# Ruimtelijke verkenning duurzaam gebruik ondergrond

## Diepe ondergrond

TNO Publiek › TNO 2025 R12039
6 oktober 2025

Energy & Materials Transition
www.tno.nl
communicationsemt@tno.nl

TNO 2025 R12039 – 6 oktober 2025

# Ruimtelijke verkenning duurzaam gebruik ondergrond

## Diepe ondergrond

| | |
|---|---|
| Auteurs | M. Huijgen, V. van der Kraan, A. Lourens, S. Tolsma, H. Cremer, S. van Gessel |
| Rubricering rapport | TNO Publiek |
| Aantal pagina's | 103 (excl. voor- en achterblad) |
| Aantal bijlagen | - |
| Opdrachtgever | Ministerie van Klimaat en Groene Groei |
| Programma | Geo-Informatie Programma (GIP) |
| Programmanummer | P303 |

**Alle rechten voorbehouden**
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

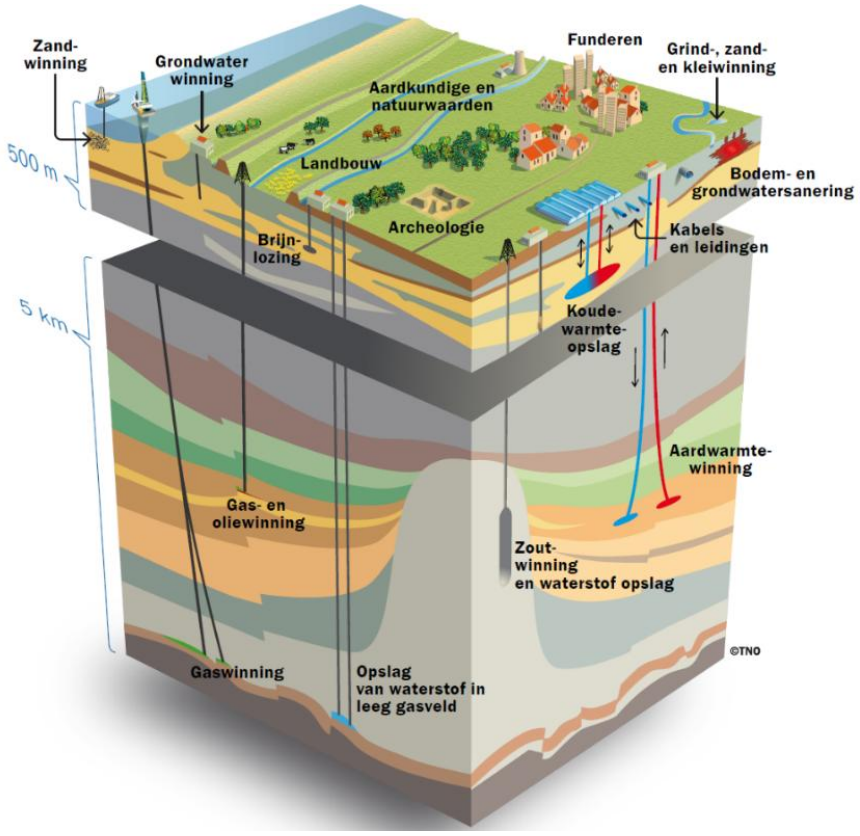
© 2025 TNO

# Samenvatting

## Opdracht en onderzoek

In het licht van de energietransitie vervult de ondergrond - zowel de diepe als de ondiepe ondergrond - een essentiële rol. Om hierop adequaat beleid te kunnen ontwikkelen, hebben de Ministeries van Klimaat en Groene Groei (KGG) en Infrastructuur en Waterstaat (IenW) respectievelijk TNO en Deltares opdracht gegeven om een verkennend onderzoek uit te voeren. Doel hiervan is het verkrijgen van inzicht in het huidige en toekomstige ruimtelijke gebruik van de ondergrond. Dit inzicht stelt beleidsmakers in staat om potentiële aandachtspunten in tijd en ruimte te identificeren en hierop gericht te anticiperen. De onderhavige verkenning richt zich specifiek op het gebruik van de diepe ondergrond.

Dit rapport biedt een overzicht van het bekende benuttingspotentieel van de diepe ondergrond, alsmede van het ruimtebeslag door bestaande mijnbouwactiviteiten. Tevens wordt geanalyseerd in hoeverre het technische benuttingspotentieel voldoende ruimte biedt voor toekomstige ontwikkelingen binnen de mijnbouwsector, en welke belemmeringen zich daarbij kunnen voordoen. De verwachte toekomstige vraag naar mijnbouwactiviteiten is afgeleid uit historische trends en scenarioanalyses van energiesystemen voor de periode 2030-2050. Deze studie beperkt zich tot mijnbouwactiviteiten op land en omvat een analyse van vraag en aanbod met betrekking tot aardgas, aardolie, aardwarmte, steenzout en de ondergrondse opslag van waterstof- en aardgas.




Gebruik van de ondergrond in Nederland.

### Energiescenario's

Deze verkenning levert een gedetailleerde, kwantitatieve analyse van de vraag naar en het aanbod van diverse natuurlijke energiebronnen binnen verschillende mijnbouwactiviteiten. In eerste instantie is onderzocht of er op voorhand sprake is van een tekort aan aanbod. Vervolgens worden de vraag en aanbodverhoudingen gepresenteerd voor de huidige situatie en voor de jaren 2030, 2040 en 2050. Alle benodigde gegevens zijn afkomstig uit openbare bronnen.

De wijze waarop de energietransitie zal verlopen, is met aanzienlijke onzekerheid omgeven. In de afgelopen jaren zijn talrijke studies uitgevoerd naar de toekomstige vraag naar diverse energiedragers en de mogelijkheden voor ondergrondse opslag van een deel daarvan. Deze studies zijn gebaseerd op verschillende aannames en schetsen daarmee een bandbreedte van potentiële uitkomsten, wat de inherente onzekerheid van de energietransitie onderstreept. De in deze studies gepresenteerde cijfers vormen de basis voor de scenario's die in deze verkenning zijn gehanteerd.

Voor het inschatten van de toekomstige vraag naar energiedragers en opslagcapaciteit voor gassen zijn in deze verkenning de volgende energiescenario's toegepast: de II3050-studie (specifiek het scenario *Nationaal Leiderschap*), de *Trajectverkenning klimaatneutraal 2050*, en de *ADAPT* en *TRANSFORM*-studies.

### Voorraad en aanbod

In het rapport, en eveneens in deze samenvatting, wordt herhaaldelijk gerefereerd aan de begrippen 'voorraad' en 'aanbod'. In onderstaand overzicht zijn deze termen, inclusief hun subcategorieën, nader gespecificeerd en onderverdeeld in de subcategorieën 'vastgesteld', 'voorwaardelijk' en 'prospectief'. Het rapport biedt op deze definities nadere toelichting.

| | |
|---|---|
| Voorraad | De hoeveelheid delfstof, energiedrager of opslagruimte in de ondergrond die door een project wordt ontwikkeld. |
| Aanbod | De hoeveelheid delfstof of energie die over de tijd uit de beschikbare voorraad kan worden geproduceerd, of de hoeveelheid opslagruimte die over de tijd toegankelijk kan worden gemaakt voor injectie. |
| Vastgestelde voorraad | De voorraad waarbij een technisch winbaar of ontwikkelbaar voorkomen is aangetoond middels een (proef)boring en/of waarbij het voorkomen met voldoende zekerheid kan worden vastgesteld op basis van locatie-specifieke studies en omliggende boringen. |
| Voorwaardelijke voorraad | Voorraad waarvoor technisch gezien in voldoende mate is vastgesteld dat hieruit aanbod kan worden gerealiseerd. Ontwikkeling van deze voorraad is nog niet voorzien of zeer onzeker. |
| Prospectieve voorraad | De voorraad die nog niet is aangetoond, en/of waarbij het voorkomen en de technische ontwikkeling alleen wordt aangenomen op basis van regionale studies en algemene aannames. |
| Vastgesteld aanbod | Aanbod dat nu beschikbaar is of gewonnen word. |
| Voorwaardelijke aanbod | Aanbod waarvoor technisch gezien in voldoende mate is vastgesteld dat het aanbod zou kunnen worden gerealiseerd. Ontwikkeling van het aanbod is nog niet voorzien of zeer onzeker. |
| Prospectief aanbod | Het aanbod dat nog niet is aangetoond. |

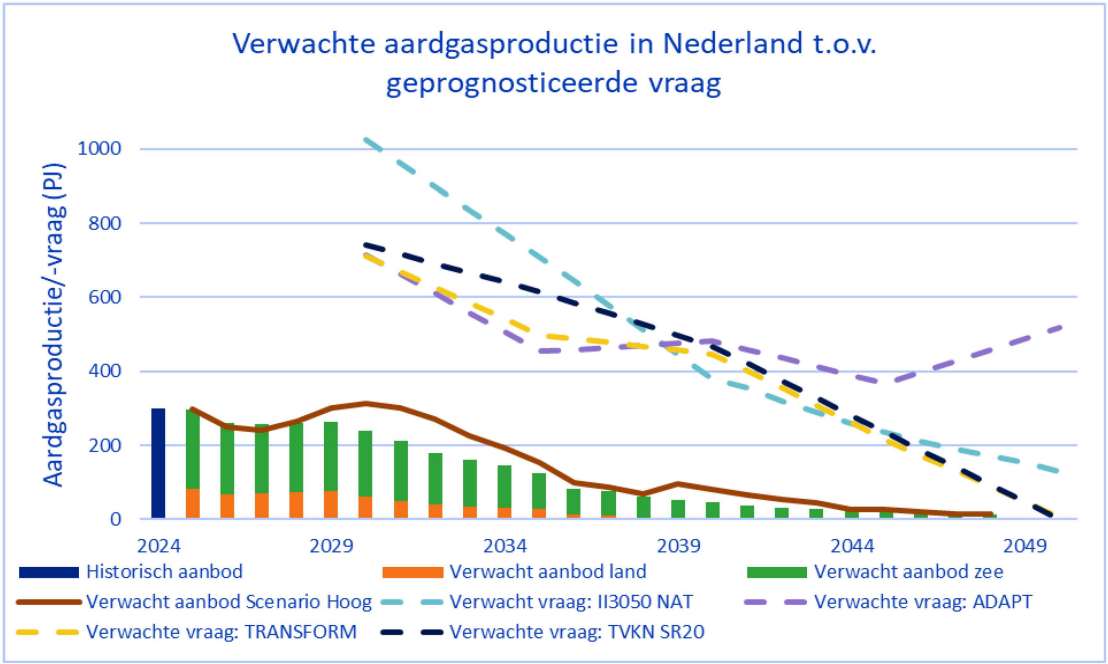
## Onderzochte energiedragers, delfstoffen en activiteiten in de diepe ondergrond

*Aardgas*

De winning van aardgas en aardolie in Nederland is in de afgelopen tien jaar geleidelijk afgenomen. Deze daling is grotendeels toe te schrijven aan de sluiting van het Groninger gasveld en de afnemende productie uit kleinere gasvelden. Volgens de huidige productieprognoses – gebaseerd op de gegevens die TNO ontvangt van de mijnbouwbedrijven – zal de aardgaswinning op land tegen 2038 vrijwel volledig zijn beëindigd. Daarna resteert productie slechts beperkte uit enkele velden.

Hoewel de prognoses een afname laten zien, zijn er potentieel meer gasvoorraden op land aanwezig dan momenteel voorzien wordt in de verwachte productie. Bovendien kunnen toekomstige politieke besluiten en economische ontwikkelingen aanleiding geven tot de ontwikkeling van aanvullend aanbod, ook na 2038.

Op basis van vraagscenario's en het verwachte conventionele aanbod van aardgas blijft Nederland tot in ieder geval 2050 afhankelijk van aardgasimport (zie onderstaande figuur). Afhankelijk van toekomstige keuzes in de energievoorziening kan deze importbehoefte na 2050 geheel verdwijnen, dan wel structureel blijven bestaan.

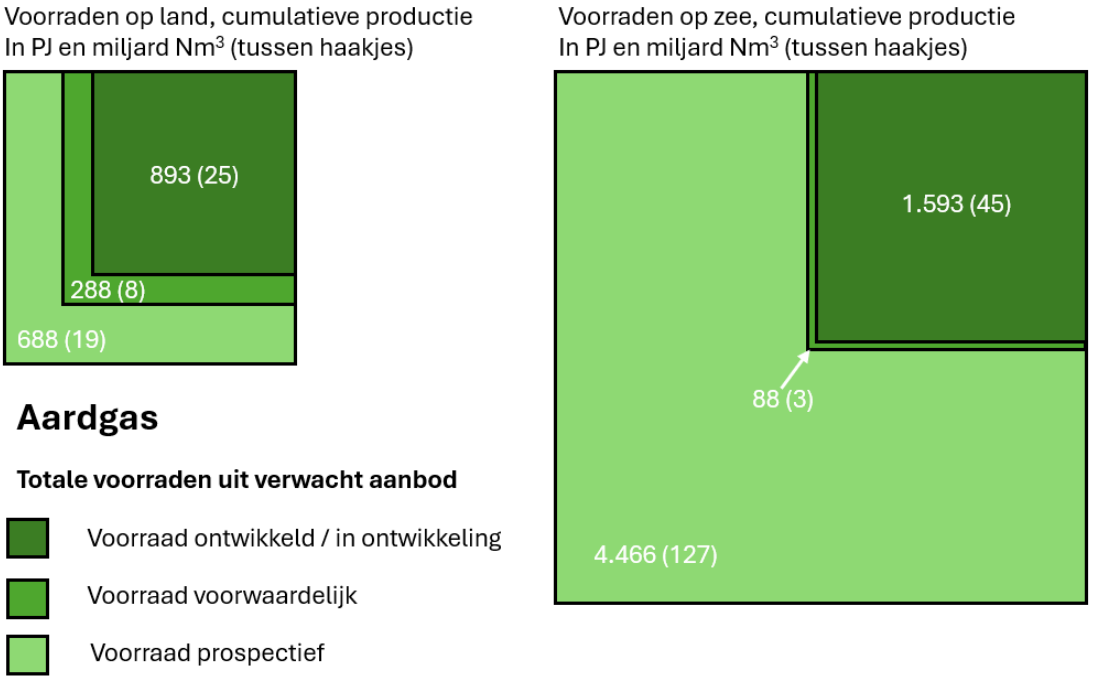



De aardgasproductie in 2024 en de verwachte productie voor de periode 2025–2048 volgens het Midden en Hoog scenario (Ministerie van Klimaat en Groene Groei, 2024). In de figuur is ook de verwachte vraag naar aardgas, het totaal verbruik, van 2030 t/m 2050 opgenomen voor de verschillende energiescenario's die in deze studie gebruikt worden (zie hoofdstuk 3). Hierbij is gebruik gemaakt van een lineaire interpolatie tussen de verschillende datapunten.

De voorraad en het aanbod van aardgas – onderverdeeld in vastgesteld, voorwaardelijk en prospectief – zijn in onderstaande figuur weergegeven in petajoule (PJ). Ter vergelijking zijn naast de gegevens voor aardgas op land ook die voor aardgas op zee opgenomen.

Nederland telt momenteel 210 producerende gasvelden, waarvan 91 zich op land bevinden. De meeste gasvelden liggen op een diepte tussen 2,5 en 3 kilometer. Deze geologische lagen kunnen overlappen met formaties die mogelijk ook geschikt zijn voor de winning van aardwarmte.

Gaswinning kan invloed hebben op de directe leefomgeving. Bovengronds uit zich dit bijvoorbeeld in geluidsoverlast, emissies of visuele hinder. Daarnaast kunnen ondergrondse mijnbouweffecten optreden, zoals bodemdaling en geïnduceerde bevingen.




Grafisch overzicht van de aardgasvoorraad in Nederland (Ministerie van Klimaat en Groene Groei, 2024). De oppervlakten van de groene en grijze vlakken geven de verhouding van vastgestelde, voorwaardelijke en prospectieve voorraad weer. De getoonde waarden in het figuur representeren het aantal PJ aardgas.

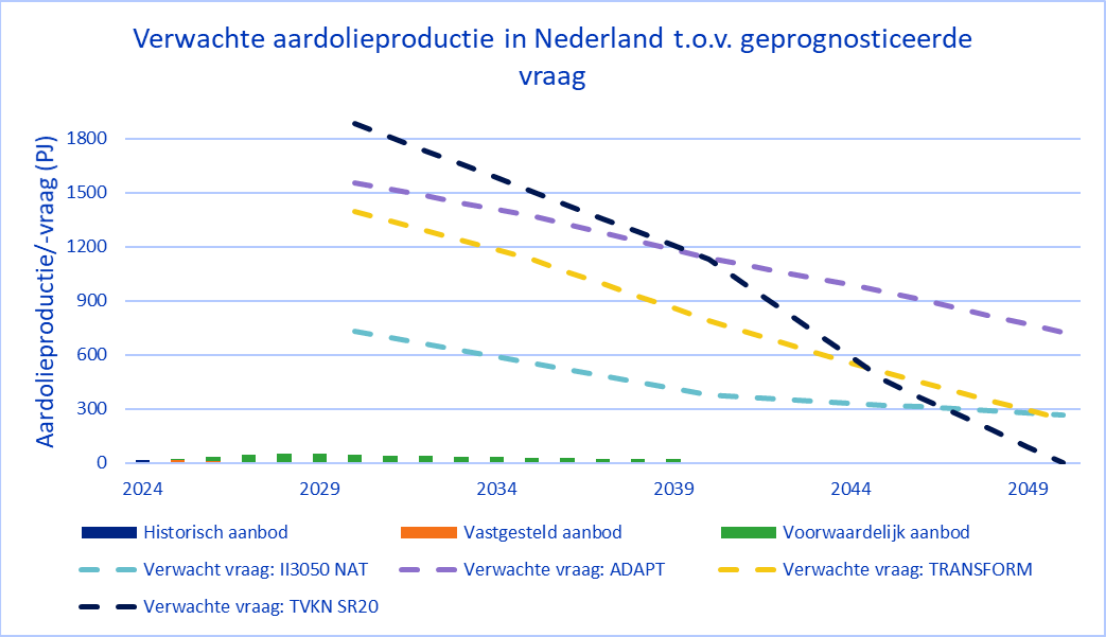
*Aardolie*

Nederland telt momenteel vijf producerende olievelden, zowel op land als op zee. Twee daarvan bevinden zich op land: het Rotterdam olieveld en het olieveld bij Schoonebeek. Volgens de huidige prognoses zal Nederland tot 2050 aardolie blijven gebruiken, met name voor industriële processen en toepassingen in sectoren waar elektrificatie niet of nauwelijks mogelijk is.

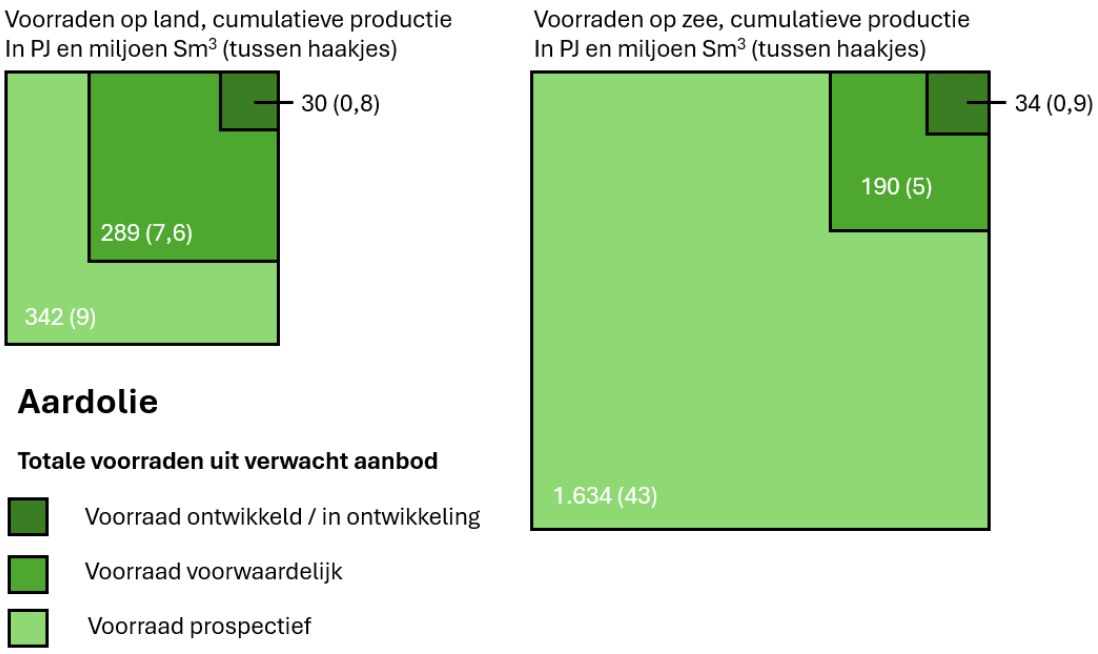
Sinds ongeveer 2015 is de binnenlandse productie van aardolie gestaag afgenomen. Nederland produceert slechts 1 à 2 procent van de eigen aardoliebehoefte. Op basis van vraagscenario's en het verwachte aanbod blijft Nederland de komende decennia sterk afhankelijk van import.

De voorraden en het aanbod van aardolie – onderverdeeld in vastgesteld, voorwaardelijk en prospectief – zijn in onderstaand blokdiagram weergegeven in petajoule (PJ). Ter vergelijking zijn naast de cijfers voor oliewinning op land ook die voor oliewinning op zee opgenomen.

Aardoliewinning op land vindt plaats op een diepte van circa 800 meter in het veld Schoonebeek en op circa 1500 meter in het veld Rotterdam. Het bovengrondse ruimtegebruik blijft beperkt tot lokale installaties voor olieproductie- en transport. Net als bij de winning van aardgas kunnen mijnbouweffecten optreden, zoals bodemdaling en geïnduceerde aardbevingen.




De aardolieproductie in 2024 en de verwachte productie voor de periode 2024–2038 (Ministerie van Klimaat en Groene Groei, 2024). Vanwege de grote onzekerheid is het prognoseprofiel beperkt tot 2038. In de figuur is ook de verwachte vraag naar aardolie, het primair verbruik, van 2030 t/m 2050 opgenomen voor de verschillende energiescenario's die gebruikt worden in deze studie (zie hoofdstuk 3). Hierbij is gebruik gemaakt van een lineaire interpolatie tussen de verschillende datapunten.



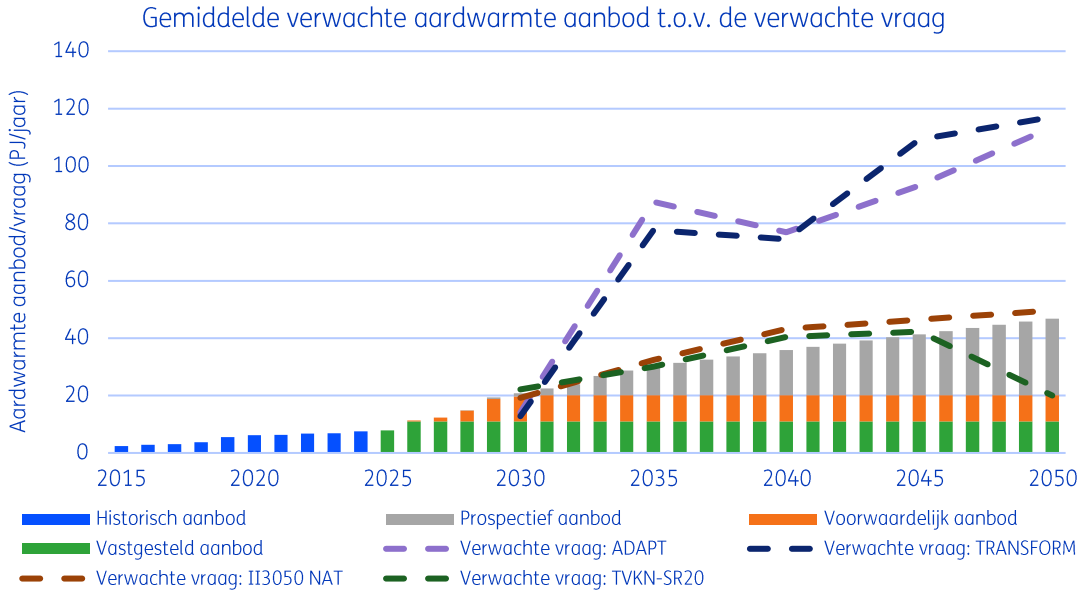

Grafisch overzicht van de aardolievoorraad in Nederland (Ministerie van Klimaat en Groene Groei, 2024). De oppervlakten van de groene en grijze vlakken geven de verhouding van vastgestelde, voorwaardelijke en prospectieve voorraad weer. De getoonde waarden in het figuur representeren het aantal PJ aardolie. De prospectieve voorraad betreft het *Expectation* volume.

*Aardwarmte*

Nederland beschikt over een aanzienlijk potentieel voor aardwarmtewinning. De commerciële ontwikkeling van aardwarmte is sinds 2007 serieus op gang gekomen. Op 1 januari 2025 waren er in totaal 33 aardwarmteproductie-installaties gerealiseerd, alle gelegen op land. In 2024 waren hiervan 23 projecten operationeel. De totale aardwarmteproductie in dat jaar bedroeg 7,49 PJ.

