de waterbeschikbaarheid is opgenomen in tabel 4-24 met daaronder de toelichting.

Tabel 4-24: Beoordeling waterbeschikbaarheid Chemelot.

Bronnen	2030	2050
Zeewater	1a	1a
Brak oppervlaktewater	1a	1a
Zoet oppervlaktewater	2b	2a/2b
Grondwater (zoet)	1c	1c
Effluent rwzi	2b	2a
Drinkwater	1b	1b
Industriewater (proces & demi)	?	?

Legenda	
1a	Afstand tot bron >10 km
1b	Bron levert onvoldoende voor elektrolyse vraag
1c	Bron wel aanwezig, maar niet logisch
2a	Bron voldoende voor elektrolyse vraag
2b	Bron voldoende voor gesloten koelsysteem
2c	Bron voldoende voor doorstroomkoelsysteem

Zeewater Chemelot ligt op een afstand van 200 km van de zee. Het gebruik van zeewater is daarmee geen optie.

Brak oppervlaktewater Er is geen brak oppervlaktewater in de buurt van deze locatie.

Zoet oppervlaktewater De Chemelot locatie ligt in de buurt van de Maas en het Julianakanaal. Dit zijn beschikbare bronnen van zoet oppervlaktewater. De zomerafvoer van de Maas bedraagt 10 – 26 m³/s. Over het Julianakanaal wordt 9 – 15 m³/s aangevoerd. Chemelot onttrekt reeds 1 – 1,7 m³/s uit het Julianakanaal. Voor de elektrolyse is 0,02-0,07 m³/s nodig, voor het gesloten koelwatersysteem 0,13 – 0,41 m³/s en

eventueel voor doorstroomkoeling 3 – 11 m³/s. Voor de beoordeling is er van uitgegaan dat er water voor de elektrolyser kan worden onttrokken en waarschijnlijk ook water voor een gesloten koelsysteem in 2030. Voor doorstroomkoeling is niet voldoende water beschikbaar. De Maas is als regenwater rivier kwetsbaar voor lange droge perioden. Door klimaatverandering gaan deze ook vaker voorkomen. Er moet rekening mee gehouden worden dat voor onttrekkingen uit de Maas in de toekomst vaker de verdringingsreeks ingezet zal worden als er een watertekort optreedt. Ook zijn er vele andere gebruikers van Maaswater. Hun belangen zullen moeten worden meegewogen bij de vergunningaanvraag. Of overige randvoorwaarden zoals de lozing van afvalwater en warmte van koelwater ook haalbaar zijn voor deze locatie moet in een nadere beoordeling worden uitgewerkt.

Grondwater Ter plaatse is er zoet grondwater aanwezig. Zoet grondwater winnen voor industriële toepassingen wordt door de provincie ontmoedigd. Ter illustratie ook het drinkwaterbedrijf van Limburg krijgt van de provincie geen vergunningen om nieuwe drinkwaterwinningen op te starten of bestaande winningen uit te breiden. Het gebruik van grondwater is geen optie.

Effluent RWZI De dichtstbijzijnde RWZI Stein (256 m³/uur) levert alleen genoeg water voor de elektrolysevraag in 2030. RWZI Hoensbroek (1750 m³/uur) en RWZI Susteren (2415 m³/uur) zijn beide geschikt voor elektrolyser en een gesloten koelwatersysteem, maar liggen op ca. 11 km van de beoogde locatie. Een andere mogelijkheid is het benutten van het effluent van de IAZI. Dat is de afvalwaterzuivering van Chemelot zelf. Deze ligt naast de RWZI Stein en heeft een gemiddeld effluent debiet van 3420 m³/uur. Dit is voldoende voor de elektrolyser en een gesloten koelwatersysteem.

Drinkwater Waterleiding Maatschappij Limburg (WML) heeft acuut extra winningscapaciteit nodig om aan de drinkwatervraag te voldoen. Er is geen drinkwater beschikbaar voor elektrolyse.

Industriewater Op het Chemelot terrein is een industriewater distributienetwerk aanwezig. Vanuit dit industriewater netwerk wordt ook demiwater geproduceerd. Het is onbekend welke capaciteiten er nog beschikbaar zijn en hoe zich dat gaat ontwikkelen op termijn.

5 Mogelijke knelpunten en oplossingsrichtingen

5.1 Knelpunten waterbeschikbaarheid

In het voorgaande hoofdstuk is per locatie in beeld gebracht welke waterbronnen waarschijnlijk beschikbaar zijn voor productie van waterstof en welke bronnen niet. Daarbij is er gekeken naar de beschikbare hoeveelheden water in de huidige situatie. De beoordeling is samengevat in tabel 5-1 voor 2030 en tabel 5-2 voor 2050. Hieruit valt te concluderen dat:

- Er voor alle locaties minimaal 1 bron is waar naar verwachting nog water uit kan worden onttrokken voor de elektrolyzers.
- Voor doorstroomkoelsystemen zijn alleen de locaties aan de kust geschikt waar zeewater of grote brakke wateren nabij liggen.
- Voor gesloten koelsystemen zijn er wel mogelijke waterbronnen beschikbaar, maar niet voor alle locaties. Hoe verder naar het binnenland hoe kleiner de kans dat er ook een bron voor een gesloten koelwatersysteem is. Ook door de toename in 2050 van de benodigde hoeveelheid water nemen de kansen op een geschikte bron voor koelwater af.
- In de kustregio zijn er meer mogelijke bronnen dan in het binnenland doordat daar ook gebruik gemaakt kan worden van zout of brak water.
- De mogelijkheden om zoet oppervlaktewater in te zetten zijn op de meeste locaties beschikbaar, m.u.v. Eemshaven, Borsele, Terneuzen en Rotterdam. Het is goed om te realiseren dat de zoetwater beschikbaarheid onder druk staat in de zomer en zeker met klimaatverandering. Daardoor kan het zijn dat de bron niet jaarrond beschikbaar is doordat er een tekort optreedt, of verzilting optreedt.
- Er is vrijwel geen mogelijkheid om zoet grondwater te gebruiken omdat het ofwel afwezig is in de kustzone, of omdat het gebruik van grondwater door industrie door provinciaal beleid wordt beperkt.
- Op vrijwel alle locaties is hergebruik van effluent een beschikbare bron (m.u.v. Eemshaven en Terneuzen).
- De drinkwatercapaciteit staat onder druk. Alle drinkwaterbedrijven hebben te maken met tekorten in de nabije toekomst en daarom komt bij alle locaties drinkwater als niet kansrijk naar voren als bron voor grootschalige elektrolyse.

Tabel 5-1: Samenvatting van beoordeelde locaties waterbeschikbaarheid in 2030

Bronnen / Locaties	Zeewater	Brak oppervlaktewater	Zoet oppervlaktewater	Grondwater	Effluent rwzi	Drinkwater	Industriewater (proces & demi)
Borsele	1a	2c	1b	1c	2b	1b	2a
Terneuzen	1a	2c	1b	1c	1b	1c	2b
Rotterdam	2c / 1a	2c	1c/2a?	1c	2a/b	1c	2a
Noordzeekanaal	2c	2c	2a	1b/2a	2b	1b	1c
Kop van NH	1a	1a	2b	1b/2a	2a	1b	1a
Den Helder	2c	1a	2b	1b/2a	2a	1b	1a
Eemshaven	2c	2c	1b	1c	1b	1b	2a
Moerdijk	1a	1a	2c	1c	2b	1b	2a
Geertruidenberg	1a	1a	2b	1c	2b	1b	1a
Tilburg	1a	1a	2b	1c	2b	1b	1a
Chemelot	1a	1a	2b	1c	2b	1b	?

Tabel 5-2: Samenvatting van beoordeelde locaties waterbeschikbaarheid in 2050

Bronnen / Locaties	Zeewater	Brak oppervlaktewater	Zoet oppervlaktewater	Grondwater	Effluent rwzi	Drinkwater	Industriewater (proces & demi)
Borsele	1a	2c	1b	1c	2b	1b	?
Terneuzen	1a	2c	1b	1c	1b	1b	?
Rotterdam	2c/1a	2c	1c/2a?	1c	2a	1b	2a
Noordzeekanaal	2c	2c	1b	1c	2b	1b	?
Kop van NH	1a	1a	2a	1c	2a	1b	1a
Den Helder	2c	1a	2a	1c	2a	1b	1a
Eemshaven	2c	2c	1b	1c	1b	1b	1b
Moerdijk	1a	1a	2b	1c	2b	1b	2a
Geertruidenberg	1a	1a	2b	1c	2b	1b	1a
Tilburg	1a	1a	2a	1c	2b	1b	1a
Chemelot	1a	1a	2a/2b	1c	2a	1b	?

Legenda	
1a	Afstand tot bron >10 km
1b	Bron levert onvoldoende voor elektrolyse vraag
1c	Bron wel aanwezig, maar niet logisch
2a	Bron voldoende voor elektrolyse vraag
2b	Bron voldoende voor gesloten koelsysteem
2c	Bron voldoende voor doorstroomkoelsysteem

Er zijn nog geen locatie specifieke knelpunten aangetroffen, in die zin, dat er helemaal geen water beschikbaar is op een potentiële waterstofproductielocatie. De locaties kunnen gegroepeerd worden naar waterbeschikbaarheid:

Locaties landinwaarts: Kop van Noord-Holland, Tilburg en Chemelot

Op deze locaties is de keuze in bronnen beperkt. Op deze locaties zijn alleen RWZI effluent en een beperkte hoeveelheid zoetwater beschikbaar. Omdat de beschikbaarheid van zoet water onder druk staat door klimaatverandering is dit geen bron die gegarandeerd jaarrond beschikbaar is op deze locaties. Dan is RWZI effluent de meest voor de hand liggende bron. Het is afhankelijk van de gekozen waterstofproductielocatie of deze een gunstige ligging heeft ten opzichte van de rioolwaterzuivering. Of andersom: gunstige ligging van de waterstofproductielocatie ten opzichte van de rioolwaterzuivering wordt dan randvoorwaardelijk. Voor meer landinwaarts gelegen locaties kan de lozing van afvalwater en de warmtelast van koelwater ook een probleem vormen.

Locaties aan de kust: Eemshaven, Terneuzen, Borsele, Rotterdam

Op deze locaties is er geen zoet water beschikbaar. Grondwater en drinkwater zijn eveneens geen optie. Voor Borsele en Rotterdam is er eventueel effluent beschikbaar van rioolwaterzuiveringen. De enige andere en meest voor de hand liggende bron is brak water uit de Westerschelde, de Eems, de Nieuwe Waterweg of de zee. De waterbeschikbaarheid in die bron is ruim voldoende. Er zijn wel aandachtspunten ten aanzien van natuurwetgeving en de lozing van afvalwater dan wel warmtelast van koelwater.

Locaties met zoetwater aanvoer via een rivier: Moerdijk, Geertruidenberg

De Nederlandse rivieren voeren gedurende het jaar heel veel water af. De waterbeschikbaarheid van zoet water is daarom groot als een waterstofproductielocatie in de nabijheid van een rivier ligt. Echter in droge zomers neemt de waterbeschikbaarheid snel af. Het risico bestaat dan dat door het landelijke watertekort de verdringingsreeks in werking wordt gesteld en er een onttrekkingsverbod wordt opgelegd. Het watertekort in het Maasstroomgebied is groter dan in het Rijnstroomgebied. Daardoor is de waterbeschikbaarheid bij Moerdijk groter dan Geertruidenberg. Het voordeel van Geertruidenberg is weer dat het verder landinwaarts ligt en een kleiner risico loopt op verzilting ten opzichte van Moerdijk. Voor deze locaties zijn alleen rivierwater en effluent geschikte bronnen. Ook hier geldt dat er nog aandachtspunten zijn voor natuur, de lozing van afvalwater en de warmtelast van koelwater.

Locaties met zoetwater aanvoer via een kanaal: Noordzeekanaal en Den Helder

In Noord-Holland wordt water aangevoerd via de Rijn en het Amsterdam-Rijnkanaal en via de IJssel en het IJsselmeer. Ook hiervoor geldt dat er doorgaans genoeg water is, maar wel minder dan in de rivieren. Daarnaast geldt ook dat er in de zomer tekorten ontstaan. Er zijn vele partijen afhankelijk van de zoetwatervoorziening via het Amsterdam-Rijnkanaal en het IJsselmeer. De beoordeelde locaties liggen aan het einde van de aanvoerroutes. Dat betekent dat er lokaal verzilting kan optreden (Den Helder) of dat er sowieso sprake is van een permanent verzilte situatie (Noordzeekanaal bij IJmuiden). De lokale rioolwaterzuiveringen en zeewater zijn ook beschikbare bronnen. Op deze locaties valt nog wat te kiezen.

In de analyse zijn ook andere knelpunten naar voren gekomen. De volgende paragrafen geven daar een nadere beschrijving van. Waar mogelijk zijn de knelpunten gekoppeld aan een oplossingsrichting:

- Lozing en onttrekking uit water met een beschermde natuurstatus (paragraaf 5.2)
- Klimaatverandering (paragraaf 5.3)
- Fluctuatie in waterkwaliteit en waterbeschikbaarheid (paragraaf 5.4)
- Lozing van brijn- en afvalwater (paragraaf 5.5)
- Lozing van warm water uit koelinstallaties; warmtelast (paragraaf 5.6)
- Beperkte waterbeschikbaarheid en mogelijkheden hergebruik (paragraaf 0)
- Beperkte waterbeschikbaarheid voor koelsystemen (paragraaf 5.8)
- Kosten en ruimtebeslag voor de waterbehandeling (paragraaf 5.9)

De laatste paragraaf (0) gaat in op enkele mogelijke toekomstige oplossingsrichtingen.

5.2 Lozing en onttrekking uit water met een beschermde natuurstatus

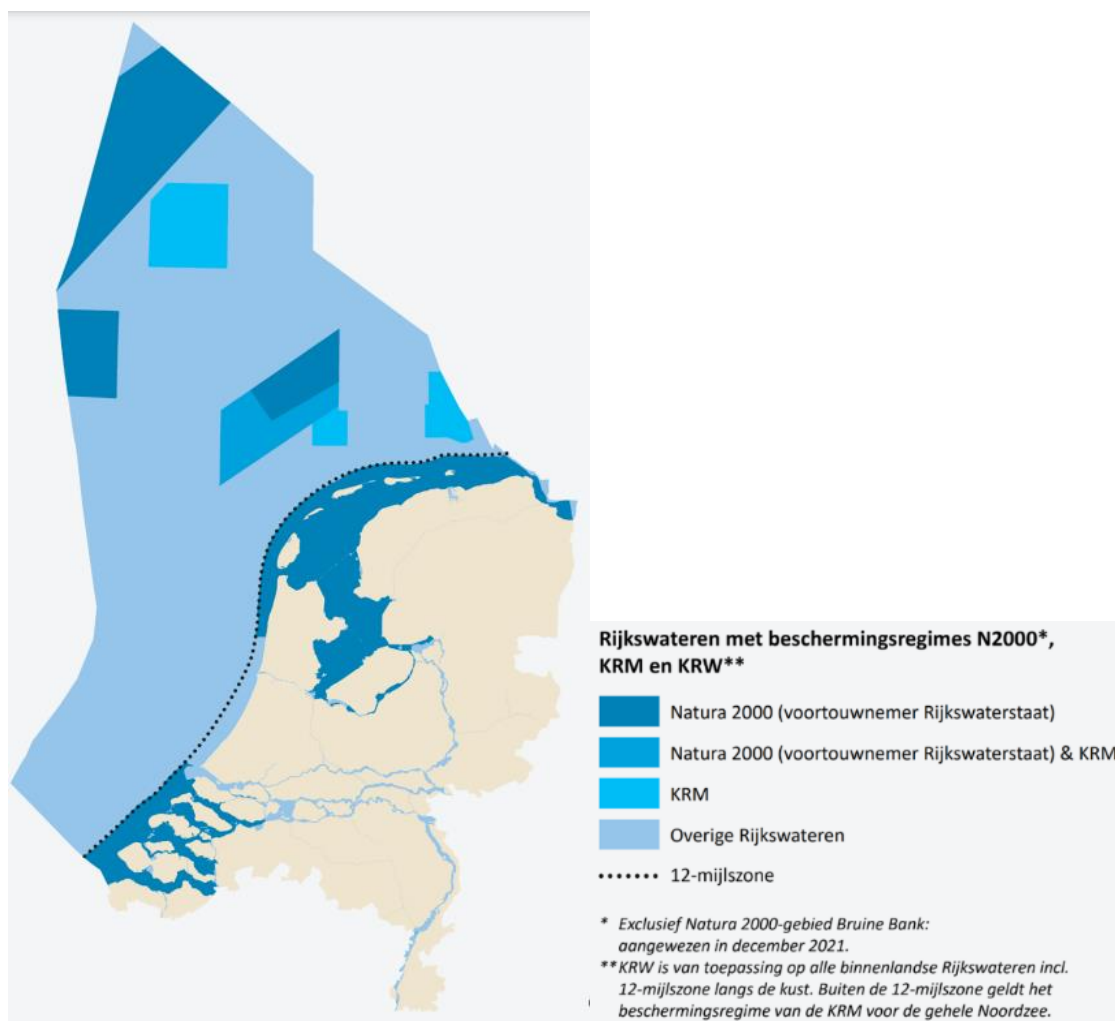
Bij het gebruik van water voor industrie is er sprake van een onttrekking van water uit een natuurlijk systeem, vaak daarna gevolgd door een lozing van afvalwater in datzelfde systeem. De natuurlijke systemen waaruit onttrokken wordt, dan wel in geloosd wordt, zijn beschermd door diverse natuurwetgeving en andere wetgeving. Bij de aanvraag van een vergunning voor de onttrekking en/of lozing zal de beoordeling aan de hand van deze wetgeving moeten plaatsvinden. Belangrijke wetgevende kaders in deze zijn: de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW), Natuurbeschermingswet en de Omgevingswet. In tabel 5-3 is weergegeven of een locatie nabij een Natura2000 gebied ligt en/of een KRW waterlichaam. Dit geeft alvast een indicatie dat rekening gehouden moet worden met deze wetgeving. Daarnaast kunnen er ook nog gebieden zijn die beschermd worden door provinciale richtlijnen, bijvoorbeeld natuur die geen Natura2000 status heeft, maar wel beschermde status heeft. Aangeraden wordt om in een vroeg stadium de vereisten vanuit natuurwetgeving in kaart te brengen.

Verder op zee liggen er ook Natura2000 gebieden, zoals Doggersbank, Bruine Bank, etc. (figuur 5-1). Daarnaast zijn er KRM-gebieden aangewezen in het kader van de Europese Kaderrichtlijn Mariene Strategie (KRM). Er zijn op dit moment drie KRM gebieden: Centrale Oestergronden, Borkumse Stenen en

Friese Front. In de toekomst zal het zuidelijke deel van de Doggersbank ook als KRM gebied aangewezen worden. Deze gebieden liggen verder van de kust af.

Tabel 5-3: Indicatie of er beschermde natuur voorkomt in de omgeving van de potentiële waterstofproductielocatie

Locaties	Kaderrichtlijn Water	Natura2000
Borsele	Westerschelde	Westerschelde
Terneuzen	Westerschelde	Westerschelde
Rotterdam	Noordelijke Deltakust, Hollandse kust, Rijn territoriaal water, Maas territoriaal water, Nieuwe Waterweg	De Noordzee ten westen en zuiden van de 2 ^e Maasvlakte is Natura2000 gebied. De vaargeul en de Nieuwe Waterweg niet, maar direct aan de andere zijde dus wel.
Noordzeekanaal	Noordzeekanaal en Hollandse kust	-
Kop van NH	Schermerboezem-Noord, Amstelmeerboezem, Wieringermeer-Oost, VRNK boezem	-
Den Helder	Hollandse kust, Rijn territoriaal water, Waddenkust, Waddenzee	De Noordzee rondom de kop van Noord-Holland, de Waddenzee en het IJsselmeer zijn allemaal Natura2000 gebieden.
Eemshaven	Eems-Dollard, Eems-Dollard kustwater	Eems en de Waddenzee
Moerdijk	Haringvliet-Oost	Hollands Diep
Geertruidenberg	Bergsche Maas, Brabantse Biesbosch, Midden Limburgse en Noord-Brabantse kanalen	Biesbosch
Tilburg	Midden Limburgse en Noord-Brabantse kanalen, Zandleij, Nieuwe Leij - Poppelse Leij – Roversche Leij – Voortseestroom, Bovenloop Donge	Rondom Tilburg liggen diverse N2000 gebieden, zoals Loonse en Drunense Duinen en Leemkuilen, Kampina en Oisterwijkse Vennen, Regte Heide en Riels Laag
Chemelot	Julianakanaal, Grensmaas	Grensmaas



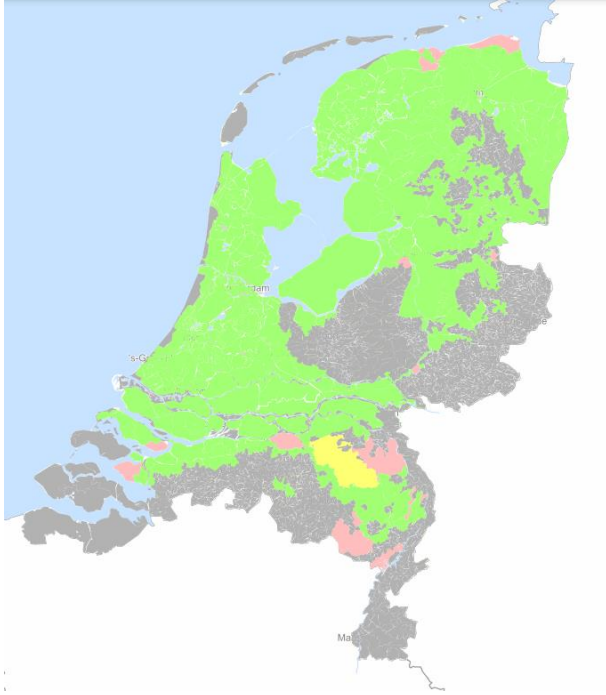
Figuur 5-1: Natura2000 gebieden en KRM in zee en in de kustregio

5.3 Klimaatverandering

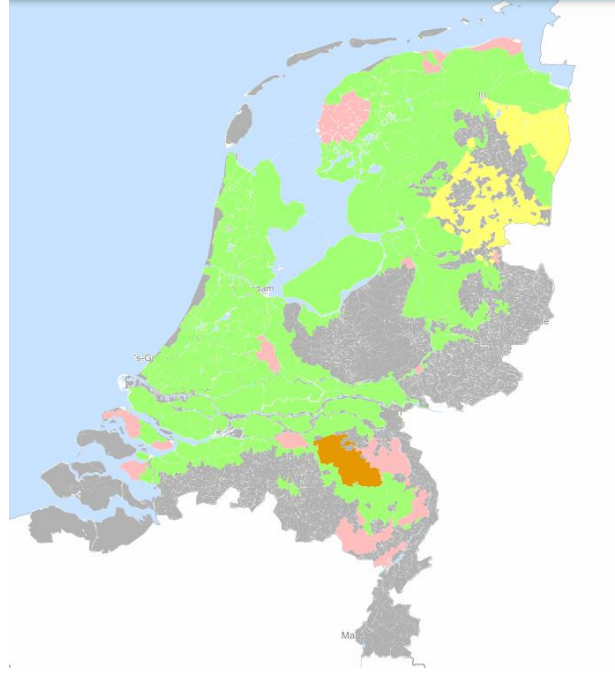
Er is veel aandacht voor het omgaan met zoet water en de beperkte beschikbaarheid daarvan in de zomer. Door klimaatverandering is de verwachting dat de tekorten in de toekomst groter worden. De afgelopen jaren is dit al zichtbaar geworden door lange aaneengesloten perioden van droogte. Waterbeheerders hebben samen afspraken gemaakt over de verdeling van het zoete oppervlaktewater, bijvoorbeeld in programma's als [Slim Watermanagement](#) en waterakkoorden.

In het [Deltaprogramma Zoetwater](#) werken partijen samen om de effecten van klimaatverandering in beeld te brengen en de nodige maatregelen te nemen. Per regio is in een knelpuntenanalyse uitgewerkt hoe groot het tekort is. In figuur 5-2 is weergegeven in welke gebieden er geen aanvoer mogelijk is en waar de tekorten optreden. Te zien is dat in een gemiddeld jaar waarin voldoende neerslag valt er in enkele regio's tekorten optreden. In een extreem droge zomer, en zeker met klimaatverandering hebben bijna alle regio's een tekort (bron: [Klimaat-effectatlas](#)). Dit betekent dat aanvragers van nieuwe onttrekkingen uit oppervlaktewater, ook voor de productie van waterstof, rekening moeten houden met tekorten aan zoet water in de zomer. Voldoende zoet oppervlaktewater is niet vanzelfsprekend. Meer gedetailleerde informatie over de knelpunten per regio zijn opgenomen in de [Knelpuntenanalyse Deltaprogramma Zoetwater](#) uit 2019 (Mens et al., 2020). In 2024 wordt een geactualiseerde knelpuntenanalyse verwacht met de nieuwste klimaatscenario's.

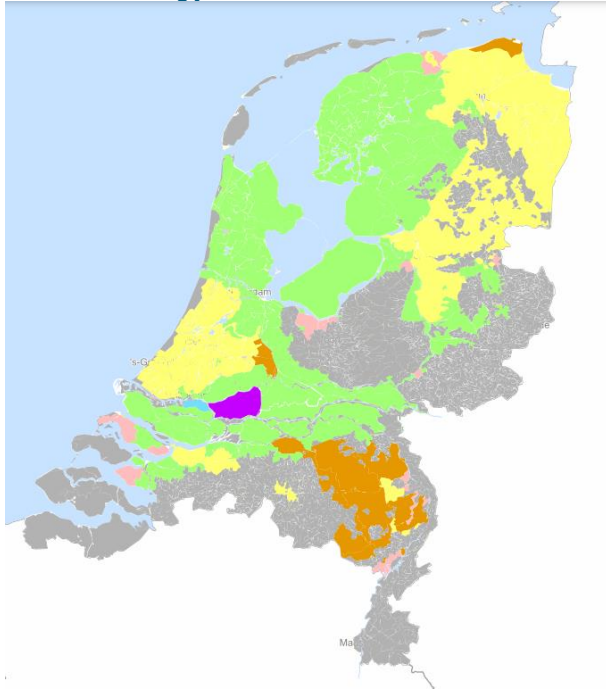
Tekort oppervlaktewater in de zomer met huidige klimaat in een gemiddeld jaar



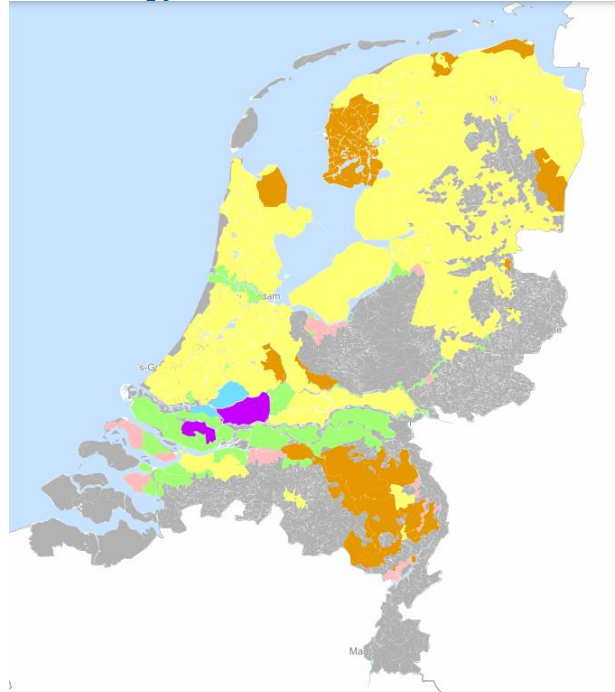
Tekort oppervlaktewater in de zomer met klimaat 2050 in een gemiddeld jaar



Tekort oppervlaktewater in de zomer met huidige klimaat in een extreem droog jaar



Tekort oppervlaktewater in de zomer met klimaat 2050 in een extreem droog jaar



Legenda



Figuur 5-2: Tekorten zoet water in huidige situatie en met toekomstig klimaat (Bron: klimaateffectatlas)

5.4 Fluctuatie in waterkwaliteit en waterbeschikbaarheid

De waterkwaliteit en waterbeschikbaarheid is variabel. Dit kan per dag, per seizoen en afhankelijk van de waterbron variëren.

Waterkwaliteit

Voor het ontwerp van de waterbehandeling is een stabiele waterkwaliteit het prettigste. Een stabiele waterkwaliteit zorgt ervoor dat de waterbehandeling optimaal verloopt. De kwaliteit van de meeste bronnen is echter niet helemaal stabiel. In het ontwerp van de waterbehandeling moet dan worden uitgegaan van de worst-case watersamenstelling, zodat ook in deze situaties er water beschikbaar is voor de waterstofproductie. Een voorbeeld: als in een brak water het zoutgehalte dagelijks fluctueert door het in- en uitstromende getijde, dan wordt de waterbehandeling gedimensioneerd op het hoogste zoutgehalte.