Op basis van het huidige activiteitenniveau lijkt het toekomstige aanbod in staat te zijn om aan de geprognosticeerde vraag naar aardwarmte in 2030 te voldoen (zie onderstaande grafiek). Dit aanbod is grotendeels afkomstig van projecten die reeds ontwikkeld zijn of zich in een ver gevorderd stadium van ontwikkeling bevinden.

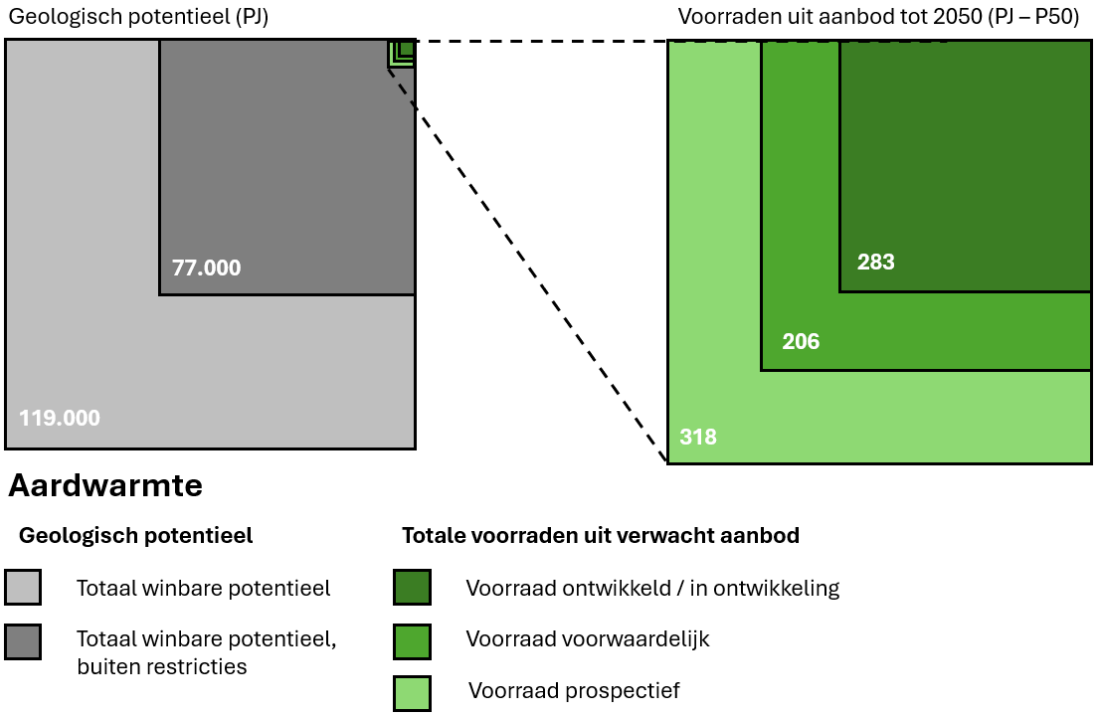
Voor 2050 zijn vraagprognoses moeilijk te kwantificeren. Ongeacht het gekozen energiescenario geldt echter dat de technisch winbare aardwarmte dermate groot is, dat aan de toekomstige vraag ruimschots voldaan kan worden. Dit vereist echter een substantiële opschaling van aardwarmteontwikkelingsactiviteiten.




Het historische en geprognosticeerde aardwarmteaanbod uitgezet tegen de verwachte vraag voor de periode 2015 – 2050. De historische productie is afkomstig uit het Jaarverslag Delfstoffen en Aardwarmte 2023. Het verwachte aanbod, onderverdeeld in drie groepen, is stochastisch bepaald en in deze grafiek is alleen de gemiddelde waarde weergegeven. Voor de verwachte vraag naar aardwarmte is gebruik gemaakt van verschillende energiescenario's die geselecteerd zijn voor deze studie.

Het totale potentieel van aardwarmte is aanzienlijk. Zelfs het praktisch haalbare deel ervan overstijgt ruimschots de huidige warmtevoorraden en bestaande aanbod (zie grafiek hieronder).

Aardwarmte wordt momenteel voornamelijk gewonnen uit geologische lagen op een diepte van 1,5 tot 3 kilometer. De productie is op dit moment vooral geconcentreerd in de provincies Zuid-Holland, Noord-Holland, Overijssel en Flevoland. Voor het opsporen en winnen van aardwarmte worden doorgaans twee of meer boringen uitgevoerd. Net als bij andere vormen van mijnbouw moet bij aardwarmtewinning rekening worden gehouden met mogelijke milieueffecten.




Overzicht van de vastgestelde, voorwaardelijke en prospectieve aardwarmtevoorraad. Getoonde waarden betreffen de gemiddelde waarden in petajoule (PJ).

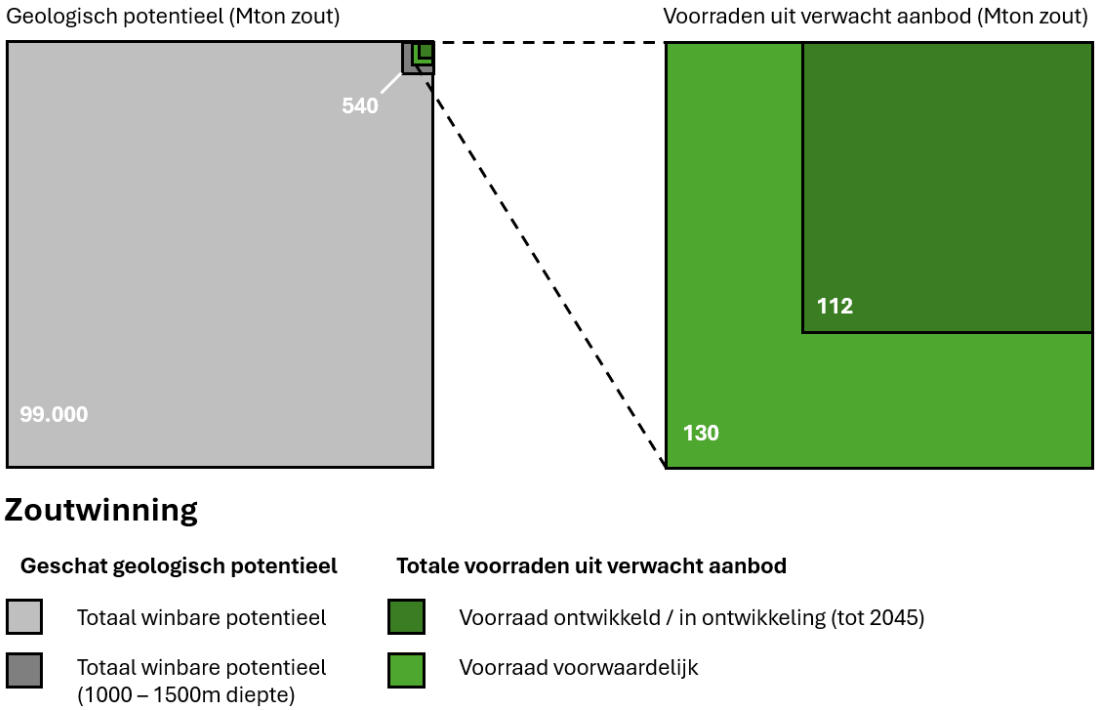
*Zoutwinning*

Steenzout (haliet) komt in ruime mate voor in de Nederlandse ondergrond; geologisch gezien is er geen sprake van schaarste (zie onderstaande grafiek). Jaarlijks wordt in Nederland tussen de 6 en 7 miljoen ton steenzout gewonnen, waarvan circa 0,25 miljoen ton in de vorm van het zeldzamere magnesiumzout. Volgens de huidige winningsplannen zal de bestaande voorraad tot ongeveer 2040-2045 aanbod genereren, waarmee naar verwachting ongeveer driekwart van de totale geschatte vraag tot 2050 wordt afgedekt. Uitgaande van een jaarlijkse productie van 6 à 7 miljoen ton, zal na 2045 nog ongeveer 38 miljoen ton steenzout uit de voorwaardelijke en/of prospectieve voorraden tot ontwikkeling gebracht moeten worden om aan de resterende zoutvraag te voldoen.

Kalium- en magnesiumzout worden gewonnen uit één unieke locatie in Nederland; nieuwe voorkomens zijn tot op heden niet aangetoond. Standaard steenzout daarentegen komt voor in grote delen van de provincies Friesland, Groningen, Drenthe, Overijssel, Gelderland, Noord-Holland en Flevoland.

Zoutwinning kan leiden tot de vorming van ondergrondse cavernes, die potentieel geschikt zijn voor de opslag van gassen. Vooralsnog komen slechts enkele lokale zoutstructuren (zoutdomes) hiervoor in aanmerking. De aanleg van nieuwe zoutcavernes zou in de toekomst mede kunnen afhangen van de vraag naar opslagcapaciteit voor bijvoorbeeld aardgas of waterstofgas.

Wat betreft mijnbouweffecten is bodemdaling het meest relevante risico. De mate van bodemdaling rond een winningslocatie hangt sterk af van de wijze waarop de caverne wordt afgesloten. Indien cavernes worden ingezet voor gasopslag, kan bodemdaling met tientallen jaren worden uitgesteld.




De steenzoutvoorraad in Nederland weergegeven in miljoenen tonnen zout. De oppervlakten van de groene en grijze vlakken geven de verhouding van vastgestelde, voorwaardelijke en prospectieve voorraad weer.

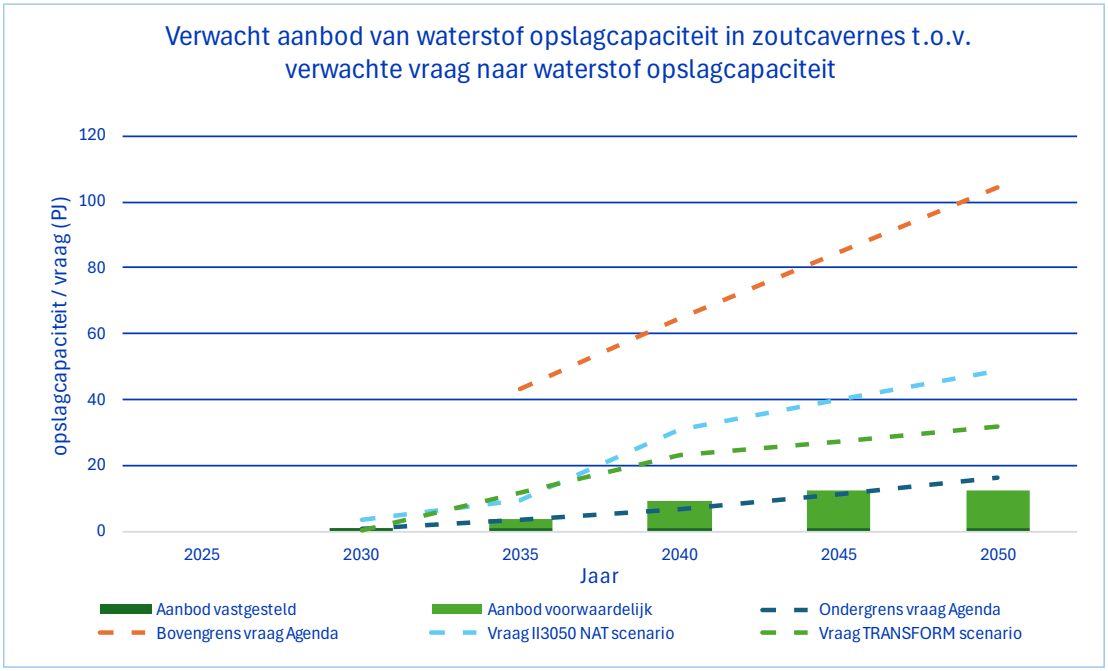
*Opslag van gassen*

Gasopslag op land in Nederland kent vier vormen[1]: aardgas-, stikstof-, waterstof- en persslucht[2]. Terwijl de meeste energiescenario's voorspellen dat de behoefte aan opslag van aardgas en stikstof richting 2025 sterk zal afnemen, wordt een aanzienlijke toename verwacht in de vraag naar ondergrondse opslag van waterstof (zie grafiek onderaan). Persluchtopslag, een techniek voor het opslaan van grote hoeveelheden elektrische energie in zoutcavernes, wordt momenteel niet als essentieel beschouwd voor het waarborgen van de leveringszekerheid.

Geologisch gezien beschikt Nederland over voldoende potentieel voor de aanleg van opslagcapaciteit voor waterstof in zoutcavernes. In de provincies Groningen, Friesland en Drenthe bestaat een technisch potentieel voor de ontwikkeling van meer dan 300 opslagcavernes. Het huidige vastgestelde en voorwaardelijke aanbod van waterstofopslag bevindt zich momenteel uitsluitend binnen het zoutvoorkomen van Zuidwending. Vanaf 2031 kan daar een eerste caverne operationeel worden. Indien alle voorwaardelijke plannen worden gerealiseerd, zouden er rond 2050 maximaal 19 opslagcavernes[3] beschikbaar kunnen zijn met een gezamenlijke voorwaardelijke opslagcapaciteit van 15,3 PJ (4,25 TWh).

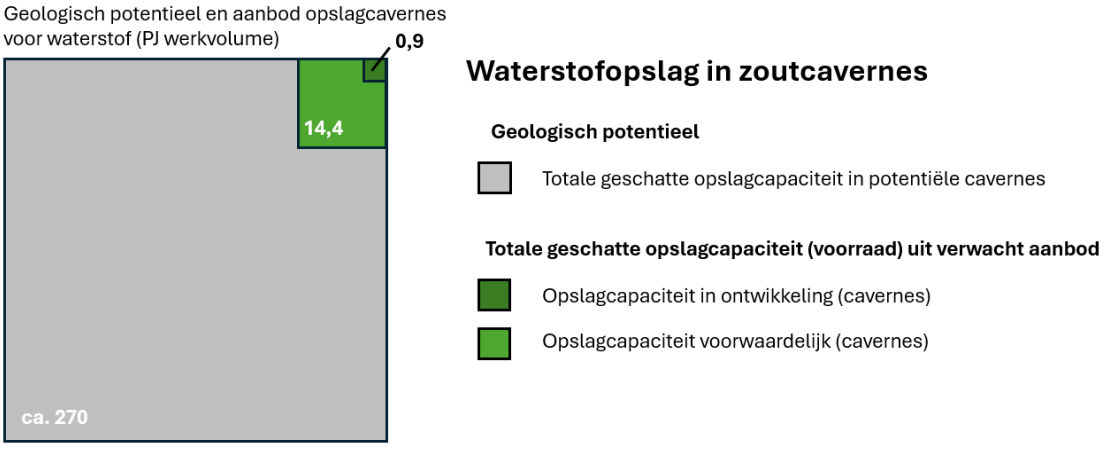
Het realiseren van de bovengrens van de toekomstige gevraagde waterstofopslagcapaciteit is in Nederland vóór 2050 niet haalbaar. Daarvoor zullen alternatieve opties overwogen moeten worden, zoals de opslag in uitgeproduceerde gasvelden of het benutten van beschikbare opslaglocaties in Duitsland.

[1] Permanente opslag van $CO_2$ (CCS) wordt hier buiten beschouwing gelaten omdat dit niet op land is toegestaan
[2] Persluchtopslag vindt (nog) niet plaatst in Nederland
[3] Zie Tabel 8.4




Het verwachte aanbod van ondergrondse waterstof opslagcapaciteit in zoutcavernes tegen de verwachte vraag naar waterstofopslag in de periode 2030 – 2050. De boven- en ondergrens van de vraag zijn afgeleid uit de Nationale Agenda Ondergrondse Waterstofopslag.

De aanleg van opslagcavernes is gebonden aan locaties waar steenzoutwinning plaatsvindt. Daarnaast gelden er specifieke technische eisen voor de aanleg van dergelijke cavernes, zoals diepte, geometrie en zoutkwaliteit, waardoor het aantal geschikte opslaglocaties verder wordt beperkt. Buiten de bestaande vergunningsgebieden vergt de ontwikkeling van nieuwe cavernes relatief lange doorlooptijden van circa 10 tot 15 jaar.
De mogelijkheden voor waterstofopslag in uitgeproduceerde gasvelden worden momenteel internationaal onderzocht. In Europa bestaan reeds enkele demonstratieprojecten. Zodra is aangetoond dat waterstofopslag in gasvelden technisch haalbaar en commercieel toepasbaar is, kan een aanzienlijk groter potentieel van de opslagcapaciteit in Nederland gerealiseerd worden.




Overzicht van de waterstofopslagcapaciteit in zoutcavernes tot 2040. De waarden geven de opslagcapaciteit in petajoule (PJ) weer.

## Conclusies

Deze verkenning brengt het ondergrondse potentieel van geselecteerde energiedragers, delfstoffen en de mogelijkheden voor ondergrondse gasopslag in Nederland in kaart. Tevens is onderzocht in hoeverre de geprognosticeerde vraag tot 2050 – zoals voorzien in verschillende energiescenario's – gedekt kan worden door het huidige en verwachte toekomstige aanbod. Daarbij moet worden benadrukt dat aangetoonde potentie niet automatisch betekent dat deze ook daadwerkelijk benut zal worden.

Belangrijkste bevindingen:

**Aardgas**: De vraag naar aardgas blijft zeker tot 2050 bestaan. De binnenlandse productie stopt naar verwachting binnen 10–20 jaar. Tot 2040–2045 zal jaarlijks aardgas met een energie-inhoud van circa 200–400 PJ geïmporteerd moeten worden.

**Aardolie**: Hoewel de vraag afneemt, blijft aardolie tot 2050 relevant, met name voor industriële toepassingen. Nederland produceert slechts 1–2% van de eigen behoefte; op land wordt uit twee olievelden geproduceerd. Import van aardolie blijft essentieel.

**Aardwarmte**: Het potentieel is ruim voldoende om aan de geprognosticeerde vraag tot 2050 te voldoen, mits er ook een substantiële opschaling van aardwarmtewinning plaatsvindt. Belangrijke uitdagingen zijn hoge kosten, lange vergunningsprocedures en ruimtelijke beperkingen.

**Steenzout en magnesiumzout**: De productie is stabiel en de bestaande vergunningen bieden voldoende voorraad tot 2050. Na 2040 is aanvullende ontwikkeling nodig. Magnesiumzout wordt momenteel slechts op één locatie (Veendam) gewonnen; uitbreiding verdient nader onderzoek.

**Ondergrondse gasopslag**: De vraag varieert per soort gas. Vanaf 2030 wordt een sterke toename verwacht in de behoefte aan waterstofopslag in zoutcavernes en lege gasvelden. Technische en maatschappelijke haalbaarheid worden momenteel onderzocht. De ontwikkeling hangt mede af van de Europese waterstofmarkt en de beschikbaarheid van geschikte locaties. De vraag naar opslag van aardgas en stikstof neemt af richting 2050. Persluchtopslag wordt niet als cruciaal beschouwd en is daarom buiten beschouwing gelaten.

# Inhoudsopgave

Samenvatting ..... 3
Leeswijzer ..... 14
Begrippenlijst ..... 15
1 Inleiding ..... 21
1.1 Aanleiding van dit onderzoek ..... 21
1.2 Doelstelling ..... 22
1.3 Onderzoeksmethode Module 1 ..... 23
1.4 Uitgangspunten ..... 23
2 Aanpak, definities en methoden ..... 27
2.1 Introductie ..... 27
2.2 Overzicht onderzochte grondstoffen, energiebronnen en opslagtechnologieën ..... 27
2.3 Algemene aanpak voor het onderzoek ..... 29
2.4 Definitie van voorraad en aanbod ..... 30
3 Toekomstige vraag uit energiescenario's ..... 36
3.1 Energiescenario's ..... 36
3.2 Vergelijking van de scenario's ..... 39
4 Aardgas ..... 42
4.1 Definitie van vraag, voorraad en aanbod ..... 42
4.2 Hoofdbevindingen ..... 43
4.3 Kengetallen ..... 45
5 Aardolie ..... 51
5.1 Definitie van vraag, voorraad en aanbod ..... 51
5.2 Hoofdbevindingen ..... 51
5.3 Kengetallen ..... 53
6 Aardwarmte ..... 57
6.1 Definitie van vraag, voorraad en aanbod ..... 57
6.2 Hoofdbevindingen ..... 57
6.3 Kengetallen ..... 61
6.4 Aardwarmte voorraad & aanbod ..... 65
7 Steenzout ..... 75
7.1 Definitie van vraag, voorraad en aanbod ..... 75
7.2 Hoofdbevindingen ..... 75
7.3 Kengetallen ..... 77
8 Opslag van gassen ..... 85
8.1 Definitie van vraag, voorraad en aanbod ..... 85
8.2 Hoofdbevindingen ..... 85
8.3 Kengetallen ..... 89
9 Conclusies ..... 99
10 Bronnenlijst ..... 102

# Leeswijzer

Dit rapport begint met een uitgebreide samenvatting van het uitgevoerde onderzoek en de resultaten daarvan. Vervolgens wordt in een begrippenlijst de meest gebruikte mijnbouw technische terminologie toegelicht. In de hoofdstukken 1 tot en met 10 worden de volgende onderwerpen behandeld:

Hoofdstuk 1 (Inleiding) introduceert de aanleiding en doelstellingen van dit onderzoek en geeft een toelichting op de gevolgde aanpak.

Hoofdstuk 2 Methoden) biedt een gedetailleerde uitleg van de methoden die zijn gebruikt voor de becijfering van de verschillende mijnbouwactiviteiten en de terminologie die binnen het project wordt gehanteerd. Dit hoofdstuk licht verder de verschillende toekomstscenario's en studies toe die zijn gebruikt om de vraag naar bepaalde mijnbouwactiviteiten vast te stellen.

Hoofdstuk 3 (Energiescenario's) presenteert een overzicht van de beschikbare en relevante data uit de verschillende energiescenario's.

Hoofdstukken 4 tot en met 8 presenteren de analyses per mijnbouwactiviteit en de daarvoor gebruikte gegevens en kaartbeelden. Elk van deze hoofdstukken begint met een compacte samenvatting.

Het rapport sluit af met conclusies (Hoofdstuk 9) waarin enkele aanbevelingen en vervolgstappen worden voorgesteld, en een bronnenlijst (Hoofdstuk 10).

# Begrippenlijst

Hieronder volgt een lijst met vaak gebruikte begrippen en een toelichting hoe deze begrippen in dit rapport toegepast zijn.

| Begrip | Toelichting – zoals toegepast in deze verkenning |
|---|---|
| Aanbod | De hoeveelheid energie, energiedragers of opslagcapaciteit die aan de gebruiker aangeboden kan worden. Aanbod is tijdsafhankelijk en afhankelijk van de productiecapaciteit.<br>Vastgesteld aanbod: aanbod dat nu beschikbaar is of gewonnen wordt.<br>Voorwaardelijk aanbod: technisch gezien het aanbod waarvoor in voldoende mate is vastgesteld dat het aanbod zou kunnen worden gerealiseerd.<br>Prospectief aanbod: aanbod dat nog niet is aangetoond. |
| Aardgasopslag | De opslag van aardgas in gasvelden en zoutcavernes. |
| Aardwarmteaanbod | De hoeveelheid aardwarmte die aan de gebruiker aangeboden kan worden. De ontwikkeling van het warmteaanbod wordt gestuurd door de vraag naar aardwarmte maar wordt bijvoorbeeld ook beïnvloed door beschikbare infrastructuur of verminderd aanbod van bestaande bronnen. |
| Aardwarmtepotentieel / potentie | Het aardwarmtepotentieel in Nederland wordt in deze studie gelijk gesteld aan de totale winbare hoeveelheid warmte. |
| Aardwarmte-voorkomens | Aardwarmtevoorkomens zijn binnen deze studie gedefinieerd als de aardwarmteproductie-locaties in Nederland die een start- of vervolgvergunning of toewijzing zoekgebied hebben. Er wordt onderscheid gemaakt tussen vastgestelde, voorwaardelijke en prospectieve aardwarmtevoorkomens (zie hoofdstuk 6). |
| Aardwarmtevoorraad | Definieert de hoeveelheid aardwarmte die in de ondergrond beschikbaar is. Er wordt onderscheid gemaakt tussen vastgestelde, voorwaardelijke en prospectieve voorraad (zie hoofdstukken 2 en 6). |

| Begrip | Toelichting – zoals toegepast in deze verkenning |
|---|---|
| Aardwarmtevraag | De hoeveelheid aardwarmte (in petajoule) waarnaar volgens de onderzochte energiescenario's tot 2050 vraag is. |
| Bodemdaling | Bodemdaling is het zakken van het niveau van het maaiveld ten opzichte van een vast referentiepunt, bijvoorbeeld het Normaal Amsterdams Peil (NAP). Bodemdaling kan een natuurlijk proces zijn maar komt voornamelijk als gevolg van menselijke ingrijpen. |
| Caverneveld | Meerdere zoutcavernes in een afgebakend gebied, die vaak door één partij geëxploiteerd worden. |
| Conventionele aardwarmte | Het winnen van aardwarmte uit doorlatende lagen in de ondergrond, bijvoorbeeld zandsteenlagen. Een aardwarmte-installatie bestaat doorgaans uit 2 putten: een productie- en injectieput, dit wordt een doublet genoemd. Uit de productieput wordt warm water naar de bovengrond gepompt. Na onttrekking van de warmte in een warmtewisselaar wordt het afgekoelde via de injectieput weer in hetzelfde reservoir teruggevoerd. |
| Diepe ondergrond | Het deel van de ondergrond, waar het kader van de Mijnbouwwet op van toepassing is. Dit is 100 m en dieper voor alle mijnbouwtoepassingen (het opsporen en winnen van delfstoffen, het opslaan van stoffen, het opsporen van CO2-opslagcomplexen en het permanent opslaan van CO2), behalve voor geothermie die start vanaf 500 m. Het Ministerie van Klimaat en Groene Groei is het bevoegd gezag over de diepe ondergrond. |
| Energiescenario | Scenario's van de verwachte vraag naar energiedragers, aardwarmte en opslagcapaciteit voor de komende decennia. Er zijn meerdere energiescenario's. Door verschillende energiescenario's te betrekken in de evaluatie ontstaat er een bandbreedte van de verwachte toekomstige vraag. |
| Finale eindverbruik | Ook genoemd het eindenergieverbruik of finale energieverbruik, is de energie die door de eindgebruikers wordt verbruikt. Voor deze energievorm wordt door de consument betaald en is daardoor meetbaar. |
| Geologische potentie | Het totale voorkomen van een energiedrager of delfstof in de ondergrond. Voor steenzout is dat bijvoorbeeld de totaal winbaar geachte hoeveelheid steenzout die in de Nederlandse |

| Begrip | Toelichting – zoals toegepast in deze verkenning |
|---|---|
| | ondergrond zit; voor aardwarmte is dit de potentieel technisch winbare warmte. Dat betekent niet dat alle ondergrondse potentie ook daadwerkelijk benut kan en zal gaan worden. |
| Groningen equivalent (Geq.) | Een gestandaardiseerde kwaliteit van aardgas die qua samenstelling en verbrandingswaarde overeenkomt met het gas dat oorspronkelijk uit het Groningse gasveld bij Slochteren werd gewonnen. Dit gas staat ook bekend als laagcalorisch gas. |
| Hoogcalorisch gas | Aardgas met een hoogcalorische waarde. Hoogcalorisch gas bestaat bijna geheel uit brandbaar gas (methaan) en bevat hooguit een zeer laag percentage van niet brandbaar gas. |
| Huidig aanbod | Het aanbod van energie en opslagcapaciteit zoals dat op dit moment wordt ingevuld door de verschillende ondergrondactiviteiten. |
| Huidige vraag | De vraag naar energie, grondstoffen en opslagcapaciteit zoals die nu aanwezig is. |
| Kussengas | Het deel van het opgeslagen gas in een ondergrondse opslagstructuur dat altijd in de opslag blijft zitten voor het onderhouden van een minimale druk die nodig is voor het functioneren van de opslag. |
| Laagcalorisch gas | Aardgas met een laagcalorische waarde. Laagcalorisch gas heeft een relatief hoge percentage van niet brandbaar gas (bijvoorbeeld stikstof). |
| Magnesiumzout | In de Nederlandse ondergrond vergeleken met steenzout relatief zeldzame soort zout (chemisch: $MgCl_2$). |
| Onconventionele aardwarmte | In tegenstelling tot conventionele aardwarmtewinning (zie boven) worden bij onconventionele aardwarmtewinning bijzondere methoden (bijvoorbeeld EGS = Enhanced Geothermal Systems) toegepast die het mogelijk maken om uit diepe, minder doorlatende lagen alsnog warmte te kunnen winnen. |
| Ondiepe ondergrond | Het deel van de ondergrond tot 100 m dan wel 500m (zie diepe ondergrond), geldend voor niet-Mijnbouwwettelijke natuurlijke hulpbronnen zoals drinkwater. Over dit deel van de ondergrond en toepassingen zijn het ministerie van IenW en andere medeoverheden het bevoegd gezag. |

| Begrip | Toelichting – zoals toegepast in deze verkenning |
|---|---|
| Opslagcapaciteit | Het volume in de ondergrond (in uitgeproduceerde zoutcavernes of gasvelden) dat beschikbaar is of in de toekomst beschikbaar zal zijn voor de ondergrondse opslag van gassen zoals waterstof. |
| Opslagcaverne | Uitgeproduceerde zoutcaverne die voor de opslag van gassen zoals waterstof gebruikt kan worden. |
| P10, P50, P90 waarde | De P-waarden verwijzen naar waarschijnlijkheid. De bepaling van bijvoorbeeld ondergrondse voorraden wordt gekenmerkt door met name geologische onzekerheden die resulteren in een statistische verdeling van waarden waar een kans/waarschijnlijkheid aan wordt verbonden. De onzekerheidsbandbreedte wordt gerapporteerd als een P10-P50-P90-waarde. De P50-waarde is hierbij de mediaanwaarde, wat betekent dat deze waarde het middelste datapunt uit een geordende dataset (bijvoorbeeld van voorraden) is. 50% van de data heeft een grotere waarde en 50% heeft een kleinere waarde dan de mediaanwaarde. Bij de P10-waarde wordt verondersteld dat slechts 10% van de datapunten een grotere waarde heeft en bij P90 heeft 90% van de data een grotere waarde dan de mediaanwaarde. |
| Persluchtopslag | Ook Compressed Air Energy Storage (CAES) genoemd. Opslag van lucht onder hoge druk in een opslagfaciliteit. CAES bevat een technologie voor de opslag van elektrische energie op een manier die het mogelijk maakt deze energie later weer vrij te geven. |
| Potentiële binnenlandse aanbod | Per energiedrager of delfstof beschrijft dit de hoeveelheid van de betreffende energiedrager of delfstof die in Nederland gewonnen kan worden en voor de Nederlandse markt ter beschikking staat. In de praktijk hangt het binnenlandse aanbod af van beleidskeuzes die door de overheid gemaakt worden. |
| Potentiële toekomstige aanbod | De hoeveelheid van een energiedrager of delfstof die onder inachtneming van bepaalde toekomstscenario's in de komende decennia potentieel ter beschikking staat. |
| Productiecapaciteit | Het vermogen van een installatie om een bepaalde hoeveelheid energie te leveren of opslagruimte te vullen dan wel te produceren per tijdseenheid. |

| Begrip | Toelichting – zoals toegepast in deze verkenning |
|---|---|
| Standaard steenzout | Standaard steenzout, ook haliet (>95% NaCl) genoemd, is de meest voorkomende en de meest gedolven zoutsoort in Nederland. |
| Startvergunning aardwarmte | Een startvergunning aardwarmte geeft het recht om aardwarmte in een gedefinieerd gebied op te sporen en gedurende de looptijd van de vergunning te winnen. |
| Stikstofopslag | De opslag van stikstof in lege gasvelden. |
| Theoretische capaciteit | Dit is de (bewezen) aanwezige capaciteit die technisch gesproken winbaar is. De theoretische capaciteit wordt ook benoemd als geologische potentie van mijnbouwactiviteiten in de ondergrond, wat niet automatisch betekent dat deze potentie ook volledig winbaar of te benutten is. |
| Toekomstige vraag | De toekomstige vraag naar energie of opslagcapaciteit. De grootte van de toekomstige vraag komt uit de energiescenario's en is tijdsafhankelijk, en is een beperkt voorspellend vermogen en dus omgeven met een onzekerheidsbandbreedte. |
| Toewijzing zoekgebied aardwarmte | De toewijzing zoekgebied aardwarmte is alleen van toepassing op projecten waarbij aardwarmte wordt gewonnen. Het geeft een bedrijf het alleenrecht om in een bepaald gebied te zoeken naar aardwarmte. Tijdens de looptijd van de toewijzing zoekgebied mag nog niet geboord worden naar aardwarmte. Hiervoor is een startvergunning (zie daar) nodig. |
| Totale energie-inhoud | Weergegeven in petajoule (PJ) geeft dit de hoeveelheid energie weer die in een systeem aanwezig is, die bijvoorbeeld in een opslagcaverne opgeslagen kan worden. |
| Trias-Röt Formatie | Gesteenteformatie in de Nederlandse ondergrond met voorkomens van dunne pakketten steenzout. |
| Uitzendcapaciteit | De uitzendcapaciteit van zout verwijst naar de hoeveelheid zout die uit zoutcavernes in de ondergrond wordt geproduceerd en naar het oppervlak wordt gebracht. |
| Vervolgvergunning aardwarmte | Een vervolgvergunning is alleen van toepassing bij projecten waar aardwarmte wordt gewonnen. De vervolgvergunning geeft toestemming om aardwarmte te winnen gedurende de looptijd die is vastgelegd in de vergunning. |
| Verwachte vraag | Hier bedoeld als de verwachte vraag naar toekomstige mijnbouwactiviteiten. Deze is afgeleid van historische trends en scenario's |

| Begrip | Toelichting – zoals toegepast in deze verkenning |
|---|---|
| | uit energiesysteem studies voor de periode 2030-2050. |
| Voorraad | De hoeveelheid delfstof, energiedrager of opslagruimte die in de ondergrond beschikbaar is. Bij delfstoffen en energiedragers gaat het om wat er uit de ondergrond kan worden gehaald. Bij opslag gaat het om de ruimte die er is om een specifieke stof (gassen of vloeistoffen) of energiedragers op te slaan.<br>Vastgestelde voorraad: de voorraad die is aangetoond en momenteel onder een winningsplan of opslagplan aanbod genereert.<br>Voorwaardelijke voorraad: de voorraad waarbij een technisch winbaar of ontwikkelbaar voorkomen is aangetoond middels een (proef)boring en/of waarbij het voorkomen met voldoende zekerheid kan worden vastgesteld op basis van locatie-specifieke studies en omliggende boringen.<br>Prospectieve voorraad: voorraad die nog niet is aangetoond, en/of waarbij het voorkomen en de technische ontwikkeling alleen worden aangenomen op basis van regionale studies en algemene aannames. |
| Waterstofopslag | De opslag van waterstof in zoutcavernes en in de toekomst mogelijk in lege gasvelden. |
| Werkgasvolume | Het deel van het opgeslagen gas in een ondergrondse opslagstructuur dat kan worden benut voor levering aan het energiesysteem en dat dus cyclisch wordt geïnjecteerd en geproduceerd. |
| Winningscaverne | Zoutcaverne waaruit daadwerkelijk zout gewonnen wordt. |
| Zechstein groep | Gesteenteformatie in de Nederlandse ondergrond met grote verbreiding in Noord Nederland en de noordelijke Noordzee, met voorkomens van dikke pakketten steenzout. |
| Zoutcaverne | Een paddenstoelvormige structuur in de ondergrond die hoofdzakelijk uit steenzout bestaat. Worden ook zoutdiapier, zoutpijler of zoutkoepels genoemd. |
| Zoutkruip | Proces tijdens en na de winning van steenzout waarbij de gevormde cavernes dichtdrukken. |

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding van dit onderzoek

De ondergrond van Nederland wordt veelvoudig gebruikt voor verschillende mijnbouwactiviteiten (globaal meer dan 500 meter diep) en activiteiten in het ondiepe bereik (globaal 0-500 meter diep) zoals drinkwaterwinning en bodemenergiesystemen. Door toenemende activiteiten in de ondergrond en de daardoor gestegen druk op het water- en bodemsysteem wordt de ruimtelijke ordening, fasering, prioritering en beheer van ondergrondse activiteiten steeds belangrijker.

Het ministerie van Klimaat en Groene Groei (KGG) en het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) hebben TNO en Deltares gevraagd om binnen het kader van het project “Ruimtelijke Verkenning Duurzaam Gebruik van de Ondergrond” (RVDGO) inzicht te geven in het huidige en toekomstige ruimtegebruik van de ondergrond. Het project is onderverdeeld in drie modules:

- Module 1: diepe ondergrond (uitgevoerd door TNO in opdracht van KGG)
- Module 2: ondiepe ondergrond (uitgevoerd door Deltares in opdracht van IenW)
- Module 3: analyse kansen en aandachtspunten (gezamenlijk uitgevoerd door TNO en Deltares)

Dit rapport omvat de bevindingen die voortkomen uit Module 1.

KGG en IenW willen dat de ambities ten aanzien van klimaat- en energiebeleid in de ondiepe en de diepe ondergrond in de komende decennia op verantwoorde wijze gerealiseerd kunnen worden. Tegelijk willen de ministeries voorkomen dat deze activiteiten andere belangrijke afhankelijkheden van de ondergrond negatief beïnvloeden, zoals het water- en bodemsysteem of de kwaliteit van bodem, grondwater en natuur.

KGG en IenW willen meer inzicht krijgen in de ontwikkelingen in het ruimtegebruik in de ondergrond om een inschatting te kunnen maken waar het gebruik van de ondergrond veilig en verantwoord kan plaatsvinden. Hierbij is de ambitie om de ruimte in de ondergrond van het Nederlandse territoir zo te benutten dat het niet ten koste gaat van natuur, milieu en de inzetbaarheid van toekomstige generaties. Toekomstig gebruik van de ondergrond dient verantwoord en veilig te zijn, derhalve in samenhang met andere nationale en regionale opgaven. Het gaat hierbij om zowel de toekomstbestendige inzet en benutting van de ondergrond (het winnen van energie, water en grondstoffen en opslag van energie en stoffen) als de bescherming van drinkwater en grondwaterreserves.

In de Contourennota Aanpassing Mijnbouwwet (Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, 2023) is een Programma “Duurzaam Gebruik Diepe Ondergrond” aangekondigd. Dit programma maakt duidelijk waar bepaalde mijnbouwactiviteiten in Nederland nog kunnen plaatsvinden en onder welke voorwaarden. Voor dit programma zal door KGG in de nabije toekomst een maatschappelijke dialoog gestart worden.

Tegelijkertijd werkt IenW samen met andere departementen en overheden aan een Nationaal Programma Bodem & Ondergrond, welke is aangekondigd in de Nationale Omgevingsvisie (NOVI)[4]. Hierin wordt ook de Structuurvisie Ondergrond opgenomen en de uitvoering daarvan. Het programma geeft tevens uitvoering aan een aantal toezeggingen uit de kabinetsbrief Water en Bodem (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat & Heijnen, 2022). Dit programma zal de strategie voor de ruimtelijke ordening van de ondergrond bepalen. De uitkomsten vormen de basis voor een herijking en bijstelling van de Structuurvisie Ondergrond uit 2018 (IenW & EZK, 2018).

## 1.2 Doelstelling

Het doel van deze rapportage is inzicht geven in de huidige en verwachte toekomstige vraag naar de duurzame inzet van de diepe en ondiepe ondergrond op land, waarbij wordt geanalyseerd wat de verwachte ruimtelijke impact is en waar mogelijk sprake zal zijn van kansen en knelpunten. Bij een toekomstbestendig gebruik van de ondergrond is er een maatschappelijk geaccepteerde balans noodzakelijk tussen duurzaam benutten en beschermen van zowel de diepe als ondiepe ondergrond. Het hoofddoel van dit project is het verzamelen en inzichtelijk maken van data waarop beleidsmakers vervolgens hun beleid op kunnen baseren.

### 1.2.1 Module 1: Diepe ondergrond (deze rapportage; uitgevoerd door TNO)

Deze module behelst het inzichtelijk maken van de ruimtelijke impact van mijnbouwactiviteiten op land voor de diepe ondergrond. In het kader van dit onderzoek gaat het om activiteiten die onder de Mijnbouwwet vallen: olie- en gaswinning, aardwarmtewinning, zoutwinning en opslag van gassen (aardgas, waterstof en perslucht). CO2-opslag op land is op dit moment uitgesloten en wordt daarom buiten de scope van deze verkenning gehouden. In deze verkenning worden de mijnbouwactiviteiten behandeld die nodig zijn om de beoogde energietransitie te realiseren, ongeacht of de activiteiten een meer nationaal of regionaal karakter hebben.
Het uiteindelijke doel van dit project en specifiek van Module 1 is dat beleidsmakers voldoende informatie hebben om in het kader van de energietransitie in te kunnen spelen op een mogelijke onbalans in vraag en aanbod van energie, energiedragers, grondstoffen en opslagruimte in de ondergrond. Vooral een situatie waar de vraag het aanbod overtreft zorgt voor uitdagingen

### 1.2.2 Module 2: Ondiepe ondergrond (uitgevoerd door Deltares en beschreven in separate rapportage)

Module 2 behelst het in beeld brengen van de huidige en toekomstige ontwikkelingen in de ondiepe ondergrond (globaal 0-500 meter diep). Het gaat om het inzichtelijk maken van het bestaande en toekomstige ruimtegebruik voor onder meer ontwikkelingen in samenhang met de energietransitie: bodemenergiesystemen, grond- en drinkwater, winning van zand, klei en grind, transportbuizen, ICT. De verkenning omvat in ieder geval het huidige ruimtebeslag en eventuele toekomstige ontwikkelingen in de drinkwatervoorziening, aanleg

[4] Het Nationaal Programma Bodem & Ondergrond is nog in ontwikkeling.

van warmte en koudeopslag, open gesloten bodemenergiesystemen en de aanleg van buisleidingen en eventueel andere ondergrondse voorzieningen.

### 1.2.3 Module 3: kansen en aandachtspunten (uitgevoerd door Deltares en TNO en beschreven in separate rapportage)

Deze module behelst een verkenning waar activiteiten en toekomstige ontwikkelingen daarvan in de diepe en de ondiepe ondergrond elkaar raken of in de weg zitten.

## 1.3 Onderzoeksmethode Module 1

Het doel van Module 1 is het inzichtelijk maken van het huidige en toekomstige gebruik van de diepe ondergrond op land met betrekking tot mijnbouwactiviteiten. Hiervoor is de werkwijze voor Module 1 onderverdeeld in de volgende vier activiteiten:

1) Inschatten huidige vraag en aanbod per mijnbouwactiviteit. Dit wordt weergegeven in een kaartbeeld.
2) Inschatten van de verwachte vraag in de toekomst, per tijdstap in 2030, 2040 en 2050. De bronnen hiervoor zijn verschillende gepubliceerde energiescenario's (zie Hoofdstuk 3). De schatting van de toekomstige vraag is afhankelijk van het gekozen energiescenario.
3) Inschatten van het potentiële binnenlandse aanbod per mijnbouwactiviteit. Dit potentiële aanbod zal in de praktijk afhankelijk zijn van bepaalde (beleids-)keuzes die worden gemaakt. Dit potentiële aanbod wordt weergegeven in een kaartbeeld.
4) Het matchen van de toekomstige vraag met het potentiële toekomstige aanbod. Welke plekken in Nederland bieden kansen om de ontwikkeling van mijnbouwactiviteiten onderzoeken die kunnen bijdragen aan de toekomstige vraag?

Om antwoord te geven op de vragen zou er aan het huidige en verwachte aanbod, de toekomstige vraag en het potentiële aanbod in de toekomst van elke mijnbouwactiviteit een getal of bandbreedte toegekend kunnen worden. Deze numerieke waardes kunnen vervolgens gekoppeld worden aan kaartbeelden van de verschillende mijnbouwactiviteiten. Daarmee is het mogelijk om een beeld te schetsen van de ruimtelijke impact op de ondergrond, nu en in de toekomst. Dat maakt het derhalve mogelijk om ermee te rekenen en ruimtelijke filters op de data toe te passen. Een voorbeeldvraag is: wat is het effect van bepaalde beleidskeuzes op het potentiële aanbod van een specifieke mijnbouwactiviteit?

## 1.4 Uitgangspunten

Binnen het project zijn een aantal uitgangspunten gehanteerd die in deze sectie kort toegelicht worden. De in deel 1.4.2 genoemde mijnbouwactiviteiten zijn in afspraak met KGG geselecteerd en behelzen de belangrijkste huidige mijnbouwactiviteiten in Nederland op land.

### 1.4.1 Potentie van de ondergrond

De projectactiviteiten zijn uitgevoerd vanuit het perspectief van de ondergrond. Het huidige en vooral het toekomstige aanbod per mijnbouwactiviteit werd geëvalueerd vanuit de

geologische potentie van de ondergrond. Dit wil niet zeggen dat alle ondergrondse potentie ook daadwerkelijk benut zal gaan worden in de toekomst.
Dit project verkent juist vanuit geologisch potentie perspectief, waar bepaalde huidige en toekomstige mijnbouwactiviteiten uitgevoerd kunnen worden.
De uitkomsten van de hier gepresenteerde verkenningen zijn geen vastgelegde keuzes maar behelzen meer het inzichtelijk maken waar het potentieel voor een mijnbouwactiviteit zit. De kaarten in dit rapport geven dus niet aan waar activiteiten zullen plaatsvinden maar waar activiteiten kunnen plaatsvinden.
Omdat het beleid alleen gemaakt wordt voor het Nederlandse grondgebied gaat het in de context van dit project alleen over vraag en aanbod binnen Nederland en wordt import en export hierin niet direct meegenomen. Indirect kunnen import en export wel van belang zijn, import van aardgas kan bijvoorbeeld een vraag naar ondergrondse opslag creëren.

### 1.4.2 Mijnbouwactiviteiten

De volgende activiteiten in de diepe ondergrond op land worden verkend in Module 1 (zie Figuur 1.1):

- Aardgaswinning: vindt plaats in gasvelden, grofweg tussen de twee en vier kilometer diepte.
- Aardoliewinning: vindt plaats in olievelden. Op dit moment zijn er in Nederland drie olievelden in productie.
- Aardwarmtewinning oftewel conventionele geothermie: bij aardwarmtewinning wordt water opgepompt, de warmte wordt gewonnen en het afgekoelde water wordt weer geïnjecteerd.
- Steenzout- oftewel Halietwinning: gebeurt door middel van uitlogen van cavernes.
- Waterstofopslag: de opslag van waterstof in zoutcavernes en in de toekomst wellicht in lege gasvelden.
- Aardgasopslag: de opslag van aardgas in gasvelden en zoutcavernes.

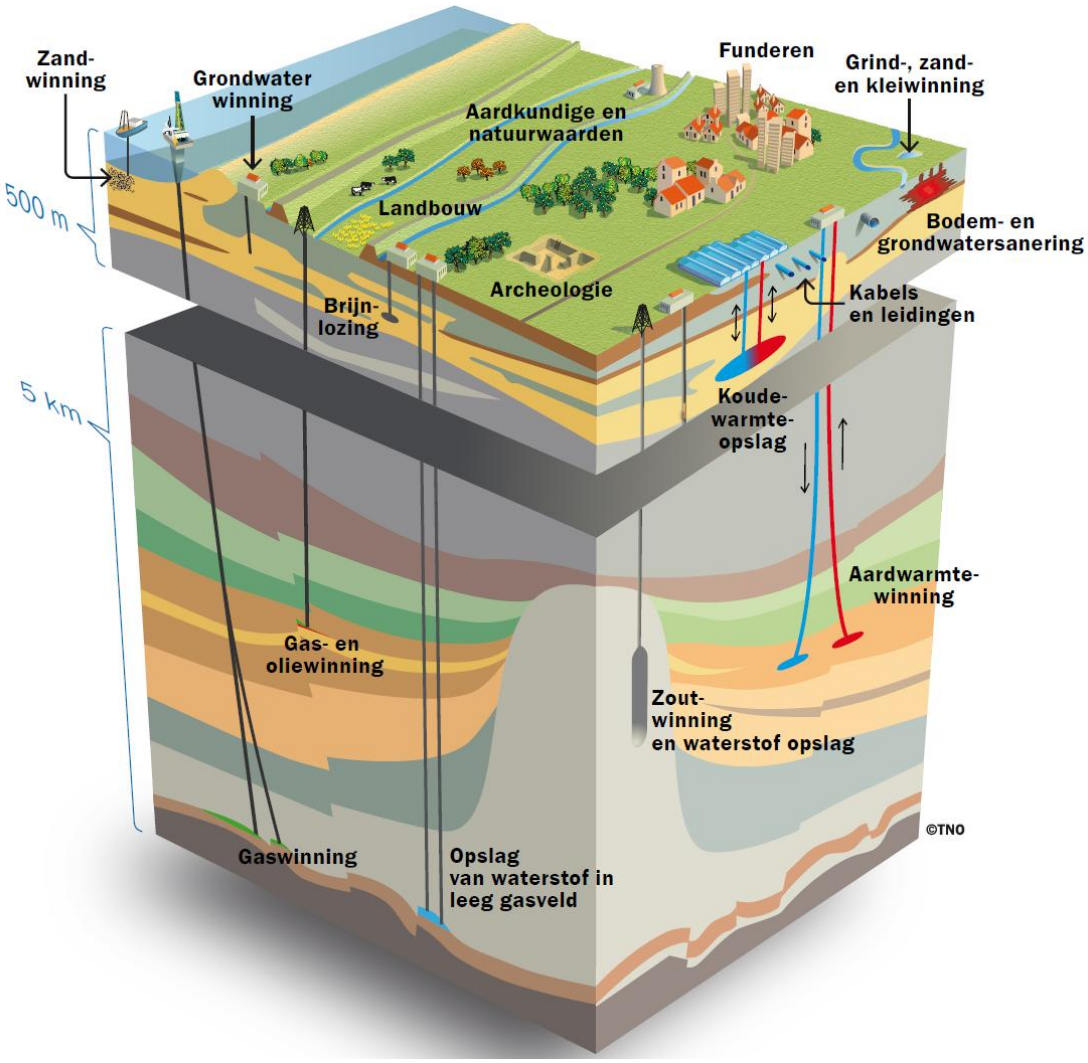
### 1.4.3 Huidig aanbod en toekomstige vraag

Uitgangspunten voor het toekomstig ruimtegebruik van de diepe ondergrond wordt vastgesteld op basis van vraag en aanbod naar de natuurlijke hulpbron, gerelateerd aan een bepaalde mijnbouwactiviteit en aan prioritering van binnenlandse toegang tot de natuurlijke hulpbron. Vraag en aanbod worden binnen het project vastgesteld op basis van bestaande nationale beleidsdocumenten en beleidsstudies voor energie, grondstoffen, grondwater, klimaat en infrastructuur.