Voor zeewater wordt aangenomen dat de waterkwaliteit stabiel is gedurende het hele jaar. De temperatuur fluctueert wel beperkt afhankelijk van het seizoen. Voor zoet en brak oppervlaktewater geldt een variatie afhankelijk van het jaargetijde of zelfs gedurende de dag. Voor brak oppervlaktewater is er dagelijkse variatie van het zoutgehalte van het water door getijdenbewegingen. Ook in rivierwater is de kwaliteit niet stabiel. In droge tijden is het rivierwater zouter, dan in natte perioden.

Fluctuaties in de kwaliteit van het oppervlaktewater zijn niet beperkt tot het zoutgehalte. Ook andere parameters zijn relevant. Om dit te illustreren waarom dit relevant is geven we een voorbeeld voor de stikstofconcentratie in het oppervlaktewater. In de winter ligt die hoger dan in de zomermaanden. Aangezien stikstof verwijderd wordt tijdens de waterbehandeling, is de stikstofconcentratie in het brijnwater in de winter hoger. Voor enkele oppervlaktewateren is er een streefwaarde voor een winter-DIN afgeleid. Dit is een streefwaarde die is afgeleid voor het oppervlaktewater (vanuit de KRW) voor opgeloste anorganische stikstofverbindingen (ammonium, nitriet en nitraat) in de winter. Dit kan resulteren in strikte eisen gesteld aan het geloosde brijn ten aanzien van de lozing van stikstof. Of dit van toepassing is, is sterk locatieafhankelijk.

Voor RWZI-effluent geldt ook dat er continue variatie is in de samenstelling. Dit komt doordat afvalwater van een rioolwaterzuivering niet altijd hetzelfde is door variabel influent. Naast huishoudelijk afvalwater stroomt er ook regenwater naar de rioolwaterzuiveringen. De waterkwaliteit varieert daardoor tussen natte en droge dagen. Dit leidt onder andere tot fluctuaties in nutriënten.

De temperatuur van het oppervlaktewater is uiteraard ook variabel. Belangrijkste aspect hierbij is dat bij koeling idealiter oppervlaktewater met een lage temperatuur wordt gebruikt. Bij hogere temperaturen wordt koeling minder efficiënt en, bovenal, oppervlaktewater boven de 25 °C is ongewenst en kan betekenen dat er tijdelijk geen koelwater kan worden onttrokken op warme dagen, omdat de temperatuur van het water dan te hoog wordt om weer te lozen op het oppervlaktewater.

Waterbeschikbaarheid

De waterbeschikbaarheid van oppervlaktewater varieert met de seizoenen. In de droge zomers neemt de rivierafvoer af. Tegelijkertijd neemt de verdamping toe, de watervraag voor peilhandhaving en beregening gaat omhoog en de behoefte aan doorspoelwater om verzilting tegen te gaan neemt toe. Om met dit knelpunt zo goed mogelijk rekening te houden is in de analyse voor de waterbeschikbaarheid gewerkt met zomerdebieten in droge omstandigheden met lage rivierafvoeren.

Indien er sprake is van een langere periode van droogte en een lage afvoer van de rivieren, komt de LCW (Landelijke Coördinatiecommissie Waterverdeling) in actie. De LCW adviseert over maatregelen om het beschikbare water te verdelen op basis van de verdringingsreeks, waarin een rangorde van behoefte is vastgelegd bij watertekort. Dat gebeurt zodanig dat de schade zo veel mogelijk geminimaliseerd wordt. De

belangenafweging is aan de waterbeheerders, in afstemming met de gebruikers en betrokken departementen. Als waterstof in gebieden een rol gaat spelen voor de energieleveringszekerheid, zal dit in geval van watertekort als zodanig meegewogen moeten worden. Door klimaatverandering zal het in de toekomst naar verwachting steeds vaker voorkomen dat door landelijk watertekort de verdringingsreeks in werking wordt gesteld.

In het geval er een tijdelijk onttrekkingsverbod is (door watertekort, of vanuit waterkwaliteit of temperatuur ingegeven) is het nodig om een alternatief te hebben voor de watervoorziening. Dit kan zijn een alternatieve waterbron of voorraadvorming. Als dit niet mogelijk is, kan het nodig zijn om de waterstofproductie tijdelijk te staken.

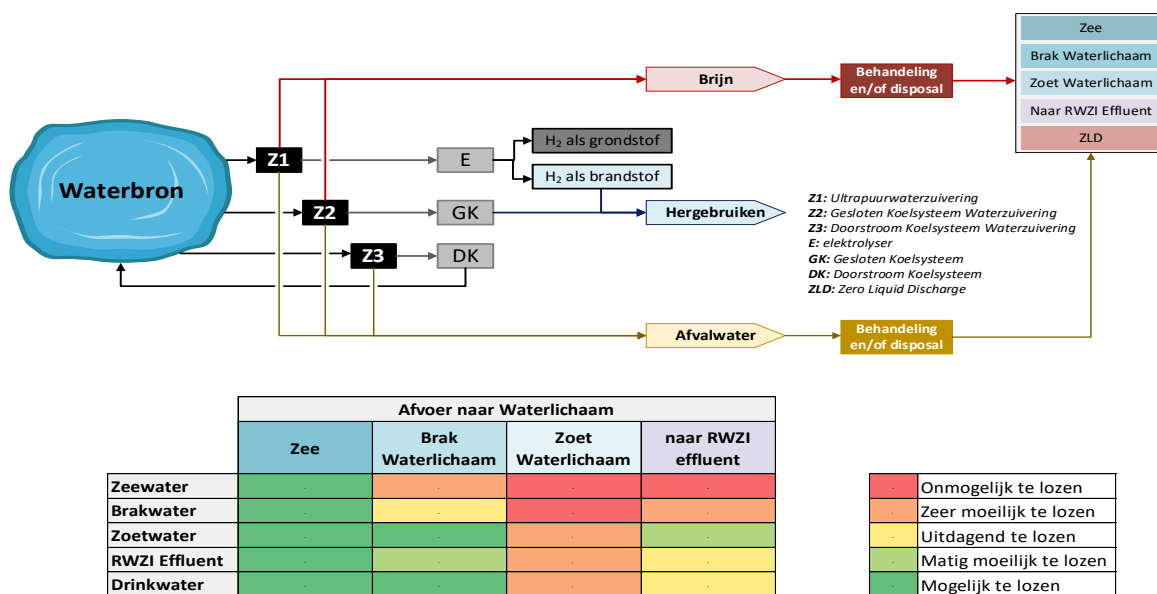
Aangezien het gaat om grote hoeveelheden water die nodig zijn in de elektrolyzers gaat het om flinke buffers die nodig zijn voor voorraadvorming. Onderstaande eenvoudige berekening toont aan hoe groot een watertank van 3 meter hoog moet zijn om een buffer aan te leggen voor een 1 GW elektrolyser.

- Watervraag = 1,1 – 1,5 miljoen m³/jaar per GW.
- Onttrekkingsverbod van 1 maand → 3 – 4 ha buffer van 3 meter hoog/diep
- Onttrekkingsverbod van 1 week → 0,7 – 1,0 ha buffer van 3 meter hoog/diep

5.5 Brijn- en afvalwaterlozing

In paragraaf 3.3 is beschreven dat door de waterbehandeling die nodig is om te voorzien in de waterbehoefte voor elektrolyzers ook brijn- en afvalwater wordt gegenereerd. Daarnaast wordt bij het gebruik van gesloten koelsystemen koelwaterspui gevormd. Deze waterstromen moeten op een gedegen manier worden behandeld of afgevoerd/geloods.

Brijn bevat geconcentreerd zout en andere verontreinigingen, in samenstelling afhankelijk van het ingenomen water. Het verschil in de samenstelling van het gevormde brijn heeft hiermee direct impact op de mogelijkheid om het brijn te lozen op diverse oppervlaktewatersystemen. Om dit snel inzichtelijk te maken is een kleurentabel opgenomen in figuur 5-3.



Figuur 5-3. Schematische weergave van de potentiële afstroomroutes van de diverse waterstromen.¹⁰

¹⁰ Demiwater is hierin buiten beschouwing gelaten, omdat er vrijwel geen brijn vrijkomt uit de productie van ultrapuur water uit brijn. Brijn komt wel vrij bij de producent van het demiwater.

Afhankelijk van de samenstelling is hierin aangegeven of een lozing haalbaar (geen significant negatieve impact op de waterkwaliteit) wordt geacht of niet. Met donkergroen wordt aangegeven dat een lozing naar verwachting de beste mogelijkheid heeft om niet tot een verslechtering van de oppervlaktewaterkwaliteit te leiden. Dit betekent hiermee echter niet dat de lozing geen achteruitgang van de waterkwaliteit op zal leveren op stofniveau.

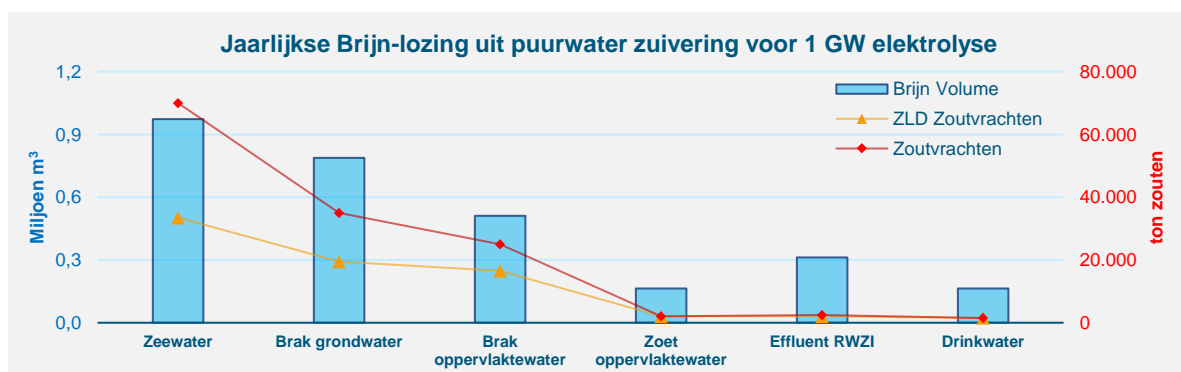
De waterkwaliteit verschilt per oppervlaktewaterlichaam en daarmee is ook de impact van een lozing op ieder watersysteem anders. Om dit inzichtelijk te krijgen moet per geloosde parameter per lozingslocatie een immissietoets worden uitgevoerd.

In deze studie naar waterbeschikbaarheid wordt slechts globaal naar de lozing gekeken. De impact van de lozing wordt daarbij op twee vlakken op hoofdlijnen beschouwd, waarbij het enerzijds gaat om de algehele saliniteit en anderzijds om de lozing op stofniveau voor aandachtstoffen.

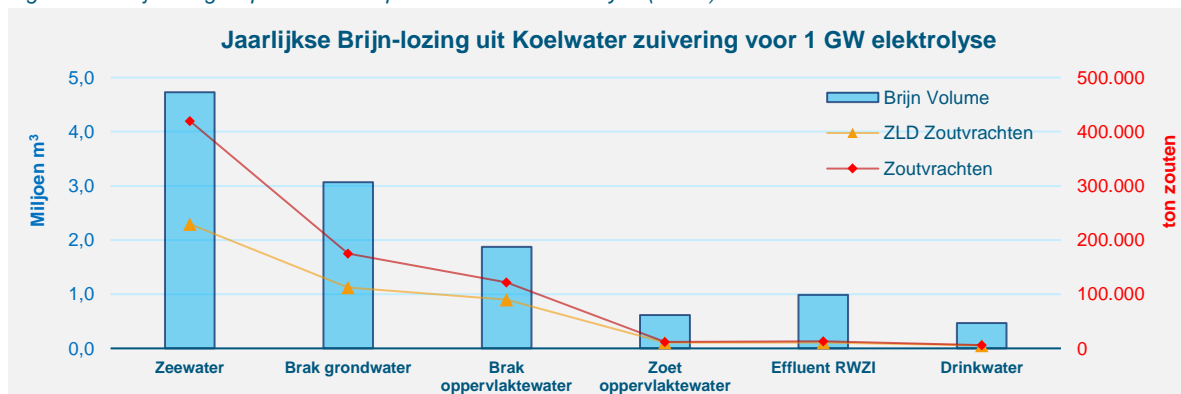
Saliniteit en zero liquid discharge (ZLD)

De tabel van potentiële lozingsroutes in figuur 5-3 is voornamelijk gericht op de saliniteit van het brijn. Als het ingenomen oppervlaktewater zouter is, wordt ook de zoutvracht in het geloosde brijn hoger. Het brijnvolume wordt eveneens hoger bij hogere zoutconcentraties in het ingenomen water, omdat de recovery van het ingenomen water afneemt, zoals toegelicht in paragraaf 3.1.

In onderstaande figuur 5-4 en figuur 5-5 is, respectievelijk voor ultrapuurwater- en koelwaterproductie, grafisch weergegeven met een staafdiagram wat de brijnlozing is in volume per waterbron en met een rode lijn wat de zoutvracht is in ton per waterbron. De zoutvracht betreft de totale hoeveelheid zout als aanwezig in het brijn. Uit de grafiek blijkt duidelijk dat de hoeveelheid zout veel hoger ligt voor zeewater dan bijvoorbeeld zoet oppervlaktewater.



Figuur 5-4: Brijnlozing uit productie ultrapuur water voor elektrolyse (1 GW)



Figuur 5-5: Brijnlozing uit productie koelwater voor gesloten koelsysteem (1 GW)

Een mogelijk toekomstige oplossing is zero liquid discharge (ZLD), waarbij al het water wordt gescheiden van het zout (een energie-intensief proces) en er alleen vast afval in de vorm van zout overblijft. Implementatie van ZLD wordt interessant zodra het zout een hoge zuiverheid heeft en het hierdoor mogelijk nuttig kan worden gebruikt in andere toepassingen. Voordeel van ZLD is dat het water uit het brijn wordt teruggewonnen en opnieuw worden gebruikt in de productie van ultrapuur water voor elektrolyse of demiwater voor gesloten koelsystemen. Hierdoor neemt de watervraag af en dus daalt de zoutvracht eveneens. De resterende zoutvracht bij ZLD is weergegeven met de gele lijn in figuur 5-4 en figuur 5-5.

De zoutvracht kan voor de beeldvorming ook worden geduid in afvoer in vrachtwagens per dag. Voor de ultrapuurwaterproductie (bij zoutvracht in brijnoplossing) komt per 1 GW elektrolyse:

- Ca. 70.000 ton zout vrij bij gebruik zeewater. Dit is ca. 35.000 m³ zout. Dit komt overeen met ca. 4 – 5 vrachtwagens (20 m³) per dag.
- Ca. 2.000 ton zout vrij bij gebruik zoet oppervlaktewater. Dit is ca. 1.000 m³ zout en komt overeen met ca. 1 vrachtwagen (20 m³) per week.

Brijnlozing

Als het gaat om hoeveelheden brijn voor een 1 GW elektrolyser, zoals aangegeven in figuur 5-4, zou de meest gangbare route voor brijnlozing uit ultrapuurwaterproductie de directe lozing van het brijn zijn. Op basis van het zoutgehalte is deze route normaliter vergunbaar, zoals aangegeven in de tabel in figuur 5-3. Bijvoorbeeld als zeewater wordt gekozen als waterbron kan het brijn normaliter weer worden geloosd op zee, maar zal het niet kunnen worden geloosd op een zoet oppervlaktewaterlichaam vanwege de verzilting van het zoete oppervlaktewater.

Voor de immissietoets zijn milieukwaliteitseisen vastgelegd waaraan getoetst kan worden. Voor zouten, zoals chloride, kalium, natrium, sulfaat, zijn geen milieukwaliteitseisen vastgesteld in zoute wateren, omdat het effect hiervan op de waterkwaliteit beperkt wordt geacht. Vanuit de KRW wordt er vooral gestuurd op de toestand van het watersysteem. Een watersysteem mag geen achteruitgang laten zien van de fysisch-chemische kwaliteitstoestand.

Vanuit bovenstaande toelichting wordt de lozing van brijn op basis van saliniteit op zout water (zee) als (normaliter) toelaatbaar ingeschat. Hierbij speelt mee dat er aan de Nederlandse kust te allen tijde sprake is van een zeestroming (ook factoren als wind spelen daarbij verder nog een rol) waardoor menging met het oppervlaktewater beter is dan wanneer het een stilstaand water betreft.

Bij een lozing van brijn op zoet oppervlaktewater dient het effect van de lozing voor individuele parameters, bijvoorbeeld chloride en sulfaat, getoetst te worden aan de immissietoets om de achteruitgang van de waterkwaliteit vast te stellen. Om een voorbeeld te schetsen:

Op de Bergsche Maas geldt een GEP/MKE van 300 mg/l voor chloride. Dit betekent dat op de rand van de mengzone (een afstand x van het lozingspunt ($x = 10x$ breedte watersysteem)) de waterkwaliteitstoestand niet mag verslechteren met meer dan 10% concentratietoename en tevens niet mag leiden tot overschrijding van de MKE van 300 mg Cl/l. Indien er reeds sprake zou zijn van overschrijding van de MKE zonder toedoen van de lozing vanuit de elektrolyse, dan gelden beperkt andere criteria.

Met andere woorden, bij iedere nieuwe lozing dient te worden getoetst aan de immissietoets op alle individuele parameters, of deze stof mogelijk kan worden geloosd met het brijn/koelwater. Dit geldt zowel voor zouten (vooral relevant voor zoete oppervlaktewateren) als voor overige componenten in het brijn, zoals metalen.

Voor individuele parameters zijn bij indikking vooral normoverschrijdende stoffen relevant. In veel locaties in Nederland zijn dit onder andere arseen en kwik en enkele PAK's. Daarnaast wordt opgemerkt dat op enkele locaties relatief strenge eisen gelden voor stikstof-totaal of de winter-DIN (winterwaarde voor opgeloste anorganische stikstofverbindingen) vanuit de KRW.

Bijvoorbeeld voor het Eems-Dollard geldt 1,33 mg N/l als winter-DIN. Indien nabij Eems-Dollard water wordt onttrokken en weer worden geloosd als brijn, dan kan de indikking hebben geleid tot te hoge lozingsconcentraties van stikstof. Met de immissietoets kan de toelaatbaarheid worden getoetst en of aanvullende maatregelen noodzakelijk worden geacht.

Bij wateren met een hoge doorstroming, zoals de Nieuwe Waterweg bij het Botlekgebied in Rotterdam, heeft een lozing in mindere mate een negatieve impact en dit betekent dat de lozing op stofniveau minder snel leidt tot overschrijding en achteruitgang van de waterkwaliteit.

Afvalwater

Afvalwater van de reiniging van membranen en afvalwater van de filtratiestap (zoals UF) bevatten chemicaliën die zijn toegepast in de reiniging/coagulatie en moeten daardoor normaliter worden behandeld voor de verwijdering van slib en chemische verontreinigingen. Zeker afvalwater van CIP (zie paragraaf 3.3.2) is normaliter zo sterk verontreinigd dat lozing zonder een behandelingsstap hiervan onmogelijk wordt beschouwd.

Na de afvalwaterbehandeling (in dit rapport buiten beschouwing gelaten) kan het afvalwater worden geloosd met het brijn of worden hergebruikt in het waterbehandelingsproces voor de productie van ultrapuur water of demiwater.

Koelwaterspui

Aan gesloten koelsystemen worden normaliter chemicaliën toegevoegd, zoals ter bescherming tegen corrosie en aangroei. Dit kan gevolgen hebben voor de toelaatbaarheid van de lozing op oppervlaktewater (onder andere toxiciteit van de additieven en de geloosde vrachten spelen hierin een rol) en moet mogelijk worden behandeld alvorens lozing plaats kan vinden.

Na een behandeling kan er eventueel ook worden gekozen voor waterhergebruik door het water opnieuw te gebruiken voor de productie van ultrapuur water of demiwater, zie paragraaf 5.7.

5.6 Lozing van warm water uit koelinstallaties (warmtelast)

Het gebruik van een doorstroomkoelsysteem voor de koeling van elektrolyzers resulteert in een warmtelozing op het oppervlaktewater. In tabel 5-4 zijn de locaties getoond waar in potentie genoeg water beschikbaar is voor een doorstroomkoelsysteem. Het lozen van warm koelwater kan nadelige effecten hebben voor de waterkwaliteit. Vanuit de Kaderrichtlijn Water geldt bijvoorbeeld een maximale oppervlaktewatertemperatuur van 25 °C. In de zomer is de ruimte om koelwater te lozen daarom beperkt. Een nieuwe koelwaterlozing kan ook nadelige effecten hebben voor benedenstrooms gelegen partijen die water onttrekken. Denk daarbij aan drinkwaterbedrijven, waterschappen die rivierwater inlaten en benedenstrooms gelegen industrie. Voor het lozen van koelwater moet daarom een vergunning worden aangevraagd. De mogelijkheid tot het lozen van de warmtevracht is zeer locatie-specifiek en kan tevens afhankelijk zijn van andere warmtelozingen in de nabijheid van het lozingspunt dat wordt gebruikt ten behoeve van de waterstofproductielocaties. Per situatie en locatie dient dit nader beschouwd te worden. Het advies is om dit vroegtijdig uit te zoeken en daarbij rekening te houden met de nieuwe beoordelingssystematiek warmtelozingen die in ontwikkeling is (momenteel geldt nog de CIW beoordelingssystematiek warmtelozingen 2004-11).

Tabel 5-4: Locaties waar voldoende water beschikbaar is voor doorstroomkoeling

Bronnen / Locaties	Zeewater	Brak oppervlaktewater
Borsele	geen	Westerschelde
Terneuzen	geen	Westerschelde
Rotterdam	Noordzee	Nieuwe Waterweg
Noordzeekanaal	Noordzee	Noordzeekanaal
Den Helder	Noordzee of Waddenzee	geen
Eemshaven	Waddenzee	Eems

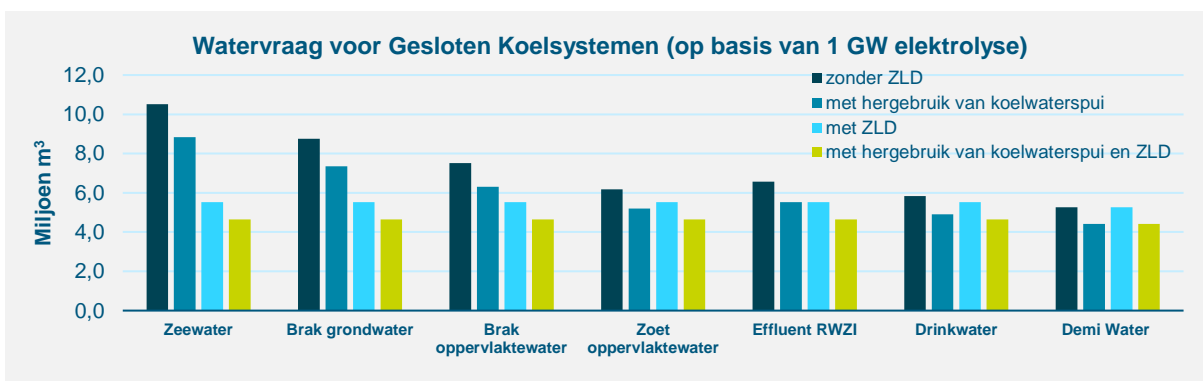
Paragraaf 5.10.4 gaat in op de toekomstige oplossingsrichtingen, waarbij gegenereerde warmte nuttig ingezet kan worden.

5.7 Beperkte waterbeschikbaarheid en mogelijkheden waterhergebruik

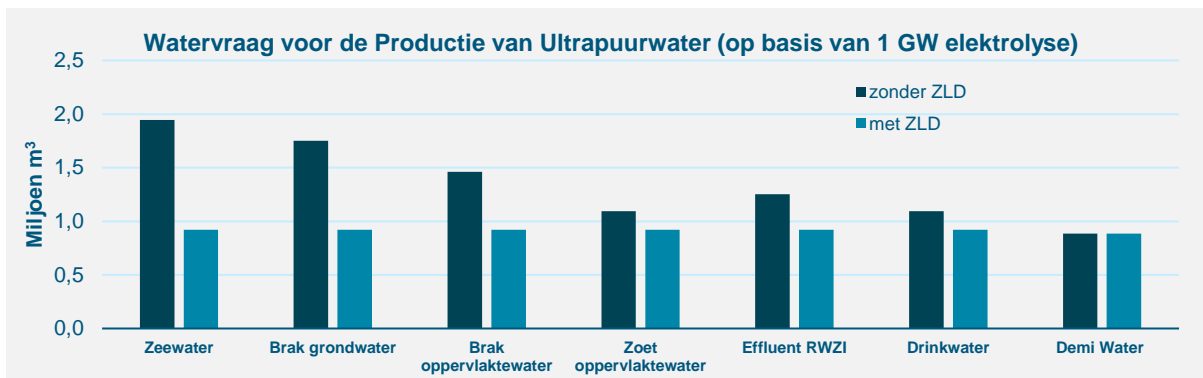
Koeling is de grootste waterverbruiker bij waterstofproductie. In het geval van gesloten koeling is het belangrijk om het koelwaterspui niet als afval te beschouwen, maar als een waterbron die kan worden hergebruikt om het waterbehandelingsprocessen te voeden. Door het koelwaterspui opnieuw te gebruiken, wordt de vraag naar ruw water verminderd.

Een andere manier om de afhankelijkheid van ruw water te verminderen, is de implementatie van Zero-Liquid-Discharge (ZLD) technologieën. Zoals eerder vermeld, leidt dit tot vaste bijproducten, maar biedt het mogelijkheden om de terugwinning te maximaliseren (>98%) en de inname van ruw water te verminderen. Het belangrijkste nadeel is de hoge energievraag voor dit soort technologieën. In paragraaf 0 noemen we mogelijke oplossingen in toekomstige ontwikkelingen.

Figuur 5-6 en figuur 5-7 illustreren de impact van het implementeren van ZLD op de brijnlozing van de koelwater- of ultrapuurwaterproductie en het eventuele hergebruik van koelwaterspui op de totale vraag naar ruw water uit verschillende bronnen voor zowel de elektrolyser als het gesloten koelsysteem (op basis van een elektrolyser capaciteit van 1 GW).



Figuur 5-6. Vergelijking tussen de vraag naar ruw water voor een gesloten koelsysteem voor een elektrolyser met een capaciteit van 1 GW wanneer waterhergebruik eventueel wordt toegepast. De beschouwde situaties omvatten (1) geen waterhergebruik en geen ZLD-technologieën met de donkerste blauwe kleur, (2) hergebruik van koelwaterspui en geen ZLD-technologieën met blauwe kleur (3) implementatie van ZLD-technologieën zonder hergebruik van koelwaterspui in lichtblauwe kleur, en (4) implementatie van ZLD-technologieën met hergebruik van koelwaterspui in het groen.



Figuur 5-7. Vergelijking tussen de vraag naar ruw water voor de productie van ultrapuur water voor een elektrolyser met een capaciteit van 1 GW wanneer waterhergebruik eventueel wordt toegepast. De beschouwde situaties omvatten (1) geen ZLD-technologieën met donkerblauwe kleur (2) implementatie van ZLD-technologieën in lichtblauwe kleur.

Zoals vermeld in paragraaf 5.5, wordt ook afvalwater geproduceerd binnen de waterbehandelingsprocessen voor zowel koelwater als water voor de elektrolyse. Afhankelijk van de kwaliteit van dit water en de vereiste voorbehandeling, is het mogelijk om deze stroom te hergebruiken en terug te voeren naar het waterbehandelingssysteem om de waterterugwinningsrendementen te verhogen en de vraag naar ruw water licht te verminderen, maar het effect is gering (<<5% van het totale ruwe water).

Potentieel hergebruik van vrijgekomen water bij het gebruik van waterstof

Wanneer waterstof als brandstof wordt gebruikt, wordt er water geproduceerd. Daarom zou, in theorie, de geproduceerde waterstroom als waterbron kunnen fungeren¹¹. Een aanzienlijk deel van het waterstofgebruik valt echter bij voorbaat af om eventueel vrijkomend water te hergebruiken. Bijvoorbeeld omdat het waterstofgebruik te verspreid plaatsvindt, denk hierbij aan het gebruik van waterstof in vrachtwagens in de transportsector. Of omdat de waterstof geëxporteerd wordt, of waterstof gebruikt wordt als grondstof in een chemisch proces en daarom geen waterstroom genereert, zoals bijvoorbeeld bij kunstmestproductie het geval is. Voor een deel van de waterstofvraag vanuit de industrie zal het laatstgenoemde gelden, daarnaast bestaat het gebruik van waterstof in de industrie ook voor een deel uit het genereren van (hoge temperatuur) warmte, waarbij wél een waterstroom vrijkomt.

Slechts een deel van het totale waterstofgebruik leent zich voor eventuele waterproductie. De meer kansrijke toepassingen worden hieronder toegelicht, uitgaande van de categorieën waterstofvragers benoemd in de ii3050 scenario's.