*Huidig aanbod*
Het huidige aanbod wordt gedefinieerd als het aanbod zoals dat op dit moment wordt ingevuld door de verschillende ondergrondactiviteiten. Deze worden in getallen weergegeven en inzichtelijk gemaakt door middel van kaartbeelden en grafieken.

*Toekomstige vraag*
De toekomstige vraag, oftewel verwachte vraag of binnenlands verbruik, is gedefinieerd als dat wat de eindgebruikers verwachten van een bepaalde energiesoort of delfstof of opslagcapaciteit nodig te hebben. Deze worden aan de hand van de verschillende toekomstscenario's beschreven en inzichtelijk gemaakt met kaartbeelden. De toekomstige vraag wordt in verschillende tijdstappen weergegeven: 2030, 2040 en 2050. Er wordt niet verder gekeken dan 2050 omdat hiervoor geen gegevens of modellen beschikbaar zijn. Zo

zijn er bijvoorbeeld nauwelijks wetenschappelijke studies die het complete energielandschap na 2050 voorspellen. De onzekerheid over de toekomstmodellen ná 2050 zou dusdanig groot worden dat die scenario's te onbetrouwbaar zullen zijn. Voor mijnbouwactiviteiten waar geen toekomstige vraag voor is gedefinieerd zal gebruik worden gemaakt van historische gegevens om een projectie naar de toekomst uit te voeren.




Figuur 1.1. Gebruik van de ondergrond van Nederland. Bron: NLOG (Nederlandse Olie- en Gasportaal (NLOG)).

## 1.4.4 Databronnen

Voor de inschatting van de potentie van de onderzochte mijnbouwactiviteiten wordt binnen het project uitgegaan van bestaande, openbare databronnen. Dit betreft o.a. bestaande beleidsstukken, studies en wetenschappelijke rapporten. Daar waar bestaande rapporten niet voldoende inzicht geven voor de analyse zijn openbare databases gebruikt. In het bijzonder is de TNO-database (DINOloket - Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond) (Nederlandse Olie- en Gasportaal (NLOG)) gebruikt voor het weergeven van historische productie van bijvoorbeeld zoutwinning.

Door slechts gebruik te maken van openbare databronnen kan het zijn dat de geschetste ondergrondse potenties niet een op een overeen komen met de daadwerkelijke potenties. Relevante bronnen voor de onderzochte mijnbouwactiviteiten worden in het betreffende hoofdstuk benoemd. Voor het gehele overzicht van gebruikte bronnen wordt verwezen naar de bronnenlijst.

### 1.4.5 Geografische afbakening en niet onderzochte gebruiksvormen

Voor de bepaling van de huidige en toekomstige vraag en het aanbod wordt in deze studie uitsluitend naar mogelijkheden en ruimtelijke impact op land[5] gekeken. Dit betekent dat er geen specifieke ruimtelijke uitwerking wordt gegeven van mijnbouwactiviteiten die enkel op zee[6] zullen plaatsvinden. Dit betreft bijvoorbeeld de opslag van $CO_2$ in lege gasvelden omdat de Nederlandse overheid op dit moment geen plannen heeft voor $CO_2$ opslag op land.

Verder zijn in overleg met KGG een aantal gebruiksvormen van de diepe ondergrond in dit project niet beschouwd.

- Opslag radioactief afval: eindberging wordt niet voorzien vóór het jaar 2100 (Ministerie van Infrasctructuur en Milieu, 2016).
- Schaliegas: voorraden van schaliegas in de Nederlandse ondergrond worden niet gewonnen. Daarbij is staand overheidsbeleid dat er niet naar schaliegas mag worden gezocht.
- Andere buiten beschouwing vallende mijnbouwactiviteiten betreffen zeer specifieke toepassingen zoals de winning van onconventionele koolwaterstoffen zoals coalbed methane of de winning van kritieke materialen zoals lithium uit geothermisch water.

[5] Land: Nederlands Territoir, onshore. Bevat ook zee binnen de 12-mijlszone.
[6] Zee: Nederlands Continentaal plat, offshore. Buiten de 12-mijlszone

# 2 Aanpak, definities en methoden

## 2.1 Introductie

Dit rapport levert een overzicht van de bekende voorraden aan technisch winbare energie en grondstoffen en de beschikbare ruimte voor opslag van stoffen in de diepe ondergrond.

Op basis van informatie omtrent bestaande projecten, vergunningen en prognoses wordt geschetst hoe het aanbod en de ontwikkeling van energie, grondstoffen en opslagruimte zich in de tijd ontwikkelt. Dit aanbod in de tijd wordt vergeleken met de huidige en verwachte toekomstige vraag.

In dit hoofdstuk worden de volgende aspecten toegelicht, die verder zijn uitgewerkt in hoofdstukken 4 tot en met 8:

- Een algemeen overzicht van de verschillende energiebronnen, grondstoffen en opslagtechnologieën die in deze studie worden beschreven, inclusief de aard en kenmerken van het geologische voorkomen.
- Een overzicht van de algemene aanpak van dit onderzoek.
- Toelichting op de generieke definities voor voorraden en aanbod
- Toelichting op de gehanteerde methoden, bronnen en uitgangspunten voor het vaststellen van voorraden, aanbod en vraag.
- Onzekerheden en beperkingen m.b.t. evaluatie en kwantificering.
- Een overzicht van mogelijke technische, ruimtelijke en beleidsmatige beperkingen die (tijdige) ontwikkeling van aanbod in de weg staan.

## 2.2 Overzicht onderzochte grondstoffen, energiebronnen en opslagtechnologieën

In deze sectie wordt een beknopt overzicht gepresenteerd van de onderzochte delfstoffen, energiedragers en opslagtechnologieën. Per mijnbouwactiviteit wordt kort ingegaan op wat het is, waar en in welke diepte het hoofdzakelijk voorkomt en hoe het zich in de afgelopen decennia heeft ontwikkeld. Voor een gedetailleerde beschrijving van de genoemde mijnbouwactiviteiten en hun historisch en hedendaags gebruik wordt verwezen naar het recent verschenen boek *The Geology of the Netherlands* (ten Veen, Vis, de Jager, & Wong, 2025).

*Aardgas en aardolie*
Nederland is sinds de jaren 50 van de vorige eeuw een aardgas land. Tot januari 2022 heeft Nederland opgeteld 3,589 x $10^9$ $m^3$ gas geproduceerd en 944 miljoen barrels (150 x $10^6$ $m^3$) aardolie (Remmelts, Nelskamp, de Jager, & Geluk, 2025). Dit omvat de gehele productie op land en op zee. De gasproductie werd daarbij gedomineerd door het Groninger gasveld. Echter, ook na het besluit in 2024 geen gas meer uit het Groninger gasveld te produceren zal

Nederland tot minstens 2050 gas en olie blijven winnen en importeren. Een gedetailleerd overzicht van de geologische, economische en maatschappelijke componenten van gas- en olieproductie bieden (Remmelts, Nelskamp, de Jager, & Geluk, 2025).

*Aardwarmte*
Onderzoek naar de mogelijkheden voor aardwarmtewinning vindt in Nederland sinds de 1970er jaren plaats. Echter, de productie van aardwarmte is pas in 2006 gestart en tegenwoordig zijn er 27 aardwarmtesystemen (zogenaamde doubletten) waarvan 19 produceren. In dit onderzoek ligt de focus op conventionele aardwarmteproductie: open-loop systemen die produceren uit en injecteren in een doorlatend gesteente in de ondergrond. Warmte wordt gewonnen op dieptes tussen 500 en 4000 m, met een temperatuur domein tussen 25 en 125 °C. Aardwarmte wordt vooral gebruikt in de glastuinbouw maar andere toepassingen zijn in opkomst. (Mijnlieff, et al., 2025) geven een gedetailleerd overzicht van de mogelijkheden voor aardwarmteontwikkeling in Nederland.

*Zout*
Zoutproductie is in Nederland in 1919 in Boekelo gestart. In Nederland wordt hoofdzakelijk NaCl (haliet of steenzout) gewonnen en daarnaast beduidend lagere hoeveelheden magnesiumzout ($MgCl_2$). Het zout wordt vooral gewonnen uit geologische lagen die afgezet zijn in de Permtijd (zogenaamde Zechstein groep) en de Triastijd. Tegenwoordig wordt er jaarlijks ongeveer 5,5-6,7 Mt steenzout en 0,25 Mt magnesiumzout geproduceerd. Het zout komt uit dieptes tussen 300 en 3000 m. Een gedetailleerd overzicht van zoutvoorkomens en zoutwinning in Nederland geven (Groenenberg, Fokker, & den Hartogh, 2025).

*Gasopslag*
Gasopslag betreft de opslag van aardgas, waterstof of stikstof in zoutcavernes of uitgeputte gasvelden. Ook de opslag van perslucht hoort hierbij. De situatie van gasopslag in Nederland is uitvoerig beschreven in (Juez-Larré, et al., 2025), hoewel opgemerkt moet worden dat de in deze publicatie genoemde gegevens voor opslaglocaties en opslagcapaciteiten van 2019 zijn. De opslagdiepte in zoutcavernes bedraagt ongeveer 700-1600 m, degene voor gasvelden bedraagt 2000-4000 m. Aardgas wordt op dit moment in één zoutcaverne-complex (Zuidwending, 6 cavernes) en in vier gasvelden opgeslagen. Gasopslag vindt op dit moment plaats in 6 provincies. (Juez-Larré, et al., 2025) presenteren ook een schatting van het theoretische aantal cavernes en gasvelden voor gasopslag naast opslagcapaciteiten en energiegehalte voor aardgas en waterstof.

Om een regionale indruk te geven van de relevantie van de onderzochte mijnbouwtechnologieën is in Tabel 2.1 per provincie weergegeven voor welke onderzochte delfstoffen, energiedragers en opslagtechnologieën potentieel is aangetoond of juist verwaarloosbaar is.

Tabel 2.1. Potentieel van ondergrondse energiedragers en mijnbouwtechnologieën per provincie.

| | FR | GR | DR | OV | NH | ZH | UT | FL | GE | ZE | NB | LI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Aardgas | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| Aardolie | | | ■ | | | ■ | | | | | | |
| Geothermie | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ |
| Zoutwinning | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | ■ | ■ | | | |
| Opslag zoutcavernes | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | ■ | | | |
| Opslag gasvelden | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | |

■ Potentieel is aangetoond ■ (Zeer) beperkt potentieel

## 2.3 Algemene aanpak voor het onderzoek

Zoals boven genoemd geeft dit rapport een overzicht van de bekende voorraden aan technisch winbare energie en grondstoffen en beschikbare ruimte voor opslag van gassen in de diepe ondergrond.
Op basis van informatie van geologische kartering en karakterisatie en op basis van informatie uit vergunningen is er een inschatting gemaakt van bekende voorraden en de status van de voorraad (bijvoorbeeld wel of niet aangetoond, wel of niet operationeel, ontwikkeling wel of niet gepland). Op basis van informatie uit vergunningen, winningsplannen en opslagplannen is berekend wat het vastgestelde en verwachte aanbod is tussen nu en 2050. Bij voorwaardelijke en prospectieve voorkomens zijn scenario's of simulaties of specifieke aannames gebruikt om te voorspellen hoe het aanbod zich zou kunnen ontwikkelen. Voor de mijnbouwsoorten aardgas en aardwarmte is dit probabilistisch gedaan. Ter visuele ondersteuning zijn er kaarten gemaakt waarin het voorkomen van delfstoffen, energiebronnen en ruimte voor ontwikkeling van opslag zijn weergegeven.
De verwachte vraag is afgeleid uit bestaande energiesysteemstudies (zie hoofdstuk 3 voor een uitgebreide toelichting).
Om vraag en aanbod met elkaar te kunnen vergelijken zijn voor elke onderzochte mijnbouwactiviteit grafieken samengesteld. De volgende informatie kan uit deze grafieken gelezen worden:

- In hoeverre kan het aanbod in de vraag voorzien?
- Op basis van bekende voorraden kan worden vastgesteld of er sprake is van schaarste in de ondergrond.
- Op basis van generieke inzichten omtrent randvoorwaarden en tijdlijn van ontwikkeling, kan worden vastgesteld of het technisch gezien realistisch is dat de voorspelde vraag wordt ingevuld.
- Met een overzicht van geldende beleidsmaatregelen of beperkingen en een ruimtelijk overzicht van beperkende gebiedseigenschappen kan een indicatie worden gegeven of dit een knelpunt vormt voor het genereren van gevraagd aanbod.

## 2.4 Definitie van voorraad en aanbod

### 2.4.1 Algemene definities

In het rapport wordt veelvoudig over voorraden en aanbod gesproken. In deze sectie wordt weergegeven hoe beide begrippen in de context van dit onderzoek zijn gebruikt. Hieronder geven we meer algemene beschrijvingen van voorraad en aanbod, in de secties daaronder worden de verschillende categorieën van voorraad en aanbod gedefinieerd.

- **Geologisch potentieel** definieert de hoeveelheid delfstof, energiedrager of opslagruimte die in de ondergrond beschikbaar is en technisch winbaar/ontwikkelbaar wordt geacht. Bij delfstoffen en energiedragers gaat het om wat er uit de ondergrond kan worden gehaald. Bij opslag gaat het om de maximale ruimte die er is om een specifieke stof (gassen of vloeistoffen) of energiedragers op te slaan.
- **Aanbod** definieert de verwachte hoeveelheid delfstof of energie die per tijdseenheid (bijv. jaar)binnen vastgestelde, voorwaardelijke en prospectieve projecten wordt geproduceerd, of de hoeveelheid opslagruimte die toegankelijk kan worden gemaakt voor injectie.
- **Voorraad** definieert de hoeveelheid delfstof, energie of opslagruimte die binnen een gegeven periode in totaal wordt gerealiseerd uit het verwachte aanbod (productie of aanleg opslagcavernes).

Een belangrijke relatie tussen voorraad en aanbod is dat voorraad eerst moet worden aangetoond en dat de technische en economische winbaarheid moet worden vastgesteld, alvorens aanbod kan worden voorbereid en ontwikkeld.

De vraag is gerelateerd aan het aanbod. Vraag en aanbod variëren over tijd en moeten in tijd en ruimte op elkaar aansluiten.

### 2.4.2 Specifieke voorraad definities

Bij voorraden worden de volgende categorieën gedefinieerd:

- **Vastgestelde voorraad** is de voorraad die is aangetoond en momenteel onder een winningsplan of opslagplan aanbod genereert. De vastgestelde voorraad omvat ook voorkomens die nu in ontwikkeling zijn en waarvan met voldoende zekerheid kan worden aangenomen dat deze op korte termijn aanbod gaan genereren.
- **Voorwaardelijke voorraad** is de voorraad waarbij een technisch winbaar of ontwikkelbaar voorkomen is aangetoond middels een (proef)boring en/of waarbij het voorkomen met voldoende zekerheid kan worden vastgesteld op basis van locatie-specifieke studies en omliggende boringen. De ontwikkeling tot een operationeel voorkomen dat aanbod kan genereren, is echter nog onzeker of er zijn geen concrete plannen gemaakt of investeringsbeslissingen genomen omtrent de ontwikkeling. Soms omvat de voorwaardelijke voorraad voorkomens die eerder operationeel waren, maar nu inactief zijn omdat winning of opslag onder huidige omstandigheden niet langer economisch rendabel is, of maatschappelijk of politiek niet meer is toegestaan.

- **Prospectieve voorraden** zijn voorraden die nog niet zijn aangetoond, en/of waarbij het voorkomen en de technische ontwikkeling alleen worden aangenomen op basis van regionale studies en algemene aannames. Soms betreft het voorkomens die concreet zijn afgebakend binnen een structuur (bijvoorbeeld een prospectief gasvoorkomen of een zoutstructuur) en soms gaat het om een ruimer zoekgebied waarbinnen een technisch geschikte locatie voor ontwikkeling moet worden aangetoond (bijvoorbeeld een warm watervoerende aquifer voor geothermie)

In de Tabel 2.2 wordt per type technologie een overzicht gegeven hoe verschillende typen voorkomens zijn onderverdeeld naar de bovengenoemde voorraadcategorieën.

Tabel 2.2. Overzicht van voorraadcategorieën per provincie voor elk van de onderzochte energiedragers of mijnbouwactiviteiten.

| | FR | GR | DR | OV | NH | ZH | UT | FL | GE | ZE | NB | LI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Aardgas | | | | | | | | | | | | |
| Aardolie | | | | | | | | | | | | |
| Geothermie | | | | | | | | | | | | |
| Zoutwinning | | | | | | | | | | | | |
| Opslag zoutcavernes | | | | | | | | | | | | |
| Opslag gasvelden | | | | | | | | | | | | |

Actief ontwikkeld; Voorwaardelijk aangetoond; Prospectief, nog aan te tonen; Beperkt potentieel of geen aanbod voorzien

## 2.4.3 Specifieke aanbod definities

Voor aanbod worden evenzo drie categorieën onderscheiden die direct samenhangen met de voorraad definities:

- **Vastgesteld aanbod** is het aanbod dat nu beschikbaar is of gewonnen wordt. Of het is aanbod dat in ontwikkeling is en binnen een vastgestelde termijn operationeel wordt, bijvoorbeeld omdat er een winnings- of opslagplan in behandeling is.
- **Voorwaardelijk aanbod** is technisch gezien het aanbod waarvoor in voldoende mate is vastgesteld dat het aanbod zou kunnen worden gerealiseerd. Ontwikkeling van het aanbod is nog niet voorzien of zeer onzeker bijvoorbeeld vanwege een onvoldoende economisch rendement, het ontbreken van vergunningen of het ontbreken van vraag naar aanbod in kwantiteit of ruimtelijke matching. Op basis van aannames rond de ontwikkeling van bijvoorbeeld de economie, markt, nieuwe technologische ontwikkelingen, vergunningaanvragen en geplande onderzoeken is per energiedrager of mijnbouwtechnologie een indicatie gegeven van het aanbod dat wellicht onder voorwaarden in de toekomst gerealiseerd zou kunnen worden.
- **Prospectief aanbod** is vergelijkbaar met voorwaardelijk aanbod, maar hier is er nog een extra onzekerheid omtrent het wel of niet aanwezig zijn van een voorkomen dat technisch gezien ontwikkeld kan worden. De indicatieve prognose van het prospectieve aanbod kan onder andere worden gesimuleerd op basis van bekende of aangenomen boorinspanningen, succeskansen, macro-economische ontwikkelingen en bestaande beleidsmaatregelen.

### 2.4.4 Bepaling van voorraad en aanbod

De schattingen van voorraad en aanbod voor iedere onderzochte mijnbouwactiviteit zijn bepaald op basis van verschillende bronnen. De beschikbare bron hangt vaak af van het stadium van ontwikkeling van de betreffende mijnbouwactiviteit en dit bepaalt ook de mate van zekerheid en betrouwbaarheid van de geschatte waarden. Hieronder wordt een overzicht gegeven van de meest gangbare bronnen. Meer specifieke informatie over de bronnen en bijzondere situaties worden in de hoofdstukken 4 t/m 8 nader toegelicht.

- Een operator moet een **winningsplan of opslagplan** hebben om daadwerkelijk de mijnbouwactiviteit te mogen uitvoeren. Dit plan geldt als een belangrijk document waarop wordt gehandhaafd en beschrijft hoeveel van de betreffende energiedrager of delfstof er binnen een gegeven tijdvak gewonnen of opgeslagen mag worden. Voor een plan geldt altijd dat is vastgesteld dat de voorgenomen mijnbouwactiviteit technisch en economisch uitvoerbaar is binnen gestelde randvoorwaarden (bijv. inpassing omgeving, mijnbouweffecten, wijze waarop activiteit wordt uitgevoerd). Het voorkomen waarin de mijnbouwactiviteit wordt uitgevoerd, en de daarmee samenhangende voorraad, is aangetoond en bewezen. Daarmee bieden winningsplannen en opslagplannen de meest zekere inschatting van de voorraad en het vastgestelde aanbod daaruit. Tijdens de uitvoering van het plan kunnen wel afwijkingen ontstaan van de voorgenomen winning of opslag, bijvoorbeeld door voortschrijdend inzicht en nieuwe metingen tijdens uitvoering, technologische vooruitgang, of beperkingen die in de tijd door handhaving of nieuwe regelgeving worden ingesteld. Daarom wordt in een plan meestal ook een verwachtingswaarde met een onder- en bovengrens meegegeven.
- Bij een aanvraag van een **winningsvergunningen en opslagvergunningen** dient de operator een geologisch rapport in met een inschatting van de voorraad (delfstof of opslagruimte) die aan het voorkomen is verbonden. Dit is bepaald op basis van een (succesvolle) proefboring die het voorkomen heeft aangetoond en informatie geeft over de kenmerken en daarin aanwezige stoffen. Dit geeft in de regel een goed inzicht in de totale voorraad, maar de hoeveelheid die door ontwikkeling wordt gerealiseerd, is vaak nog onzeker. Het aanbod is nog niet vastgesteld en wordt als voorwaardelijk beschouwd. Specifieke waarden omtrent de aanwezige voorraden in winningsplannen en opslagplannen kunnen nog confidentieel zijn. De Mijnbouwwet verplicht niet om die openbaar te maken.
- **Opsporingsvergunningen en toekenning zoekgebieden aardwarmte:** Bij een opsporingsvergunning of een toegekend zoekgebied is het voorkomen in de meeste gevallen nog niet aangetoond. De operator heeft in dit geval een verkennende studie uitgevoerd waarin aannemelijk wordt gemaakt dat de kans op aantoning het plaatsen van een proefboring rechtvaardigt. Schattingen van voorraad zijn afgeleid van directe of indirecte metingen in de omgeving en kennen in de regel een grote onzekerheidsbandbreedte. Aanbod is prospectief en er kan alleen een grove indicatie van het mogelijke tijdvak worden gegeven.
- **Regionale en nationale kartering en screening**: Als onderdeel van de publieke kartering en beleidsondersteunende adviestaken, karteert en karakteriseert TNO de geologische opbouw van de ondergrond en het geologisch en technisch realiseerbare potentieel van daarin voorkomende delfstoffen of geschikte opslagruimte. In het geval van een winbare delfstof wordt hierbij geen gedetailleerde (locatie-specifieke) analyse gedaan en resulteert het onderzoek in de

vaststelling van ruimere gebieden waarin gunstige condities zijn voor verdere opsporing en aantoning. Voor opslag is het voorkomen vaak wel lokaal afgebakend en kan het opslagpotentieel worden afgeleid van bestaande informatie uit eerdere winning (bijvoorbeeld bij opslag in een leeg gasveld). In tegenstelling tot een opsporingsvergunning is er bij regionale kartering nog geen sprake van een concreet geplande activiteit door een operator. De resultaten van regionale kartering geven een grove indicatie van mogelijke voorraden waarvoor nog geen aanbod kan worden gedefinieerd.

Naast beschikbare informatie uit officiële plannen, vergunningen en eigen kartering zal in sommige gevallen worden uitgegaan van openbare informatie die in rapporten of op websites van operators is gepubliceerd. De zekerheid van deze gegevens zal per geval verschillen en wordt nader toegelicht in het hoofdstuk van de betreffende mijnbouwactiviteit.

### 2.4.5 Onzekerheden en scenario's

De schattingen van voorraden, aanbod en vraag worden gekenmerkt door substantiële onzekerheden. Zoals de vorige paragraaf al duidelijk maakt, hangt de mate van onzekerheid samen met de bronnen die gebruikt zijn voor de bepaling van deze waarden. Deze paragraaf geeft een korte beschouwing van de wijze waarop onzekerheden zijn meegenomen in deze studie en wat de belangrijkste oorzaken van onzekerheden zijn.

**Vraagbepaling (scenario's)**
Bij de bepaling van de vraag wordt veelal gewerkt met energiescenario's. Een scenario specificeert in dit geval een aantal discrete uitgangspunten voor het toekomstige energiesysteem en aan de hand daarvan wordt gemodelleerd wat het verwachte verbruik (de vraag) en het aanbod van energie is. De uitgangspunten worden gedefinieerd door vaste waarden zonder onzekerheidsbandbreedte. Om inzicht te krijgen in de bandbreedte van mogelijke uitkomsten, worden meerdere scenario's doorgerekend waarbij de uitgangspunten duidelijk onderscheidende situaties of uitersten definiëren. In het geval van het II3050 scenario (zie hoofdstuk 3), schetsen de scenario's en daarbij horende maatschappelijke uitgangspunten bijvoorbeeld vier hoekpunten van het toekomstige energiesysteem (bijvoorbeeld op basis van bepaalde keuzes voor energievoorziening) en specifieke condities die daar invloed op hebben (bijvoorbeeld een gemiddeld versus een "slecht" weerjaar).

**Voorraadbepaling (onzekerheidsbandbreedtes)**
De bepaling van voorraden wordt met name gekenmerkt door geologische onzekerheden. Deze resulteren in een statistische verdeling van waarden waar een kans/waarschijnlijkheid aan wordt verbonden. Vaak wordt de onzekerheidsbandbreedte gerapporteerd als een P10-P50-P90-waarde, waarbij de P50-waarde geldt als de mediaan voor de voorraad. De mediaan is het middelste datapunt uit een geordende dataset, dus 50% van de data heeft een grotere waarde en 50% heeft een kleinere waarde. Bij de P10-waarde wordt verondersteld dat slechts 10% van de datapunten een grotere waarde heeft (vaak ook aangeduid als de hoge schatting of bovengrens) en bij P90 heeft 90% van de data een grotere waarde (lage schatting, ondergrens). Bij geothermie wordt de lage schatting (P90) ook gebruikt als een drempelwaarde waar projecten aan moeten voldoen voor het verkrijgen van subsidie of om onder een garantieregeling te vallen.