Waterstof als brandstof voor warmtegeneratie (op hoge temperatuur)

Waterstof kan worden ingezet als brandstof t.b.v. warmteproductie. Goed om te vermelden is dat bij deze toepassing het water vrijkomt als waterdamp op zeer hoge temperatuur, en daarom aanzienlijk gekoeld moet worden om effectief als (vloeibare) waterbron te kunnen fungeren. Daarnaast zijn de reactieproducten die vrijkomen bij de verbranding van waterstof, evenals bij andere verbrandingsreacties, nooit helemaal zuiver. Tijdens de verbranding zullen er ook andere reacties optreden, denk hierbij aan de vorming van NOx emissies bijvoorbeeld. Hierdoor is de waterdamp niet geheel zuiver en zijn er additionele zuiveringsstappen nodig om een zuivere waterstroom te kunnen produceren.

Waterstofgebruik voor elektriciteitsproductie

De elektriciteitsproductie in brandstofcellen, waarbij de elektrolyse reactie omgekeerd wordt, levert eveneens een waterstroom op. Waterstof reageert met zuurstof (afkomstig uit de lucht) tot water waarbij er stroom gegenereerd wordt. Hierbij is een zuivere waterstroom wél te verwachten, op een aanzienlijk lagere

¹¹ Bij de verbranding van 1 kg waterstof wordt er 9 kg water(damp) gevormd.

temperatuur, hetgeen deze waterstroom aanzienlijk kansrijker maakt om te worden hergebruikt. Echter is deze waterstofvraag relatief klein ten opzichte van de totale vraag. Uitgaande van zo'n 120 kton/jaar (gebaseerd op een ii3050 scenario), zou dit maximaal ongeveer 1 miljoen kuub water per jaar opleveren, een zeer geringe hoeveelheid t.o.v. de algehele watervraag.

5.8 Beperkte waterbeschikbaarheid voor koelsystemen

In paragraaf 3.1 is beschreven dat er diverse koelsystemen toegepast kunnen worden. Afhankelijk van de waterstofproductielocatie zijn er beperkingen in de waterbeschikbaarheid (zie hoofdstuk 4) en dit beïnvloedt hiermee ook het type koelsysteem dat gebruikt kan worden op de waterstofproductielocatie. In figuur 5-8 is dit globaal schematisch weergegeven. Met de kaart is in grijs tinten de afstand tot de kust (en offshore) aangegeven. Onder de kaart is in het bovenste deel met blauwtinten aangegeven welke bronnen er beschikbaar zijn bij de diverse locaties. Met rode tinten is in het onderste deel van het schema aangegeven welke koelsystemen per locatie het beste kunnen worden toegepast op basis van de waterbeschikbaarheid.

Met het lichtste rood is een doorstroomkoelsysteem aangeduid. Dit type koelsysteem heeft de minste waterbehandeling nodig, maar wel de hoogste watervraag (het verliest geen water in het koelsysteem, maar heeft een warmtevracht bij lozing). Gesloten koelsystemen hebben een lagere watervraag, maar meer waterbehandeling nodig. Gesloten koelsystemen verbruiken ook water door verdamping (ca. 80% verlies).

Hybride koelsystemen (lucht + water) hebben een beperkte watervraag, waarbij de watervraag vooral afhankelijk is van de buitentemperatuur. In de zomermaanden ligt hierdoor de watervraag voor hybride koelsystemen hoger dan in de wintermaanden. Nadeel is dus dat juist de zomermaanden normaliter de maanden zijn waarin droogte een rol kan spelen. Implementatie van lucht in koelsystemen resulteert in hoger energieverbruik en meer ruimte-inname. Er bestaan ook luchtkoelsystemen zonder watervraag, wat een groot voordeel is. Het energieverbruik en de ruimte-inname van luchtkoelsystemen ligt echter het hoogst ten opzichte van de andere koelsystemen.¹²

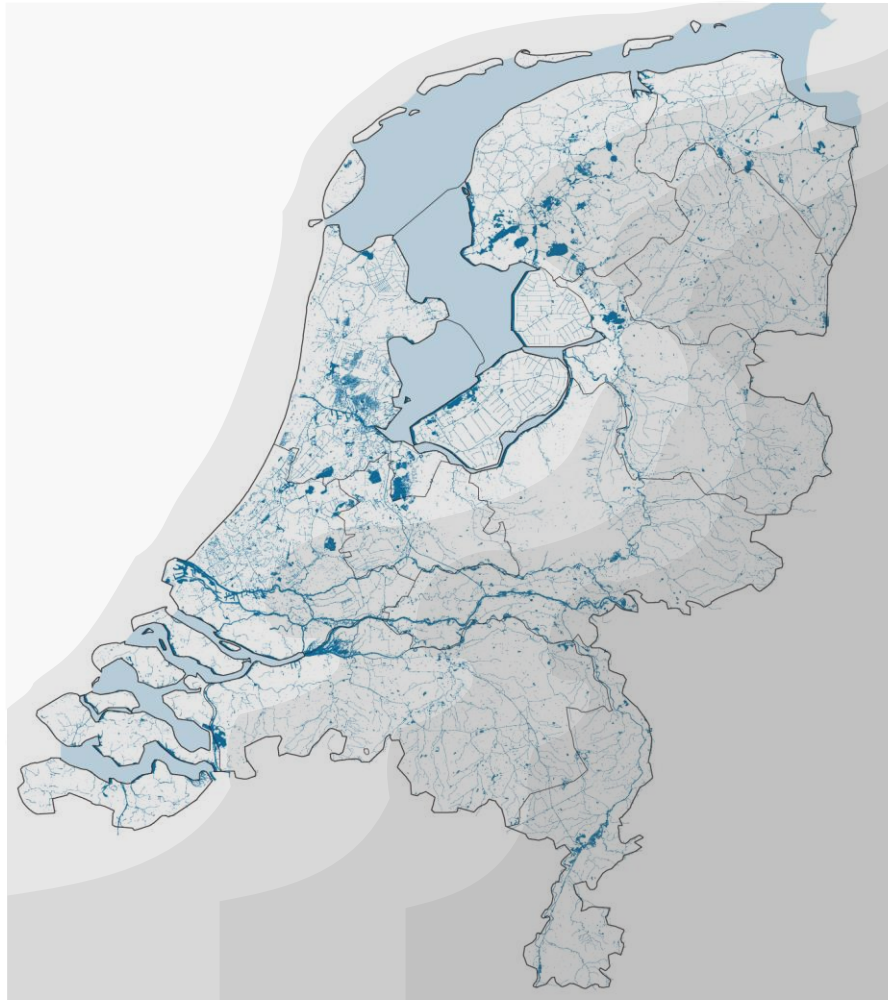
Offshore is het gebruik van doorstroomkoelsystemen de meest voor de hand liggende keuze¹³ in verband met de onbeperkte beschikbaarheid van zeewater en het energieverbruik ten opzichte van luchtkoelsystemen of hybride koelsystemen lager ligt. Ver in het binnenland kan juist het gebruik van luchtkoelsystemen of hybride koelsystemen uitkomst bieden als de waterbeschikbaarheid daar lager ligt.

Het wordt daarnaast aangekaart dat de keuze voor het type koelsysteem, naast waterbeschikbaarheid, door meerdere aspecten wordt beïnvloed, welke dienen te worden beschouwd volgens een multi-criteria analyse. Het betreft hierbij onder andere de ruimtebeschikbaarheid, meteorologische gegevens van de locatie, energieverbruik en de water-, geluid- en luchtmissies (bron: RVO (2015) Best Practice Waterkoeling).

Paragraaf 5.10.1 gaat in op toekomstige ontwikkelingen die betrekking hebben op de efficiëntie van de elektrolyser en mogelijk de (koel)watervraag verminderen.

¹² Luchtkoelsystemen kunnen aanvullend ook tot geluidshinder leiden.

¹³ Nadeel van de doorstroomkoelsystemen is de milieu-impact op het aquatisch milieu



Locatie	Offshore	kustgebied	Binnenland dichtbij brak- en zoetwaterbron	Binnenland dichtbij zoetwater bron	Binnenland met beperkt waterbronnen
Water bron beschikbaarheid	Zeewater		Brakwater		
				Zoetwater	
				Drinkwater	
	RWZI effluent				
Type Koelsystemen	Elektrolyse met Doorstroomkoelsystemen			Elektrolyse met Gesloten Koelsystemen	
				Elektrolyse met Hybride koelsystemen	
				Elektrolyse met Lucht-koelsystemen	

Lagere waterkraag

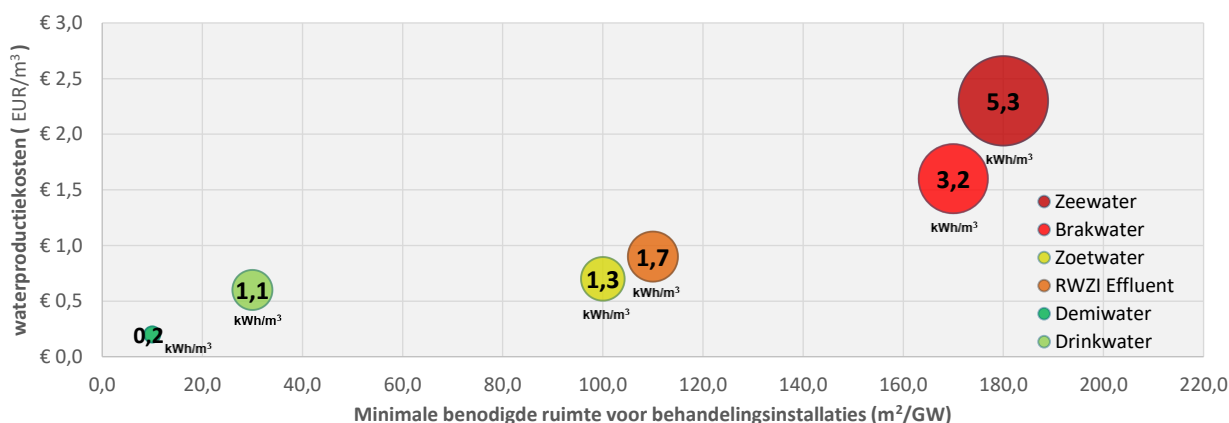
Hoger energieverbruik en ruimte

Figuur 5-8. Beschikbaarheid van de waterbronnen van de kust tot binnenland en de mogelijke koelsystemen

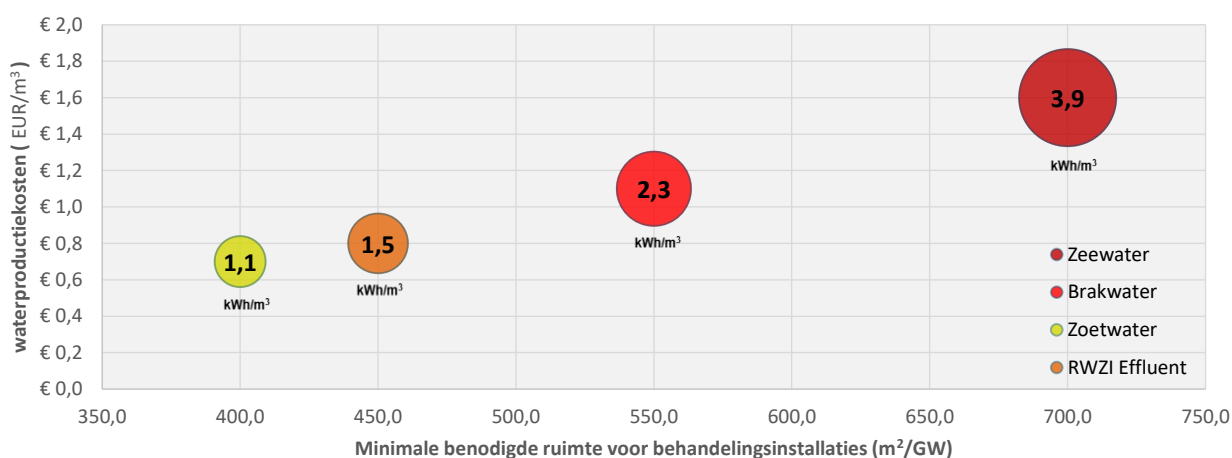
5.9 Kosten en ruimtebeslag voor waterbehandeling

Om een globaal overzicht te krijgen van de kosten en de benodigde ruimte van de waterbehandelingsinstallaties zijn figuur 5-9 en figuur 5-10 opgesteld. De kosten op de y-as geven de totale kosten weer van het beheer/eigendom en is ingeschat op basis van de globale bouwkosten en operationele kosten zoals beschreven in paragraaf 3.1.¹⁴ In de uitgangspunten, paragraaf 1.4, zijn enkele aannames beschreven waarop de totale kosten zijn berekend. Op de x-as is de minimale benodigde ruimte per GW voor de waterbehandelingstechnieken weergegeven in vierkante meter (hiermee worden de 'kale' installaties bedoeld, dus exclusief bijvoorbeeld transportleidingen, gebouwen, opslag en bufferfaciliteiten). Met de cirkels is weergegeven wat de energieconsumptie is voor de productie van 1 m³ ultrapuur water voor elektrolyse (figuur 5-9) of demiwater voor gesloten koelsystemen (figuur 5-10).

Het is belangrijk om op te merken dat de kosten en ruimte bij de bronnen drinkwater en demiwater alleen betrekking hebben op de nabehandelingsactiviteiten om ultrapuur water of koelwater te produceren en niet op de inkooprij, verbruikte energie en ruimtebeslag in drinkwater- of demiwaterbedrijven. Ook de ruimtevraag van grondwaterbeschermingsgebieden is buiten beschouwing gelaten.



Figuur 5-9. Kosten tegenover de ruimte-inname voor ultrapuurwaterproductie voor elektrolyse, inclusief energieverbruik voor de waterbehandeling per waterbron. De kosten en ruimte zijn geschat op basis van de vereiste hoofdwaterzuiveringsstappen met een marge van ±50%. De inkooprij van demiwater en drinkwater, en innamekosten van andere bronnen zijn buiten beschouwing gelaten.



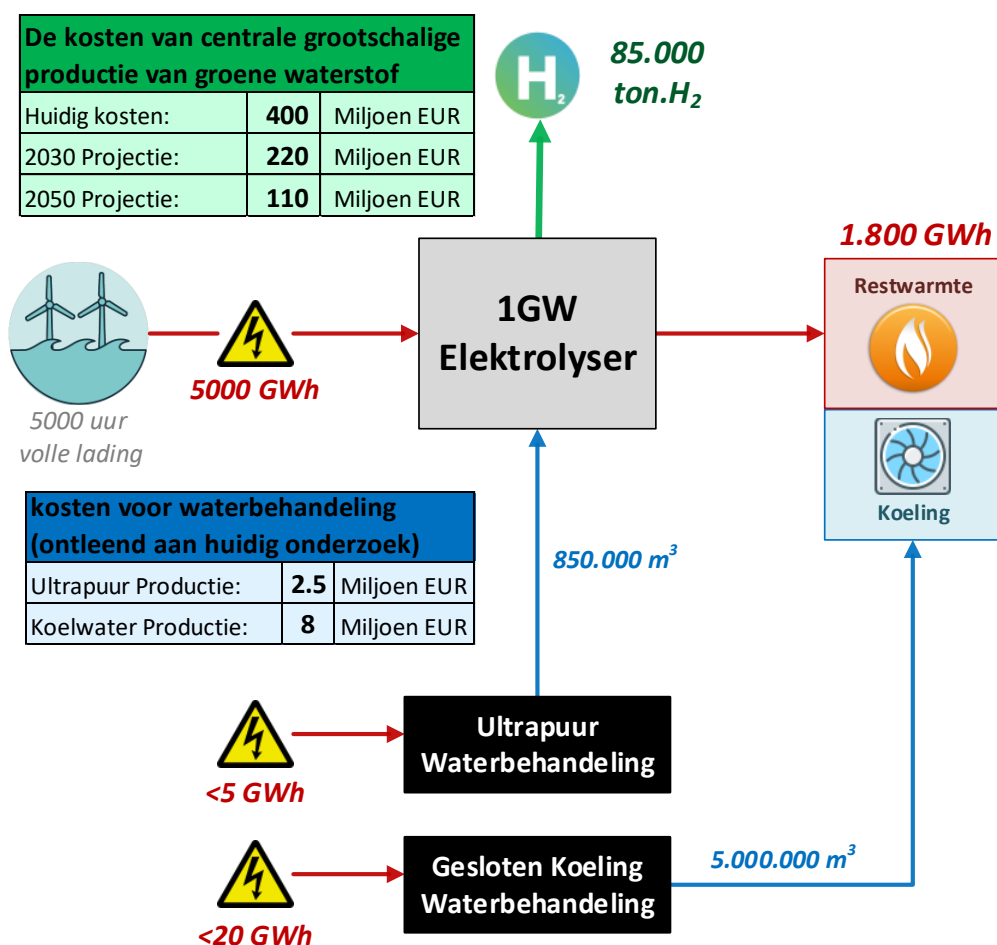
Figuur 5-10. Kosten tegenover de ruimte-inname voor waterproductie gesloten koelsysteem, inclusief energieverbruik voor de waterbehandeling per waterbron. De kosten en ruimte zijn geschat op basis van de vereiste hoofdwaterzuiveringsstappen met een marge van ±50%. De kosten voor de inname van waterbronnen zijn buiten beschouwing gelaten.

¹⁴ Totale kosten van beheer/eigendom is berekend als: (CAPEX + 10 jaar OPEX) / 10 jaar waterproductie

Uit de figuren kan direct worden opgemaakt dat bij een toenemende saliniteit van het ingenomen water ook de kosten, de ruimte-inname en de energievraag voor waterbehandeling toenemen.

De benodigde energie, het ruimtebeslag, de kosten van waterbehandeling en, eerder, de beschikbaarheid van water voor verschillende locaties zijn beschreven. Door alleen deze factoren te vergelijken en een beslissing te nemen over de keuze van de waterbronnen, kunnen andere mogelijkheden over het hoofd worden gezien. Als we de energievraag en de kosten van waterzuivering en waterstofproductie in perspectief plaatsen, zien we dat de hoogste kosten van waterzuivering (voor zeewater) slechts 2 – 10% van de totale kosten van waterstofproductie zijn, gebaseerd op de huidige projecties en projecties in 2030 en 2050, zie figuur 5-11. Als we het energieverbruik van de waterzuivering vergelijken met het totale energieverbruik is het minder dan 0,5%. Bovendien, als de kosten alleen worden vergeleken voor ultrapuur water, is het 0,5 – 2,0%, indien waterkoeling niet wordt geïmplementeerd.

Kortom, de kosten van waterbehandeling vormen een klein deel van de totale kosten van waterstofproductie. In figuur 5-11 is ook de energievraag en geproduceerde restwarmte opgenomen. Het gebruik van restwarmte wordt beschouwd in paragraaf 5.10.3.



Figuur 5-11. Globaal overzicht van de jaarlijkse kosten en energievraag en restwarmte voor 1 GW elektrolyse

5.10 Toekomstige oplossingen

Deze laatste paragraaf van dit hoofdstuk gaat in op toekomstige oplossingen. Eerst wordt de energiemix in 2025, 2030 en 2050 in beeld gebracht om de impact van waterstof en de vraag naar water te laten zien (paragraaf 5.10.1) en vervolgens ontwikkelingen met betrekking tot elektrolyse (paragraaf 5.10.2), centralisatie van water- en waterstofproductie (paragraaf 5.10.3) en het gebruik van gegenereerde warmte in het waterproductieproces (paragraaf 5.10.4).

5.10.1 Watervraag voor energieproductie 2025-2030-2050

Om in kaart te brengen hoe de watervraag in de energiesector per 2025, 2030 en 2050 zal veranderen in relatie tot elektrolyse, is de watervraag van de totale energieproductie in kaart gebracht aan de hand van bestaande scenario's en in literatuur beschikbare kengetallen over de watervraag van verschillende productietechnologieën. Deze analyse omvat echter niet de watervraag voor de totale energievoorziening (zoals in Figuur 4-1 weergegeven).

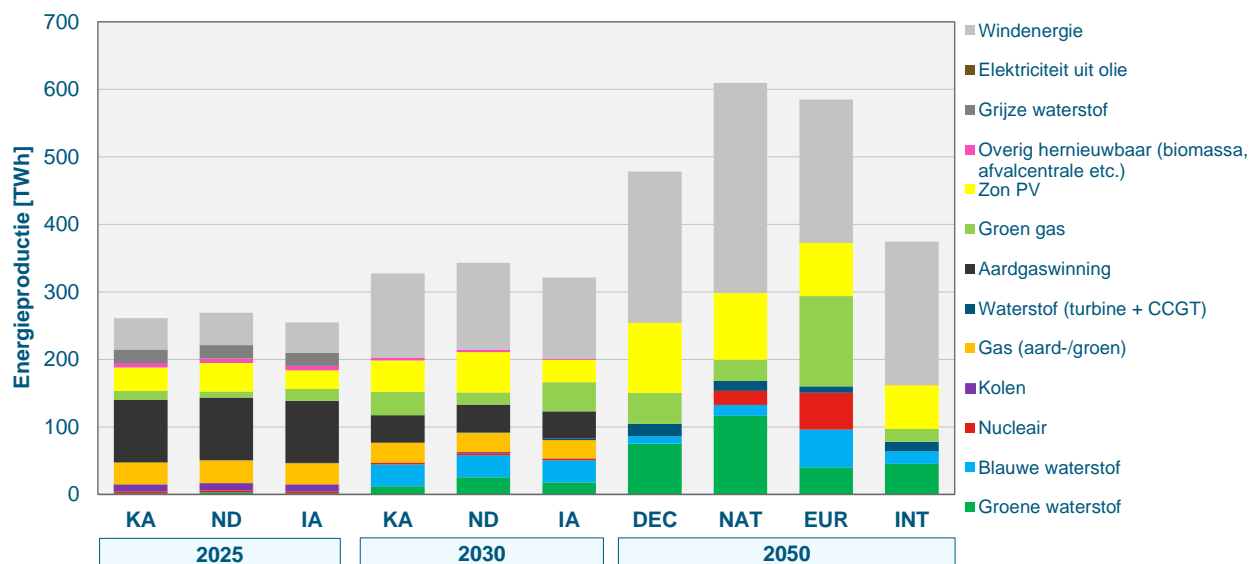
De verwachte wereldwijde watervraag voor de energiesector neemt naar verwachting toe van ongeveer 40 miljard m³ in 2021 naar 58 miljard m³ in 2030 (Bron: [IEA](#)), ondanks een afname van 13 miljard m³ van 2021 naar 2030 voor fossiele brandstoffen (productie, behandeling, transport, incl. elektriciteitsproductie). Het is daarom geen zekerheid dat door de sluiting van fossiele energiecentrales water beschikbaar komt voor waterstofproductie d.m.v. elektrolyse. Om in kaart te brengen hoe de watervraag in de energiesector per 2025, 2030 en 2050 zal veranderen in relatie tot elektrolyse, is de watervraag van de productie van elektriciteit, groen gas en waterstof in kaart gebracht. Hierbij is gekeken naar productie van energie in Nederland, exclusief import, distributie, opslag en verkoop van energie. Bij de productie van waterstof gaat het om grijze waterstof (via SMR, Steam Methane Reforming), blauwe waterstof (via SMR + CCS, carbon capture & storage) en groene waterstof (via elektrolyse)¹⁵.

Voor de productie van elektriciteit, groen gas en waterstof in Nederland in 2025 en 2030 is uitgegaan van de IP2024 scenario's en voor 2050 is uitgegaan van de II3050v2 scenario's, zie Figuur 5-12. Bijlage 4 bevat de uitgebreide energiemix voor de energieproductie in 2025, 2030 en 2050 in de genoemde scenario's. Hierbij zijn de volgende aannames gedaan:

- Er wordt vanuit gegaan dat de waterstofverbrandingscentrales een gelijke hoeveelheid koelwater gebruiken als aardgasverbrandingscentrales. Dit is een mogelijk onderschatting van de watervraag aangezien de verbranding van waterstof op hogere temperatuur plaatsvindt dan aardgas (voornamelijk methaan). Tevens komt bij de verbranding van waterstof water vrij. Op dit moment is er nog te weinig onderzoek gedaan naar zowel het koelwatervraag als de waterproductie van waterstofcentrales op grote schaal waardoor geen accurate inschatting gedaan kan worden.
- De watervraag voor zonne-energie is gebaseerd op zonnepanelen in het bezit van nutsbedrijven en hierbij zijn particuliere zonnepanelen dus uitgesloten. Echter, verwacht wordt dat hier een nauwelijks verschil inziet aangezien koelsystemen niet van toepassing zijn.
- Doorstroom koelsystemen zijn als uitgangspunt genomen om een "worst-case" scenario weer te geven in elke energiesector, behalve bij de verbranding in afvalcentrales (uitsluitend aanwezig in het KA scenario, 2030). Hier is een koeltoren het uitgangspunt, wat een relatief lager watervraag vereist dan doorstroomkoeling.

¹⁵ Waterstof kan bijvoorbeeld ook geproduceerd worden uit kolen of d.m.v. methaanpyrolyse. Deze technologieën maken echter geen onderdeel uit van de scenario's gebruikt voor deze analyse.

- De watervraag vereist voor de verbranding van aardgas of groen gas is gebaseerd op een traditionele stoomturbine om een “worst-case” scenario weer te geven. Hierin is geen verschil gemaakt tussen verbranding van aardgas of groen gas. Wanneer gebruikt gemaakt wordt van een *combined cycle* energiecentrale wordt de watervraag drie keer zo laag.
- Uitsluitend de watervraag voor de energieproductie binnen Nederland is meegenomen in de analyse. Export, import, transport en mijnbouw buiten Nederland zijn dus buiten beschouwing gelaten.
- De analyse in deze studie focust op de productie van elektriciteit, groen gas en waterstof. Ten opzichte van andere analyses van watervraag in de energiesector, die bijv. alle activiteiten omvatten gedefinieerd bij NACE code D (Rev 2.1), is deze analyse dus niet representatief voor de totale watervraag in de energiesector volgens deze definitie. Deze activiteiten omvatten o.a. distributie en opslag van elektriciteit; productie, distributie en opslag van gasvormige brandstoffen; productie en distributie van stoom, warm water en gekoelde lucht; opslag van thermische energie. De totale watervraag in de energiesector is dus groter dan de watervraag in dit rapport.



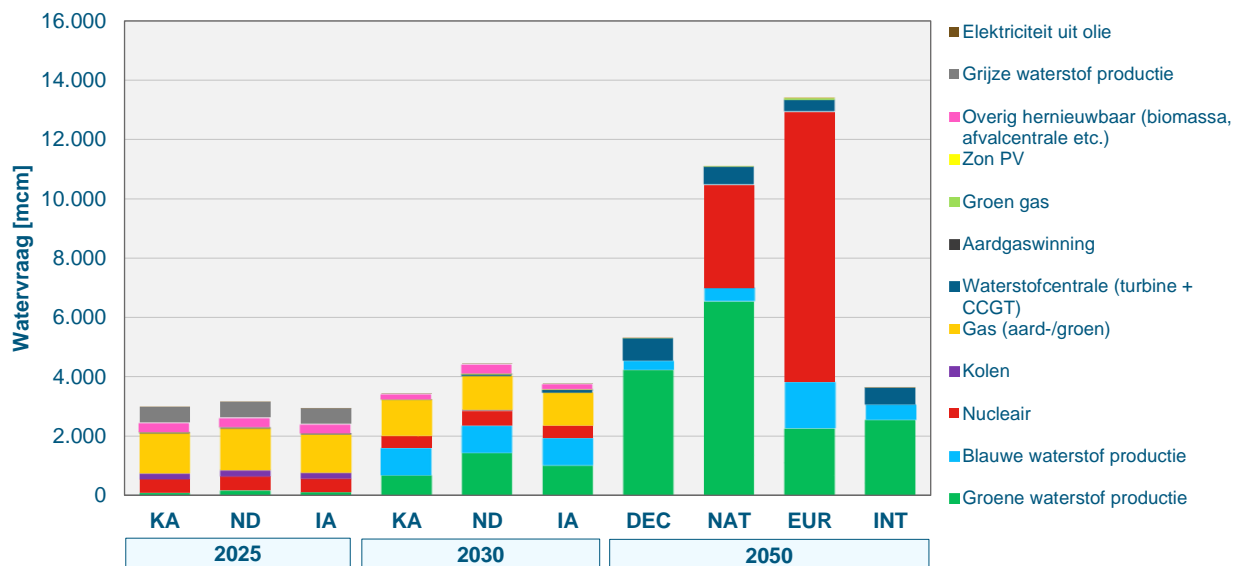
Figuur 5-12. De voorspelde energieproductie in Nederland in de IP2024 (2025, 2030) en II3050v2 (2050) scenario's.

In Figuur 5-13 is de watervraag voor de energieproductie in Nederland weergegeven in de verschillende scenario's.

Wanneer de watervraag vergeleken wordt met de energie die geproduceerd wordt in elk scenario is duidelijk te zien dat de watervraag voor groene en blauwe waterstofproductie significant hoger is dan voor bijvoorbeeld gasegestookte centrales of zonne-energie. Ook is te zien dat het produceren van nucleaire energie mogelijk een grote koelwatervraag heeft¹⁶. Dit resulteert dan ook een stijging in de watervraag in de scenario's van 2030 en 2050, waar de waterstofproductie en nucleaire energieproductie toeneemt zoals door de uitfasering van fossiele brandstoffen. Het scenario INT in 2050 bevat veel import van waterstof, wat leidt tot een lagere watervraag voor waterstofproductie in Nederland. De achtergrondinformatie (volledige tabellen en de gemaakte aannames) staat in Bijlage 4.

¹⁶ Het gaat bij kernenergie om grotendeels doorstroomkoeling. Eventueel kunnen de mogelijkheden voor luchtcooling bij kernenergie worden onderzocht.

Naast de watervraag zijn ook andere factoren van invloed op de verdere ontwikkeling van de waterstofproductie, zoals kosten, vraagontwikkeling, CO₂-voetafdruk, innovatie en de ontwikkeling van waterbesparende technieken, ruimtelijke inpassing en maatschappelijke acceptatie.



Figuur 5-13. Totale watervraag voor de voorspelde energieproductie in 2030 en 2050. Van het eindgebruik van waterstof in 2025 is tussen 78-81% voor energiedoelinden, in 2030 tussen 44-53% en in 2050 tussen 45-66%. Het overige eindgebruik bestaat uit eindgebruik als grondstof, distributieverliezen en export.

Watervraag voor productie van grijze, blauwe en groene waterstof

Blauwe en groene waterstof worden geproduceerd volgens verschillende routes, resulterend in een verschillende watervraag per ton geproduceerde waterstof. Beide productiemethodes gebruiken water als grondstof en als koelmiddel, zoals voor groene waterstof staat beschreven in hoofdstuk 3.

Grijze waterstof wordt traditioneel geproduceerd door middel van aardgas in een Steam Methane Reformer (SMR). Hierbij reageert aardgas eerst met waterdamp tot koolmonoxide en waterstof. Vervolgens reageert het koolmonoxide met waterdamp tot koolstofdioxide en waterstof. Als de koolstofdioxide vervolgens wordt afgevangen en wordt opgeslagen of gebruikt in andere processen, waardoor het niet in de lucht wordt uitgestoten, spreekt men van blauwe waterstof. Bij dit proces worden temperaturen bereikt van 350 – 450 °C, waardoor er koelvermogen nodig is.

De totale watervraag in een SMR is ongeveer de helft van de watervraag voor groene waterstofproductie. Dit resulteert in een watervraag van ongeveer ~5 m³/ton-H₂ (als grondstof), ~30 m³/ton-H₂ (voor een gesloten koelsysteem), ~900 m³/ton-H₂ (voor een doorstroomkoelsysteem). Een luchtkoelsysteem verbruikt geen water. Een hybride koelsysteem heeft minder watervraag dan een gesloten koelsysteem, maar meer dan een luchtkoelsysteem.

Naast blauwe waterstofproductie door SMR zijn er ook andere methoden, zoals Autothermal Reforming (ATR), die de energie-efficiëntie en zuiverheid van de koolstofdioxidestroom vergroten en daarmee een kleinere CO₂-voetafdruk kunnen realiseren. Echter maakt ATR geen deel uit van de gehanteerde scenario's voor 2025, 2030 en 2050. Daarnaast wordt op verscheidene plekken in de wereld waterstof geproduceerd op basis van kolen, waarvan ook de CO₂ afgevangen zou kunnen worden om blauwe waterstof te produceren. Dit onderzoek neemt enkel productie via SMR in beschouwing.

5.10.2 Toekomstige ontwikkelingen in elektrolyse

Er wordt op het moment uitgebreid onderzoek gedaan naar elektrolyse, van meer fundamenteel onderzoek naar vloeistof- en gasstromen in de elektrolysecellen tot aan studies waarin grootschalige elektrolyse wordt geïntegreerd in een landelijk energiesysteem. Ieder type elektrolyser heeft eigen uitdagingen waaraan gewerkt wordt, zo zijn AEM en SOEC nog in een ontwikkelstadium en nog nooit op grote schaal toegepast. Alkaline en PEM zijn daarentegen wel in een volwassen stadium en kennen andere uitdagingen, alkaline met name op het gebied van efficiëntie en ruimtebeslag, PEM meer op het gebied van het verminderen van gebruik van schaarse metalen.

In het kader van waterbeschikbaarheid voor grootschalige elektrolyse is vooral de ontwikkeling van de efficiëntie van de elektrolyser van belang, aangezien dit rechtstreeks verband houdt met de hoeveelheid benodigd koelwater. Daarnaast zal de watervraag voor de elektrolyse reactie zelf, waaruit de waterstof wordt gewonnen, in de toekomst niet veranderen, aangezien dat watergebruik (~10 m³/ton H₂) inherent onderdeel is van het elektrolyseproces.

Volgens de International Renewable Energy Agency (IRENA), zal de efficiëntie van elektrolyzers in de toekomst toenemen van zo'n 65% naar zo'n 76% op basis van de onderste verbrandingswaarde van waterstof¹⁷. Dit vertaalt zich in een verminderde koelbehoefte van zo'n 16 kWh/kgH₂ naar zo'n 12 kWh/kgH₂ in de toekomst. De watervraag voor koeling schaaft proportioneel met deze afname. Voor een gesloten koelsysteem betekent dit een afname in de watervraag van zo'n 60 m³/tonH₂ naar zo'n 42 m³/tonH₂.

¹⁷IRENA, 2021, *Making the breakthrough: Green hydrogen policies and technology costs*

5.10.3 Gecentraliseerde oplossing

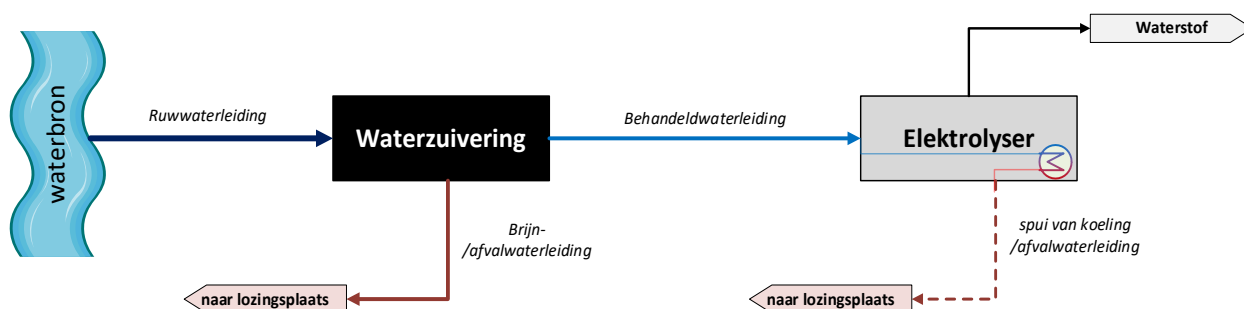
Een mogelijk toekomstige oplossing zou kunnen zijn om over te stappen van water- en waterstofproductie op afstand naar gecentraliseerde oplossingen.

Van decentraal

Wanneer water voor elektrolyse op de ene locatie wordt geproduceerd en getransporteerd naar een andere locatie voor de elektrolyse, zijn de volgende transportleidingen nodig, zie ook figuur 5-14:

- Transportleiding van ruw water naar waterbehandelingsinstallatie;
- Transportleiding van behandeld water naar elektrolyse-installatie;
- Transportleiding van geproduceerd afvalwater en pekkel in waterbehandelingsprocessen naar behandelings- of lozingslocatie;
- Transportleiding van koelwater en reinigingsafvalwater van elektrolyzers naar behandel- of lozingspunt.

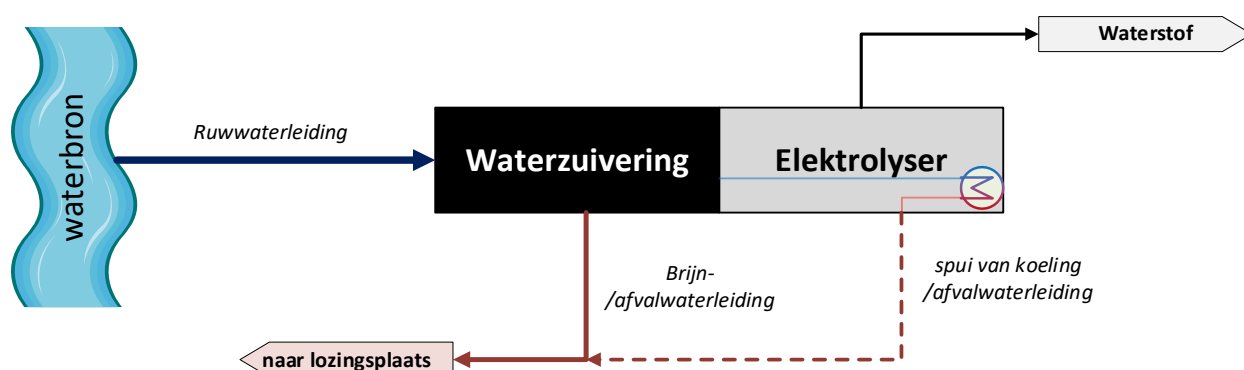
Transport vergt energie en hoge investeringen om infrastructuur aan te leggen en te onderhouden. Onderhoud is een grotere uitdaging als de locaties ver uit elkaar liggen. Een ander aspect om rekening mee te houden is de leveringszekerheid, met name voor ultrapuur water voor elektrolyzers. Soms is het nodig om op de locatie van de elektrolyser polishing stappen te plaatsen om er zeker van te zijn dat de kwaliteit gewaarborgd is.



Figuur 5-14. Overzicht watertransporten van waterbron naar elektrolyser, inclusief transport naar lozingsplaatsen.

Naar centraal

Als water en waterstof op dezelfde locatie worden geproduceerd, is een voordeel dat de vereiste transportleidingen beperkt blijven tot ruwwater en de afvoer van brijn/afvalwater, zie figuur 5-15. Aangezien het behandelde water rechtstreeks naar de elektrolyser wordt geleid, wordt de bezorgdheid over de leveringszekerheid geminimaliseerd. Bovendien nemen de mogelijkheden voor hergebruik van water toe. Als bijvoorbeeld een gesloten koelsysteem wordt geïmplementeerd, kan het effluent van het koelsysteem worden hergebruikt en naar de waterzuiveringsinstallatie worden geleid.

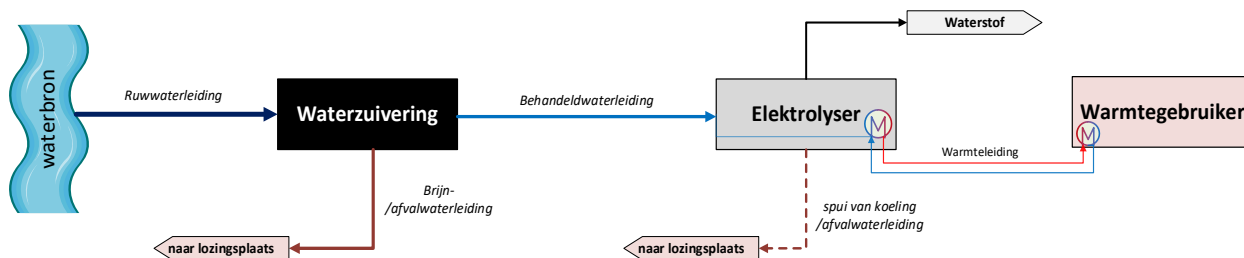


Figuur 5-15. Overzicht watertransporten bij gecentraliseerde water- en waterstofproductie.

5.10.4 Gebruik van gegenereerde warmte

Gebruik van restwarmte kan het koelvermogen van de waterstofproductie verlagen. Vermindering van het koelvermogen vermindert de vraag naar water voor koeling en verlaagt de kosten van waterbehandeling.

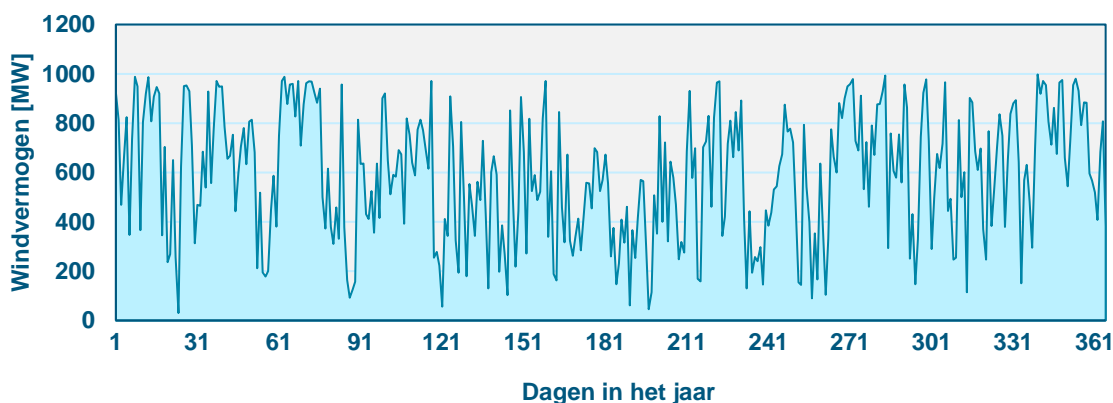
Zoals eerder vermeld, is er voor de implementatie van waterkoelsystemen voor elektrolyse veel water nodig, een stuk meer dan voor ultrapuur water voor elektrolyse. Het is echter mogelijk om de watervraag t.b.v. koeling te verminderen en de gegenereerde warmte nuttig toe te passen, zie figuur 5-16.¹⁸



Figuur 5-16. Gebruik van gegenereerde warmte door een elektrolyser

De omvangrijke warmteproductie bij grootschalige elektrolyse biedt perspectief voor integratie met (nabijgelegen) warmtevragers, vanuit technisch en veiligheids-technisch oogpunt. Per gigawatt elektrolyse-capaciteit gaat het om zo'n 210 MW nuttig uit te koppelen warmte. De warmte-integratie kan met zowel industriële partijen alsook de gebouwde omgeving worden aangegaan.

Een belangrijk aspect hierbij is dat de grootschalige elektrolyzers in Nederland aan een windpark zullen worden gekoppeld en daarom geen constant productieprofiel hebben, maar een sterk variërend profiel zoals te zien in figuur 5-17. Dat wil niet zeggen dat het productieprofiel van de elektrolyser en daarmee de warmteproductie altijd één-op-één het windprofiel volgt. Bijvoorbeeld als er een 2 GW windpark met een 1 GW elektrolyser wordt gekoppeld, dan is het productieprofiel afhankelijk van welk deel van de opgewekte windenergie naar de elektrolyser gaat en welk deel in het elektriciteitsnet wordt ingevoerd. EU-regels leggen de voorwaarden voor stroomafname voor een elektrolyser vast (Europese Unie, 2023).



Figuur 5-17 Typisch windprofiel van een 1 GW windpark op de Noordzee.

¹⁸ Om de gegenereerde warmte nuttig toe te passen en de daling van de watervraag te kunnen kwantificeren zijn aanvullende studies noodzakelijk, zoals:

- Studies naar de waarde van de vrijkomende warmte van elektrolyzers en de impact van het type elektrolyser
- Ontwikkeling van technologieën voor efficiënt gebruik van warmte en warmte-integratie
- Warmtegebruik door een eindgebruiker waarvoor wisselende warmtevoorziening acceptabel is (er is niet altijd windenergie voorhanden en dus draaien elektrolyzers niet altijd op volle capaciteit)

Dit zal overigens wel tot gevolg hebben dat een dergelijke warmte-uitkoppeling altijd gepaard zal gaan met warmte-opslag. Daarnaast geldt voor ieder integratieproces, d.w.z. wanneer de uitgaande stroom van het ene proces fungeert als de ingaande stroom van een ander proces, dat die processen dan in zekere mate afhankelijk van elkaar zijn, hetgeen risico's t.o.v. derden met zich mee brengt.

RoyalHaskoningDHV heeft de uitkoppeling van warmte afkomstig van elektrolyzers reeds onderzocht in specifieke contexten en heeft ervaring met het onderzoeken van de haalbaarheid van warmte-netten en brononderzoeken. Vanuit die onderzoeken komt ook een sterk beeld van situatie-afhankelijkheid naar voren. Of de uitkoppeling van deze warmtestroom haalbaar is, hangt helemaal af van de lokale context.

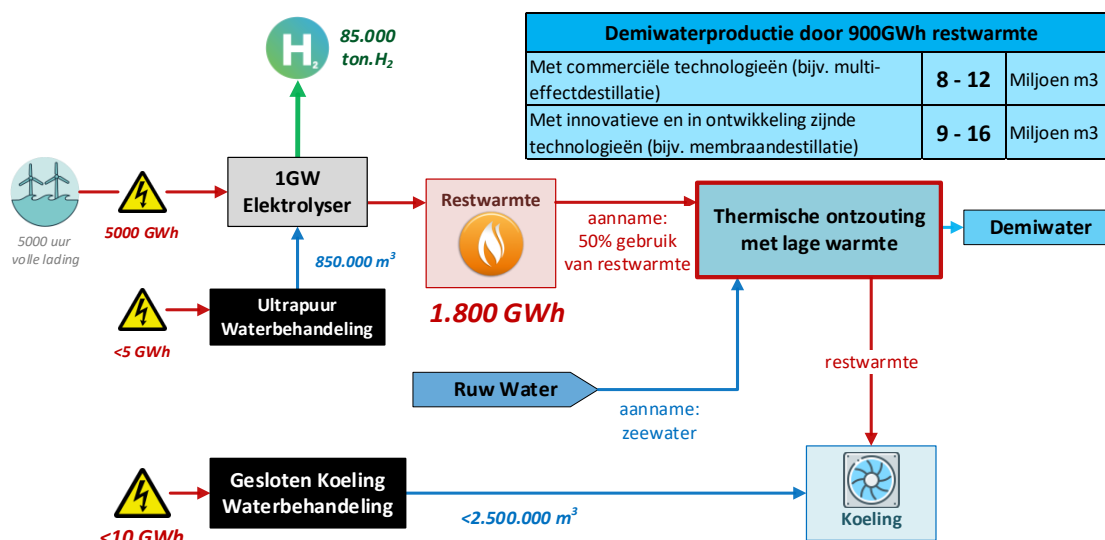
Gebruik van gegenereerde warmte in waterproductieketen

Als de water- en waterstofproductie op één locatie worden gecentraliseerd, nemen de mogelijkheden voor hergebruik van restwarmte toe. De meest voor de hand liggende toepassing is het gebruik van restwarmte om het voedingswater voor het waterbehandelingssysteem voor te verwarmen. Een hogere temperatuur is in het voordeel van membraansystemen, omdat het de waterstromen door de membranen verhoogt, wat resulteert in een hogere terugwinning met een lager energieverbruik en minder membraanoppervlak.

Het gebruik van restwarmte vermindert de noodzakelijke koeling van de elektrolyser en leidt tot een lager waterverbruik en een lager energieverbruik van koelsystemen. Bij het voorverwarmen van voedingswater in waterbehandelingssystemen wordt slechts een klein deel van de opgewekte restwarmte gebruikt. In feite is de hoeveelheid opgewekte warmte in theorie hoog genoeg om meer water te produceren dan het benodigde water voor de elektrolyse zelf.

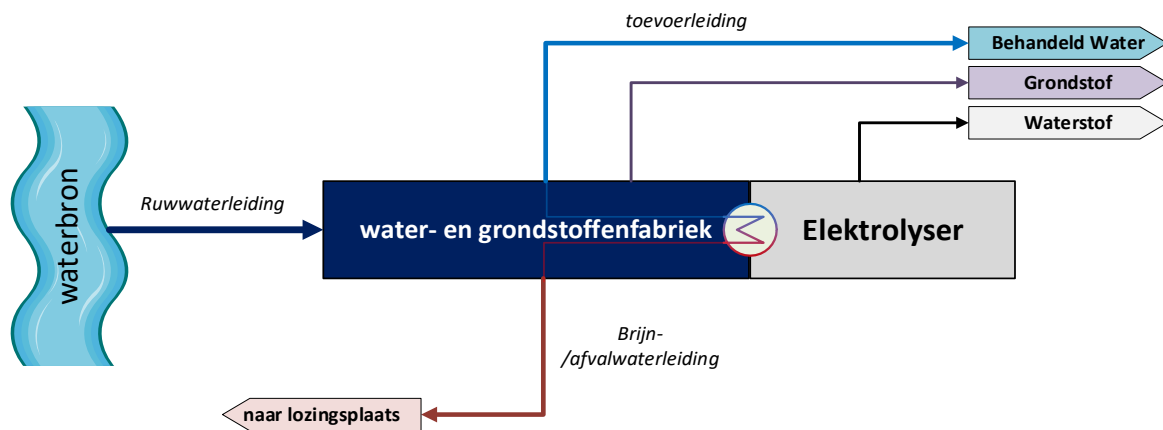
Een uitdaging is dat de gegenereerde warmte een lage temperatuur heeft (exclusief bij SOE-elektrolyse). De implementatie van waterterugwinningssystemen met een lage temperatuur kan echter een zeer interessante oplossing zijn om de vereiste koeling te verminderen en water te produceren voor intern gebruik in de elektrolyse en/of om te worden verkocht als industriewater of drinkwater.

Bij de aanname dat 50% van de totale gegenereerde restwarmte gebruikt gaat worden in thermische ontzoutingsystemen met lage warmte, geeft figuur 5-18 aan wat de potentiële hoeveelheid demiwaterproductie uit zeewater (als bron van ruw water) zou zijn. Deze globale schattingen zijn uitgevoerd op basis van de specifieke energievraag van commerciële en innovatieve technologieën.



Figuur 5-18. Demiwaterproductie bij gebruik restwarmte elektrolyser.

De implementatie van ontzouting met lage temperatuur kan mogelijk verder gaan met technologische ontwikkelingen om warmte te gebruiken om niet alleen (demi)water voor elektrolyse of andere doeleinden te produceren, maar ook grondstoffen terug te winnen en het gegenereerde brijn te valoriseren (Figuur 5-19).



Figuur 5-19. Geïntegreerde water- en grondstoffenfabriek en elektrolyser voor potentieel optimaal gebruik van restwarmte voor bijvoorbeeld grondstofterugwinning uit brijn. Water wordt in de fabriek gezuiverd tot ultrapuurwater voor elektrolyse (waterstofproductie) in de fabriek. Extra waterproductie dat niet direct benodigd is voor elektrolyse kan extern worden afgezet (behandeld water). Brijn kan mogelijk worden gevaloriseerd door grondstoffen hieruit terug te winnen met behulp van restwarmte. Hierdoor neemt de zoutvracht en enkele verontreinigingen in het brijn tevens af.

Om deze ideeën en ontwikkelingen naar de realisatiefase te brengen, is meer onderzoek en ontwikkeling nodig. Eerst moeten de technologieën echter bewezen worden op demonstratieschalen en dan langzaam overgaan naar commercialisering. Het belangrijkste knelpunt voor de implementatie van deze mogelijke ontwikkelingen is de lage prijs van water en de hoge kosten van warmte-integratie en thermische ontzoutingssystemen (zoals warmtewisselaars), wat resulteert in een hoge waterprijs in vergelijking met de huidige marktwaarde. Bovendien is het ontwerp en de bouw van dergelijke geïntegreerde systemen complex en is er verder onderzoek nodig naar de levensduur van de apparatuur en schaalvoordelen, vooral als er ook grondstoffen worden teruggewonnen.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Watervraag elektrolyse

Hernieuwbare waterstof zal in Nederland grotendeels worden opgewekt door elektriciteit opgewekt uit windenergie op de Noordzee. Elektrolyzers zullen de windenergie ontvangen en produceren hiermee waterstof uit ultrapuur water. Voor de productie van waterstof uit water, is water benodigd voor twee processen, namelijk water voor de elektrolyse en water voor koeling van de elektrolyseprocessen.

Water voor elektrolyse

De elektrolyser heeft ultrapuur water nodig om waterstof te produceren. Dit ultrapure water moet vanuit een waterbron worden geproduceerd. Elke waterbron vereist zijn eigen specifieke behandelingsstappen om zuiver water te produceren. Als er gebruik wordt gemaakt van zoet water zoals zoet oppervlaktewater, grondwater, gezuiverd afvalwater (effluent), drinkwater of gedemineraliseerd water, is de vraag naar water lager, dan als voor een brakke of zoute waterbron wordt gekozen. Als het zoutgehalte van de waterbron toeneemt, neemt de efficiëntie van ontzilting en terugwinning van ontzilt water uit de waterbron af, wat leidt tot een grotere vraag naar water. De vraag naar ruw water voor elektrolyse wordt dus sterk beïnvloed door welke waterbronnen wordt gebruikt.

- De benodigde hoeveelheid water om 1 GW te produceren is 0,9 tot 1,9 miljoen m³/jaar.
- De benodigde hoeveelheid water om 6,5 GW te produceren (2030) is 5,8 tot 12,7 miljoen m³/jaar.
- De benodigde hoeveelheid water om 21,4 GW te produceren (2050) is 19 tot 42 miljoen m³/jaar.

Ter illustratie: de verwachte watervraag voor 2030 is gelijk aan 0,5 – 1,1% van de totale jaarlijkse vraag naar drinkwater (waar nu al knelpunten optreden) en gelijk aan 1,7 - 3,7% voor 2050.

Koelwater

Met de huidige technologische ontwikkeling wordt 60-70% van de totale ontvangen energie direct verbruikt voor de productie van waterstof uit elektrolyse. De rest is inefficiënt en resulteert in het genereren van warmte tijdens het elektrolyseproces. De gegenereerde warmte moet worden afgekoeld via een koelsysteem. Koelsystemen kunnen gebaseerd zijn op water, lucht of hybride systemen. Koelsystemen op basis van water kunnen onderscheiden worden in een gesloten koelsysteem en een doorstroomkoelsysteem. De benodigde hoeveelheid water en de benodigde kwaliteit van het water hangt sterk af van het type koelsysteem.

- Een **doorstroomkoelwatersysteem** vereist het meeste water, maar er is geen sprake van waterverbruik. Warmte wordt overgedragen naar de waterfase en het water wordt direct teruggevoerd naar het waterlichaam. De impact en haalbaarheid van de warmtelozing op het waterlichaam moet per locatie nader worden onderzocht vóór realisatie van de elektrolyzers. De watervraag voor een doorstroomkoelwatersysteem is ongeveer 100x zo groot als voor het water wat nodig is voor elektrolyser zelf. De benodigde hoeveelheid water in het theoretische geval als alle productielocaties een doorstroomkoelwatersysteem zouden krijgen is:
 - 1000 miljoen m³/jaar om 6,5 GW te produceren (2030)
 - 3500 miljoen m³/jaar om 21,4 GW te produceren (2050)
 Ter illustratie: de hoeveelheid in 2030 is vergelijkbaar met 12% van de huidige vraag aan koelwater voor de totale energievoorziening van Nederland, of vergelijkbaar met de zomerafvoer van de Maas.
- Bij **gesloten koelsystemen** is veel minder water nodig, maar wel van hogere kwaliteit. In gesloten koelsystemen wordt een deel van het water (ongeveer 80%) verbruikt door koeling en verdamping. De watervraag voor een gesloten koelsysteem is ongeveer 5x zo groot als voor het water wat nodig is voor

elektrolyser zelf. De benodigde hoeveelheid water als alle productielocaties een gesloten koelwatersysteem zouden krijgen is:

- 34 tot 68 miljoen m³/jaar om 6,5 GW te produceren (2030)
- 112 tot 225 miljoen m³/jaar om 21,4 GW te produceren (2050)

- **Luchtkoeling** verbruikt geen water, maar vereist veel meer energie en ruimte om de opgewekte warmte af te koelen.
- **Hybride koelsystemen** hebben een beperkte watervraag afhankelijk van het seizoen.

De keuze voor een type koelsysteem is dus van meerdere factoren afhankelijk (multi-criteria analyse), welke dienen te worden beschouwd voor de keuze van het type koelsysteem. Het betreft onder andere de waterbeschikbaarheid, ruimtebeschikbaarheid, energieverbruik en water-, geluid- en luchtmissies.

Ontwikkelingen

In waterbehandelingsprocessen wordt ook afvalwater geproduceerd door de verwijdering van zwevende stoffen en reiniging. Het gegenereerde brijn- en afvalwater moet op een milieuvriendelijke manier worden behandeld door te kiezen voor de juiste behandeling, hergebruik en/of lozing.

De toekomstige vooruitgang in elektrolyzers in de komende 25 jaar zou kunnen resulteren in een hogere efficiëntie en een iets lagere vraag naar waterkwaliteit voor het elektrolyseproces. Een hogere efficiëntie zou resulteren in minder warmteproductie en een lagere vraag naar koeling. De ontwikkeling van elektrolyzers met een lagere waterkwaliteitsbehoefte zou slechts een kleine financiële impact hebben op de waterbehandeling voor elektrolyzers. Bijvoorbeeld in de vergelijking van de demiwaterproductie met ultrapuurwaterproductie is de vraag naar ruw water voor beiden hetzelfde, maar het polijsten van demiwater tot ultrapuur water is niet meer noodzakelijk.

De toekomst is nog niet helemaal duidelijk, hoewel investeren in het verbeteren van de efficiëntie van elektrolyzers een belangrijke stap is, moet er ook worden gekeken naar ontwikkelingen in meer samenhang. De ontwikkeling moet gericht zijn op de integratie van waterbehandeling, waterstofproductie, brijn- en afvalwaterbeheer en gebruik van restwarmte met betrekking tot gecentraliseerde (water- en waterstofproductie op dezelfde plaats) of gedecentraliseerde systemen, zie ook de aanbeveling in paragraaf 6.3.