### Aanbodcurves (combinatie)

Bij aanbod wordt vaak een combinatie van scenario's en onzekerheidsbandbreedtes gebruikt. Enerzijds kunnen scenario's bijvoorbeeld discrete economische of marktcondities representeren die invloed hebben op het wel of niet ontwikkelen van voorkomens (bijvoorbeeld boorinspanningen, wel/geen investering). Anderzijds kunnen aspecten zoals bijvoorbeeld de productiviteit worden bepaald op basis van een statische onzekerheidsbandbreedte. Voor de bepaling van aanbodcurves worden de scenario's en onzekerheidsbandbreedtes in veel gevallen met simulatiemodel doorgerekend. Daaruit volgt weer een hoge, gemiddelde en lage verwachtingswaarde.

### Oorzaken van (on)zekerheden

Er is een breed scala aan oorzaken die bepalend zijn voor de mate van (on)zekerheid van voorraadschattingen en aanbod- en vraagprognoses. De belangrijkste worden hieronder kort benoemd:

- **Beschikbaarheid en kwaliteit geologische data**: Als een voorkomen is aangeboord dan is er vaak grote zekerheid dat een voorraad of opslagvolume aanwezig is. Aan de hand van metingen en analyses kan ook de aanwezige voorraad of de opslagcapaciteit worden gekwantificeerd. Afhankelijk van de complexiteit en omvang van het voorkomen zijn één of meerdere boringen nodig om de waarde hiervan met zekerheid vast te stellen. Wanneer het voorkomen niet is aangeboord (i.e. prospectieve voorraad), wordt de kans ingeschat dat er daadwerkelijk een technische en economisch winbaar/ontwikkelbaar voorkomen is (bijvoorbeeld op basis van seismiek of boringen in de wijdere omgeving). Omdat er geen directe metingen uit het voorkomen beschikbaar zijn, is er ook sprake van vrij grote onzekerheden bij de bepaling van de geologische eigenschappen. Dit vertaalt zich naar een grotere onzekerheidsbandbreedte bij de schatting van voorraad en productiviteit.
- **Voortschrijdend inzicht tijdens ontwikkeling van het voorkomen**: Tijdens productie of opslag komen nieuwe gegevens beschikbaar die inzicht geven in de toekomstige ontwikkeling en productie. Daardoor kan de voorraad van en het aanbod uit een aangetoond en ontwikkeld voorkomen in de tijd veranderen en zullen onzekerheden in de regel worden verkleind.
- **Technische innovaties:** Nieuwe winnings- of opslagtechnieken kunnen resulteren in meer efficiënte winning of opslag en daarmee in een grotere voorraad of groter aanbod. Verder kan dit ook de ontwikkeling van prospectieve of voorwaardelijke voorraden in gang zetten die eerder als "niet-technisch/economisch ontwikkelbaar" waren bestempeld. Technologische vooruitgang in analyse- en monitoringtechnieken kunnen leiden tot betere (meer zekere) inschattingen van de omvang van een voorraad van een energiedrager of van opslagruimte.
- **Veranderende economische ontwikkelingen:** Regionale en globale economische ontwikkelingen en schommelingen op de markt kunnen een substantiële invloed hebben op de bereidheid van bedrijven en operators om delfstoffen- of opslagvoorkomens in ontwikkeling te brengen. Dit heeft invloed op de verkenning van prospectieve voorraden, de hoeveel prospectieve voorraad die wordt aangetoond middels proefboringen en de ontwikkeling daarvan tot vastgesteld aanbod (productie/opslag).
- **Veranderende juridische situaties:** Veranderende wetgeving, juridische randvoorwaarden en/of beleidsmaatregelen kunnen grote invloed hebben op het

wel of niet opsporen/ontwikkelen van voorraden en het uitvoeren van mijnbouwactiviteiten. Er is bijvoorbeeld besloten dat er op land geen opslag van $CO_2$ plaats zal vinden en dat geen nieuwe opsporingsvergunningen voor aardgas en aardolie worden uitgegeven. Alhoewel er op land een grote voorwaardelijke voorraad aan $CO_2$ opslagruimte is.

- **Maatschappelijke ontwikkelingen:** Gedurende de afgelopen decennia is er sprake van een toenemende weerstand tegen mijnbouwactiviteiten. Het (juridische) verzet vanuit de omgeving kan sterk vertragend werken op de ontwikkeling van een mijnbouwactiviteit en deze soms zelfs tegenhouden. Dit heeft grote invloed op het aanbod. Daarnaast kan er sprake zijn van bredere (nationale) ontwikkelingen die de vraag naar bepaalde mijnbouwactiviteiten stuurt (bijvoorbeeld inzet van aardwarmte bij glastuinbouwbouw of gebouwde omgeving).
- **Veranderingen binnen vergunning:** In de loop van de tijd kan een vergunning overgaan naar een nieuwe operator of er ontstaat een andere verdeling van vergunninghouders. Dit kan leiden tot een aangepaste richting/tijdpad en nieuwe initiatieven omtrent de opsporing van voorraden en ontwikkeling van aanbod.
- **Optredende (mijnbouw)effecten:** Het optreden van bevingen, bodemdaling of andere mijnbouweffecten als gevolg van winning en opslag, kunnen de toezichthouder er toe aanzetten om te handhaven. Dit heeft weer consequenties voor het aanbod, bijvoorbeeld door een aanpassing in de uitvoering van de mijnbouwactiviteit of zelfs gehele stopzetting daarvan. Ook bij het opstellen van het winnings- of opslagplan kan al blijken dat de effecten niet aanvaardbaar zijn en dat de wijze van ontwikkeling en winning/opslag moet worden aangepast. Dit bepaalt weer hoeveel van het voorwaardelijke aanbod wordt omgezet in vastgesteld aanbod.

# 3 Toekomstige vraag uit energiescenario's

Om de vraag te kunnen beantwoorden of er in de toekomst voldoende aanbod is van energie en opslagcapaciteit uit de verschillende mijnbouwactiviteiten is het noodzakelijk om de toekomstige vraag te kennen. Aan de hand van scenario's uit een aantal energietransitie studies kan een inschatting gemaakt worden van de toekomstige vraag. Hieronder worden de scenario's beschreven en worden de verschillen, wat het de mijnbouwactiviteiten betreft, tussen de scenario's getoond. De toekomstige vraag uit die scenario's wordt in de betreffende hoofdstukken van de mijnbouwactiviteiten weergegeven.

## 3.1 Energiescenario's

Nationale en internationale overheden streven naar een klimaatneutrale energievoorziening in 2050. Daarmee is het noodzakelijk om het gebruik van fossiele brandstoffen af te bouwen of om de broeikasgasuitstoot te compenseren. Dit heeft grote gevolgen voor de energiemix die in de toekomst gebruikt kan worden. In de huidige verkenning wordt een methode beschreven om te beoordelen of de toekomstige vraag naar de verschillende mijnbouwactiviteiten haalbaar is. Daarvoor is een inschatting nodig van de verwachte toekomstige vraag naar energie en opslagcapaciteit en het verwachte aanbod hiervan uit de verschillende mijnbouwactiviteiten. Recentelijk zijn meerdere studies uitgevoerd (TNO-AGE, 2023; Netbeheer Nederland, Integrale infrasctructuur-verkenning 2030-2050, 2023; Scheepers, et al., 2024; Daniëls & Strengers, 2024) om na te gaan op welke wijze de energietransitie haalbaar is. Van die resultaten wordt in de volgende hoofdstukken gebruik gemaakt als de verwachte vraag.
Deze scenario studies hanteren verschillende aannames waardoor de verschillende mijnbouwactiviteiten in meer of mindere mate noodzakelijk zijn om aan de gemodelleerde energievraag te kunnen voldoen. Het is nu nog niet te zeggen welk energiescenario het meest voor de hand ligt, daarom worden hier meerdere scenario's gebruikt om een bandbreedte aan te kunnen geven van de vraag naar de verschillende energiedragers en vormen van opslagcapaciteit.

### 3.1.1 De energietransitie studies

In de onderhavige verkenning worden de resultaten van drie studies gebruikt om een inschatting te maken van de bandbreedte van de toekomstige vraag.
De studie 'Integrale infrastructuur-verkenning 2030-2050' (II3050, (Netbeheer Nederland, Integrale infrasctructuur-verkenning 2030-2050, 2023)) is uitgevoerd door Netbeheer Nederland. Het doel van deze studie is om de netbeheerders inzicht te geven in de gevolgen van de energietransitie voor de energie-infrastructuur in Nederland. Dit inzicht moet het mogelijk maken om tijdig te anticiperen op noodzakelijke wijzigingen in de energie-infrastructuur.

De studie ‘Trajectverkenning Klimaatneutraal 2050’ (TVKN, (Daniëls & Strengers, 2024)) is uitgevoerd door het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Het doel van deze studie is om de technische mogelijkheden en beperkingen in beeld te krijgen waar de overheid vervolgens het beleid op kan baseren.

De studie ‘Towards a sustainable energy system for the Netherlands in 2050’ (TNO, (Scheepers, et al., 2024)) is door TNO uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken. Deze studie is het vervolg op twee eerdere studies (2020 en 2022) waarbij de scenario’s aangepast zijn aan nieuwe inzichten en regelgeving. Een belangrijk verschil tussen deze en de eerdere twee studies is dat in de laatste studie expliciet gekeken wordt naar het effect van veranderingen in de energie-intensieve industriële productie. Dit is voor verschillende varianten in behoefte doorgerekend (Scheepers, et al., 2024, p. 4). Als aanvulling op de toekomstige vraag naar waterstofopslag is ook gebruik gemaakt van de gegevens van het MKBA rapport (TNO-AGE, 2023). In dat rapport wordt de opslag van waterstof nader uitgewerkt op basis van een eerdere versie van de scenario’s van (Scheepers, et al., 2024). Tevens is gebruik gemaakt van de studie ‘Nationale Agenda Waterstofopslag’ (KGG, 2025).

### 3.1.2 De scenario’s

De drie gebruikte studies bevatten verschillende scenario’s. Daarin hebben alle scenario’s als randvoorwaarde dat in 2050 klimaatneutraliteit gehaald moet zijn. Dit kan echter op verschillende manieren worden bereikt en kan variëren van geen gebruik van fossiele brandstoffen/grondstoffen meer in 2050 tot grootschalige opslag van afgevangen $CO_2$. Verder worden er aannames gedaan over de economische structuur en groei en de mate van aanwezigheid van energie-intensieve industrie in Nederland. Daarnaast worden er aannames gedaan over innovaties in de techniek die van invloed zijn op energiegebruik of productie.
Aan de koolstofvraag (voor de productie van synthetische stoffen) kan in de scenario’s op verschillende manieren voldaan worden. Dit kan door het gebruik van fossiele grondstoffen (aardgas, aardolie), $CO_2$ afvangen dat als afval vrijkomt (Carbon Capture and Utilisation (CCU)), $CO_2$ afvangen uit de lucht (Direct Air Capture (DAC)), grondstoffen uit biomassa, recycling van afval. Een overschot aan koolstofdioxide kan gecompenseerd worden door middel van ondergrondse opslag (Carbon Capture and Storage (CCS)), maar ook CCU kan daarvoor ingezet worden.
De verschillende scenario’s maken gebruik van een verschillende mix van energiebronnen, zoals wind, zon, aardwarmte, fossiele en kernenergie. Niet al deze bronnen zijn onderwerp van de huidige verkenning, maar worden hieronder genoemd om context te geven aan een hoge of lage behoefte aan een bepaalde energiebron in een scenario.

#### 3.1.2.1 II3050-studie

In de II3050-studie zijn vier scenario’s uitgewerkt: Decentrale Initiatieven (DEC), Nationaal Leiderschap (NAT), Europese Integratie (EUR) en Internationale Handel (INT). Deze scenario’s variëren in markt-gedreven of overheid-gestuurde techniekkeuzes en in nationaal zelfvoorzienend of internationale handel in energie. De II3050 scenario’s zijn uitgewerkt voor de jaren 2040 en 2050 (Netbeheer Nederland, Het energiesysteem van de toekomst: de II3050-scenario's, 2023, p. 19). Voor de jaren 2030 en 2035 zijn in een eerdere studie (IP2024) de scenario’s Internationale ambitie (IA), Klimaatambitie (KA) en Nationale drijfveren (ND) uitgewerkt. De samenhang tussen de scenario’s is beschreven in (Netbeheer Nederland, Het energiesysteem van de toekomst: de II3050-scenario's, 2023, p. 19):

- Het scenario ND kan gezien worden als voorloper van de scenario's DEC en NAT.
- Het scenario KA ligt in het midden en kan gezien worden als voorloper van alle vier II3050-scenario's.
- Het scenario IA kan gezien worden als voorloper op de scenario's EUR en INT.

Om een compleet beeld te kunnen geven wordt de toekomstige vraag van de II3050-scenario's gecombineerd met de vraag van de IP2024-scenario's. De toekomstige vraag van scenario ND en DEC worden gezamenlijk weergegeven als DEC(*), de scenario's KA en NAT als NAT(*), de scenario's KA en EUR als EUR(*) en de scenario's IA en INT als INT(*). In de huidige verkenning worden de toekomstige vraag van scenario NAT(*) gebruikt.

Voor scenario NAT(*) geldt:

- De regie voor de techniekkeuzes ligt bij de overheid en wordt niet door de markt bepaald.
- De energievoorziening is voor Nederland zoveel mogelijk zelfvoorzienend, dus zo min mogelijk afhankelijk van het buitenland.
- De industrie krimpt slechts in beperkte mate.
- De behoefte aan koolstof voor synthetische stoffen zal gedekt worden uit recycling en afvangen van $CO_2$ uit de lucht (DAC, CCU).
- CCS wordt niet gezien als een oplossing voor de lange termijn (Netbeheer Nederland, Het energiesysteem van de toekomst: de II3050-scenario's, 2023, p. 72).
- De elektriciteitsproductie komt voornamelijk uit hernieuwbare bronnen (wind en zon) en er wordt slechts beperkt gebruik gemaakt van kernenergie.
- Er wordt sterk ingezet op het gebruik van warmtenetten.

#### 3.1.2.2 Trajectverkenning Klimaatneutraal 2050 studie (TVKN)

In de TVKN-studie is een aantal scenario-trajecten uitgewerkt. Er zijn twee hoofdassen gedefinieerd waarlangs de belangrijkste variatie plaatsvindt. De ene as, Pragmatisch-Specifiek, bepaalt de eisen aan een klimaatneutraal systeem. Hierbij doelt 'Specifiek' op het volledig afbouwen van het gebruik van fossiele brandstoffen in 2050. De andere as, Ruim-Beperkt, definieert de beschikbaarheid van biologische grondstoffen en groene waterstof. Bij de combinatie Specifiek-Beperkt (SB) bleek klimaatneutraliteit in 2050 niet mogelijk. Voor de overige drie combinaties is een scenario uitgewerkt: Pragmatisch-Ruim (PR40), Pragmatisch-Beperkt (PB30) en Specifiek-Ruim (SR20). Het getal geeft de benodigde $CO_2$ opslag in Mton aan voor het jaar 2050.
Voor alle scenario's wordt uitgegaan van een gematigde economische groei en van "een economische structuur die niet wezenlijk verandert". Een uitganspunt van de studie is dat de energietransitie plaats moet vinden tegen de laagste nationale kosten. Volgens die studie is klimaatneutraliteit niet, of tegen hoge kosten, te halen zonder een grote inzet op $CO_2$ opslag (CCS) en het vergoten van het aanbod van biogrondstoffen en groene waterstof. Het benodigde volume aan waterstofopslag is in deze studie lager dan in de andere studies (Daniëls & Strengers, 2024). Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door de keuze van de inzet van waterstof om andere brandstoffen te produceren. Die brandstoffen zijn makkelijker op te slaan dan gasvormige waterstof.

Uit de TVKN-studie is het scenario SR20 gekozen om de toekomstige vraag te bepalen. Dit scenario wijkt wat energiegebruik betreft het meest af van de gekozen scenario's uit de andere twee studies.

#### 3.1.2.3 ADAPT en TRANSFORM (TNO scenario's)

De TNO-studie (Scheepers, et al., 2024) bevat twee scenario's: ADAPT (ADP) en TRANSFORM (TRN). Deze scenario's zijn gebaseerd op verschillende verhaallijnen die ver uit elkaar liggen. In scenario ADP blijft de leefstijl van de inwoners grotendeels gelijk, de economische structuur verandert niet en de industrie blijft sterk. Fossiele brandstoffen blijven ruim gebruikt waardoor sterk ingezet moet worden op de opslag van $CO_2$. In scenario TRN passen de inwoners hun leefstijl aan door keuzes te maken waarbij minder $CO_2$ vrij komt. De vraag naar industriële en landbouwproducten neemt af. Bedrijven schakelen over op hernieuwbare energie en recycling. Gegeven de randvoorwaarden wordt voor beide scenario's de energiemix met de laagste kosten berekend.

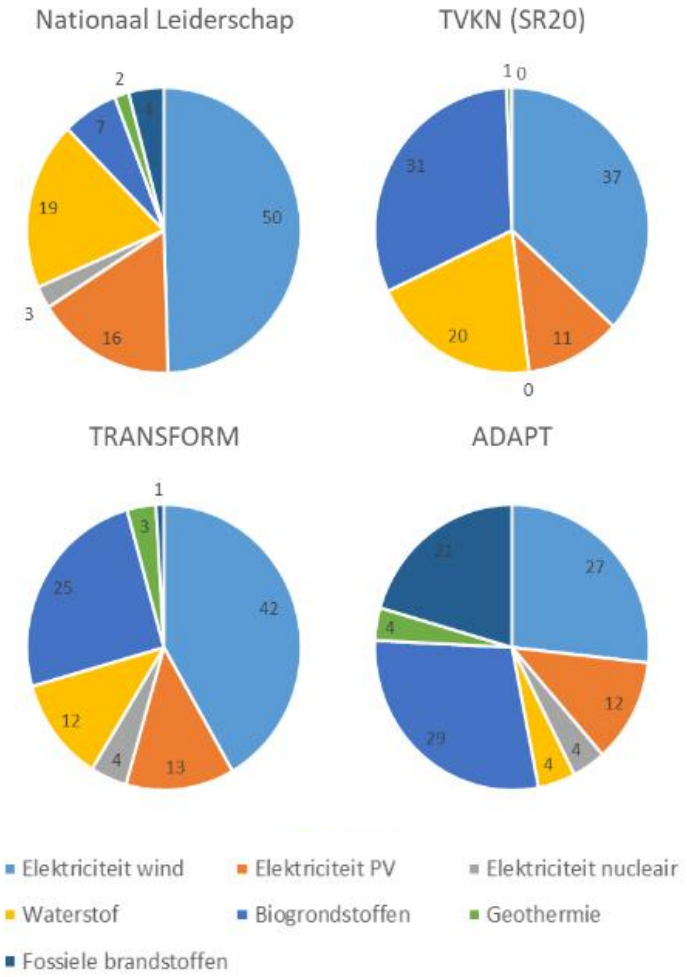
## 3.2 Vergelijking van de scenario's

Alle studies gaan uit van klimaatneutraliteit in 2050. Daarvoor is het noodzakelijk om het gebruik van fossiele brand- en grondstoffen af te bouwen t.o.v. het huidige gebruik. Het gebruik van energiebronnen die geen broeikasgassen produceren, zoals aardwarmte, elektriciteit uit wind, zon of kernenergie, neemt daardoor toe. Voor de behoefte aan koolstof houdende grondstoffen neemt het gebruik van biogrondstoffen en het gebruik van afgevangen $CO_2$ toe. De biogrondstoffen kunnen speciaal verbouwd worden, kan een restproduct uit de industrie zijn of ander afval van biologische oorsprong. Deze biogrondstoffen zijn geen onderdeel van de huidige verkenning, maar zijn wel belangrijk in de energiemix van de verschillende scenario's. In Figuur 3.1 is te zien dat er grote verschillen zijn in de bijdrage vanuit deze bron. Het overzicht van de vraag uit de gehanteerde scenario's is weergegeven in Tabel 3.1.

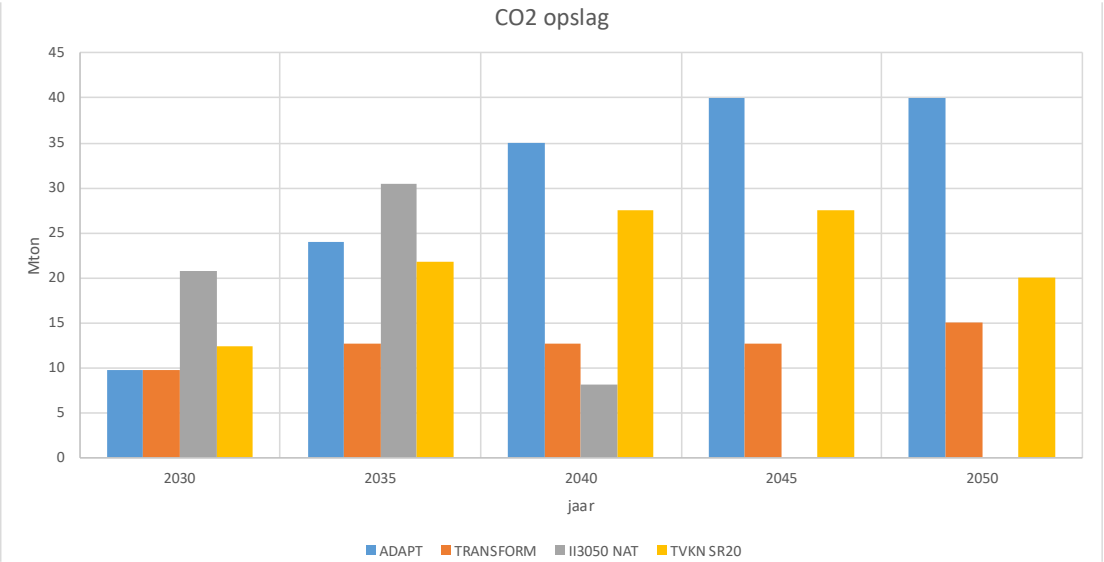
Omdat het aanbod van elektriciteit uit hernieuwbare bronnen (wind en zon) onregelmatig is, is er een toename van flexibilisering van de energielevering noodzakelijk. Deze onbalans in het energieaanbod wordt onder andere opgevangen door productie en opslag van waterstof en synthetische moleculen. Al deze regelmogelijkheden worden in meer of mindere mate toegepast in de verschillende scenario's. Eén van de maatregelen om de onbalans in vraag en aanbod van energie op te vangen is de opslag van gecomprimeerde lucht in zoutcavernes (CAES). Alleen in scenario TRANSFORM wordt daar gebruik van gemaakt waarbij de maximale behoefte aan opslag minder dan een halve zoutcaverne is (standaard zoutcaverne is $10^6$ $m^3$). Vanwege de marginale bijdrage wordt deze optie hieronder niet in de overzichten meegenomen, maar in het hoofdstuk gasopslag wordt deze wel beschreven.

In Figuur 3.1 is de relatieve energiebehoefte uit de belangrijkste mijnbouwactiviteiten en uit hernieuwbare bronnen van de vier geselecteerde scenario's weergegeven. Het aandeel elektriciteit uit wind en zon varieert van ca 39% (ADP) tot 66% (NAT) van het totaal. Het aandeel fossiele brandstoffen varieert van ca 21% (ADP) tot nagenoeg 0% (SR20). De inzet van biogrondstoffen varieert van 7% (NAT) tot 31% (SR20).

In Figuur 3.2 is per scenario de benodigde $CO_2$ opslag in 2050 weergegeven. Deze varieert van 0 (NAT) tot 40 Mton (ADP) per jaar. Momenteel is er geen beleid voor opslag van $CO_2$ op land. In de huidige verkenning wordt de $CO_2$ opslag daarom ook niet verder uitgewerkt.




Figuur 3.1. Per scenario het percentage van de belangrijkste bronnen van energiebehoefte in 2050.




Figuur 3.2. Per scenario de behoefte aan $CO_2$-opslag (Mton). Alleen in het scenario Nationaal Leiderschap (II3050 NAT) daalt de opslagbehoefte naar 0.