6.2 Waterbeschikbaarheid voor elektrolyse

Beschikbare bronnen

In deze studie is gekeken naar de waterbeschikbaarheid van verschillende waterbronnen voor elektrolyse en koelwater. Als bronnen zijn beschouwd zeewater, zoet en brak oppervlaktewater, zoet en brak grondwater, effluent van rioolwaterzuiveringen, drinkwater en industriewater. In het algemeen gelden de volgende conclusies over deze bronnen:

- Zeewater en grote brakke wateren zoals de Westerschelde, Nieuwe Waterweg, Eems hebben ruim voldoende water beschikbaar, nu en ook in de toekomst.
- Ook effluent van rioolwaterzuiveringen is vaak beschikbaar in de nabijheid van potentiële waterstof-productielocaties. De beschikbare hoeveelheden zijn vaak voldoende om te voorzien in water voor grootschalige waterstofproductielocaties. Effluent is een constante bron van water en is ook in de toekomst beschikbaar. Deze bron wordt echter ook beoogd voor andere toepassingen.
- Het gebruik van zoet oppervlaktewater is niet voor alle locaties mogelijk. Nabij de zee is het oppervlaktewater vaak brak, of zoet water wordt aangevoerd via lange aanvoerroutes. De beschikbaarheid van zoet oppervlaktewater staat onder druk door klimaatverandering, waardoor beschikbaarheid niet kan worden gegarandeerd in droge zomers in de toekomst.

- Het gebruik van zoet grondwater voor industrieel gebruik wordt in alle onderzochte locaties ontmoedigd door provincies en ligt daardoor niet voor de hand. Nabij de kust is het grondwater brak.
- Drinkwaterbedrijven geven aan een tekort aan drinkwater te hebben in de nabije toekomst en hebben grote moeite om voldoende uitbreidingscapaciteit te vinden. Het gebruik van drinkwater of industriewater wat gemaakt wordt door de drinkwaterbedrijven is daardoor ook geen logische optie. Voor industriewater is er in de huidige situatie lokaal nog wel wat capaciteit, maar in de toekomst is dit niet bekend.

Beoordeling per locatie

Vervolgens is een beoordeling per locatie uitgevoerd in paragraaf 4.4 t/m 4.10 voor de beschikbaarheid van water voor de elektrolyse en voor gebruik als koelwater. Een overzicht van de complete beoordeling is opgenomen in paragraaf 5.1. Als potentiële locaties zijn onderzocht: Borsele, Terneuzen, de Eemshaven, het Noordzeekanaalgebied, de kop van Noord-Holland of Den Helder, Rotterdam, Moerdijk (met als alternatief Geertruidenberg of Tilburg) en Chemelot. Naar deze locaties wordt gekeken in verband met de verwachte aanlandingspunten van op zee opgewekte windenergie en met grote lokale energieverbruiken.

Beschikbaarheid van water voor elektrolyzers

De benodigde watervraag **per locatie** is uiteraard kleiner dan de totale hoeveelheid genoemd in paragraaf 6.1 voor heel Nederland. Er zitten behoorlijke verschillen tussen de geplande productiehoeveelheden. Tilburg is de kleinst beoogde locatie met 0,2 GW in 2030 en Eemshaven de grootste met 1,7 GW in 2030. In 2050 zijn deze aantallen 0,7 GW in Tilburg en 5,7 GW in Eemshaven. De bijbehorende watervraag voor de **elektrolyzers** (geen koelwater) is 0,2 - 1,4 miljoen m³/jaar voor Tilburg en 1,5 - 11 miljoen m³/jaar voor Eemshaven (range 2030-2050). Dit geeft een idee van de watervraag per locatie. Meer gedetailleerde informatie per bron en per locatie is opgenomen in paragraaf 4.4 t/m 4.10.

De inschatting of er voldoende water beschikbaar is per bron voor de elektrolyzers is opgenomen in onderstaande tabel. Uit de studie per locatie blijkt dat er voor alle locaties minimaal 1 bron is waar naar verwachting water uit kan worden onttrokken voor de elektrolyzers in zowel 2030 als 2050. Gebruik van zoet grondwater en drinkwater is eigenlijk overal niet mogelijk. Of de overige bronnen beschikbaar zijn is locatieafhankelijk.

Tabel 6-1: Inschatting beschikbaarheid van water voor de elektrolyzers in 2030 en 2050. Ja is voldoende water beschikbaar, nee is niet beschikbaar.

Bronnen / Locaties	Zeewater	Brak oppervlaktewater	Zoet oppervlaktewater	Grondwater	Effluent rwzi	Drinkwater	Industriewater (proces & demi)
Borsele	nee	ja	nee	nee	ja	nee	ja 2030, maar onbekend 2050
Terneuzen	nee	ja	nee	nee	nee	nee	ja 2030, maar onbekend 2050
Rotterdam	ja	ja	nee	nee	ja	nee	ja
Noordzeekanaal	ja	ja	ja 2030 nee 2050	nee	ja	nee	nee
Kop van NH	nee	nee	ja	nee	ja	nee	nee
Den Helder	ja	nee	ja	nee	ja	nee	nee
Eemshaven	ja	ja	nee	nee	nee	nee	ja 2030, nee 2050
Moerdijk	nee	nee	ja	nee	ja	nee	ja
Geertruidenberg	nee	nee	ja	nee	ja	nee	nee
Tilburg	nee	nee	ja	nee	ja	nee	nee
Chemelot	nee	nee	ja	nee	ja	nee	nee

Beschikbaarheid van water voor koelsystemen

De watervraag voor koelwater is groter dan de watervraag voor de elektrolyzers. Koelwater is dan ook niet op alle locaties beschikbaar. De locatiespecifieke watervraag voor koelwater is terug te vinden in paragraaf 4.4 t/m 4.10. Voor gesloten koelsystemen zijn er wel mogelijke waterbronnen beschikbaar (tabel 6-2), maar niet voor alle locaties. Hoe verder naar het landinwaarts of hoe verder weg van groot oppervlaktewater (rivier, zee, estuarium) hoe kleiner de kans dat er ook een bron voor een gesloten koelwatersysteem is. Ook door de toename in 2050 van de benodigde hoeveelheid water nemen de kansen op een geschikte bron voor koelwater af. Voor doorstroomkoelsystemen zijn alleen de locaties aan de kust geschikt waar zeewater of grote brakke wateren nabij liggen (tabel 6-3).

Tabel 6-2: Inschatting beschikbaarheid van water voor een gesloten koelsysteem in 2030 en 2050. Ja is voldoende water beschikbaar, nee is niet beschikbaar.

Bronnen / Locaties	Zeewater	Brak oppervlaktewater	Zoet oppervlaktewater	Grondwater	Effluent rwzi	Drinkwater	Industriewater (proces & demi)
Borsele	nee	ja	nee	nee	ja	nee	nee
Terneuzen	nee	ja	nee	nee	nee	nee	ja 2030, nee 2050
Rotterdam	ja	ja	nee	nee	nee	nee	nee
Noordzeekanaal	ja	ja	nee	nee	ja	nee	nee
Kop van NH	nee	nee	ja 2030, nee 2050	nee	nee	nee	nee
Den Helder	ja	nee	ja 2030, nee 2050	nee	nee	nee	nee
Eemshaven	ja	ja	nee	nee	nee	nee	nee
Moerdijk	nee	nee	ja	nee	ja	nee	nee
Geertruidenberg	nee	nee	ja	nee	ja	nee	nee
Tilburg	nee	nee	ja 2030, nee 2050	nee	ja	nee	nee
Chemelot	nee	nee	ja 2030, nee 2050	nee	ja 2030, nee 2050	nee	nee

Tabel 6-3: Inschatting beschikbaarheid van water voor doorstroomkoelsystemen in 2030 en 2050. Ja is voldoende water beschikbaar, nee is niet beschikbaar.

Bronnen / Locaties	Zeewater	Brak oppervlaktewater	Zoet oppervlaktewater	Grondwater	Effluent rwzi	Drinkwater	Industriewater (proces & demi)
Borsele	nee	ja	nee	nee	nee	nee	nee
Terneuzen	nee	ja	nee	nee	nee	nee	nee
Rotterdam	ja	ja	nee	nee	nee	nee	nee
Noordzeekanaal	ja	ja	nee	nee	nee	nee	nee
Kop van NH	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee
Den Helder	ja	nee	nee	nee	nee	nee	nee
Eemshaven	ja	ja	nee	nee	nee	nee	nee
Moerdijk	nee	nee	ja	nee	nee	nee	nee
Geertruidenberg	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee
Tilburg	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee
Chemelot	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee

Aandachtspunten waterbeschikbaarheid per locatie

De beoordeelde locaties kunnen gegroepeerd worden naar waterbeschikbaarheid:

- **Locaties aan de kust** (Eemshaven, Terneuzen, Borsele, Rotterdam). Op deze locaties is er geen zoet water beschikbaar. Grondwater en drinkwater zijn eveneens geen optie. Voor Borsele en Rotterdam is er eventueel effluent beschikbaar van rioolwaterzuiveringen. De enige andere en meest voor de hand liggende bron is brak water uit de Westerschelde, de Eems, de Nieuwe Waterweg of de zee. De waterbeschikbaarheid in die bron is ruim voldoende.
- **Locaties met zoetwater aanvoer via een rivier** (Moerdijk, Geertruidenberg). De Nederlandse rivieren voeren gedurende het jaar heel veel water af. De waterbeschikbaarheid van zoet water is daarom groot als een waterstofproductielocatie in de nabijheid van een rivier ligt. Echter in droge zomers neemt de waterbeschikbaarheid snel af. Door klimaatverandering neemt de kans toe dat door het landelijke watertekort de verdringingsreeks in werking wordt gesteld en een onttrekkingsverbod wordt opgelegd. Ook kan een hoge watertemperatuur leiden tot een onttrekkingsverbod. De afvoer van de Maas is in de zomer vele malen kleiner dan de afvoer van de Rijn. Daardoor is de waterbeschikbaarheid bij Moerdijk groter dan Geertruidenberg. Het voordeel van Geertruidenberg is weer dat het verder landinwaarts ligt en een kleiner risico loopt op verzilting ten opzichte van Moerdijk. Voor deze locaties zijn alleen rivierwater en effluent geschikte bronnen.
- **Locaties met zoetwater aanvoer via een kanaal** (Noordzeekanaal en Den Helder). In Noord-Holland wordt water aangevoerd via de Rijn en het Amsterdam-Rijnkanaal en via de IJssel en het IJsselmeer. Ook hiervoor geldt dat er doorgaans genoeg water is, maar wel minder dan in de rivieren. Daarnaast geldt ook dat er in de zomer tekorten ontstaan. Er zijn vele partijen afhankelijk van de zoetwatervoorziening via het Amsterdam-Rijnkanaal en het IJsselmeer. De beoordeelde locaties liggen aan het einde van de aanvoerroutes. Dat betekent dat er lokaal verzilting kan optreden (Den Helder) of dat er sowieso sprake is van een permanent verzilte situatie (Noordzeekanaal bij IJmuiden). De lokale rioolwaterzuiveringen en zeewater zijn ook beschikbare bronnen. Op deze locaties valt nog wat te kiezen, maar locaties moeten wel slim worden gekozen.
- **Locaties landinwaarts**: Kop van Noord-Holland, Tilburg en Chemelot. Op deze locaties is de keuze in bronnen beperkt tot RWZI effluent en een zeer beperkte hoeveelheid zoetwater. Omdat de beschikbaarheid van zoet water onder druk staat door klimaatverandering is dit geen bron die gegarandeerd jaarrond beschikbaar is op deze locaties. Dan is RWZI effluent de meest voor de hand liggende bron. Het is afhankelijk van de gekozen waterstofproductielocatie of deze een gunstige ligging heeft ten opzichte van de rioolwaterzuivering. Of andersom: gunstige ligging van de waterstofproductielocatie ten opzichte van de rioolwaterzuivering wordt dan randvoorwaardelijk. Landinwaarts gelegen locaties zijn kwetsbaar voor voldoende waterbeschikbaarheid, hier moet rekening mee worden gehouden bij de planning van toekomstige waterstofproductielocaties.

Bij keuze voor brak of zout water als bron moet rekening worden gehouden met meer kosten, benodigde ruimte en energieverbruik voor de waterbehandeling dan bij zoetwater. Vooral het extra ruimtebeslag kan tot knelpunten leiden. Dat geldt ook voor de benodigde extra ruimte voor luchtkoeling op de locaties waar geen water beschikbaar is voor koeling.

Overige knelpunten

De focus van het onderzoek is waterbeschikbaarheid, dus bovenstaande conclusies geven verwachtingen weer van de beschikbaarheid per bron voor waterstofproductie (elektrolyse en koeling). Er zijn echter vele factoren die bepalen of een locatie geschikt is voor een waterstofproductielocatie. In de analyse zijn ook andere knelpunten met betrekking tot water naar voren gekomen. De belangrijkste aandachtspunten betreffen natuurwetgeving, de lozing van afvalwater of brijnwater en de warmtelast van koelwater.

- Bij het gebruik van water voor waterstofproductie is er sprake van een onttrekking van water uit een natuurlijk systeem, vaak daarna gevolgd door een lozing van afvalwater in datzelfde systeem. De natuurlijke systemen waaruit onttrokken wordt, dan wel in geloosd wordt zijn beschermd door diverse natuurwetgeving en andere wetgeving. Bij de aanvraag van een vergunning voor de onttrekking en/of lozing zal de beoordeling aan de hand van deze wetgeving moeten plaatsvinden.
- Bij de zuivering van water om ultrapuur water te maken of water wat in een gesloten koelsysteem gebruikt kan worden, worden zouten en andere stoffen verwijderd. Dit wordt geconcentreerd in een afvalwaterstroom genaamd brijn. Afhankelijk van de herkomst van het water varieert de zoutconcentratie in brijn. Daarnaast kan brijn verontreinigd zijn met metalen, nutriënten, PFAS en allerlei andere componenten. Daarnaast zijn er nog andere afvalwaterstromen, zoals spuiwater van het koelwatersysteem. De lozing van brijn- en afvalwater kan problematisch zijn. Lozing van brijn- en afvalwater op kleinere oppervlaktewater zal waarschijnlijk een probleem zijn omdat er onvoldoende verdunning optreedt. In deze studie is de lozing van brijnwater niet per locatie uitgewerkt. Dit is zeer afhankelijk van de gekozen lozingslocatie en de gekozen waterbron. Om dit inzichtelijk te krijgen moet per geloosde parameter per lozingslocatie een immissietoets worden uitgevoerd.
- Het gebruik van een doorstroomkoelsysteem voor de koeling van elektrolyzers resulteert in een warmtelozing op het oppervlaktewater. Het lozen van warm koelwater kan nadelige effecten hebben voor de waterkwaliteit. In de zomer is de ruimte om koelwater te lozen beperkt. Ook al is er aan de kust naar verwachting voldoende water beschikbaar voor doorstroomkoeling, er moet eerst nader gekeken worden naar de warmtelast en of een lozing van warm koelwater vergunbaar zou zijn. Anders moet er gekeken worden naar een andere vorm van koeling.

Oplossingsrichtingen

Over het algemeen geldt dat knelpunten die geconstateerd zijn in deze studie nog oplosbaar zijn door tijdig voor te sorteren op andere keuzes. Deze keuzes hebben wel consequenties. Hieronder zijn een paar voorbeelden genoemd:

- Onvoldoende zoet water beschikbaar → kiezen voor een brakke / zoute waterbron → gevolg uitgebreidere zuivering nodig met meer ruimtebeslag, energieverbruik en kosten.
- Tijdelijk geen zoet water beschikbaar → buffering van zoet water om periode te overbruggen of afschalen waterstofproductie → gevolg extra ruimte nodig of minder waterstofproductie.
- Warmtelast doorstroomkoeling te groot → kiezen voor gesloten koelwatersysteem in plaats van doorstroomkoeling → gevolg extra zuivering nodig voor koelwater.
- Watervraag voor koelwater te groot → geïntegreerde oplossingen waarbij warmte wordt gebruikt voor een warmtenet of voor het productieproces voor de zuivering van water → oplossingen moeten nog ontworpen worden.
- Geen koelwater beschikbaar → kiezen voor luchtkoeling → gevolg meer ruimtebeslag en energieverbruik.
- Brijnlozing niet vergunbaar → brijnwater elders lozen waar dit wel vergunbaar is bv. op zout oppervlaktewater, leiding verder de zee in leggen, etc. of inzetten op zero liquid discharge technieken die nog verder moeten worden ontwikkeld → gevolg toename kosten.

Deze keuzes hebben dus gevolgen voor kosten, energie en ruimtegebruik. Dit is maar een deel van het totaal van grootschalige waterstofproductie, maar de consequenties moeten wel worden meegenomen in afwegingen. Over de wenselijkheid van luchtkoeling kunnen op basis van dit onderzoek geen uitspraken worden gedaan, omdat in dit onderzoek is gefocust op de koeling door middel van water.

6.3 Aanbevelingen voor vervolg

Dit rapport biedt een informatiebasis voor beleid over de (locatiekeuzes van) grootschalige elektrolyse. Het geeft inzicht in de watervraag voor waterstofproductie en de beschikbaarheid van mogelijke bronnen op locaties die in beeld zijn voor grootschalige elektrolyse. Voor de ontwikkeling van het beleid en de locatiekeuze van grootschalige elektrolyse vanuit het oogpunt van waterbeschikbaarheid is de belangrijkste aanbeveling om in de praktijk **water en bodem sturend** te maken. Dat betekent voor de beleidsmakers:

- Houd rekening met de waterbeschikbaarheid op locaties voor grootschalige elektrolyse. Daarbij geldt dat in het bijzonder rekening gehouden moet worden met tekorten aan zoetwater in de zomer en de waterbehoefte van andere watervragers, waaronder natuur en landbouw. De knelpuntenanalyse vanuit het Deltaprogramma Zoetwater geeft inzicht in de knelpunten per regio, rekening houdend met de nieuwe klimaatscenario's en dient daarbij zeker gebruikt te worden.
- Indien de kans bestaat op een watertekort op een bepaalde locatie, moet voor de waterstofproductie rekening gehouden worden met alternatieve bronnen of aanzienlijke buffercapaciteit voor het water voor de elektrolyse en voor koeling moet gezocht worden naar alternatieven. Door een grondige analyse naar de waterbeschikbaarheid op een locatie kan de kans op watertekort verkleind worden.
- Breng bij de keuze van locaties in een vroeg stadium de vereisten vanuit natuurwetgeving en de eisen ten aanzien van gebruik van en lozingen op oppervlaktewater in kaart, om rekening te houden met de impact op de omgeving en de haalbaarheid van waterstofproductie op die locatie te bepalen. Een belangrijk aspect zijn de individuele componenten in het brijn- en afvalwater en de haalbaarheid van de lozing van deze componenten op de specifieke locatie. De immissietoets is hierbij een belangrijke toetsing om uit te voeren. Ook de warmtelast in de lozing van koelwater bij doorstroomkoeling is een belangrijk aandachtspunt.
- Maak de kosten voor waterzuivering niet leidend voor de keuze voor de bron en locatie, omdat deze een relatief beperkt aandeel hebben in de totale kosten van waterstofproductie. Kijk vooral naar de beschikbaarheid en impact van gebruik van de bron op de betreffende locatie en het lokale watersysteem.
- Houd in ruimtelijke plannen rekening met de benodigde ruimte voor de waterbehandelingsinstallaties op locaties waar een brakke of zoute waterbron voor de hand ligt en met ruimte voor luchtkoeling op locaties waar geen water beschikbaar is voor waterkoeling. De wenselijkheid van luchtkoeling bij grootschalige elektrolyse moet nader worden uitgewerkt.
- Volg en stimuleer de ontwikkelingen op het gebied van waterstofproductie, waterbehandeling, oplossingen voor de brijnproblematiek en warmte-integratie die een bijdrage kunnen leveren aan vermindering van de watervraag voor waterstofproductie en problemen met betrekking tot de lozing van reststromen.
- Denk na over meer gecentraliseerde oplossingen, waar water en waterstof op dezelfde locatie geproduceerd worden, waterhergebruik plaatsvindt en ook de gegenereerde warmte nuttig wordt gebruikt. Koppel waar mogelijk aan andere maatschappelijke opgaven en uitdagingen.
- Houd bij het nuttig gebruik van gegenereerde warmte bij waterstofproductie rekening met de warmte-eigenschappen (temperatuurniveau, continue/fluctuerende beschikbaarheid), type elektrolyser, complexiteit van warmteuitkoppeling, nabijheid van warmtevraag in de omgeving (industrie/gebouwde omgeving) en de temperatuur van invoeding van waterstof in het landelijke waterstofnetwerk.

Samenvattend kan gesteld worden dat om de duurzaamheid van groene waterstofproductie te garanderen een samenhangende benadering van de besluitvorming nodig is. Deze samenhangende benadering richt zich op het vinden van de juiste balans tussen de vraag naar energie, de vraag naar water en de beschikbaarheid van hulpbronnen, met het oog op het maximaliseren van de efficiëntie in het gebruik van deze hulpbronnen. Deze efficiëntie in het gebruik van hulpbronnen vereist samenwerking en innovatie. Centralisatie vergroot de mogelijkheden voor afstemming tussen de energie- en watertransitie en vergemakkelijkt het proces om technologieën aan te passen aan toekomstige ontwikkelingen.

7 Geraadpleegde bronnen

Rapporten en artikelen

Arcadis en Hydrologic (2023) Systeemanalyses zoetwater regio Rijn-Maasmonding. Kennisprogramma Zeespiegelstijging. Rapportnummer: 30101791.2.P1319. In opdracht van Rijkswaterstaat WVL voor het Kennisprogramma Zeespiegelstijging.

BTO (2017) – De vraag naar water in een waterstofeconomie. Kansen en gevolgen voor de drinkwatersector. Rapportnummer BTO 2016.086.

Detz, R.J., Hajonides, T., Lamboo, S., Weeda, S. (2023) Ontwikkeling kosten groene en blauwe waterstof. TNO in opdracht van Ministerie Infrastructuur en Waterstaat.

Europese Unie, GEDELEGEERDE VERORDENING (EU) 2023/1184 VAN DE COMMISSIE van 10 februari 2023 ter aanvulling van Richtlijn (EU) 2018/2001

Hanemaaijer, J.H. (2004) Memstill® — low cost membrane distillation technology for seawater desalination. *Desalination*, 168, 355

Khan, E.U., Nordberg, A., Malmros, P. (2022) Waste Heat Driven Integrated Membrane Distillation for Concentrating Nutrients and Process Water Recovery at a Thermophilic Biogas Plant. *Sustainability*, 14, 13535

Klijn, F., E. van Velzen, J. ter Maat en J. Hunink (2012) Zoetwatervoorziening in Nederland aangescherpte landelijke knelpuntenanalyse 21^e eeuw. Deltares in opdracht van Rijkswaterstaat.

Kuipers, N.J.M., van Medevoort, J. (2023) SeaHydrogen: position paper: integral Nexus approach for the production of hydrogen at sea.

Mens, M.J.P., J. Hunink, J. Delsman, J. Pouwels, F. Schasfoort (2020) Geactualiseerde knelpuntenanalyse voor het Deltaprogramma Zoetwater fase II. Deltares rapport 11203734-003-ZWS-0002, Delft.

Omar, A (2022) Solar-driven multi-effect distillation overview. *Thermopedia*

Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) (2011) Een delta in beweging. Bouwstenen voor een klimaatbestendige ontwikkeling van Nederland. Den Haag, 2011. ISBN: 978-90-78645-72-6. PBL-publicatienummer: 50019301

RIVM (2023) Waterbeschikbaarheid voor de bereiding van drinkwater tot 2030 – knelpunten en oplossingsrichtingen. DOI 10,21945/RIVM-2023-0005

Royal HaskoningDHV (2021) Eindrapportage Verkenning robuuste drinkwatervoorziening 2040. In opdracht van IPO en VEWIN. <https://drinkwaterverkenning.ireport.royalhaskoningdhv.com/>

RVO (2015) Best Practice Waterkoeling, juli 2015

Stowa (2021) RWZI als waterfabriek voor een robuuste watervoorziening. Rapportnummer 2021 31.

Vewin (2022) Zekerstellen van de drinkwatervoorziening op korte en lange termijn, september 2022

Vewin (2023) Drinkwaterstatistieken 2022 Van Bron tot Kraan

Volkscrant (2023) Evides Industriewater levert zwembaden vol extreem schoon water als basis ingrediënt voor groene waterstof, 27 november 2023, <https://www.volkscrant.nl/cs-bb13da8a/>

Geraadpleegde websites

CBS Waterverbruik in Nederland 2021

<https://www.cbs.nl/nl-nl/dossier/dossier-milieu-en-economie/hoe-gebruiken-we-ons-water->

Kaarten waterverdeling in zomer 2022 gemaakt door Rijkswaterstaat (zie bijlage 3)
[Waterbeheer kaarten \(wkaart.github.io\)](https://github.com/wkaart/wkaart)

Kaarten verzilting Rijn Maas monding

<https://www.waterpeilen.nl/berichten/rijn-en-maas-stijgen-uit-het-dal>

Klimaat-effectatlas:

<https://www.klimaat-effectatlas.nl/nl/tekort-oppervlaktewater>

Knelpuntenanalyse Deltaprogramma Zoetwater:

<https://www.deltaprogramma.nl/documenten/publicaties/2019/05/09/geactualiseerde-knelpunten-voor-het-deltaprogramma-zoetwater-fase-ii>

Deltaprogramma Zoetwater:

<https://www.deltaprogramma.nl/themas/zoetwater>

LCW en verdringingsreeks:

<https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/crisismanagement/landelijk-draaiboek/>

Kaarten zoet zout grensvlak in grondwater

<https://www.grondwatertools.nl/thema-grondwater-projecten/zoet-en-zout-grondwater>

<https://data.rivm.nl/meta/srv/api/records/64909141-3f9f-40d0-b7cc-98ff58ea2610>

Onderzoeksprogramma Brielse Meer

<https://www.hhdelfland.nl/actueel/nieuwsoverzicht/2023/maart-0/onderzoek-duurzame-inzet-brielse-bron/>

Industriewater Garmerwolde

<https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-actueel/drie-technieken-mogen-zich-op-rwzi-garmerwolde>

<https://northwater.nl/news/nieuwe-industriewaterzuivering-en-transportleidingen-klaar-voor-levering/>

Industriewater Terneuzen

<https://www.waterforum.net/dow-en-evides-industriewater-overwegen-inzet-natuurlijke-voorzuiivering-om-zoetwaterinname-biesbosch-te-beperken/>

Verdringingsreeks

<https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/thema-s/watertekort/verdringingsreeks/>

Geraadpleegde bronnen en websites watervraag voor de energieproductie

Energy Transition Model (energytransitionmodel.com, raadpleegdatum 20-6-2024)

Gerbens-Leenes, P. W., Hoekstra, A. Y., & Van der Meer, T. H. (2009). The water footprint of energy from biomass: A quantitative assessment and consequences of an increasing share of bio-energy in energy supply. *Ecological economics*, 68(4), 1052-1060.

Gerbens-Leenes, W., Hoekstra, A. Y., & van der Meer, T. H. (2008). The water footprint of bioenergy and other primary energy carriers.

Lohrmann, A., Child, M., & Breyer, C. (2021). Assessment of the water footprint for the European power sector during the transition towards a 100% renewable energy system. *Energy*, 233, 121098.

Macknick, J., Newmark, R., Heath, G., & Hallett, K. C. (2012). Operational water consumption and withdrawal factors for electricity generating technologies: a review of existing literature. *Environmental Research Letters*, 7(4), 045802.

Mertens, J., Prieur-Vernat, A., Corbisier, D., Favrot, E., & Boon, G. (2015). Water footprinting of electricity generated by combined cycle gas turbines using different cooling technologies: a practitioner's experience. *Journal of Cleaner Production*, 86, 201-208.

Pöcklhofer, N., & Sares, P. (2023). Techno-economic analysis of innovative storage power plants utilizing existing CCGT systems: An Austrian case study.