Tabel 3.1. Toekomstige vraag 2023-20250 per mijnbouwactiviteit per energiescenario. Alle hoeveelheden in petajoule (PJ). De aardgaswinning geeft de benodigde hoeveelheid gewonnen aardgas in Nederland weer.

| Mijnbouwactiviteit | Scenario | 2030 | 2035 | 2040 | 2045 | 2050 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Aardgaswinning** | ADAPT | | | | | |
| | TRANSFORM | | | | | |
| | Nationaal Leiderschap | 146,0 | 60,0 | 26,0 | | 0,0 |
| | TVKN (SR20) | | | | | 0,0 |
| **Aardgasopslag** | ADAPT | | | | | |
| | TRANSFORM | | | | | |
| | Nationaal Leiderschap | 130,9 | 95,9 | 49,2 | | 17,6 |
| | TVKN (SR20) | | | | | |
| **Aardgasvraag (totaal)** | ADAPT | 714,9 | 453,8 | 481,0 | 367,0 | 519,1 |
| | TRANSFORM | 712,5 | 498,0 | 447,0 | 214,6 | 5,8 |
| | Nationaal Leiderschap | 1023,4 | 709,5 | 380,9 | | 128,5 |
| | TVKN (SR20) | 741,3 | 615,5 | 467,0 | 234,1 | 0,0 |
| **Olievraag (totaal)** | ADAPT | 1557,6 | 1370,8 | 1137,9 | 949,8 | 724,4 |
| | TRANSFORM | 1397,2 | 1128,2 | 790,8 | 498,2 | 241,0 |
| | Nationaal Leiderschap | 728,3 | | 378,0 | | 264,2 |
| | TVKN (SR20) | 1883,9 | 1507,9 | 1131,4 | 451,9 | 0,0 |
| **Aardwarmtewinning** | ADAPT | 14,1 | 87,5 | 76,9 | 93,2 | 113,6 |
| | TRANSFORM | 12,8 | 77,6 | 74,5 | 109,3 | 117,1 |
| | Nationaal Leiderschap | 19,2 | 32,4 | 43,2 | | 49,7 |
| | TVKN (SR20) | 22,1 | 30,1 | 40,4 | 42,3 | 20,0 |
| **$H_2$ opslag totaal** | ADAPT | 0,3 | | 4,6 | | 4,6 |
| | TRANSFORM | 0,1 | | 23,2 | | 31,6 |
| | Nationaal Leiderschap | 3,3 | 9,3 | 30,8 | | 48,9 |
| | TVKN (SR20) | | | | | |

# 4 Aardgas

## 4.1 Definitie van vraag, voorraad en aanbod

Bij aardgaswinning worden de volgende definities gebruikt voor vraag, voorraad en aanbod:

**Vraag:** De vraag naar aardgas wordt uitgedrukt in petajoule (PJ). Deze vraag wordt bepaald door de markt, met name door de sectoren industrie en gebouwde omgeving. De aardgasmarkt is sterk geïnternationaliseerd. Het aardgas dat Nederland niet zelf produceert, wordt geïmporteerd via LNG-schepen of pijpleidingen. In deze studie betreft de ontwikkeling van de gasvraag uitsluitend aardgas en sluit biogas uit.

**Voorraad:** Volgens artikel 113 van het Mijnbouwbesluit leveren de mijnbouwbedrijven jaarlijks per gasveld gegevens aan TNO over de resterende voorraad en verwachte productie. Deze informatie vormt de basis voor de inschatting van de aardgasvoorraad en het binnenlandse aanbod, zoals gepubliceerd in het Jaarverslag Delfstoffen en Aardwarmte in Nederland (hierna: het Jaarverslag) (Ministerie van Klimaat en Groene Groei, 2024).

De gegevens worden aangeleverd volgens het Petroleum Resources Management System (Society of Petroleum Engineers, 2018), dat zorgt voor een uniforme classificatie. De gasvoorraad wordt, gebaseerd op het PRMS, verdeeld in drie hoofdklassen:

- **Vastgestelde voorraad**: bewezen gas dat commercieel winbaar is.
- **Voorwaardelijke voorraad**: bewezen gas dat pas winbaar is als aan bepaalde voorwaarden wordt voldaan. Alleen de categorie ‘Development Pending’ wordt hierin meegenomen.
- **Prospectieve voorraad**: vermoed gas op basis van technische gegevens, nog niet bewezen door boringen.

Meer uitleg is te vinden in het Jaarverslag (Ministerie van Klimaat en Groene Groei, 2024).

**Aanbod:** Het aardgasaanbod is de hoeveelheid gas die jaarlijks in Nederland wordt geproduceerd (in PJ per jaar). TNO stelt de aanbodprognose op aan de hand van gegevens van de mijnbouwbedrijven over voorraden en verwachte productie. Er zijn drie scenario’s: Laag, Midden en Hoog. In deze studie worden het Midden- en Hoog scenario gebruikt. Het Hoog scenario gaat uit van extra stimulerend beleid of gunstige omstandigheden voor gaswinning, maar wordt als minder waarschijnlijk gezien. Meer informatie over de totstandkoming van de scenario’s staat in het Jaarverslag (Ministerie van Klimaat en Groene Groei, 2024).

Alle waarden voor vraag, voorraad en aanbod van aardgas worden uitgedrukt in petajoule (PJ). Deze waarden zijn omgerekend vanuit normaal kubieke meters ($Nm^3$) Groningen aardgasequivalent (Geq) — een maat die wordt gebruikt om verschillende soorten aardgas te vergelijken op basis van hun verbrandingswaarde. De omzetting naar PJ is uitgevoerd met

behulp van de verbrandingswaarde van Groningen-gas, die 35,17 megajoule per $Nm^3$ bedraagt.

Voor aardgas wordt geen totaal geologisch potentieel gerapporteerd.

## 4.2 Hoofdbevindingen

**Vraag naar aardgas**

- Huidige prognoses gaan ervan uit er in Nederland nog tot zeker 2050 vraag zal zijn naar aardgas, waarbij de inzet zich gaandeweg richt op het bieden van back-up en flexibiliteit. In een enkel scenario blijft de vraag naar aardgas op een vergelijkbaar niveau als de huidige vraag. Dit scenario veronderstelt dat de transformatie van het energiesysteem langzamer verloopt en er tot 2050 beperkt wordt ingezet op de ontwikkeling van hernieuwbaar energieaanbod. CCS is hierin een belangrijke technologie om de klimaatdoelstellingen te halen.

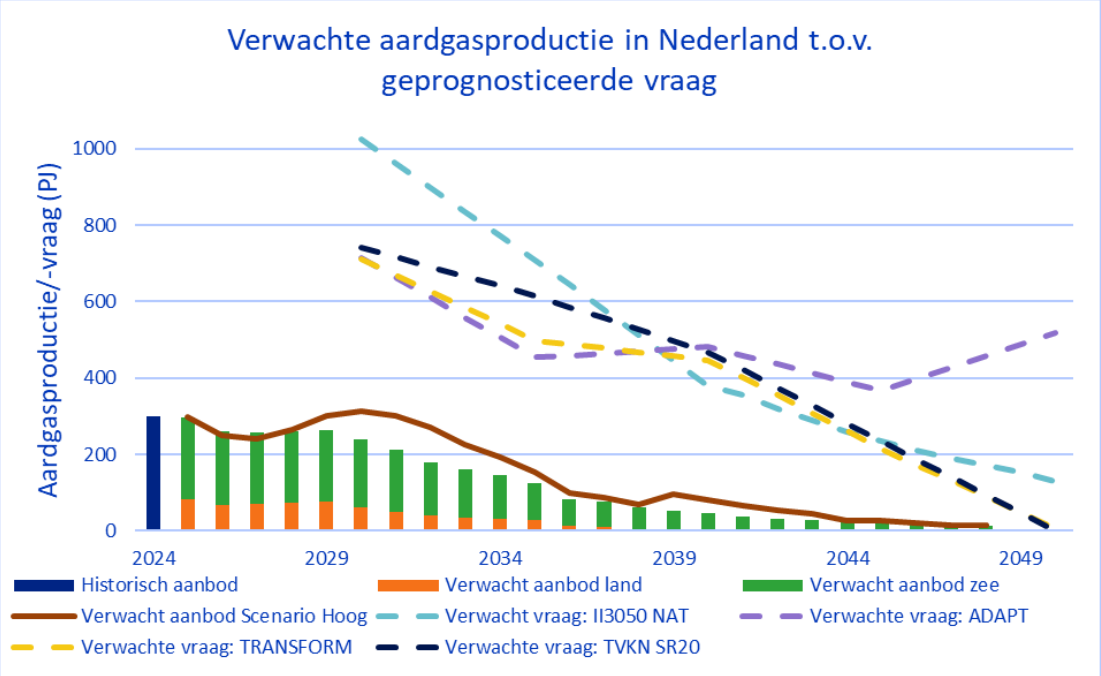
**Aardgas voorraad en aanbod**

- De winning van aardgas in Nederland laat over de afgelopen 10 jaar een sterke daling zien. Deze daling is gerelateerd aan zowel de geleidelijke sluiting van het Groningen gasveld, als ook aan de aflopende aardgasproductie uit bestaande kleine gasvelden en het afnemende investeringsklimaat voor mijnbouwbedrijven wat zich uit in een beperkte groei van aanbod uit nieuw aangetoonde aardgasvoorkomens.
- Op basis van de huidige productieprognoses en projecten, zal de winning van aardgas op land reeds in 2038 vrijwel geheel zijn beëindigd. Conform het vigerende beleid worden op land geen nieuwe vergunningen verleend voor de opsporing van aardgasvoorkomens. Vergunninghouders mogen alleen nog opsporingsactiviteiten in bestaande vergunningen uitvoeren. Hierin bevindt zich het overgrote deel van het bekende potentieel. Potentieel zijn er op land meer voorraden aan gas dan wat er volgens prognose gewonnen gaat worden. Toekomstige politieke keuzes en economische ontwikkelingen kunnen eventueel leiden tot ontwikkeling van extra aanbod (ook na 2038).
- Op de Noordzee wordt de ontwikkeling en opsporing van aardgas, o.a. met het plan voor versnelling van aardgaswinning (EZK, 2022) en het recente sectorakkoord (KGG, Element NL, & EBN, 2025), juist gestimuleerd. Dit zal voornamelijk kunnen resulteren in de optimalisatie van bestaande aardgasproductie, de versnelde ontwikkeling van voorwaardelijke voorraden, en eventueel in een groter aantal aantoningen van winbare gasvoorkomens binnen de portfolio van bekende prospectieve voorraden. Op basis van de uitgebreide beschikbare informatie en kennis uit opsporingsonderzoeken op de Noordzee is het niet realistisch dat de portfolio van prospectieve voorraden die met bestaande en conventionele technieken kunnen worden gewonnen, nog significant zal groeien. De conventionele winning van aardgas op de Noordzee zal daarmee rond 2050 tot een einde komen.
- Het gepresenteerde aanbodprofiel en overzicht van mogelijkerwijs te ontwikkelen voorraden wordt grotendeels gestuurd door technische en economische randvoorwaarden, de bereidheid van de industrie om te investeren in opsporing en ontwikkeling, en flankerend beleid om aardgaswinning te stimuleren. Daarnaast zijn er enkele bijzondere voorraden waarbij de toegankelijkheid en ontwikkeling in belangrijke mate gerelateerd is aan politieke besluitvorming, nl.:
  - De resterende gasvoorraad in het Groningengasveld (ca. 17.585 PJ) waarvan de winning op basis van politieke besluiten is gestopt en de productieclusters en putten momenteel worden ontmanteld.

- De hoeveelheid kussengas en werkgas in de bestaande Nederlandse ondergrondse aardgasopslagen (ca. 1.590 PJ, zie Hoofdstuk 8). Dit kussengas maakt wel deel uit van de voorraad aardgas, maar wordt nog niet tot het aanbod gerekend. Daar is pas sprake van wanneer deze opslagen in de toekomst uit bedrijf worden genomen. Het tijdstip van het uit bedrijf nemen van de aardgasopslagen en het produceren van het resterende kussengas en werkgas zijn o.a. afhankelijk van verdere politieke besluitvorming en keuzes van de vergunninghouder. Afhankelijk van dit tijdstip kan de winning van dit gas ook nog aanbod genereren na 2050.
- Tussen 2010 en 2018 zijn uitgebreide studies uitgevoerd naar technisch winbare voorraden schaliegas in diepe kleisteenlagen onder land en onder de Noordzee. Dit gas kan alleen gewonnen worden met niet conventionele technieken (o.a. hydraulische fracking van kleilagen) die in Nederland niet worden toegepast. Op basis van onderzoeken naar de omgevingseffecten en ook vanwege de brede maatschappelijke weerstand, heeft de politiek in 2018 besloten om af te zien van verdere opsporing en ontwikkeling van schaliegas.

Vooruitzichten vraag vs. aanbod

- Op basis van de vraagscenario's en het verwachte conventionele aanbod van aardgas, zal er tot 2040-2045 structureel ca. 200-400 PJ aardgas per jaar moeten worden geïmporteerd (Figuur 4.1).
- Nadere keuzes t.a.v. de toekomstige energievoorziening en de rol van aardgas hierin, kunnen de afhankelijkheid van aardgasimport geheel opheffen (volledige transformatie van energiesysteem) of resulteren in een substantiële en structurele importafhankelijkheid na 2050 (beperkte transformatie van energiesysteem).




Figuur 4.1. De aardgasproductie in 2024 en de verwacht productie voor de periode 2025 – 2048 volgens het Midden en Hoog scenario (Ministerie van Klimaat en Groene Groei, 2024). In de figuur is ook de verwachte vraag naar aardgas, het totaal verbruik, van 2030 t/m 2050 opgenomen voor de verschillende energie scenario's die gebruikt worden in deze studie (Daniëls & Strengers, 2024) (Scheepers, et al., 2024) (Netbeheer Nederland, Integrale infrasctructuur-verkenning 2030-2050, 2023). Hierbij is gebruik gemaakt van een lineaire interpolatie tussen de verschillende datapunten.

**Ruimtelijke inpassing en aandachtspunten**

- Uitgaande van de vastgestelde en geprognotiseerde ontwikkelingen zal op land in 2030 uit ca. 40 gasvelden gas worden geproduceerd, waarvan een deel op nieuwe locaties. Deze locaties zijn doorgaans gelegen in de gebieden waar momenteel ook aardgasproductie plaatsvindt.
- Het ondergrondse ruimtegebruik concentreert zich op lagen en structuren op een diepte van tweeënhalf tot drie kilometer. Deze kunnen overlappen met lagen die ook geschikt zijn voor winning van aardwarmte. Voor het aantonen en produceren van het aardgas worden één of meerdere boringen geplaatst die grondwaterlagen doorkruisen.
- Aan het oppervlak is het ruimtegebruik relatief beperkt. Dit betreft lokale gasproductie installaties en (ondiepe ondergrondse) infrastructuur voor het transport van aardgas. In de regel wordt het gas behandeld op een centrale locatie waar meerdere productielocaties op zijn aangesloten.

**Mijnbouweffecten en impact op omgeving**

- De aanleg van productielocaties en gastransportleidingen kan een impact hebben op de directe omgeving (bijvoorbeeld geluid, emissies, zichthinder). Ook na einde van aardgaswinning en afsluiting van locaties vinden nog opruimwerkzaamheden plaats, waaronder het verwijderen van de installaties en het afsluiten van de productieputten.
- Tijdens én na de gaswinning kunnen mijnbouweffecten optreden, zoals bodemdaling en geïnduceerde aardbevingen. Ook na beëindiging van de aardgasproductie op land moet rekening worden gehouden met zogenoemde na-ijleffecten, die vooral betrekking hebben op bodemdaling. In sommige gasvelden kunnen zelfs na het stopzetten van de winning nog aardbevingen plaatsvinden.
- De aanwezigheid van niet-aangetoonde aardgasvoorkomens kan risico's met zich meebrengen bij de opsporing en winning van aardwarmte. Deze risico's houden onder meer verband met het doorboren van een aardgasvoorkomen of met productie uit aardlagen die in open verbinding staan met een dergelijk voorkomen. Per project worden deze risico's zorgvuldig in kaart gebracht.

## 4.3 Kengetallen

Deze paragraaf geeft verdere details omtrent de kwantificering van vraag, voorraad en aanbod van aardgas.

### 4.3.1 Huidig verbruik en toekomstige vraagscenario's

**Finaal verbruik en huidige productie**

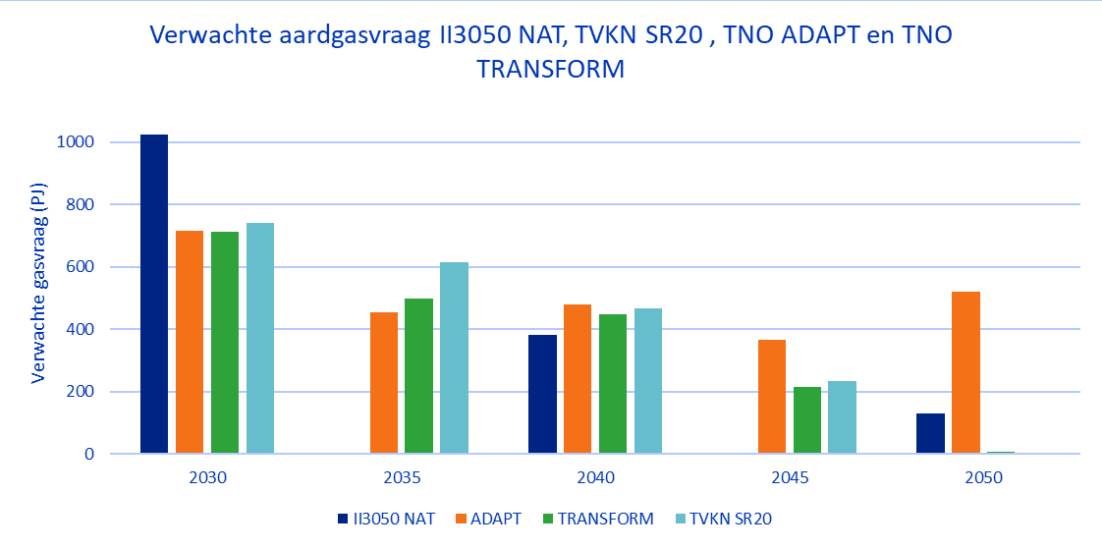
In 2023 heeft Nederland volgens het CBS totaal 2621 PJ aan energie verbruikt. Dit betreft het totale energieverbruik, dus verliezen door omzetting van energie, eigen gebruik en distributie zijn hierin meegenomen. Wanneer deze verliezen van energie niet worden meegenomen spreekt men van het finale eindverbruik. Dit was voor Nederland in 2023 een totaal van 2037 PJ (StatLine - Energiebalans, aanbod, omzetting en verbruik (cbs.nl)). Van het totale energieverbruik van 2621 PJ is het aandeel aardgas verbruik ca. 36%: 935 PJ. Het grootste gedeelte hiervan is gebruikt in de industrie en de gebouwde omgeving, respectievelijk 34% en 32%.

- De ontwikkelde Nederlandse gasvelden produceerden in 2024 ca. 300 PJ aardgas waarvan ca. 100 PJ op land. In deze getallen is tevens de laatste productie uit het Groningen gasveld meegenomen die in 2024 geheel is gestopt. Sinds 2013 daalt de aardgasproductie in Nederland ieder jaar met ca. 175 - 190 PJ (Figuur 4.1).

### Toekomstige vraag aardgas

Tussen nu en 2050 neemt de vraag naar aardgas in vrijwel alle scenario's af (Figuur 4.2). Scenario SR20 gaat uit van een maximale transformatie van fossiele energiebronnen naar emissievrij en hernieuwbaar energieaanbod en voorspelt dat aardgas vanaf 2050 geen rol van betekenis meer speelt in de Nederlandse energievoorziening. Het ADAPT-scenario beschrijft een situatie waarbij de vraag naar aardgas in 2050 nagenoeg gelijk is aan de huidige situatie. In dit geval is er sprake van een beperkte transformatie van energiebronnen en wordt het klimaatdoel grotendeels bereikt via CCS.

- Aardgas vormt momenteel nog steeds een belangrijk onderdeel van het Nederlandse energieaanbod als basale energiebron. In de scenario's die uitgaan van sterke transformatie daalt dit aandeel en wordt aardgas voornamelijk nog ingezet als back-up en flexibel inzetbare bron voor de momenten dat hernieuwbare bronnen tijdelijk niet kunnen voldoen aan de energievraag. Richting 2050 zal ook deze rol geleidelijk worden overgenomen door andere energiedragers en technologieën die flexibiliteit kunnen bieden (bijv. waterstof).



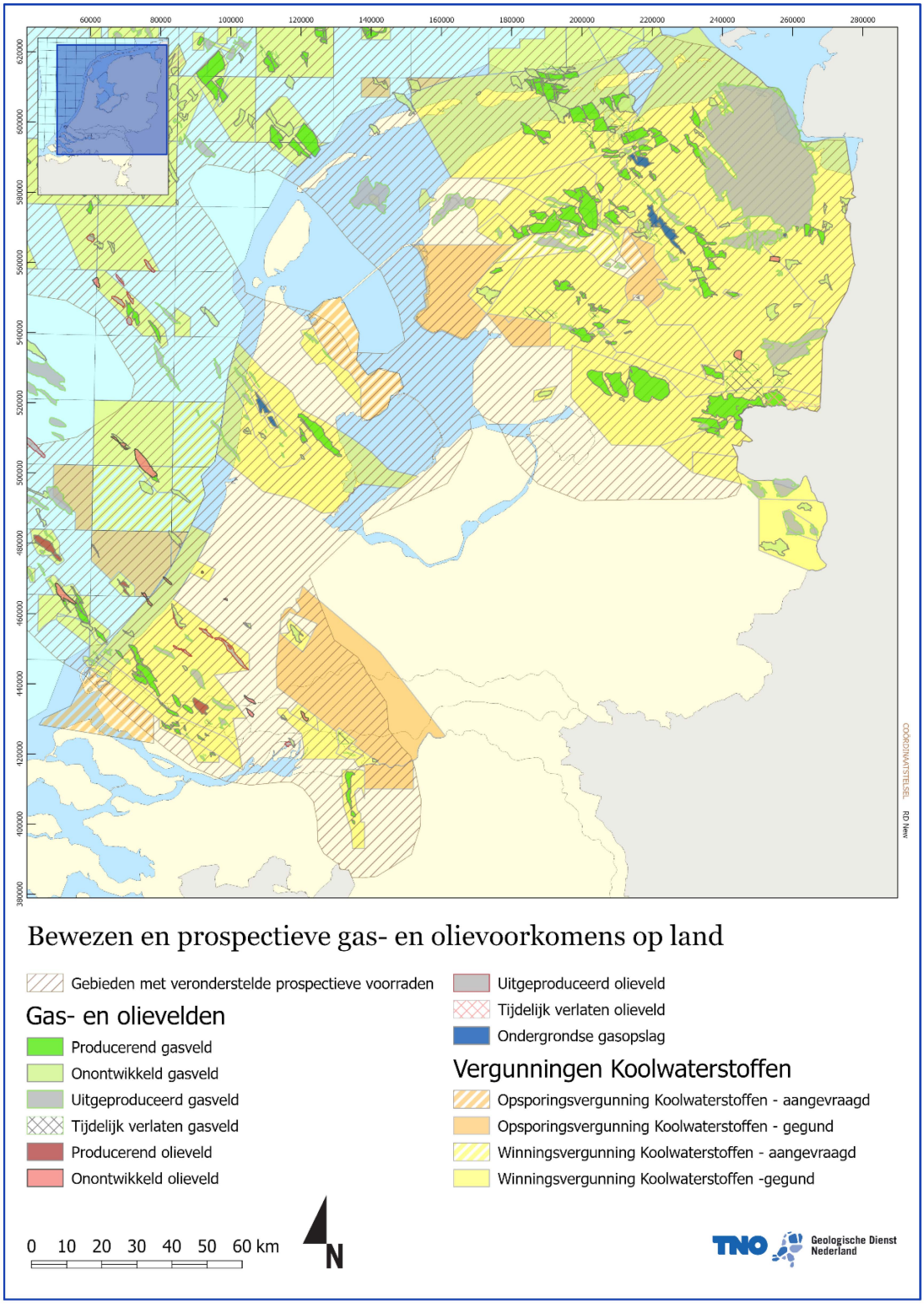

Figuur 4.2. De totale verwachte aardgasvraag voor de verschillende scenario's (Daniëls & Strengers, 2024; Scheepers, et al., 2024; Netbeheer Nederland, Integrale infrasctructuur-verkenning 2030-2050, 2023). Voor 2035 en 2045 zijn er geen waarde beschikbaar voor scenario NAT, voor 2050 is de vraag voor het TVKN-scenario 0 PJ.

## 4.3.2 Voorraad en aanbod

### Overzicht van aardgasvoorkomens

- Nederland telt momenteel totaal 210 producerende gasvelden op land en op zee (zie Figuur 4.3). Hiervan liggen 91 producerende gasvelden op land. Daarnaast liggen er 44 gasvelden op land die (nog) niet zijn ontwikkeld en 72 waarvan de productie (tijdelijk) is gestaakt. Naast deze bewezen aardgasvoorkomens, zijn er nog ca. 200 prospectieve structuren waarvoor het vermoeden bestaat dat deze winbare hoeveelheden aardgas bevatten. Een deel hiervan is niet-economisch winbaar op basis van het huidige

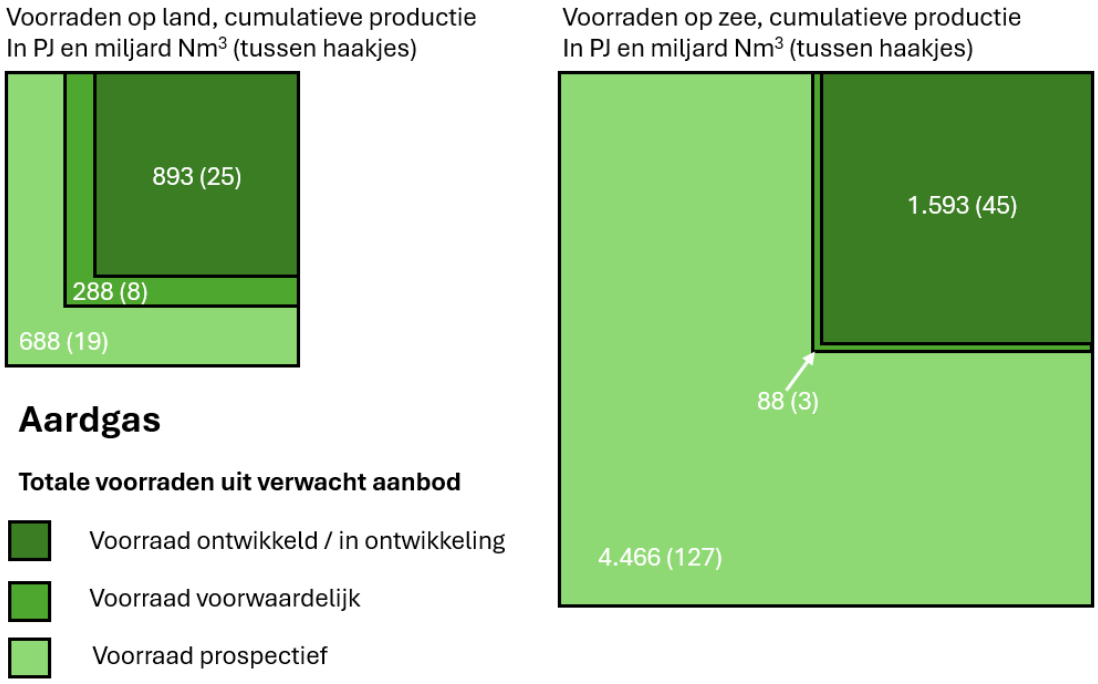
investeringsklimaat. De locaties van deze structuren zijn grotendeels confidentieel en liggen verspreid binnen het gearceerde gebied in Figuur 4.3.




Figuur 4.3. Overzichtskaart bewezen en prospectieve gas- en olievoorkomens op land (TNO DINO database).

### Voorraad aardgas

Figuur 4.4 toont een grafische weergave van de verhoudingen tussen de totale vastgestelde, voorwaardelijke en prospectieve voorraad aardgas.




Figuur 4.4. Grafisch overzicht van de aardgas voorraad in Nederland (Ministerie van Klimaat en Groene Groei, 2024). De oppervlakten van de verschillende groene vlakken geven de verhouding van vastgestelde, voorwaardelijke en prospectieve voorraad weer. De getoonde waarden in het figuur representeren het aantal PJ-aardgas. De prospectieve voorraad betreft het *Expectation* volume.

### Vastgestelde voorraden en aanbod

- Op land bedraagt de totale winbare voorraad aardgas in producerende gasvelden en in gasvelden die momenteel in ontwikkeling zijn, 893 PJ. Op zee is dit 1.593 PJ. Voor deze gasvelden is een goedgekeurd winningsplan beschikbaar of loopt er een procedure voor instemming van een winningsplan.
- Op basis van beschikbare winningsplannen (goedgekeurd en in procedure), zullen ontwikkelde gasvelden op land en op zee tot 2035 in totaal ca. 1.636 PJ aardgas produceren. Het jaarlijkse aanbod neemt in die periode af van ca. 300 PJ in 2024 tot ca. 50 PJ/jaar (Figuur 4.5).
- In Figuur 4.1 is te zien dat de verwachte productie uit wat nu als vastgesteld aanbod wordt gedefinieerd op land in 2038 nagenoeg gerealiseerd zal zijn.

### Voorwaardelijke voorraden en aanbod

Voor een groot aantal gasvelden is nog geen vastgesteld plan voor ontwikkeling beschikbaar, of is de productie voor onbepaalde tijd stopgezet. Vaak gaat het om voorkomens waarbij de ontwikkeling op basis van bestaande technologieën en/of gasprijzen nog niet-economisch rendabel is. Soms gaat het om aardgas dat na stopzetting van eerdere winning in het gasveld is achtergebleven en in de toekomst alsnog in productie zou kunnen worden gebracht. In enkele gevallen kan er sprake zijn van bezwaren vanuit een omgevingsperspectief (bijvoorbeeld onwenselijke bodemdaling, maatschappelijke weerstand) die ervoor hebben gezorgd dat ontwikkeling of verdere productie niet hebben

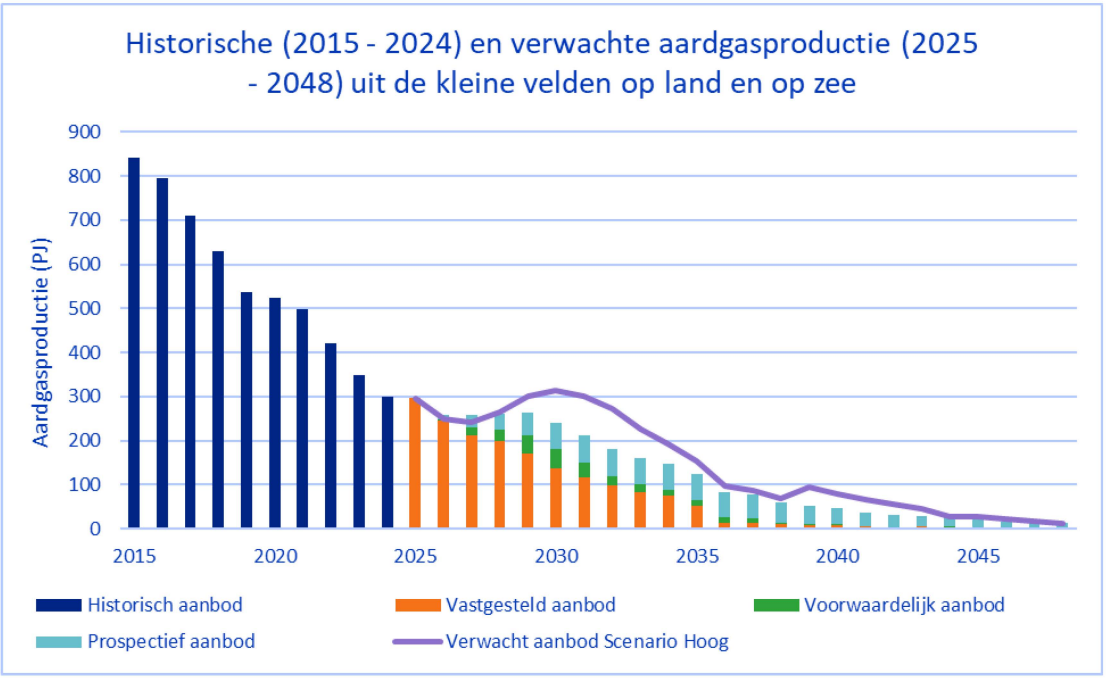
plaatsgevonden. Deze voorwaardelijke voorraden bedragen op land en zee respectievelijk ca. 288 PJ en 88 PJ en worden m.n. gekenmerkt door onzekerheden rond te nemen investeringsbesluiten (Figuur 4.4).

Over de periode tot 2035 zal nog ca. 217 PJ extra aardgas worden geproduceerd uit de voorwaardelijke voorraad op land en op zee (Figuur 4.5). Hierbij dient opgemerkt te worden dat TNO in haar voorraadinschatting en productieprognose alleen de categorie 'Development Pending' meeneemt in de vaststelling van de voorwaardelijke voorraad en het voorwaardelijk aanbod (Ministerie van Klimaat en Groene Groei, 2024). De andere drie subklassen die binnen voorwaardelijke voorraad passen 'Development On Hold', '-Unclarified' en '-Not Viable' worden niet verder beschreven wegens een te grote onzekerheid in de ontwikkeling (Society of Petroleum Engineers, 2018). Hierdoor kan de voorwaardelijke voorraad en het voorwaardelijke aanbod ondergewaardeerd zijn. Afhankelijk van veranderende maatschappelijke en/of economische omstandigheden kunnen projecten in deze subklassen alsnog tot ontwikkeling komen.

### Prospectieve voorraden en aanbod

Voor de prospectieve voorraden geldt dat er nog verdere opsporingsonderzoeken en proefboringen nodig zijn om aan te tonen dat er daadwerkelijk sprake is van een technisch winbaar voorkomen. Op basis van een uitgebreide portfolio van prospectieve voorkomens, geologische kenmerken, geschatte succeskansen en aannames rond toekomstige inspanningen voor opsporing en aantoning van gasvoorkomens, wordt jaarlijks een inschatting gemaakt van de gasvoorraden die mogelijk nog in aanmerking komen voor toekomstige winning. De totale prospectieve voorraad o.b.v. de huidige portfolio's van de mijnbouwbedrijven bedraagt 8.592 PJ (Figuur 4.4, *Expectation volume*). Hiervan wordt volgens de aanbodprognose t/m 2050 zo'n 900 PJ ontwikkeld (Figuur 4.5). Het huidige beleid richt zich op verder stimuleren van initiatieven die tot aantoning en ontwikkeling zullen leiden. De inschatting van de prospectieve voorraden wordt gekenmerkt door een grote mate van onzekerheid omdat er beperkte informatie beschikbaar is over het mogelijke winbare volume. De kans op aantoning binnen de huidige portfolio van prospectieve gasvoorkomens ligt in de regel rond de 50%. Deze kans op aantoning is meegenomen in de vaststelling van de totale prospectieve voorraad.

Het toekomstige aanbod uit nog aan te tonen (prospectieve) gasvoorkomens wordt berekend aan de hand van simulatie-software (Lutgert, Mijnlieff, & Breunese, 2005) die TNO gebruikt voor de jaarlijkse prognoses in het Jaarverslag (Ministerie van Klimaat en Groene Groei, 2024). De toekomstige productieprofielen worden stochastisch berekend op basis beschikbare (confidentiële) gegevens van de prospectieve voorkomens en diverse techno-economische aannames die de kans op aanboren en ontwikkeling sturen. De berekeningen resulteren in een Laag, Midden en Hoog scenario voor toekomstige productie. Figuur 4.1 en Figuur 4.5 tonen het toekomstige aanbodprofiel volgens het Midden en het Hoog scenario.




Figuur 4.5. Gerealiseerde (2015 - 2024) en verwachte (2025 – 2048) productie van aardgas uit de kleine velden op land volgens het Midden en Hoog scenario (Ministerie van Klimaat en Groene Groei, 2024). De gerealiseerde productie is exclusief productie uit het Groningen gasveld.

# 5 Aardolie

## 5.1 Definitie van vraag, voorraad en aanbod

Bij aardoliewinning worden de volgende definities gebruikt voor vraag, voorraad en aanbod:

**Vraag:** De vraag naar aardolie wordt uitgedrukt in petajoule (PJ). Deze vraag wordt bepaald door de markt, met name door de sectoren industrie en transport. De aardoliemarkt is, net als de aardgasmarkt, sterk geïnternationaliseerd. Al de aardolie die Nederland niet zelf produceert, wordt geïmporteerd. De ontwikkeling van de olievraag in deze studie is exclusief brandstoffen voor internationale luchtvaart- en scheepvaart, zogenoemde “bunkerbrandstoffen” en exclusief synthetische olie.

**Voorraad:** De voorraad aardolie wordt op dezelfde wijze gedefinieerd als bij aardgas (zie Hoofdstuk 4). In het kort:

- **Vastgestelde voorraad**: bewezen olie die commercieel winbaar is.
- **Voorwaardelijke voorraad**: bewezen olie die pas winbaar is als aan bepaalde voorwaarden wordt voldaan. Alleen de categorie ‘Development Pending’ van het PRMS wordt hierin meegenomen.
- **Prospectieve voorraad**: vermoed olie op basis van technische gegevens, nog niet bewezen door boringen.

**Aanbod:** Het aardolieaanbod is de jaarlijkse productie in Nederland (in PJ). TNO maakt hiervoor elk jaar een prognose op basis van gegevens van operators. Alleen een midden-scenario wordt gepubliceerd. In tegenstelling tot aardgas wordt het aanbod uit prospectieve olievoorkomens niet gesimuleerd, waardoor hierover in deze studie geen uitspraken kunnen worden gedaan.

Alle waarden van vraag, voorraad en aanbod aardgas worden gegeven in PJ. Waarden zijn omgerekend van $Sm^3$ naar PJ via de omrekenfactor 1 miljoen $Sm^3$ staat gelijk aan 38 PJ (deze omrekenfactor kan variëren o.b.v. de fysische eigenschappen van de olie).

Voor aardolie wordt geen totaal geologisch potentieel gerapporteerd.

## 5.2 Hoofdbevindingen

### Vraag naar aardolie

- Huidige prognoses gaan ervan uit dat er in Nederland nog tot zeker 2050 vraag zal zijn naar aardolie, vooral voor sectoren waar elektrificatie moeilijk is, zoals (zwaar-)transport en bepaalde industriële processen. In alle scenario’s die in deze studie behandeld worden, daalt de vraag naar aardolie. In een enkel scenario wordt aardolie volledig uit gefaseerd en vervangen door duurzamere energiebronnen.

### Aardolie voorraad en aanbod

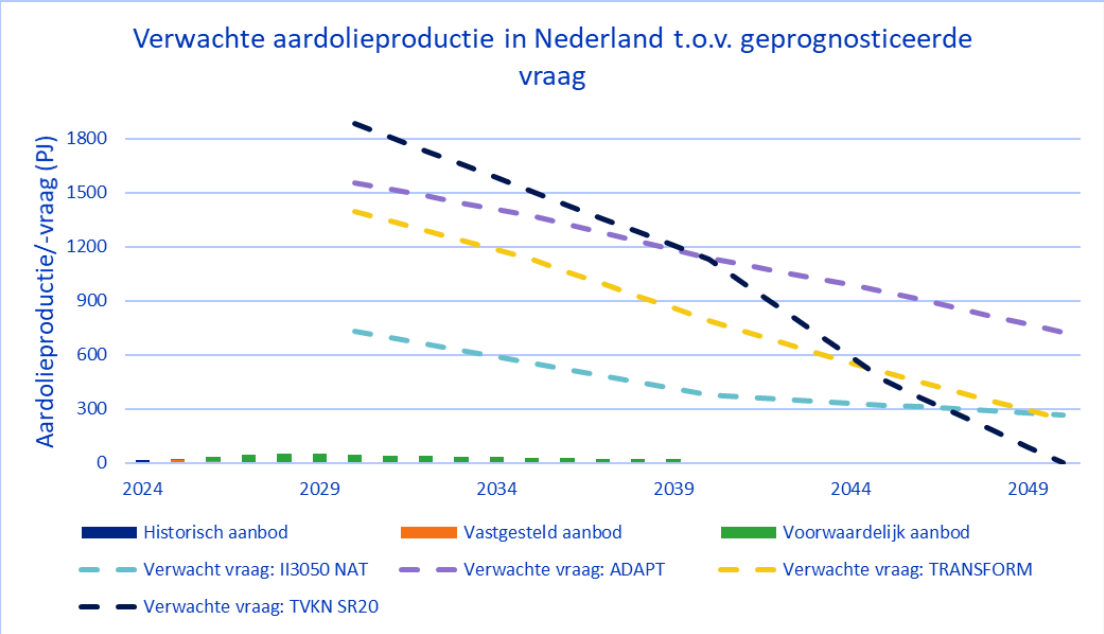
De winning van aardolie in Nederland laat sinds 2015 een sterke daling zien. Deze daling wordt veroorzaakt door het uit productie gaan van diverse (clusters van) olieproducerende

velden, alsmede het stoppen van de productie uit het Schoonebeek olieveld sinds 2022 i.v.m. lopende procedures over de injectie van het formatiewater. Daarnaast zijn er weinig nieuwe olieproducerende velden in productie genomen.

- Op basis van de huidige productieprognoses zal de winning van aardolie op land in 2039 geheel zijn beëindigd. Er wordt tot dat moment enkel productie verwacht uit het Rotterdam olieveld en het Schoonebeek olieveld. Hierbij is de prognose dat het Schoonebeek veld voor het merendeel van de productie zorgt.
- De meeste aangetoonde, niet-ontwikkelde aardolievoorraden liggen onder de Noordzee. Hier liggen meerdere aangetoonde, niet ontwikkelde olievelden met significante volumes aardolie (bijv. Rembrandt, Vermeer en Orion).

### Vooruitzichten vraag vs. aanbod

- De impact van de eigen winning van aardolie op de mate van zelfvoorziening is beperkt. Nederland produceert op dit moment ca. 1 á 2% van het totale eigen aardolieverbruik zelf. Ook met het realiseren van alle bekende in de ondergrond aanwezige olievoorraden zal Nederland niet zelfvoorzienend worden in haar aardoliegebruik. Derhalve zijn er ook andere redenen om binnenlandse olieproductie te behouden, zoals lagere $CO_2$-voetafdruk dan winning elders, stabiele aanvoer tijdens crisissituaties, en inkomsten voor de Staat.
- Op basis van de vraagscenario's en het verwachte conventionele aanbod van aardolie blijft Nederland sterk import afhankelijk. Hoewel volgens de scenario's de vraag naar aardolie sterk afneemt zal er in 2035 structureel ca. 600 – 1500 PJ aardolie per jaar moeten worden geïmporteerd (zie Figuur 5.1).




Figuur 5.1. De aardolieproductie in 2024 en de verwachte productie voor de periode 2024–2038 (Ministerie van Klimaat en Groene Groei, 2024) Vanwege de grote onzekerheid is het prognoseprofiel beperkt tot 2038. In de figuur is ook de verwachte vraag naar aardolie, het primair verbruik, van 2030 t/m 2050 opgenomen voor de verschillende energie scenario's die gebruikt worden in deze studie (Daniëls & Strengers, 2024; Scheepers, et al., 2024; Netbeheer Nederland, Integrale infrasctructuur-verkenning 2030-2050, 2023). Hierbij is gebruik gemaakt van een lineaire interpolatie tussen de verschillende datapunten.

**Ruimtelijke inpassing en aandachtspunten rond ontwikkeling**

- Oliewinning op land vindt plaats op een diepte van ca. 800 meter (Schoonebeek) en ca.1500 meter (Rotterdam).
- Het ruimtegebruik aan het oppervlak is relatief beperkt en omvat lokale olieproductie-installaties en (ondiepe ondergrondse) infrastructuur voor het transport van aardolie. Na het beëindigen van de aardoliewinning en het afsluiten van de locaties worden opruimwerkzaamheden uitgevoerd, waaronder het verwijderen van de installaties en het afsluiten van de productieputten.
- In het geval van oliewinning uit het Schoonebeek olieveld moet er nog rekening gehouden worden met ruimtelijke impact door de injectie van het water wat gebruikt wordt tijdens de productie. Dit betreft onder andere aan veranderingen in de ondergrond door de injectie en de benodigde infrastructuur.

**Mijnbouweffecten en impact op omgeving**

- Tijdens en ook na oliewinning kan er sprake zijn van indirecte ruimtelijke impacts door bodemdaling en geïnduceerde bevingen, hoewel hier doorgaans bij oliewinning minder sprake van is dan bij gaswinning door een lagere druk in het reservoir.

## 5.3 Kengetallen

Deze paragraaf geeft verdere details omtrent de kwantificering van vraag, voorraad en aanbod van aardolie.

### 5.3.1 Huidig verbruik en toekomstige vraagscenario's

**Finaal verbruik en huidige productie**

In 2023 heeft Nederland totaal 2621 PJ aan energie verbruikt. Hiervan was 41% (1089 PJ) aardolieverbruik (aardoliegrondstoffen en -producten). Dit is exclusief brandstoffen voor internationale luchtvaart- en scheepvaart, zogenoemde "bunkerbrandstoffen". Inclusief deze bunkerbrandstoffen zou het totale energieverbruik hoger liggen en zou het aandeel aardolie 52% zijn. Aardolie wordt voornamelijk in de industrie gebruikt als grondstof en als transportbrandstof (StatLine - Energiebalans, aanbod, omzetting en verbruik (cbs.nl)).

In tegenstelling tot het dalende aardgasverbruik blijft het aardolieverbruik stabiel. In 2023 is 1% minder aardolie verbruikt dan in 2022 (StatLine - Energiebalans, aanbod, omzetting en verbruik (cbs.nl)).

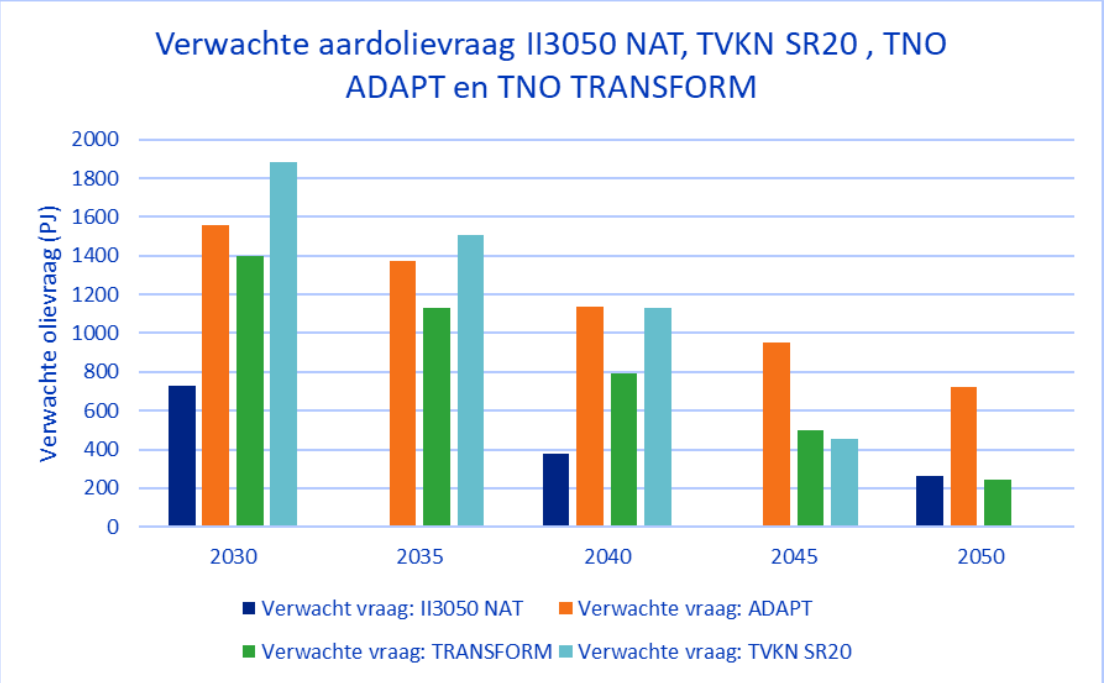
Met de grote opslag-, raffinage en chemie faciliteiten is Nederland een van de grootste importeurs en exporteurs van aardolie en olieproducten ter wereld (The Netherlands - Countries & Regions - IEA). De import van aardolie die weer geëxporteerd wordt, is niet meegenomen in de vraagscenario's aangezien dit geen onderdeel is van het primair verbruik. Ter vergelijking: er is in 2023 voor 6321 PJ aan aardolie en aardolieproducten geëxporteerd (StatLine - Energiebalans, aanbod, omzetting en verbruik (cbs.nl)).

Nederland heeft een strategische voorraad van aardolie en olieproducten. Dit betreffen benzine, diesel, kerosine en ruwe aardolie. Een deel hiervan bevindt zich in ondergrondse opslagen in Twente en een aanzienlijk groter deel bevindt zich in ondergrondse opslagen in Duitsland (COVA, 2025). Deze strategische voorraden worden in deze studie niet verder behandeld.

- De ontwikkelde Nederlandse olievelden produceerden in 2023 ca. 15,2 PJ aardolie waarvan ca. een kwart op land. Sinds 2015 daalt de aardgasproductie in Nederland ieder jaar (Figuur 5.4).

**Toekomstige vraag aardolie**

Tussen nu en 2050 zal de vraag naar aardolie in alle scenario's afnemen (Figuur 5.2). Het SR20-scenario gaat uit van een maximale overgang van fossiele energiebronnen naar emissievrije en hernieuwbare energiebronnen en voorspelt dat aardolie vanaf 2050 geen belangrijke rol meer zal spelen in de Nederlandse energievoorziening (Daniëls & Strengers, 2024). Het ADAPT-scenario schetst een situatie waarin de vraag naar aardolie afneemt, maar in 2050 nog steeds een aanzienlijke rol speelt in de Nederlandse energiemix. In dit geval is er sprake van een beperkte overgang van energiebronnen en wordt het klimaatdoel grotendeels bereikt via CCS (Scheepers, et al., 2024).




Figuur 5.2. De totale verwachte aardolievraag voor de verschillende scenario's (Daniëls & Strengers, 2024; Scheepers, et al., 2024; Netbeheer Nederland, Integrale infrasctructuur-verkenning 2030-2050, 2023). De vraag is voor scenario NAT niet beschikbaar voor 2035 en 2045. De vraag in scenario SR20 is 0 PJ in 2050.