Geraadpleegde websites

Water Use in India's Power Generation: Impact of renewables and improved cooling technologies to 2030
<https://www.irena.org/publications/2018/Jan/Water-Use-in-India-Power-Impact-of-renewables-to-2030>

Water Processes and Utility-Scale Solar Power Plants
<https://www.seia.org/initiatives/water-use-management>

Water consumption from coal plants
https://www.gem.wiki/Water_consumption_from_coal_plants

U.S. electric power sector's use of water continued its downward trend in 2020
<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=50698>

Thermal Water Pollution from Nuclear Power Plants
<http://large.stanford.edu/courses/2019/ph241/clark1/>

Appendix

Bijlagen

Bijlage 1: Watervraag voor elektrolyse per locatie

Waterbehoefte per GW				
Bron	Eenheid	Electrolyse	Gesloten	Doorstroom
			Koelsysteem	koelsysteem
Zeewater	miljoen m3/jaar	1,9	10,5	166
Grondwater	miljoen m3/jaar	1,8	8,8	166
Brak oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	1,5	7,5	166
Zoet oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	1,1	6,2	166
RWZI effluent	miljoen m3/jaar	1,3	6,6	166
Drinkwater	miljoen m3/jaar	1,1	5,8	159
<i>Industriewater: Proces</i>	miljoen m3/jaar	1,1	5,8	159
<i>Industriewater: Demi</i>	miljoen m3/jaar	0,9	5,3	158

2030					2050				
6,5 GW					21,38 GW				
Totaal NL	Eenheid	Electrolyse	Gesloten	Doorstroom	Totaal NL	Eenheid	Electrolyse	Gesloten	Doorstroom
			Koelsysteem	koelsysteem				Koelsysteem	koelsysteem
Zeewater	miljoen m3/jaar	12,7	68,3	1.079	Zeewater	miljoen m3/jaar	42	225	3.549
Grondwater	miljoen m3/jaar	11,4	56,9	1.079	Grondwater	miljoen m3/jaar	37	187	3.549
Brak oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	9,5	48,8	1.079	Brak oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	31	161	3.549
Zoet oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	7,1	40,2	1.079	Zoet oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	23	132	3.549
RWZI effluent	miljoen m3/jaar	8,1	42,7	1.079	RWZI effluent	miljoen m3/jaar	27	140	3.549
Drinkwater	miljoen m3/jaar	7,1	38,0	1.035	Drinkwater	miljoen m3/jaar	23	125	3.405
<i>Industriewater: Proces</i>	miljoen m3/jaar	7,1	38,0	1.035	<i>Industriewater: Proces</i>	miljoen m3/jaar	23	125	3.405
<i>Industriewater: Demi</i>	miljoen m3/jaar	5,8	34,2		<i>Industriewater: Demi</i>	miljoen m3/jaar	19	112	
Zeewater	m3/uur	1.444	7.800	123.158	Zeewater	m3/uur	4.751	25.656	405.095
Grondwater	m3/uur	1.300	6.500	123.158	Grondwater	m3/uur	4.276	21.380	405.095
Brak oppervlaktewater	m3/uur	1.083	5.571	123.158	Brak oppervlaktewater	m3/uur	3.563	18.326	405.095
Zoet oppervlaktewater	m3/uur	813	4.588	123.158	Zoet oppervlaktewater	m3/uur	2.673	15.092	405.095
RWZI effluent	m3/uur	929	4.875	123.158	RWZI effluent	m3/uur	3.054	16.035	405.095
Drinkwater	m3/uur	813	4.333	118.182	Drinkwater	m3/uur	2.673	14.253	388.727
<i>Industriewater: Proces</i>	m3/uur	813	4.333	118.182	<i>Industriewater: Proces</i>	m3/uur	2.673	14.253	388.727
<i>Industriewater: Demi</i>	m3/uur	657	3.900		<i>Industriewater: Demi</i>	m3/uur	2.160	12.828	
Zeewater	m3/s	0,40	2,17	34,21	Zeewater	m3/s	1,32	7,13	112,5
Grondwater	m3/s	0,36	1,81	34,21	Grondwater	m3/s	1,19	5,94	112,5
Brak oppervlaktewater	m3/s	0,30	1,55	34,21	Brak oppervlaktewater	m3/s	0,99	5,09	112,5
Zoet oppervlaktewater	m3/s	0,23	1,27	34,21	Zoet oppervlaktewater	m3/s	0,74	4,19	112,5
RWZI effluent	m3/s	0,26	1,35	34,21	RWZI effluent	m3/s	0,85	4,45	112,5
Drinkwater	m3/s	0,23	1,20	32,83	Drinkwater	m3/s	0,74	3,96	108,0
<i>Industriewater: Proces</i>	m3/s	0,23	1,20	32,83	<i>Industriewater: Proces</i>	m3/s	0,74	3,96	108,0
<i>Industriewater: Demi</i>	m3/s	0,18	1,08		<i>Industriewater: Demi</i>	m3/s	0,60	3,56	

2030					2050						
1,18 GW					3,89 GW						
Borssele / Terneuzen		Gesloten			Doorstroom		Borssele / Terneuzen		Gesloten		
Eenheid	Electrolyse	Koelsysteem	koelsysteem	koelsysteem	Eenheid	Electrolyse	Koelsysteem	koelsysteem	koelsysteem		
Zeewater	miljoen m3/jaar	2,3	12,4	196	Zeewater	miljoen m3/jaar	7,6	41	646		
Grondwater	miljoen m3/jaar	2,1	10,3	196	Grondwater	miljoen m3/jaar	6,8	34	646		
Brak oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	1,7	8,9	196	Brak oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	5,7	29	646		
Zoet oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	1,3	7,3	196	Zoet oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	4,3	24	646		
RWZI effluent	miljoen m3/jaar	1,5	7,8	196	RWZI effluent	miljoen m3/jaar	4,9	26	646		
Drinkwater	miljoen m3/jaar	1,3	6,9	188	Drinkwater	miljoen m3/jaar	4,3	23	620		
Industriewater: Proces	miljoen m3/jaar	1,3	6,9	188	Industriewater: Proces	miljoen m3/jaar	4,3	23	620		
Industriewater: Demi	miljoen m3/jaar	1,0	6,2	186	Industriewater: Demi	miljoen m3/jaar	3,4	20	613		
Min/max		1 - 2,3	6,2 - 12,4		Min/max		3,4 - 7,6	20,4 - 40,9			
Zeewater	m3/uur	262	1.416	22.358	Zeewater	m3/uur	864	4.668	73.705		
Grondwater	m3/uur	236	1.180	22.358	Grondwater	m3/uur	778	3.890	73.705		
Brak oppervlaktewater	m3/uur	197	1.011	22.358	Brak oppervlaktewater	m3/uur	648	3.334	73.705		
Zoet oppervlaktewater	m3/uur	148	833	22.358	Zoet oppervlaktewater	m3/uur	486	2.746	73.705		
RWZI effluent	m3/uur	169	885	22.358	RWZI effluent	m3/uur	556	2.918	73.705		
Drinkwater	m3/uur	148	787	21.455	Drinkwater	m3/uur	486	2.593	70.727		
Industriewater: Proces	m3/uur	148	787	21.455	Industriewater: Proces	m3/uur	486	2.593	70.727		
Industriewater: Demi	m3/uur	119	708	21.240	Industriewater: Demi	m3/uur	393	2.334	70.020		
Min/max		119 - 262	708 - 1416		Min/max		393 - 864	2334 - 4668			
Zeewater	m3/s	0,07	0,39	6,2	Zeewater	m3/s	0,24	1,30	20		
Grondwater	m3/s	0,07	0,33	6,2	Grondwater	m3/s	0,22	1,08	20		
Brak oppervlaktewater	m3/s	0,05	0,28	6,2	Brak oppervlaktewater	m3/s	0,18	0,93	20		
Zoet oppervlaktewater	m3/s	0,04	0,23	6,2	Zoet oppervlaktewater	m3/s	0,14	0,76	20		
RWZI effluent	m3/s	0,05	0,25	6,2	RWZI effluent	m3/s	0,15	0,81	20		
Drinkwater	m3/s	0,04	0,22	6,0	Drinkwater	m3/s	0,14	0,72	20		
Industriewater: Proces	m3/s	0,04	0,22	6,0	Industriewater: Proces	m3/s	0,14	0,72	20		
Industriewater: Demi	m3/s	0,03	0,20	5,9	Industriewater: Demi	m3/s	0,11	0,65	19		
Min/max		0,03 - 0,07	0,2 - 0,39		Min/max		0,11 - 0,24	0,65 - 1,3			

2030					2050						
1,35 GW					4,45 GW						
Rotterdam		Gesloten			Doorstroom		Rotterdam		Gesloten		
Eenheid	Electrolyse	Koelsysteem	koelsysteem	koelsysteem	Eenheid	Electrolyse	Koelsysteem	koelsysteem	koelsysteem		
Zeewater	miljoen m3/jaar	2,6	14,2	224	Zeewater	miljoen m3/jaar	8,7	47	739		
Grondwater	miljoen m3/jaar	2,4	11,8	224	Grondwater	miljoen m3/jaar	7,8	39	739		
Brak oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	2,0	10,1	224	Brak oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	6,5	33	739		
Zoet oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	1,5	8,3	224	Zoet oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	4,9	28	739		
RWZI effluent	miljoen m3/jaar	1,7	8,9	224	RWZI effluent	miljoen m3/jaar	5,6	29	739		
Drinkwater	miljoen m3/jaar	1,5	7,9	215	Drinkwater	miljoen m3/jaar	4,9	26	709		
Industriewater: Proces	miljoen m3/jaar	1,5	7,9	215	Industriewater: Proces	miljoen m3/jaar	4,9	26	709		
Industriewater: Demi	miljoen m3/jaar	1,2	7,1	213	Industriewater: Demi	miljoen m3/jaar	3,9	23	702		
Min/max		1,2 - 2,6	7,1 - 14,2		Min/max		3,9 - 8,7	23,4 - 46,8			
Zeewater	m3/uur	300	1.620	25.579	Zeewater	m3/uur	989	5.340	84.316		
Grondwater	m3/uur	270	1.350	25.579	Grondwater	m3/uur	890	4.450	84.316		
Brak oppervlaktewater	m3/uur	225	1.157	25.579	Brak oppervlaktewater	m3/uur	742	3.814	84.316		
Zoet oppervlaktewater	m3/uur	169	953	25.579	Zoet oppervlaktewater	m3/uur	556	3.141	84.316		
RWZI effluent	m3/uur	193	1.013	25.579	RWZI effluent	m3/uur	636	3.338	84.316		
Drinkwater	m3/uur	169	900	24.545	Drinkwater	m3/uur	556	2.967	80.909		
Industriewater: Proces	m3/uur	169	900	24.545	Industriewater: Proces	m3/uur	556	2.967	80.909		
Industriewater: Demi	m3/uur	136	810	24.300	Industriewater: Demi	m3/uur	449	2.670	80.100		
Min/max		136 - 300	810 - 1620		Min/max		449 - 989	2670 - 5340			
Zeewater	m3/s	0,08	0,45	7,1	Zeewater	m3/s	0,27	1,5	23		
Grondwater	m3/s	0,08	0,38	7,1	Grondwater	m3/s	0,25	1,2	23		
Brak oppervlaktewater	m3/s	0,06	0,32	7,1	Brak oppervlaktewater	m3/s	0,21	1,1	23		
Zoet oppervlaktewater	m3/s	0,05	0,26	7,1	Zoet oppervlaktewater	m3/s	0,15	0,9	23		
RWZI effluent	m3/s	0,05	0,28	7,1	RWZI effluent	m3/s	0,18	0,9	23		
Drinkwater	m3/s	0,05	0,25	6,8	Drinkwater	m3/s	0,15	0,8	22		
Industriewater: Proces	m3/s	0,05	0,25	6,8	Industriewater: Proces	m3/s	0,15	0,8	22		
Industriewater: Demi	m3/s	0,04	0,23	6,8	Industriewater: Demi	m3/s	0,12	0,7	22		
Min/max		0,04 - 0,08	0,23 - 0,45		Min/max		0,12 - 0,27	0,74 - 1,48			

Projectgerelateerd



2030					2050								
0,24 GW					0,78 GW								
Noordzeekanaal-gebied		Gesloten			Doorstroom		Noordzeekanaal-gebied		Gesloten			Doorstroom	
Eenheid	Electrolyse	Koelsysteem	koelsysteem		Eenheid	Electrolyse	Koelsysteem	koelsysteem		Eenheid	Electrolyse	Koelsysteem	koelsysteem
Zeewater	miljoen m3/jaar	0,5	2,5	40	Zeewater	miljoen m3/jaar	1,5	8,2	129				
Grondwater	miljoen m3/jaar	0,4	2,1	40	Grondwater	miljoen m3/jaar	1,4	6,8	129				
Brak oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	0,4	1,8	40	Brak oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	1,1	5,9	129				
Zoet oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	0,3	1,5	40	Zoet oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	0,9	4,8	129				
RWZI effluent	miljoen m3/jaar	0,3	1,6	40	RWZI effluent	miljoen m3/jaar	1,0	5,1	129				
Drinkwater	miljoen m3/jaar	0,3	1,4	38	Drinkwater	miljoen m3/jaar	0,9	4,6	124				
Industriewater: Proces		0,3	1,4	38	Industriewater: Proces	miljoen m3/jaar	0,9	4,6	124				
Industriewater: Demi	miljoen m3/jaar	0,2	1,3	38	Industriewater: Demi	miljoen m3/jaar	0,7	4,1	123				
	Min/max	0,2 - 0,5	1,3 - 2,5			Min/max	0,7 - 1,5	4,1 - 8,2					
Zeewater	m3/uur	53	288	4.547	Zeewater	m3/uur	173	936	14.779				
Grondwater	m3/uur	48	240	4.547	Grondwater	m3/uur	156	780	14.779				
Brak oppervlaktewater	m3/uur	40	206	4.547	Brak oppervlaktewater	m3/uur	130	669	14.779				
Zoet oppervlaktewater	m3/uur	30	169	4.547	Zoet oppervlaktewater	m3/uur	98	551	14.779				
RWZI effluent	m3/uur	34	180	4.547	RWZI effluent	m3/uur	111	585	14.779				
Drinkwater	m3/uur	30	160	4.364	Drinkwater	m3/uur	98	520	14.182				
Industriewater: Proces	m3/uur	30	160	4.364	Industriewater: Proces	m3/uur	98	520	14.182				
Industriewater: Demi	m3/uur	24	144	4.320	Industriewater: Demi	m3/uur	79	468	14.040				
	Min/max	24 - 53	144 - 288			Min/max	79 - 173	468 - 936					
Zeewater	m3/s	0,01	0,08	1,26	Zeewater	m3/s	0,05	0,26	4,1				
Grondwater	m3/s	0,01	0,07	1,26	Grondwater	m3/s	0,04	0,22	4,1				
Brak oppervlaktewater	m3/s	0,01	0,06	1,26	Brak oppervlaktewater	m3/s	0,04	0,19	4,1				
Zoet oppervlaktewater	m3/s	0,01	0,05	1,26	Zoet oppervlaktewater	m3/s	0,03	0,15	4,1				
RWZI effluent	m3/s	0,01	0,05	1,26	RWZI effluent	m3/s	0,03	0,16	4,1				
Drinkwater	m3/s	0,01	0,04	1,21	Drinkwater	m3/s	0,03	0,14	3,9				
Industriewater: Proces	m3/s	0,01	0,04	1,21	Industriewater: Proces	m3/s	0,03	0,14	3,9				
Industriewater: Demi	m3/s	0,01	0,04	1,20	Industriewater: Demi	m3/s	0,02	0,13	3,9				
	Min/max	0,01 - 0,01	0,04 - 0,08			Min/max	0,02 - 0,05	0,13 - 0,26					

2030					2050				
1,02 GW					3,35 GW				
Den Helder					Den Helder				
		Gesloten		Doorstroom			Gesloten		Doorstroom
Kop van NH	Eenheid	Electrolyse	Koelsysteem	koelsysteem	Kop van NH	Eenheid	Electrolyse	Koelsysteem	koelsysteem
Zeewater	miljoen m3/jaar	2,0	10,7	169	Zeewater	miljoen m3/jaar	6,5	35	556
Grondwater	miljoen m3/jaar	1,8	8,9	169	Grondwater	miljoen m3/jaar	5,9	29	556
Brak oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	1,5	7,7	169	Brak oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	4,9	25	556
Zoet oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	1,1	6,3	169	Zoet oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	3,7	21	556
RWZI effluent	miljoen m3/jaar	1,3	6,7	169	RWZI effluent	miljoen m3/jaar	4,2	22	556
Drinkwater	miljoen m3/jaar	1,1	6,0	162	Drinkwater	miljoen m3/jaar	3,7	20	534
Industriewater: Proces	miljoen m3/jaar	1,1	6,0	162	Industriewater: Proces	miljoen m3/jaar	3,7	20	534
Industriewater: Demi	miljoen m3/jaar	0,9	5,4	161	Industriewater: Demi	miljoen m3/jaar	3,0	18	528
	Min/max	0,9 - 2	5,4 - 10,7			Min/max	3 - 6,5	17,6 - 35,2	
Zeewater	m3/uur	227	1.224	19.326	Zeewater	m3/uur	744	4.020	63.474
Grondwater	m3/uur	204	1.020	19.326	Grondwater	m3/uur	670	3.350	63.474
Brak oppervlaktewater	m3/uur	170	874	19.326	Brak oppervlaktewater	m3/uur	558	2.871	63.474
Zoet oppervlaktewater	m3/uur	128	720	19.326	Zoet oppervlaktewater	m3/uur	419	2.365	63.474
RWZI effluent	m3/uur	146	765	19.326	RWZI effluent	m3/uur	479	2.513	63.474
Drinkwater	m3/uur	128	680	18.545	Drinkwater	m3/uur	419	2.233	60.909
Industriewater: Proces	m3/uur	128	680	18.545	Industriewater: Proces	m3/uur	419	2.233	60.909
Industriewater: Demi	m3/uur	103	612	18.360	Industriewater: Demi	m3/uur	338	2.010	60.300
	Min/max	103 - 227	612 - 1224			Min/max	338 - 744	2010 - 4020	
Zeewater	m3/s	0,06	0,34	5,4	Zeewater	m3/s	0,21	1,12	18
Grondwater	m3/s	0,06	0,28	5,4	Grondwater	m3/s	0,19	0,93	18
Brak oppervlaktewater	m3/s	0,05	0,24	5,4	Brak oppervlaktewater	m3/s	0,16	0,80	18
Zoet oppervlaktewater	m3/s	0,04	0,20	5,4	Zoet oppervlaktewater	m3/s	0,12	0,66	18
RWZI effluent	m3/s	0,04	0,21	5,4	RWZI effluent	m3/s	0,13	0,70	18
Drinkwater	m3/s	0,04	0,19	5,2	Drinkwater	m3/s	0,12	0,62	17
Industriewater: Proces	m3/s	0,04	0,19	5,2	Industriewater: Proces	m3/s	0,12	0,62	17
Industriewater: Demi	m3/s	0,03	0,17	5,1	Industriewater: Demi	m3/s	0,09	0,56	17
	Min/max	0,03 - 0,06	0,17 - 0,34			Min/max	0,09 - 0,21	0,56 - 1,12	

2030					2050				
1,72 GW					5,67 GW				
Eemshaven					Eemshaven				
		Gesloten		Doorstroom			Gesloten		Doorstroom
Eemshaven	Eenheid	Electrolyse	Koelsysteem	koelsysteem	Eemshaven	Eenheid	Electrolyse	Koelsysteem	koelsysteem
Zeewater	miljoen m3/jaar	3,3	18,1	285	Zeewater	miljoen m3/jaar	11,0	60	941
Grondwater	miljoen m3/jaar	3,0	15,1	285	Grondwater	miljoen m3/jaar	9,9	50	941
Brak oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	2,5	12,9	285	Brak oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	8,3	43	941
Zoet oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	1,9	10,6	285	Zoet oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	6,2	35	941
RWZI effluent	miljoen m3/jaar	2,2	11,3	285	RWZI effluent	miljoen m3/jaar	7,1	37	941
Drinkwater	miljoen m3/jaar	1,9	10,0	274	Drinkwater	miljoen m3/jaar	6,2	33	903
Industriewater: Proces	miljoen m3/jaar	1,9	10,0	274	Industriewater: Proces	miljoen m3/jaar	6,2	33	903
Industriewater: Demi	miljoen m3/jaar	1,5	9,0	271	Industriewater: Demi	miljoen m3/jaar	5,0	30	894
	Min/max	1,5 - 3,3	9 - 18,1			Min/max	5 - 11	29,8 - 59,6	
Zeewater	m3/uur	382	2.064	32.589	Zeewater	m3/uur	1.260	6.804	107.432
Grondwater	m3/uur	344	1.720	32.589	Grondwater	m3/uur	1.134	5.670	107.432
Brak oppervlaktewater	m3/uur	287	1.474	32.589	Brak oppervlaktewater	m3/uur	945	4.860	107.432
Zoet oppervlaktewater	m3/uur	215	1.214	32.589	Zoet oppervlaktewater	m3/uur	709	4.002	107.432
RWZI effluent	m3/uur	246	1.290	32.589	RWZI effluent	m3/uur	810	4.253	107.432
Drinkwater	m3/uur	215	1.147	31.273	Drinkwater	m3/uur	709	3.780	103.091
Industriewater: Proces	m3/uur	215	1.147	31.273	Industriewater: Proces	m3/uur	709	3.780	103.091
Industriewater: Demi	m3/uur	174	1.032	30.960	Industriewater: Demi	m3/uur	573	3.402	102.060
	Min/max	174 - 382	1032 - 2064			Min/max	573 - 1260	3402 - 6804	
Zeewater	m3/s	0,11	0,57	9,1	Zeewater	m3/s	0,35	1,9	30
Grondwater	m3/s	0,10	0,48	9,1	Grondwater	m3/s	0,32	1,6	30
Brak oppervlaktewater	m3/s	0,08	0,41	9,1	Brak oppervlaktewater	m3/s	0,26	1,4	30
Zoet oppervlaktewater	m3/s	0,06	0,34	9,1	Zoet oppervlaktewater	m3/s	0,20	1,1	30
RWZI effluent	m3/s	0,07	0,36	9,1	RWZI effluent	m3/s	0,23	1,2	30
Drinkwater	m3/s	0,06	0,32	8,7	Drinkwater	m3/s	0,20	1,1	29
Industriewater: Proces	m3/s	0,06	0,32	8,7	Industriewater: Proces	m3/s	0,20	1,1	29
Industriewater: Demi	m3/s	0,05	0,29	8,6	Industriewater: Demi	m3/s	0,16	0,9	28
	Min/max	0,05 - 0,11	0,29 - 0,57			Min/max	0,16 - 0,35	0,95 - 1,89	

2030					2050				
0,35 GW					1,15 GW				
Moerdijk	Eenheid	Gesloten		Doorstroom	Moerdijk	Eenheid	Gesloten		Doorstroom
		Electrolyse	Koelsysteem	koelsysteem			Electrolyse	Koelsysteem	koelsysteem
Zeewater	miljoen m3/jaar	0,7	3,7	58	Zeewater	miljoen m3/jaar	2,2	12,1	191
Grondwater	miljoen m3/jaar	0,6	3,1	58	Grondwater	miljoen m3/jaar	2,0	10,1	191
Brak oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	0,5	2,6	58	Brak oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	1,7	8,6	191
Zoet oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	0,4	2,2	58	Zoet oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	1,3	7,1	191
RWZI effluent	miljoen m3/jaar	0,4	2,3	58	RWZI effluent	miljoen m3/jaar	1,4	7,6	191
Drinkwater	miljoen m3/jaar	0,4	2,0	56	Drinkwater	miljoen m3/jaar	1,3	6,7	183
Industriewater: Proces	miljoen m3/jaar	0,4	2,0	56	Industriewater: Proces	miljoen m3/jaar	1,3	6,7	183
Industriewater: Demi	miljoen m3/jaar	0,3	1,8	55	Industriewater: Demi	miljoen m3/jaar	1,0	6,0	181
	Min/max	0,3 - 0,7	1,8 - 3,7			Min/max	1 - 2,2	6 - 12,1	
Zeewater	m3/uur	78	420	6.632	Zeewater	m3/uur	256	1.380	21.789
Grondwater	m3/uur	70	350	6.632	Grondwater	m3/uur	230	1.150	21.789
Brak oppervlaktewater	m3/uur	58	300	6.632	Brak oppervlaktewater	m3/uur	192	986	21.789
Zoet oppervlaktewater	m3/uur	44	247	6.632	Zoet oppervlaktewater	m3/uur	144	812	21.789
RWZI effluent	m3/uur	50	263	6.632	RWZI effluent	m3/uur	164	863	21.789
Drinkwater	m3/uur	44	233	6.364	Drinkwater	m3/uur	144	767	20.909
Industriewater: Proces	m3/uur	44	233	6.364	Industriewater: Proces	m3/uur	144	767	20.909
Industriewater: Demi	m3/uur	35	210		Industriewater: Demi	m3/uur	116	690	20.700
	Min/max	35 - 78	210 - 420			Min/max	116 - 256	690 - 1380	
Zeewater	m3/s	0,02	0,12	1,8	Zeewater	m3/s	0,07	0,38	6,1
Grondwater	m3/s	0,02	0,10	1,8	Grondwater	m3/s	0,06	0,32	6,1
Brak oppervlaktewater	m3/s	0,02	0,08	1,8	Brak oppervlaktewater	m3/s	0,05	0,27	6,1
Zoet oppervlaktewater	m3/s	0,01	0,07	1,8	Zoet oppervlaktewater	m3/s	0,04	0,23	6,1
RWZI effluent	m3/s	0,01	0,07	1,8	RWZI effluent	m3/s	0,05	0,24	6,1
Drinkwater	m3/s	0,01	0,06	1,8	Drinkwater	m3/s	0,04	0,21	5,8
Industriewater: Proces	m3/s	0,01	0,06	1,8	Industriewater: Proces	m3/s	0,04	0,21	5,8
Industriewater: Demi	m3/s	0,01	0,06		Industriewater: Demi	m3/s	0,03	0,19	5,8
	Min/max	0,01 - 0,02	0,06 - 0,12			Min/max	0,03 - 0,07	0,19 - 0,38	

2030					2050				
0,36 GW					1,18 GW				
Geertruidenberg	Eenheid	Gesloten		Doorstroom	Geertruidenberg	Eenheid	Gesloten		Doorstroom
		Electrolyse	Koelsysteem	koelsysteem			Electrolyse	Koelsysteem	koelsysteem
Zeewater	miljoen m3/jaar	0,7	3,8	60	Zeewater	miljoen m3/jaar	2,3	12,4	196
Grondwater	miljoen m3/jaar	0,6	3,2	60	Grondwater	miljoen m3/jaar	2,1	10,3	196
Brak oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	0,5	2,7	60	Brak oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	1,7	8,9	196
Zoet oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	0,4	2,2	60	Zoet oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	1,3	7,3	196
RWZI effluent	miljoen m3/jaar	0,5	2,4	60	RWZI effluent	miljoen m3/jaar	1,5	7,8	196
Drinkwater	miljoen m3/jaar	0,4	2,1	57	Drinkwater	miljoen m3/jaar	1,3	6,9	188
Industriewater: Proces	miljoen m3/jaar	0,4	2,1	57	Industriewater: Proces	miljoen m3/jaar	1,3	6,9	188
Industriewater: Demi	miljoen m3/jaar	0,3	1,9	57	Industriewater: Demi	miljoen m3/jaar	1,0	6,2	186
	Min/max	0,3 - 0,7	1,9 - 3,8			Min/max	1 - 2,3	6,2 - 12,4	
Zeewater	m3/uur	80	432	6.821	Zeewater	m3/uur	262	1.416	22.358
Grondwater	m3/uur	72	360	6.821	Grondwater	m3/uur	236	1.180	22.358
Brak oppervlaktewater	m3/uur	60	309	6.821	Brak oppervlaktewater	m3/uur	197	1.011	22.358
Zoet oppervlaktewater	m3/uur	45	254	6.821	Zoet oppervlaktewater	m3/uur	148	833	22.358
RWZI effluent	m3/uur	51	270	6.821	RWZI effluent	m3/uur	169	885	22.358
Drinkwater	m3/uur	45	240	6.545	Drinkwater	m3/uur	148	787	21.455
Industriewater: Proces	m3/uur	45	240	6.545	Industriewater: Proces	m3/uur	148	787	21.455
Industriewater: Demi	m3/uur	36	216	6.480	Industriewater: Demi	m3/uur	119	708	21.240
	Min/max	36 - 80	216 - 432			Min/max	119 - 262	708 - 1416	
Zeewater	m3/s	0,02	0,12	1,9	Zeewater	m3/s	0,07	0,39	6,2
Grondwater	m3/s	0,02	0,10	1,9	Grondwater	m3/s	0,07	0,33	6,2
Brak oppervlaktewater	m3/s	0,02	0,09	1,9	Brak oppervlaktewater	m3/s	0,05	0,28	6,2
Zoet oppervlaktewater	m3/s	0,01	0,07	1,9	Zoet oppervlaktewater	m3/s	0,04	0,23	6,2
RWZI effluent	m3/s	0,01	0,08	1,9	RWZI effluent	m3/s	0,05	0,25	6,2
Drinkwater	m3/s	0,01	0,07	1,8	Drinkwater	m3/s	0,04	0,22	6,0
Industriewater: Proces	m3/s	0,01	0,07	1,8	Industriewater: Proces	m3/s	0,04	0,22	6,0
Industriewater: Demi	m3/s	0,01	0,06	1,8	Industriewater: Demi	m3/s	0,03	0,20	5,9
	Min/max	0,01 - 0,02	0,06 - 0,12			Min/max	0,03 - 0,07	0,2 - 0,39	

2030					2050				
0,21 GW					0,7 GW				
		Gesloten		Doorstroom			Gesloten		Doorstroom
Tilburg	Eenheid	Electrolyse	Koelsysteem	koelsysteem	Tilburg	Eenheid	Electrolyse	Koelsysteem	koelsysteem
Zeewater	miljoen m3/jaar	0,4	2,2	35	Zeewater	miljoen m3/jaar	1,4	7,4	116
Grondwater	miljoen m3/jaar	0,4	1,8	35	Grondwater	miljoen m3/jaar	1,2	6,1	116
Brak oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	0,3	1,6	35	Brak oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	1,0	5,3	116
Zoet oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	0,2	1,3	35	Zoet oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	0,8	4,3	116
RWZI effluent	miljoen m3/jaar	0,3	1,4	35	RWZI effluent	miljoen m3/jaar	0,9	4,6	116
Drinkwater	miljoen m3/jaar	0,2	1,2	33	Drinkwater	miljoen m3/jaar	0,8	4,1	111
Industriewater: Proces	miljoen m3/jaar	0,2	1,2	33	Industriewater: Proces	miljoen m3/jaar	0,8	4,1	111
Industriewater: Demi	miljoen m3/jaar	0,2	1,1	33	Industriewater: Demi	miljoen m3/jaar	0,6	3,7	110
	Min/max	0,2 - 0,4	1,1 - 2,2			Min/max	0,6 - 1,4	3,7 - 7,4	
Zeewater	m3/uur	47	252	3.979	Zeewater	m3/uur	156	840	13.263
Grondwater	m3/uur	42	210	3.979	Grondwater	m3/uur	140	700	13.263
Brak oppervlaktewater	m3/uur	35	180	3.979	Brak oppervlaktewater	m3/uur	117	600	13.263
Zoet oppervlaktewater	m3/uur	26	148	3.979	Zoet oppervlaktewater	m3/uur	88	494	13.263
RWZI effluent	m3/uur	30	158	3.979	RWZI effluent	m3/uur	100	525	13.263
Drinkwater	m3/uur	26	140	3.818	Drinkwater	m3/uur	88	467	12.727
Industriewater: Proces	m3/uur	26	140	3.818	Industriewater: Proces	m3/uur	88	467	12.727
Industriewater: Demi	m3/uur	21	126	3.780	Industriewater: Demi	m3/uur	71	420	12.600
	Min/max	21 - 47	126 - 252			Min/max	71 - 156	420 - 840	
Zeewater	m3/s	0,01	0,07	1,1	Zeewater	m3/s	0,04	0,23	3,7
Grondwater	m3/s	0,01	0,06	1,1	Grondwater	m3/s	0,04	0,19	3,7
Brak oppervlaktewater	m3/s	0,01	0,05	1,1	Brak oppervlaktewater	m3/s	0,03	0,17	3,7
Zoet oppervlaktewater	m3/s	0,01	0,04	1,1	Zoet oppervlaktewater	m3/s	0,02	0,14	3,7
RWZI effluent	m3/s	0,01	0,04	1,1	RWZI effluent	m3/s	0,03	0,15	3,7
Drinkwater	m3/s	0,01	0,04	1,1	Drinkwater	m3/s	0,02	0,13	3,5
Industriewater: Proces	m3/s	0,01	0,04	1,1	Industriewater: Proces	m3/s	0,02	0,13	3,5
Industriewater: Demi	m3/s	0,01	0,04	1,1	Industriewater: Demi	m3/s	0,02	0,12	3,5
	Min/max	0,01 - 0,01	0,04 - 0,07			Min/max	0,02 - 0,04	0,12 - 0,23	

2030					2050				
0,64 GW					2,1 GW				
		Gesloten		Doorstroom			Gesloten		Doorstroom
Chemelot	Eenheid	Electrolyse	Koelsysteem	koelsysteem	Chemelot	Eenheid	Electrolyse	Koelsysteem	koelsysteem
Zeewater	miljoen m3/jaar	1,2	6,7	106	Zeewater	miljoen m3/jaar	4,1	22	349
Grondwater	miljoen m3/jaar	1,1	5,6	106	Grondwater	miljoen m3/jaar	3,7	18	349
Brak oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	0,9	4,8	106	Brak oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	3,1	16	349
Zoet oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	0,7	4,0	106	Zoet oppervlaktewater	miljoen m3/jaar	2,3	13	349
RWZI effluent	miljoen m3/jaar	0,8	4,2	106	RWZI effluent	miljoen m3/jaar	2,6	14	349
Drinkwater	miljoen m3/jaar	0,7	3,7	102	Drinkwater	miljoen m3/jaar	2,3	12	334
Industriewater: Proces	miljoen m3/jaar	0,7	3,7	102	Industriewater: Proces	miljoen m3/jaar	2,3	12	334
Industriewater: Demi	miljoen m3/jaar	0,6	3,4	101	Industriewater: Demi	miljoen m3/jaar	1,9	11	331
	Min/max	0,6 - 1,2	3,4 - 6,7			Min/max	1,9 - 4,1	11 - 22,1	
Zeewater	m3/uur	142	768	12.126	Zeewater	m3/uur	467	2.520	39.789
Grondwater	m3/uur	128	640	12.126	Grondwater	m3/uur	420	2.100	39.789
Brak oppervlaktewater	m3/uur	107	549	12.126	Brak oppervlaktewater	m3/uur	350	1.800	39.789
Zoet oppervlaktewater	m3/uur	80	452	12.126	Zoet oppervlaktewater	m3/uur	263	1.482	39.789
RWZI effluent	m3/uur	91	480	12.126	RWZI effluent	m3/uur	300	1.575	39.789
Drinkwater	m3/uur	80	427	11.636	Drinkwater	m3/uur	263	1.400	38.182
Industriewater: Proces	m3/uur	80	427	11.636	Industriewater: Proces	m3/uur	263	1.400	38.182
Industriewater: Demi	m3/uur	65	384	11.520	Industriewater: Demi	m3/uur	212	1.260	37.800
	Min/max	65 - 142	384 - 768			Min/max	212 - 467	1260 - 2520	
Zeewater	m3/s	0,04	0,21	3,4	Zeewater	m3/s	0,13	0,7	11
Grondwater	m3/s	0,04	0,18	3,4	Grondwater	m3/s	0,12	0,6	11
Brak oppervlaktewater	m3/s	0,03	0,15	3,4	Brak oppervlaktewater	m3/s	0,10	0,5	11
Zoet oppervlaktewater	m3/s	0,02	0,13	3,4	Zoet oppervlaktewater	m3/s	0,07	0,4	11
RWZI effluent	m3/s	0,03	0,13	3,4	RWZI effluent	m3/s	0,08	0,4	11
Drinkwater	m3/s	0,02	0,12	3,2	Drinkwater	m3/s	0,07	0,4	11
Industriewater: Proces	m3/s	0,02	0,12	3,2	Industriewater: Proces	m3/s	0,07	0,4	11
Industriewater: Demi	m3/s	0,02	0,11	3,2	Industriewater: Demi	m3/s	0,06	0,4	11
	Min/max	0,02 - 0,04	0,11 - 0,21			Min/max	0,06 - 0,13	0,35 - 0,7	



Bijlage 2: Beoordeling waterbeschikbaarheid van RWZI effluent

Bron voor de DWA van de RWZI's <https://waterketeninbeeld.geoatlas.nl/>. Afvalwaterprognoseviewer gebaseerd op data van CBS 2020.

Specifiek voor de IAZI bij Chemelot is de Watervergunning voor de lozing geraadpleegd (BESLUIT WATERVERGUNNING Datum: 15 december 2020 Zaaknummer: 2019-Z4532 genaamd de Zijtak Ur. Installatie, gelegen aan de Dalerveltweg 5 te Stein, in het oppervlaktewater genaamd de Zijtak Ur. Zaaknummer: 2019-Z4532 Datum: 15 december 2020).

Specifiek voor de AWZI Sloe is geraadpleegd de factsheet op de [website van Evides](#).

Beoordeling voor 2030

Locatie	RWZI			Elektrolyser	Gesloten Koeling	Doorstroom-koeling	Oordeel
Borsele		watervraag	m ³ /uur	169	885	22358	
	RWZI Walcheren	DWA RWZI 2920	m ³ /uur	ja	ja	nee	2b
	AWZI Sloe	flow 458	m ³ /uur	ja	nee	nee	2a
Eemshaven		watervraag	m ³ /uur	246	1290	32589	
	RWZI Uithuizermeeden	DWA RWZI 128	m ³ /uur	nee	nee	nee	1b
	RWZI Delfzijl	DWA RWZI 443	m ³ /uur	ja	nee	nee	2a
	RWZI Garmerwolde	DWA RWZI 3409	m ³ /uur	ja	ja	nee	2b
Noordzee-kanaal-gebied		watervraag	m ³ /uur	34	180	4547	
	RWZI Beverwijk	DWA RWZI 1774	m ³ /uur	ja	ja	nee	2b
	AWZI Velzen	DWA RWZI 610	m ³ /uur	ja	ja	nee	2b
Kop van NH		watervraag	m ³ /uur	146	765	19326	
	RWZI Den Helder	DWA RWZI 699	m ³ /uur	ja	nee	nee	2a
	RWZI Stolpen	DWA RWZI 352	m ³ /uur	ja	nee	nee	2a
	RWZI Wieringen	DWA RWZI 85	m ³ /uur	nee	nee	nee	1a
	RWZI Wervershoof	DWA RWZI 1640	m ³ /uur	ja	ja	nee	2b
	RWZI Geestmerambacht	DWA RWZI 1528	m ³ /uur	ja	ja	nee	2b
	RWZI Alkmaar	DWA RWZI 454	m ³ /uur	ja	nee	nee	2a
	RWZI Heiloo	DWA RWZI 401	m ³ /uur	ja	nee	nee	2a
	RWZI Oosthuizen	DWA RWZI 40	m ³ /uur	nee	nee	nee	1a
	RWZI Beemster	DWA RWZI 826	m ³ /uur	ja	ja	nee	1a
	RWZI Wieringermeer	DWA RWZI 96	m ³ /uur	nee	nee	nee	1b
	RWZI Ursem	DWA RWZI 318	m ³ /uur	ja	nee	nee	2a
Rotterdam		watervraag	m ³ /uur	193	1013	25579	

Projectgerelateerd

Locatie	RWZI		Elektrolyser	Gesloten Koeling	Doorstroom-koeling	Oordeel	
(Maasvlakte)	RWZI Oostvoorne	DWA RWZI	237 m ³ /uur	ja	nee	nee	2a
	RWZI Nieuwe waterweg	DWA RWZI	890 m ³ /uur	ja	nee	nee	2a
	RWZI Hellevoetsluis	DWA RWZI	812 m ³ /uur	ja	nee	nee	2a
(Botlek)	RWZI Grote Lucht	DWA RWZI	2550 m ³ /uur	ja	ja	nee	2b
	RWZI Rozenburg	DWA RWZI	147 m ³ /uur	nee	nee	nee	1b
		watervraag	m ³ /uur	50	263	6632	
Moerdijk	RWZI Lage Zwaluwe	DWA RWZI	68 m ³ /uur	ja	nee	nee	2a
	RWZI Nieuwveer	DWA RWZI	2468 m ³ /uur	ja	ja	nee	2b
		watervraag	m ³ /uur	51	270	6821	
Geertruidenberg	RWZI Dongemond	DWA RWZI	1017 m ³ /uur	ja	ja	nee	2b
	RWZI Waspik	DWA RWZI	99 m ³ /uur	ja	nee	nee	2a
	RWZI Lage Zwaluwe	DWA RWZI	68 m ³ /uur	ja	nee	nee	2a
		watervraag	m ³ /uur	30	158	3979	
Tilburg	RWZI Riel	DWA RWZI	59 m ³ /uur	ja	nee	nee	2a
	RWZI Tilburg Noord	DWA RWZI	2026 m ³ /uur	ja	ja	nee	2b
	RWZI Kaatsheuvel	DWA RWZI	383 m ³ /uur	ja	ja	nee	2b
	RWZI Haaren	DWA RWZI	349 m ³ /uur	ja	ja	nee	2b
	RWZI Rijen	DWA RWZI	481 m ³ /uur	ja	ja	nee	2b
		watervraag	m ³ /uur	91	480	12126	
Chemelot	RWZI Stein	DWA RWZI	256 m ³ /uur	ja	nee	nee	2a
	RWZI Hoensbroek*	DWA RWZI	1750 m ³ /uur	ja	ja	nee	2b
	RWZI Susteren*	DWA RWZI	2415 m ³ /uur	ja	ja	nee	2b
	AWZI IAZI chemelot	DWZ AWZI	3420 m ³ /uur	ja	ja	nee	2b
		* liggen op 11 km					
		watervraag	m ³ /uur	169	885	22358	
Terneuzen	RWZI Terneuzen	DWA RWZI**	663 m ³ /uur	ja	nee	nee	2a
	RWZI Boekhout (Aquafin België)	DWA RWZI*	21 m ³ /uur	nee	nee	nee	1b

*DWA RWZI afgeleid uit maximale capaciteit (5% ontwerpcapaciteit (m³/d) = 25,5)

** maar dit water wordt geleverd nu aan DOW Terneuzen, dus niet beschikbaar

Beoordeling voor 2050

Locatie	RWZI			Elektrolyser	Gesloten Koeling	Doorstroom-koeling	Oordeel	
Borsele			watervraag	m ³ /uur	556	2918	73705	
	RWZI	Walcheren	DWA RWZI	2920 m ³ /uur	ja	ja	nee	2b
	AWZI	Sloe	flow	458 m ³ /uur	nee	nee	nee	1b
Eemshaven			watervraag	m ³ /uur	810	4253	107432	
	RWZI	Uithuizermeeden	DWA RWZI	128 m ³ /uur	nee	nee	nee	1b
	RWZI	Delfzijl	DWA RWZI	443 m ³ /uur	nee	nee	nee	1b
	RWZI	Garmerwolde	DWA RWZI	3409 m ³ /uur	ja	nee	nee	2a
Noordzee- kanaal- gebied			watervraag	m ³ /uur	111	585	14779	
	RWZI	Beverwijk	DWA RWZI	1774 m ³ /uur	ja	ja	nee	2b
	AWZI	Velzen	DWA RWZI	610 m ³ /uur	ja	ja	nee	2b
Kop van NH			watervraag	m ³ /uur	479	2513	63474	
	RWZI	Den Helder	DWA RWZI	699 m ³ /uur	ja	nee	nee	2a
	RWZI	Stolpen	DWA RWZI	352 m ³ /uur	nee	nee	nee	1b
	RWZI	Wieringen	DWA RWZI	85 m ³ /uur	nee	nee	nee	1a
	RWZI	Wervershoof	DWA RWZI	1640 m ³ /uur	ja	nee	nee	2a
	RWZI	Geestmerambacht	DWA RWZI	1528 m ³ /uur	ja	nee	nee	2a
	RWZI	Alkmaar	DWA RWZI	454 m ³ /uur	nee	nee	nee	1b
	RWZI	Heiloo	DWA RWZI	401 m ³ /uur	nee	nee	nee	1b
	RWZI	Oosthuizen	DWA RWZI	40 m ³ /uur	nee	nee	nee	1a
	RWZI	Beemster	DWA RWZI	826 m ³ /uur	ja	nee	nee	1a
RWZI	Wieringermeer	DWA RWZI	96 m ³ /uur	nee	nee	nee	1b	
RWZI	Ursem	DWA RWZI	318 m ³ /uur	nee	nee	nee	1b	
Rotterdam (Maasvlakte)			watervraag	m ³ /uur	636	3338	84316	
	RWZI	Oostvoorne	DWA RWZI	237 m ³ /uur	nee	nee	nee	1b
	RWZI	Nieuwe waterweg	DWA RWZI	890 m ³ /uur	ja	nee	nee	2a
	RWZI	Hellevoetsluis	DWA RWZI	812 m ³ /uur	ja	nee	nee	2a
	(Botlek)	RWZI	Groote Lucht	DWA RWZI	2550 m ³ /uur	ja	nee	nee
RWZI		Rozenburg	DWA RWZI	147 m ³ /uur	nee	nee	nee	1b
Moerdijk			watervraag	m ³ /uur	164	863	21789	
	RWZI	Lage Zwaluwe	DWA RWZI	68 m ³ /uur	nee	nee	nee	1b

Projectgerelateerd



Locatie	RWZI		Elektrolyser	Gesloten Koeling	Doorstroom-koeling	Oordeel	
	RWZI Nieuwveer	DWA RWZI 2468	m ³ /uur	ja	ja	nee	2b
		watervraag	m ³ /uur	169	885	22358	
Geertruidenberg	RWZI Dongemond	DWA RWZI 1017	m ³ /uur	ja	ja	nee	2b
	RWZI Waspik	DWA RWZI 99	m ³ /uur	nee	nee	nee	1b
	RWZI Lage Zwaluwe	DWA RWZI 68	m ³ /uur	nee	nee	nee	1b
		watervraag	m ³ /uur	100	525	13263	
Tilburg	RWZI Riel	DWA RWZI 59	m ³ /uur	nee	nee	nee	1b
	RWZI Tilburg Noord	DWA RWZI 2026	m ³ /uur	ja	ja	nee	2b
	RWZI Kaatsheuvel	DWA RWZI 383	m ³ /uur	ja	nee	nee	2a
	RWZI Haaren	DWA RWZI 349	m ³ /uur	ja	nee	nee	2a
	RWZI Rijen	DWA RWZI 481	m ³ /uur	ja	nee	nee	2a
		watervraag	m ³ /uur	300	1575	39789	
Chemelot	RWZI Stein	DWA RWZI 256	m ³ /uur	nee	nee	nee	1b
	RWZI Hoensbroek*	DWA RWZI 1750	m ³ /uur	ja	ja	nee	2b
	RWZI Susteren*	DWA RWZI 2415	m ³ /uur	ja	ja	nee	2b
	AWZI IAZI chemelot	DWZ AWZI 3420	m ³ /uur	ja	ja	nee	2b
	* liggen op 11 km						
		watervraag	m ³ /uur	169	885	22358	
Terneuzen	RWZI Terneuzen	DWA RWZI** 663	m ³ /uur	ja	nee	nee	2a
	RWZI Boekhout (Aquafin België)	DWA RWZI* 21	m ³ /uur	nee	nee	nee	1b

*DWA RWZI afgeleid uit maximale capaciteit (5% ontwerpcapaciteit (m³/d) = 25,5)

** maar dit water wordt geleverd nu aan DOW Terneuzen, dus niet beschikbaar

Bijlage 3: Zomerafvoeren hoofdwatersysteem bij lage rivierafvoeren

De kaarten tonen indicatief de verdeling van water en de grote onttrekkingen aan oppervlaktewater binnen Nederland. Het gaat om oppervlaktewater en de volgende af- en aanvoergegevens:

- uitwisseling tussen het hoofdwatersysteem en de regionale wateren;
- de grotere doorvoerlocaties binnen het regionale watersysteem;
- onttrekkingen door andere (grotere) gebruikers uit het hoofdwatersysteem;
- overige relevante locaties.

Er zijn kaarten voor twee omstandigheden:

1. Een zeer lage afvoersituatie bij een flink neerslagtekort van circa 270 mm:

- Rijn ~700 m³/s bij Lobith, een situatie zoals op 20 augustus 2022. Een dergelijke afvoer kwam sinds 1901 niet eerder voor in augustus, en de laatste 50 jaar alleen in het najaar van 2018;
- Maas ~30 m³/s bij Sint Pieter, een situatie zoals op 16 augustus 2022. Een dergelijke afvoer kwam sinds 1991 meerdere keren voor en is minder uitzonderlijk dan de afvoer van de Rijn in augustus 2022.

2. Een lage tot normale afvoersituatie en neerslagtekort van circa 120 mm:

- Rijn ~1300 m³/s bij Lobith, een situatie zoals op 16 juni 2022;
- Maas ~60 m³/s bij Sint Pieter, een situatie zoals op 16 juni 2022.

De kaarten tonen indicatieve waarden, zoveel mogelijk gebaseerd op een reële situatie zoals op de genoemde data. De kaarten zijn voor het grootste deel gebaseerd op informatie van de waterbeheerders. Belangrijk hierbij is dat:

- Waterverdeling situationeel wordt uitgevoerd. Dat wil zeggen: op basis van de behoeften, omstandigheden en mogelijkheden op het moment. Elke volgende situatie met vergelijkbare afvoeren zal op diverse locaties een andere verdeling hebben;
- De gegevens op deze kaart daarom indicatief en informerend zijn en geen handvat voor volgende soortgelijke situaties;
- De getoonde waarden onzekerheden hebben: ze komen niet altijd van metingen, maar ook van inschattingen of uit modelberekeningen. Afvoermetingen hebben ook onzekerheden.

De kaarten zijn door Rijkswaterstaat gepubliceerd op:

[Waterbeheer kaarten \(wkaart.github.io\)](https://wkaart.github.io)

Op de volgende pagina's zijn uitsneden van de kaarten weergegeven die zijn gebruikt in de studie.



Deze kaart toont een waterverdeling van het oppervlaktewater in Nederland bij een afvoer van de Rijn bij Lobith rond de 1300 m³/s en van de Maas van Sint Pieter rond de 60 m³/s bij een neerslagtekort boven de 120 mm. Dit is een situatie die vergelijkbaar is met de eerste weken van juni in 2022.

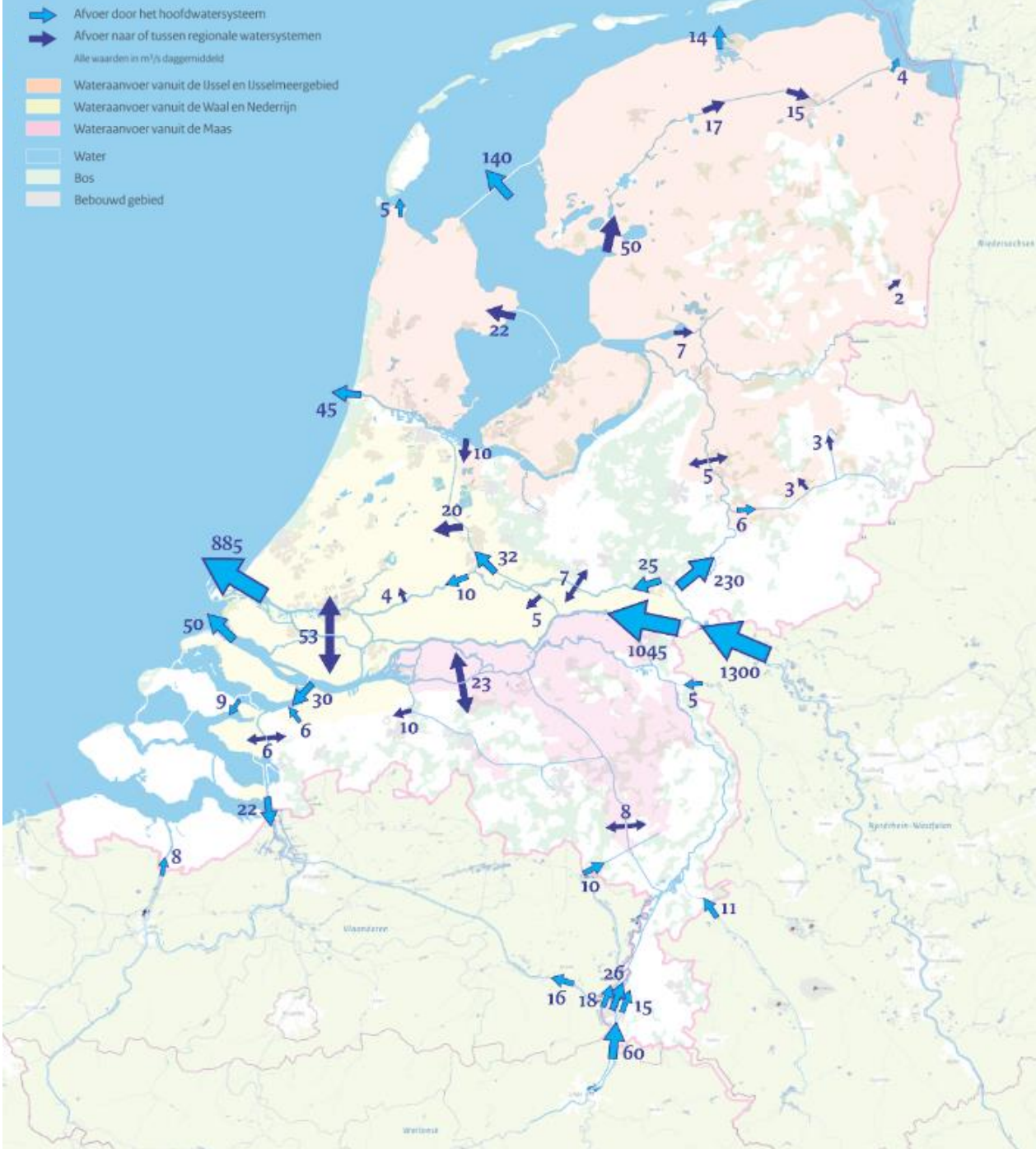
Veel van de weergegeven afvoeren en innames zijn gebaseerd op die situatie. De waterverdeling wordt in de praktijk flexibel gestuurd rekening houdend met de behoefte, vergunningen, de noodzaak van innames voor bijvoorbeeld drinkwater en bij dreigend watertekort op basis van de verdringingsreeks. Elke situatie is anders. De gegevens op deze kaart zijn daarom indicatief en informerend en geen handvat voor volgende soortgelijke situaties.











De afvoeren zijn gebaseerd op door de waterbeheerders aangeleverde gegevens. De pijlen op de uitwisselpunten staan zoveel mogelijk op de goede locatie. Voor diverse watersystemen geldt dat er veel uitwisselpunten zijn en daarvoor zijn geaggregeerde waarden weergegeven. Dit geldt met name voor de Zuid-Willemsvaart, het Wilhelminakanaal, de Twentekanalen, de westkant van het IJsselmeer en Markermeer en de Hollandse Delta.

Deze kaart is gemaakt door Cartonext voor het Deltaprogramma Zoetwater in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (DG Rijkswaterstaat en DG Water en Bodem) en de Unie van Waterschappen.

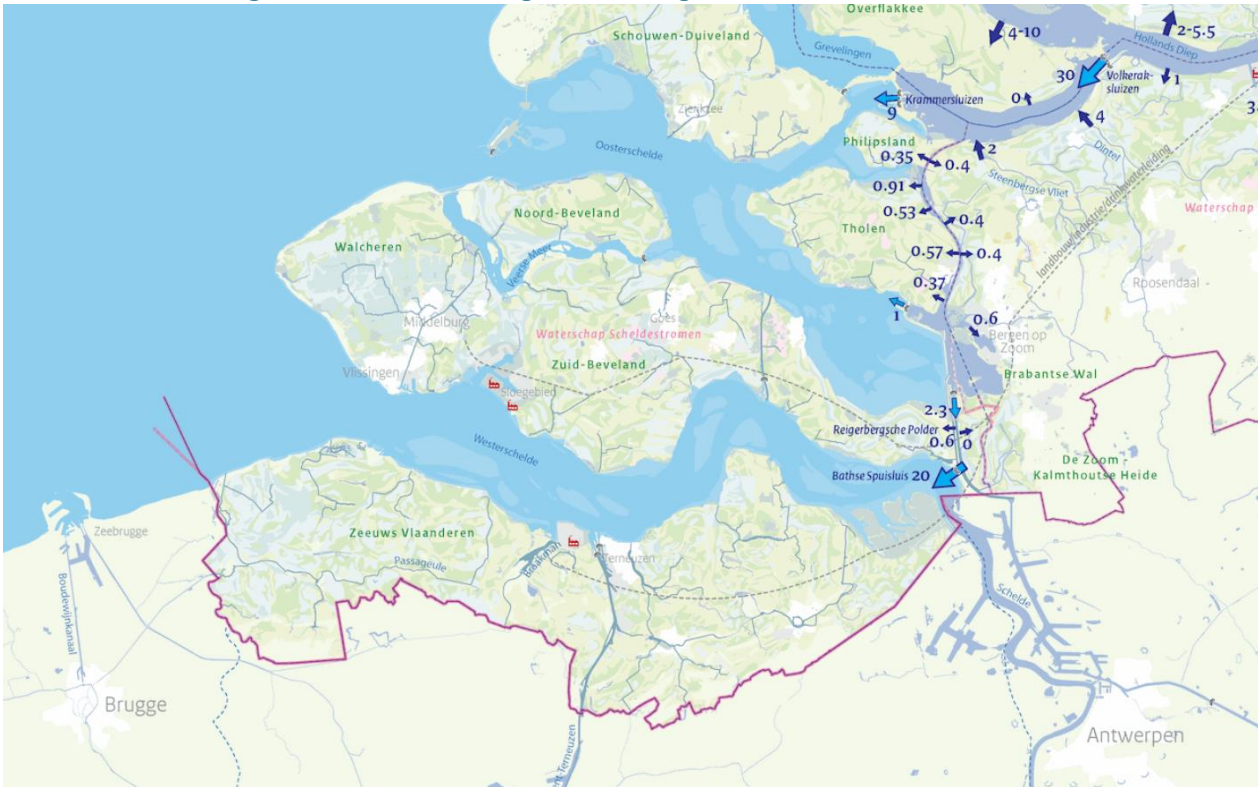
Februari 2024

Een waterverdeling bij lage rivierafvoeren en droge omstandigheden

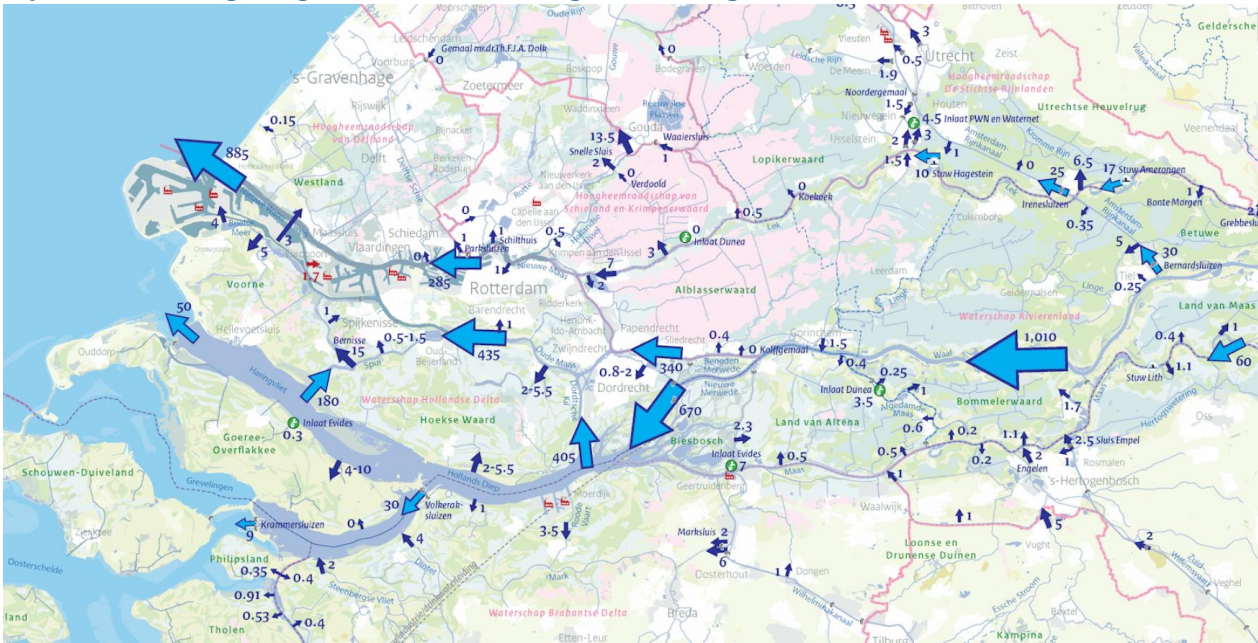


	Afvoer door het hoofwatersysteem (in m ³ /s daggemiddeld)
	Afvoer naar of tussen regionale watersystemen (in m ³ /s daggemiddeld)
	Drinkwaterinlaat
	Sluis
	Stuw
	Electriciteitscentrale
	Bruinkoolmijn
	Provinciegrens
	Waterschapsgrens
	Brak water (periodiek)
	Zoet water
	Zout water
	Droogvallend water
	Moeras/dras
	Lichte Klei
	Zware Klei
	Lichte Zavel
	Zware Zavel
	Veen
	Leem
	Zand
	Moerig op zand
	Bebouwd gebied
	Industrie

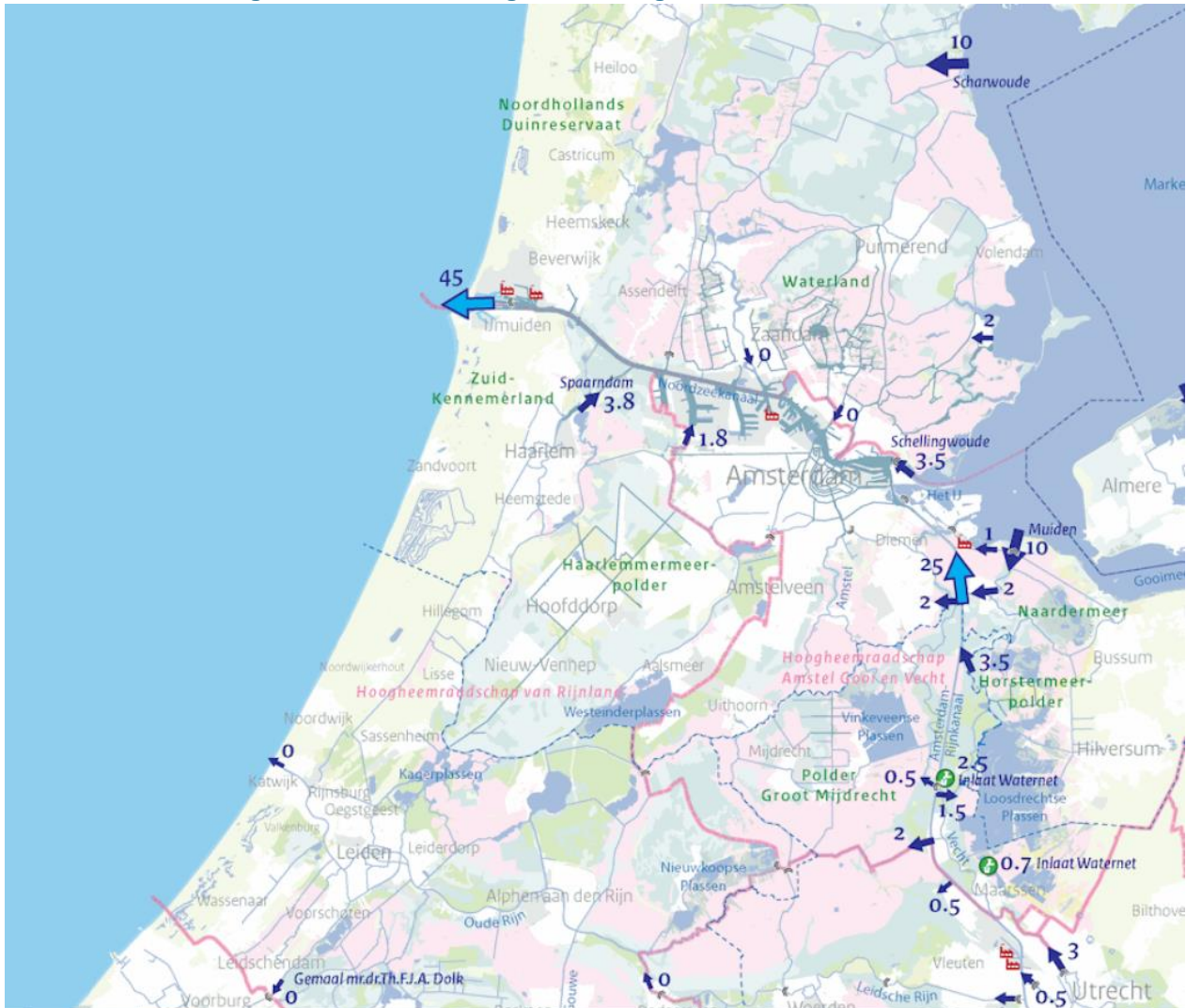
Westerschelde - Lage rivierafvoer en droge omstandigheden



Rijn Maasmonding - Lage rivierafvoer en droge omstandigheden



Noordzeekanaal - Lage rivierafvoer en droge omstandigheden



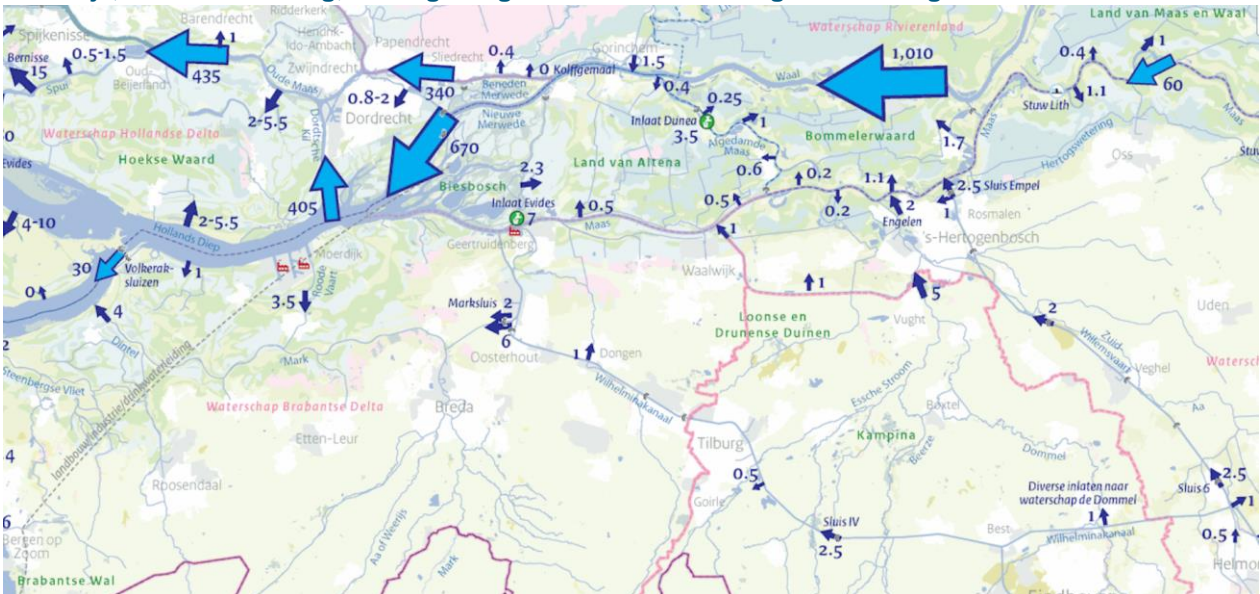
Kop van Noord-Holland en Den Helder - Lage rivierafvoer en droge omstandigheden



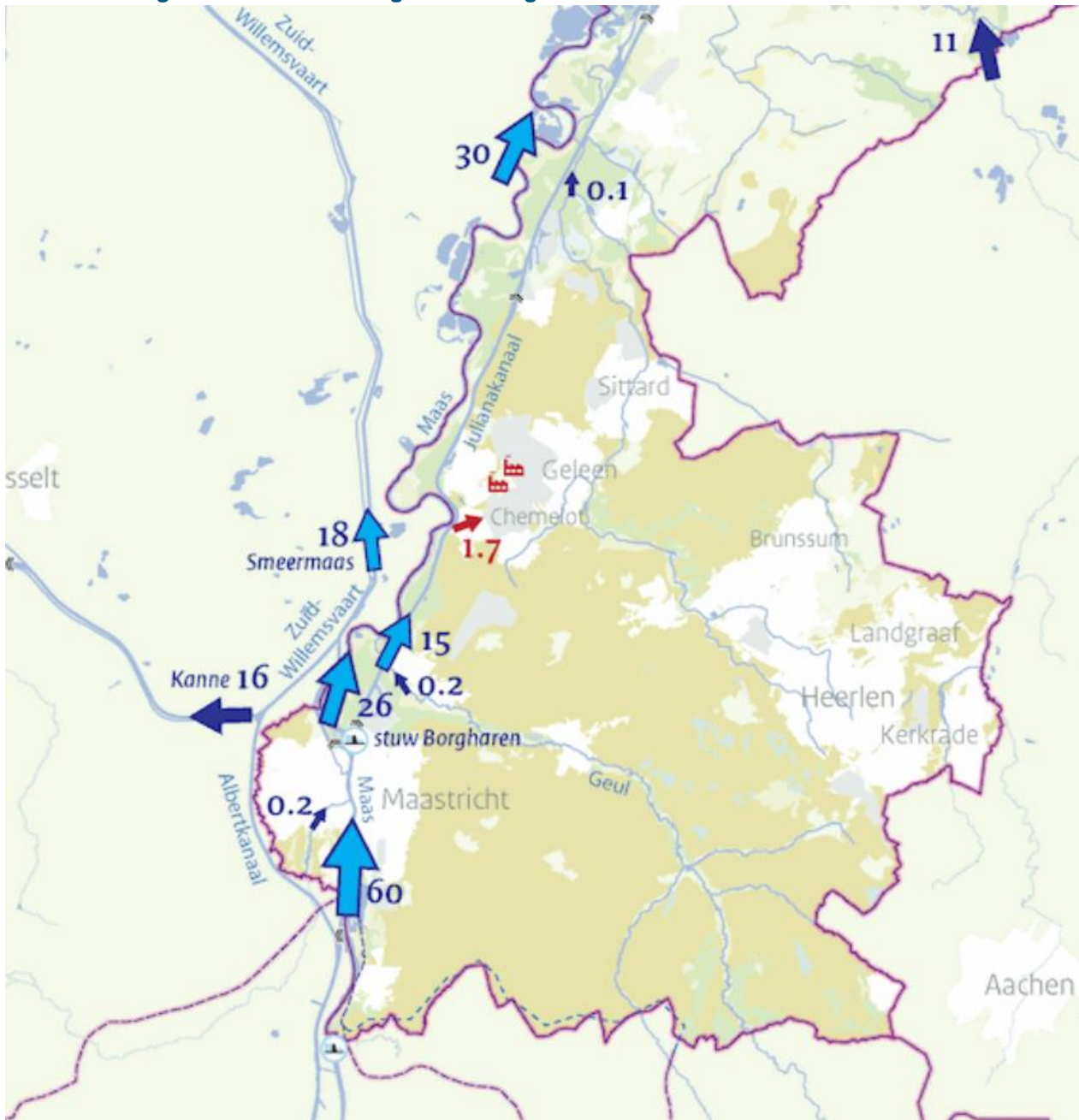
Eemshaven - Lage rivierafvoer en droge omstandigheden



Moerdijk, Geertruidenberg, Tilburg - Lage rivierafvoer en droge omstandigheden



Chemelot - Lage rivierafvoer en droge omstandigheden





Deze kaart toont een waterverdeling van het oppervlaktewater in Nederland bij een afvoer van de Rijn bij Lobith rond de 700 m³/s en van de Maas van Sint Pieter rond de 30 m³/s bij een neerslagtekort boven de 250 mm. Dit is een situatie die vergelijkbaar is met de derde week van augustus in 2022.











Veel van de weergegeven afvoeren en innames zijn gebaseerd op die situatie. De waterverdeling wordt in de praktijk flexibel gestuurd rekening houdend met de behoefte, vergunningen, de noodzaak van innames voor bijvoorbeeld drinkwater en bij dreigend watertekort op basis van de verdringingsreeks. Elke situatie is anders. De gegevens op deze kaart zijn daarom indicatief en informerend en geen handvat voor volgende soortgelijke situaties.

De afvoeren zijn gebaseerd op door de waterbeheerders aangeleverde gegevens. De pijlen op de uitwisselpunten staan zoveel mogelijk op de goede locatie. Voor diverse watersystemen geldt dat er veel uitwisselpunten zijn en daarvoor zijn geaggregeerde waarden weergegeven. Dit geldt met name voor de Zuid-Willemsvaart, het Wilhelminakanaal, de Twentekanal, de westkant van het IJsselmeer en Markermeer en de Hollandse Delta.

Deze kaart is gemaakt door Cartonext voor het Deltaprogramma Zoetwater in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (DG Rijkswaterstaat en DG Water en Bodem) en de Unie van Waterschappen.

Februari 2024



	Afvoer door het hoofwatersysteem (in m ³ /s daggemiddeld)
	Afvoer naar of tussen regionale watersystemen (in m ³ /s daggemiddeld)
	Drinkwaterinlaat
	Sluis
	Stuw
	Electriciteitscentrale
	Bruinkoolmijn
	Provinciegrens
	Waterschapsgrens
	Brak water (periodiek)
	Zoet water
	Zout water
	Droogvallend water
	Moeras/dras
	Lichte Klei
	Zware Klei
	Lichte Zavel
	Zware Zavel
	Veen
	Leem
	Zand
	Moerig op zand
	Bebouwd gebied
	Industrie

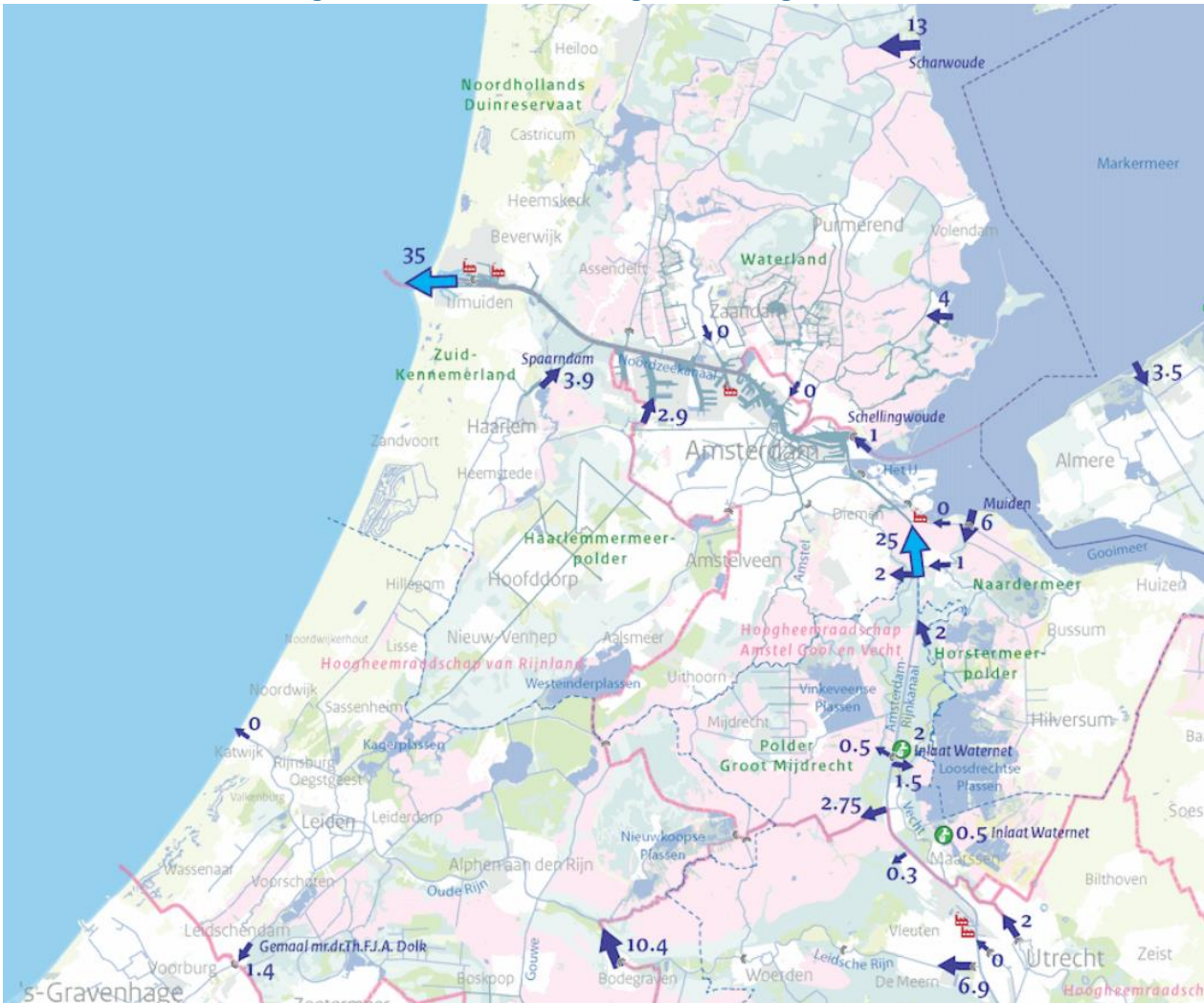
Westerschelde – Zeer lage rivierafvoer en zeer droge omstandigheden



Rijn Maasmonding – Zeer lage rivierafvoer en zeer droge omstandigheden



Noordzeekanaal – Zeer lage rivierafvoer en zeer droge omstandigheden



Kop van Noord-Holland en Den Helder – Zeer lage rivierafvoer en zeer droge omstandigheden



Eemshaven – Zeer lage rivierafvoer en zeer droge omstandigheden



Moerdijk, Geertruidenberg, Tilburg – Zeer lage rivierafvoer en zeer droge omstandigheden



Chemelot – Zeer lage rivierafvoer en zeer droge omstandigheden



Bijlage 4: Watervraag voor de energieproductie

Scenario's energieproductie Nederland

Voor de productie van energie in Nederland in 2025 en 2030 zijn wij uitgegaan van de IP2024 (Investeringsplannen 2024) en voor 2050 zijn wij uitgegaan van de I13050v2 scenario's. De energieproductie (in TWh) hebben wij berekend uit de scenario's afkomstig uit het Energy Transition Model (d.d. 20 juni 2024).

Deze analyse gaat niet in op naar het eindgebruik van geproduceerde elektriciteit en waterstof. Belangrijk om op te merken is dat momenteel de geproduceerde waterstof nog niet gebruikt wordt voor energiedoelinden, maar bijvoorbeeld als grondstof voor de industrie en de productie van synthetische brandstoffen in Nederland en export naar andere landen. Ook de import van aardolie en aardgas is niet meegenomen, noch de verwerking van aardolie voor het produceren van olieproducten.

TNO heeft in de whitepaper 'Toekomst van het Nederlandse energysysteem' (mei 2024) een vergelijking gemaakt tussen verschillende scenariostudies voor het Nederlandse energiesysteem. Het ADAPT scenario bevat 266 PJ waterstofproductie d.m.v. elektrolyse in Nederland, het TRANSFORM scenario 320 PJ. Het minimale I13050 scenario (Internationale handel) bevat 157 PJ waterstofproductie d.m.v. elektrolyse, het maximale I13050 scenario (Nationale sturing) 491 PJ.

Het minimale scenario van PBL (Trajectverkenning klimaatneutraal 2050, 2024) bevat 333 PJ waterstofproductie d.m.v. elektrolyse (Pragmatisch, beperkt), het maximale scenario 462 PJ (Pragmatisch, ruim).

Concluderend bevat het minimale I13050 scenario een lagere waterstofproductie dan de TNO en PBL scenario's. Het maximale I13050 scenario gaat uit van een hogere waterstofproductie dan de TNO en PBL scenario's. De scenario's van TNO en PBL vallen dus binnen de I13050 scenario's qua elektrolyse in Nederland in 2050, zodat de I13050 scenario's een goed beeld geven van de bandbreedte in elektrolysecapaciteit in Nederland.

Projectgerelateerd



Energieproductie in de verschillende scenario's

Energieproductie	subcategorie	eenheid	2025			MIN 2025	MAX 2025	2030			MIN 2030	MAX 2030	2050				MIN 2050	MAX 2050	
			07/04/2023		07/04/2023	07/04/2023			07/04/2023		07/04/2023			09/05/2023	26/01/2024	07/04/2024	07/04/2024		
last updated:	scenario		KA	ND	IA			KA	ND	IA			DEC	NAT	EUR	INT			
windenergie	totaal	GW	13,4	13,9	13,0	13,0	13,9	31,0	31,8	30,3					57,3	85,2	48,0	53,3	
		EJ	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,5	0,4					0,8	1,1	0,8	0,8	
		TWh	46,5	48,0	45,0	45,0	48,0	125,0	128,7	120,0	120,0	128,7	223,8	311,0	212,5	212,5	212,5	212,5	212,5
	wind op land	GW	7,3	7,8	6,8	6,8	7,8	9,1	10,3	7,5					15,0	20,0	10,0	10,0	
	wind op zee	GW	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	21,5	21,5	21,5					37,0	52,0	38,0	38,0	
Zon PV	totaal	GW	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,4	0,0	1,3					5,3	13,2	0,0	5,3	
		EJ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					0,0	0,0	0,0	0,0	
		TWh	37,0	44,8	29,2	29,2	44,8	50,8	64,8	36,2	133,1	126,9	89,9	74,1	133,1	126,9	89,9	74,1	133,1
	zon op land en water	GW	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1					0,4	0,4	0,3	0,2	
	zon op gebouwen/woningen	GW	34,6	42,1	27,3	27,3	42,1	46,7	59,8	33,2	33,2	59,8	103,9	99,0	78,6	64,8	64,8	64,8	103,9
Overig hernieuwbaar	totaal	GW	12,1	14,3	9,6	9,6	14,3	19,6	24,6	14,3					58,0	58,0	35,0	35,0	
		EJ	24,9	30,5	19,6	19,6	30,5	31,2	40,2	21,9					75,1	68,9	54,9	39,1	
		TWh	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	hydroelectric	GW	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					0,0	0,0	0,0	0,0	
		EJ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					0,0	0,0	0,0	0,0	
		TWh	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	biomassa	GW	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4					0,0	0,0	0,0	0,0	
		EJ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					0,0	0,0	0,0	0,0	
		TWh	3,3	3,4	3,3	3,3	3,4	1,8	3,6	1,8	1,8	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	afvalcentrale	GW	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,0					0,0	0,0	0,0	0,0	
		EJ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					0,0	0,0	0,0	0,0	
		TWh	3,2	3,4	3,2	3,2	3,4	2,1	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	geothermie (elektrisch)	GW	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					0,0	0,0	0,0	0,0	
		EJ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					0,0	0,0	0,0	0,0	
		TWh	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Groen gas	TWh	13,4	9,1	17,6	9,1	17,6	34,4	18,1	42,9	18,1	42,9	45,8	31,4	133,6	19,1	19,1	133,6		
Aardgaswinning	TWh	92,2	92,2	92,2	92,2	92,2	40,6	40,6	40,6	40,6	40,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Waterstof groen	TWh	1,6	3,1	1,9	1,6	3,1	12,2	25,5	18,0	12,2	25,5	75,4	116,3	40,1	45,4	40,1	116,3		
Waterstof blauw	TWh	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,4	32,7	32,7	32,4	32,7	10,7	16,0	55,8	18,4	10,7	55,8		
Waterstof grijs	TWh	19,3	19,5	19,5	19,3	19,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Waterstof import	TWh	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	
Waterstof export	TWh	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	
Methaan opslag	TWh	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	
Waterstof opslag	TWh	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	
Nucleair	GW	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5					0,0	3,0	8,0	0,0		
	EJ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					0,0	0,1	0,2	0,0		
	TWh	2,8	2,9	2,8	2,8	2,9	2,5	3,0	2,5	2,5	3,0	0,0	21,0	54,9	0,0	0,0	0,0	54,9	
Kolen (incl. meestook)	GW	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	0,0	1,6	0,0					0,0	0,0	0,0	0,0		
	EJ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					0,0	0,0	0,0	0,0		
	TWh	10,4	10,7	10,4	10,4	10,7	0,0	1,7	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Gas (aard-/groen)	GW	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	9,8	9,4					0,0	0,0	0,0	0,0		
	EJ	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1					0,0	0,0	0,0	0,0		
	TWh	32,8	34,1	31,2	31,2	34,1	29,8	28,2	27,2	27,2	29,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Waterstof	waterstofcentrale	GW	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	1,9					20,0	15,0	11,0	15,0	
		EJ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					0,1	0,1	0,1	0,1	
		TWh	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	2,2	0,0	2,2	18,6	14,8	9,5	14,2	9,5	18,6	
Elektriciteit uit olie	TWh	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Projectgerelateerd



Watervraag per energieproductiesector in de beschreven scenario's

Energieproductie scenario	subcategorie	eenheid	Watervraag [mcm/TWh] KA	2025			MIN 2025			MAX 2025			2030			MIN 2030			MAX 2030			2050			MIN 2050		MAX 2050		
				ND	IA		KA	ND	IA		ND	IA		DEC	NAT	EUR	INT												
windenergie	totaal	mcm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Zon PV		mcm	0,1	3,5	4,2	2,7	2,7	4,2	4,7	6,0	3,3	3,3	6,0	10,4	9,9	7,9	6,5	6,5	10,4										
Overig hernieuwbaar	totaal	mcm	170,0	300,3	308,2	294,1	294,1	308,2	167,0	318,5	164,6	164,6	320,6	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	
	hydroelectric	mcm	80,3	6,0	6,0	0,0	0,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
	biomassa	mcm	87,0	291,2	298,8	290,9	290,9	298,8	158,9	312,5	158,6	158,6	312,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	afvalcentrale	mcm	1,0	3,2	3,4	3,2	3,2	3,4	2,1	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	geothermie (elektrisch)	mcm	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Groen gas		mcm	0,5	7,1	4,8	9,4	4,8	9,4	18,3	9,6	22,8	9,6	22,8	24,3	16,7	71,1	10,2	10,2	71,1										
Aardgaswinning		mcm	0,4	36,2	36,2	36,2	36,2	36,2	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Waterstof groen		mcm	56,2	89,4	173,6	105,0	89,4	173,6	683,1	1430,2	1011,7	683,1	1430,2	4235,3	6531,4	2249,5	2548,6	2249,5	6531,4										
Waterstof blauw		mcm	28,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	910,5	918,3	918,3	910,5	918,3	300,3	449,9	1567,7	516,6	300,3	1567,7										
Waterstof grijs		mcm	26,7	514,6	519,0	519,0	514,6	519,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Nucleair		mcm	166,0	666,0	666,0	666,0	666,0	666,0	410,8	490,8	419,6	410,8	490,8	0,0	3478,6	9106,5	0,0	0,0	9106,5										
Kolen (incl. meestook)		mcm	20,0	224,8	224,8	224,8	224,8	224,8	0,0	34,7	0,0	0,0	34,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Gas (aard-/groen)		mcm	41,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1220,9	1156,7	1116,4	1116,4	1220,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Waterstof		mcm	41,0	13,4	14,1	13,4	13,4	14,1	0,0	58,1	90,9	0,0	90,9	760,9	608,4	390,2	582,4	390,2	760,9										
Elektriciteit uit olie		mcm	16	5,2	5,5	5,2	5,2	5,5	4,8	5,2	4,8	4,8	5,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