## 5.3.2 Voorraad en aanbod

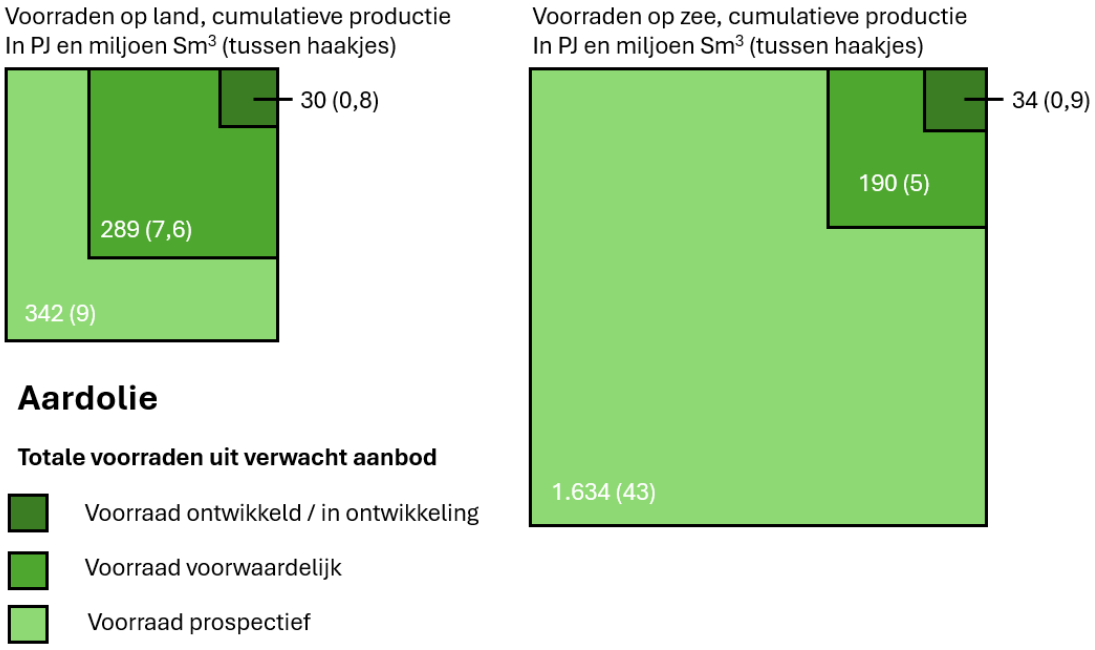
**Overzicht van aardolievoorkomens**

- Nederland telt momenteel totaal 5 producerende olievelden op land en op zee (Figuur 5.3). Hiervan ligt er één op land: het Rotterdam olieveld. Productie uit het Schoonebeek olieveld is op het moment van schrijven tijdelijk gestaakt i.v.m. een lopende procedure m.b.t. de injectie van het formatiewater. Daarnaast liggen er 10 olievelden op land die niet ontwikkeld zijn en 9 waarvan de productie (tijdelijk) is gestaakt.

Naast deze bewezen aardolievoorkomens, zijn er nog zo'n 60 prospectieve structuren waarvoor het vermoeden bestaat dat ze winbare hoeveelheden aardolie bevatten. De locaties van deze structuren zijn confidentieel en liggen verspreid binnen het gebied met bekende prospectieve voorkomens in Figuur 5.3 (TNO DINO database).

### Voorraad aardolie

Figuur 5.3 toont een grafische weergave van de verhoudingen tussen de totale vastgestelde, voorwaardelijke en prospectieve voorraad aardolie.




Figuur 5.3. Grafisch overzicht van de aardolie voorraad in Nederland (Ministerie van Klimaat en Groene Groei, 2024). De oppervlakten van de verschillende groene vlakken geven de verhouding van vastgestelde, voorwaardelijke en prospectieve voorraad weer. De getoonde waarden in het figuur representeren het aantal PJ aardolie. De prospectieve voorraad betreft het *Expectation* volume.

### Vastgestelde voorraad en aanbod

- Uitgaande van de vastgestelde en geprognosticeerde ontwikkelingen wordt er op land in 2035 olieproductie uit twee velden verwacht: het Rotterdam olieveld en het Schoonebeek olieveld. Er zijn geen aanwijzingen voor nieuwe olieprojecten op land.
- Op land bedraagt de totale winbare voorraad aardolie in producerende olievelden en in olievelden die momenteel in ontwikkeling zijn, ca. 30 PJ. Op zee is dit ca. 34 PJ (Figuur 5.3). Voor deze olievelden is een goedgekeurd winningsplan beschikbaar of loopt er een procedure voor instemming van een winningsplan.
- Volgens de prognose in Figuur 5.4 zullen ontwikkelde olievelden tot 2035 in totaal van 42 PJ aardolie produceren. Hier komt naar verwacht ca. de helft van uit het Rotterdam olieveld. Het jaarlijkse aanbod neemt in die periode af van ca. 15 PJ in 2025 tot 0 PJ vanaf 2031.
- Hierbij dient opgemerkt te worden dat, gezien het beperkte aantal olieprojecten in Nederland er een grote onzekerheid zit in de voorspellingen.

### Voorwaardelijke voorraad en aanbod

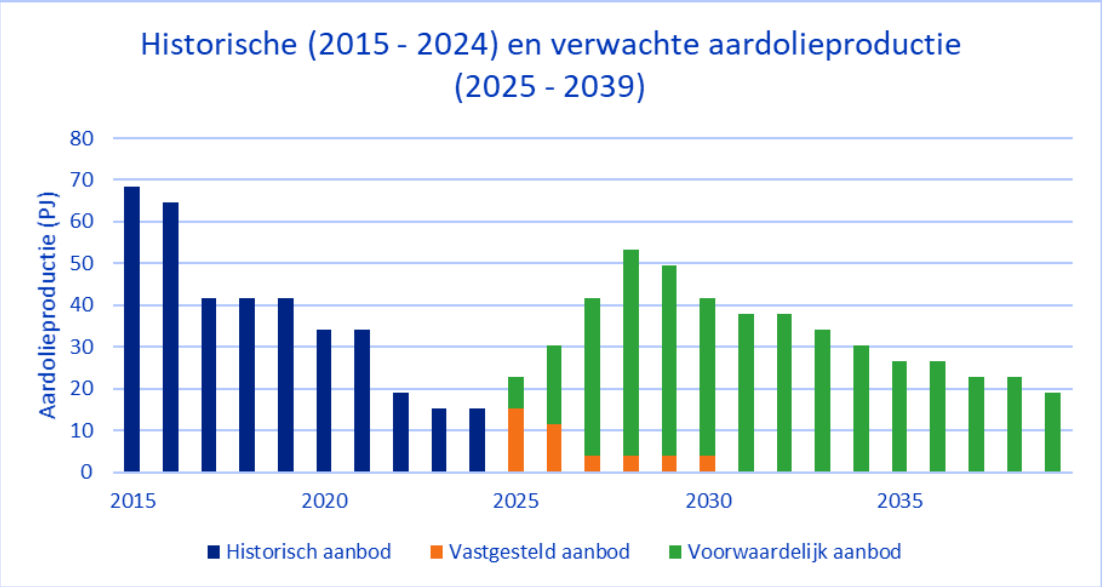
- Voor veel olievelden is er nog geen ontwikkelingsplan of is de productie stopgezet vanwege economische redenen of omgevingsbezwaren. Sommige velden bevatten aardolie die na eerdere winning is achtergebleven en mogelijk in de toekomst kan worden gewonnen. Deze voorwaardelijke voorraden bedragen op land en zee respectievelijk ongeveer 289 PJ en 190 PJ met onzekerheden rond investeringsbesluiten (Figuur 5.3).

- In Figuur 5.4 is te zien dat de verwachte productie uit wat nu als voorwaardelijk aanbod wordt gedefinieerd, toeneemt t/m 2028 door het in productie komen van Schoonebeek en enkele velden op zee. Over de periode tot 2035 zal naar verwachting nog ca. 338 PJ geproduceerd worden uit olievelden die afhankelijk zijn van verdere investerings-beslissingen en vergunningen voor (her)ontwikkeling. Hiervan komt ca. twee derde uit Schoonebeek.

### Prospectieve voorraad en aanbod

Voor prospectieve voorraden zijn verdere opsporingsonderzoeken en proefboringen nodig om technische winbaarheid aan te tonen. Jaarlijks wordt op basis van een portfolio van voorkomens, geologische kenmerken en succeskansen een inschatting gemaakt van mogelijke toekomstige olievoorraden. Deze prospectieve voorraad (*Expectation volume*) bedraagt ca. 604 PJ, waarvan 144 PJ op land en 460 op zee. De inschatting is onzeker door beperkte informatie en de kans op aantoning ligt meestal onder de 30%.

- In tegenstelling tot het toekomstig aanbod uit prospectieve gasvoorkomens, wordt het aanbod uit prospectieve olievoorkomens niet gesimuleerd. Hierom kan in deze studie geen uitspraak gedaan worden over het prospectief aanbod aardolie.




Figuur 5.4. Historische en verwachte aardolieproductie (Ministerie van Klimaat en Groene Groei, 2024). Gerealiseerde (2015 – 2024) en verwachte (2025 – 2039) productie van aardolie als cumulatief voor zowel land als zee (in PJ).

# 6 Aardwarmte

## 6.1 Definitie van vraag, voorraad en aanbod

Bij aardwarmte worden de volgende definities gebruikt voor vraag, voorraad en aanbod:

**Vraag:** De vraag naar aardwarmte wordt weergegeven in petajoule (PJ). De vraag wordt bepaald door de afzetmarkt. De afzetmarkt bestaat vooralsnog voornamelijk uit glastuinbouw. Verwacht wordt dat de warmtevraag van de gebouwde omgeving zal groeien.

**Voorraad:** De voorraad aardwarmte wordt gedefinieerd als de hoeveelheid warmte-energie die in de toekomst geproduceerd kan/gaat worden door geothermiesystemen.

In dit rapport betreft het de cumulatieve hoeveelheid warmte-energie die tot 2050 naar verwachting geproduceerd zal gaan worden. In de grafiek van een productieprofiel is dat de oppervlakte onder de productie curve.

**Aanbod:** Het aanbod van aardwarmte wordt gedefinieerd als de hoeveelheid warmte-energie per jaar (PJ/jaar), die zowel nu als in de toekomst geproduceerd zal gaan worden. Dit laat zich grafisch weergeven in een productieprofiel curve. Voor aardwarmte geldt dat in principe het aanbod van aardwarmte gelijk is aan de vraag. Aardwarmte kan niet over lange afstanden getransporteerd worden en de opslag van hoge temperatuur warmte in de ondergrond (HTO) is nog volop in ontwikkeling.

## 6.2 Hoofdbevindingen

- De bepaling van de aardwarmte voorraad en aanbod is vooralsnog alleen gebaseerd op conventionele aardwarmteproductie-installaties, gerealiseerd op een diepte van ca. 1,5 tot 3 kilometer. Dat wil zeggen open-loop systemen die produceren en injecteren in een permeabel gesteente (matrix).
- Mogelijke toekomstige productie uit diepere gelegen lagen, Ultra Diepe Geothermie (UDG), en closed-loop systemen, worden in de bepaling van de aardwarmtevoorraad en -aanbod vooralsnog niet meegenomen.
- De aanbodprognoses voor aardwarmte, gebaseerd op het huidige activiteitenniveau, geven aan dat het toekomstig aanbod waarschijnlijk kan voldoen aan de voorspelde vraag naar aardwarmte in 2030. Dit aanbod komt voornamelijk van projecten die nu al ontwikkeld zijn of al in ontwikkeling zijn.
- De invulling van de geprognotiseerde vraag voor 2050 is niet haalbaar (van der Molen, Tolsma, Davids, & Mijnlieff, 2025). De potentie is er echter wel, de hoeveelheid winbare warmte is dermate groot dat deze de toekomstige vraag makkelijk kan dekken. Dit vergt wel een significante uitbreiding van het activiteiten niveau, hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan opschaling van de huidige boorinspanning.
- Belangrijke knelpunten zijn onder andere hoge investeringskosten, mijnbouwwettelijke vergunningsprocedures, eisen i.h.k.v. de omgevingswet en aanzienlijke projectrisico's. Bovendien blijft de inzet van geothermische systemen in de gebouwde omgeving beperkt

door additionele uitdagingen, zoals de aanpassing van geothermische systemen om de basislast van de warmtevraag te leveren en de complexiteit van het ontwikkelen van het warmtenet in stedelijke gebieden.

### Vraag naar aardwarmte

- Voor aardwarmte geldt dat in principe de huidige vraag naar aardwarmte gelijk is aan het huidige aanbod. Aardwarmte kan niet over lange afstanden getransporteerd worden en de opslag van hoge temperatuur warmte in de ondergrond (HTO) is nog volop in ontwikkeling. Daarentegen kan wel gesteld worden dat de warmtevraag in Nederland vele malen groter is dan het huidige aanbod van aardwarmte in Nederland.
- De vraag van aardwarmte neemt gestaag toe bij de verschillende energiescenario's. Op basis van de geprognotiseerde ontwikkeling van het aardwarmte aanbod en de toekomstige vraag naar aardwarmte blijk dat vooralsnog de vraag naar aardwarmte in 2050 groter is dan het aanbod.
- Alleen het TVKN scenario (Daniëls & Strengers, 2024) heeft voor 2050 een lagere vraag naar aardwarmte. Dit wordt veroorzaakt door een verminderde behoefte aan aardwarmte, de vraag blijft gelijk. Er wordt alleen een keuze gemaakt om de warmte niet van geothermie te betrekken maar van omgevingswarmte.
- Technologische ontwikkelingen omtrent de opslag en het transport van aardwarmte kunnen de vraag naar aardwarmte substantieel beïnvloeden. Dit rapport gaat er echter voorlopig van uit dat het aanbod van aardwarmte gelijk blijft aan de vraag.

### Aardwarmte voorraad en aanbod

Er is in Nederland een groot potentieel aan aardwarmte. Om dit te ontwikkelen naar aardwarmtewinning en vervolgens een schatting van de voorraden en toekomstig aanbod te kunnen maken moeten geothermieprojecten geïdentificeerd worden in de diverse ontwikkelingsklassen. Er worden drie hoofdklassen gebruikt in deze studie voor de voorraad en aanbod schattingen:

- *Vastgestelde voorraad en vastgestelde aanbod*
  Het vastgestelde aanbod en voorraad komt uit bestaande start- en vervolgvergunningen, die momenteel in productie zijn of waarvoor productie wordt voorbereid. De voorraad komt overeen met de cumulatieve jaarlijks aanbod tot 2050. Totale vastgestelde voorraad is klein ten opzichte van aardwarmte ambitie en totale warmtevraag in Nederland. De vastgestelde voorraad aardwarmte is onvoldoende om te voorzien in de verwachte toekomstige vraag.
- *Voorwaardelijke voorraad*
  De voorwaardelijke voorraad is nog niet aangetoond door middel van een boring. In essentie zijn het exploratieprojecten waar vergevorderde plannen zijn voor de ontwikkeling. De ontwikkeling zal enige tijd in beslag nemen voor onder meer de toekenning van de benodigde vergunningen, de definitieve investeringsbeslissing (FID) etc.
  Op basis van de SDE++ informatie over toekomstige aardwarmteproductie-installaties is bepaald hoe groot de voorwaardelijke voorraden zijn en het voorwaardelijke aanbod is. Het blijkt dat enkel de voorwaardelijke voorraad aardwarmte onvoldoende is om te kunnen voldoen aan de voorspelde vraag tot 2030.
- *Prospectieve voorraad en aardwarmte potentie*
  De aardwarmtepotentie in Nederland is ruim voldoende om in de geprognotiseerde vraag tot 2050 en ver daarna te kunnen voorzien. Geologisch gezien is er geen schaarste aan

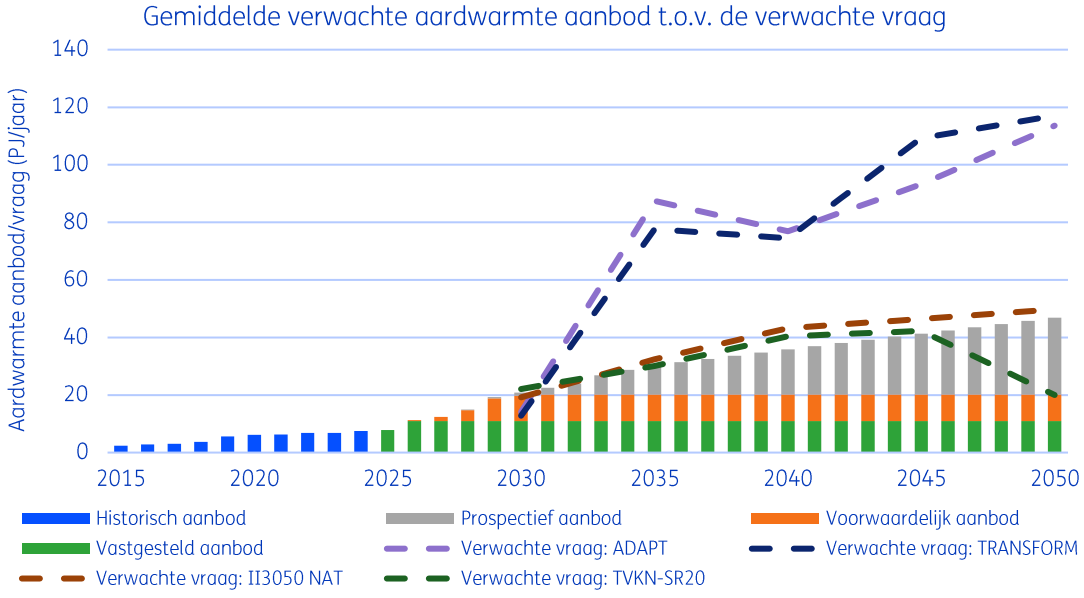
aardwarmte, er zijn daarentegen wel geologische beperkingen op de winbaarheid maar ook op de bereikbaarheid van de warmte. Er zijn gebieden waar de winbare aardwarmte potentie aanzienlijk hoger is dan in vergelijking met andere gebieden (Figuur 6.10). Er zijn ook gebieden waar de aardwarmte niet bereikbaar is vanwege restricties aan de oppervlakte.

Voor de prospectieve voorraad wordt aangenomen dat momenteel maximaal 10 doubletten per jaar geboord kunnen worden. De prospectieve voorraad die met deze aanname ontwikkeld en geproduceerd zal worden is vele malen kleiner dan de aardwarmte potentie.

### Ontwikkeling van nieuw aanbod

- Het ontwikkelen van een nieuwe aardwarmteproductielocatie neemt meerdere jaren in beslag. Derhalve duurt de ontwikkeling van nieuw aardwarmteaanbod ook meerdere jaren. De reden hiervoor is de directe relatie tussen vraag en aanbod bij aardwarmte. De ontwikkeling van warmteaanbod wordt gestuurd door de vraag naar aardwarmte. Dit kan beperkend of stimulerend zijn. Pas nadat de vraag in kaart gebracht is en de (intentieverklaringen voor) warmteleveringsovereenkomsten getekend zijn kan een aardwarmte-installatie ook daadwerkelijk ontwikkeld worden.

  Het merendeel van de geproduceerde warmte wordt gebruikt in de glastuinbouw. De huidige groei van het aanbod wordt voornamelijk mogelijk gemaakt door de ontwikkeling van nieuwe productielocaties voor de glastuinbouw en de uitbreiding van bestaande productielocaties. Significante groei kan bewerkstelligd worden door in te zetten op aardwarmte voor de gebouwde omgeving.




Figuur 6.1. Het historische en geprognosticeerde aardwarmte aanbod uitgezet tegen de verwachte vraag voor de periode 2015 – 2050. De historische productie is afkomstig uit het Jaarverslag Delfstoffen en Aardwarmte 2023 (Ministerie van Klimaat en Groene Groei, 2024). Het verwachte aanbod, onderverdeeld in 3 groepen, zijn stochastisch bepaald en in deze grafiek is alleen de P50 waarde weergegeven. Voor de verwachte vraag naar aardwarmte is gebruik gemaakt van de verschillende energiescenario's die geselecteerd zijn voor deze studie. Hierbij is gebruik gemaakt van een interpolatie tussen de verschillende datapunten.

Tabel 6.1. Kerngetallen aardwarmte winning in 2050. Het aanbod in PJ per jaar uitgezet tegen de verwachte vraag uit de energiescenario's.

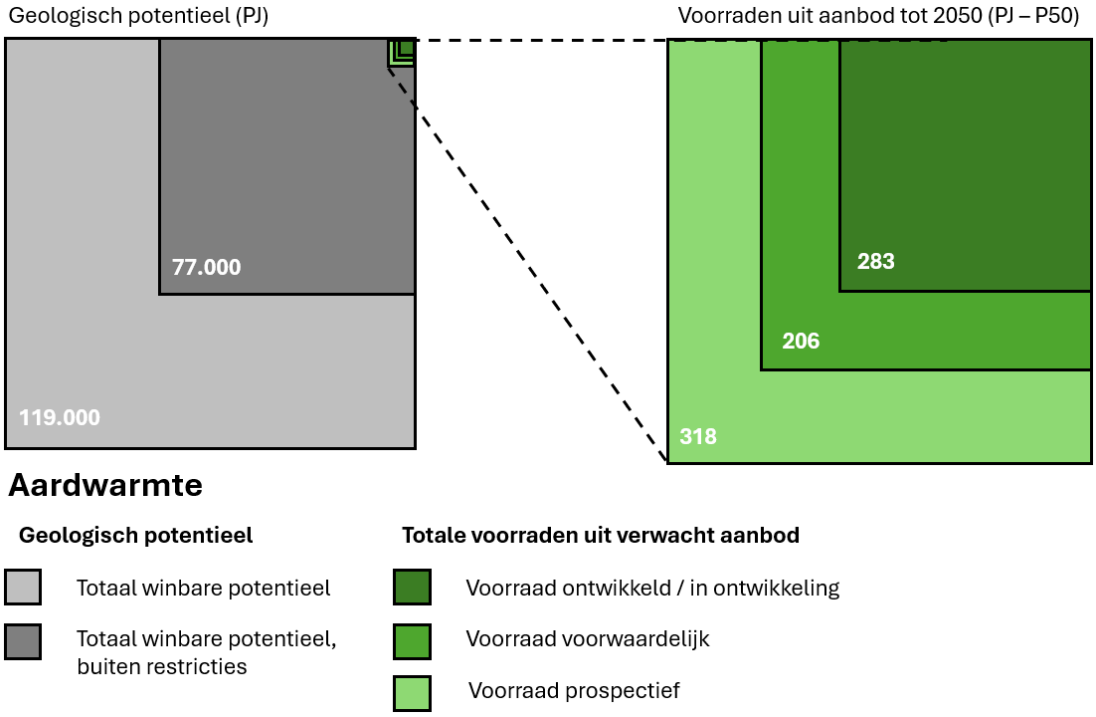
| Totale aardwarmte aanbod en vraag in 2050 in PJ/jaar | | P90 | P50 | P10 |
|---|---|---|---|---|
| Aanbod | prospectief | 13,0 | 26,7 | 84,2 |
| | Voorwaardelijk | 7,3 | 9,2 | 11,4 |
| | Vastgesteld | 10,1 | 11,0 | 11,9 |
| **Geaggregeerd aanbod aardwarmte** | | **31** | **47** | **107** |
| **Vraag naar aardwarmte in 2050 op basis van de energiescenario's** | ADAPT | 114 | | |
| | TRANSFORM | 117 | | |
| | II3050 NAT | 50 | | |
| | TVKN-SR20 | 20 | | |

### Ruimtelijke impacts & aandachtspunten

- De huidige productie van aardwarmte is voornamelijk geconcentreerd in de provincies Zuid-Holland, Noord-Holland, Overijssel en Flevoland.
- Het ondergrondse ruimtegebruik concentreert zich op lagen op een diepte van anderhalf tot drie kilometer. Deze kunnen overlappen met lagen die ook geschikt zijn voor de winning van gas of olie.
- Bij de opsporing en winning van aardwarmte kan de aanwezigheid van (niet ontwikkelde en/of prospectieve of leeg geproduceerde) aardgasvoorkomens een risico vormen. Deze risico's kunnen samenhangen met het doorboren van het aardgasvoorkomen of het produceren uit aardlagen die in verbinding staan met het aardgasvoorkomen.
- De productie van aardwarmte in het invloedsgebied van zoutcavernes brengt wellicht een verhoogde seismische dreiging met zich mee. Dit vereist een maatwerk Seismische Dreiging en Risico Analyse.
- Aan het oppervlak is het ruimtegebruik relatief beperkt. Dit betreft de lokale aardwarmteproductie-installaties en (ondiepe ondergrondse) infrastructuur voor het transport van warmte naar lokale afnemers.
- De aanleg van productielocaties en warmtetransportleidingen kan een tijdelijke impact hebben op de directe omgeving (bijvoorbeeld geluid, emissies, zichthinder). Ook na einde van aardwarmtewinning en afsluiting van locaties vinden nog opruimwerkzaamheden plaats, waaronder het verwijderen van de installaties en het afsluiten van de productie- en injectieputten die een bepaalde impact op de omgeving zullen hebben.
- Nieuwe aardwarmteproductie installaties zullen in de regel via een warmtetransportleiding aangesloten worden op het lokale warmtenet.
- Aardwarmtevoorkomens die benut kunnen worden om een lokale vraag te accommoderen kunnen in het 2D vlak overlap hebben met bijvoorbeeld boringvrije zones, Natura2000 gebieden of drinkwaterwinningsgebieden.
- Het huidige areaal aan mijnbouw wettelijke aardwarmtevergunningen voor producerende aardwarmte installaties is ca. 130 $km^2$. Het vergunning areaal vertaalt zich direct naar ruimtegebruik in de ondergrond op reservoir niveau. De toekomstige vraag naar aardwarmte, op basis van de energiescenario's, zal er voor zorgen dat het ruimtegebruik zowel bovengronds als ondergronds zal toenemen.
- Onder de aanname dat bovengrondse vergunning oppervlak direct vertaald kan worden naar ruimte gebruik in de ondergrond zorgt het hoge scenario (TRANSFORM) voor vergunning oppervlakte toename van ~2500 $km^2$ , grofweg de oppervlakte van de provincie Drenthe. In het lage scenario (II3050 NAT) komt er vergunning areaal bij van 992 $km^2$, ongeveer de oppervlakte van de Flevopolder.

# 6.3 Kengetallen

In dit hoofdstuk zal de ontwikkeling van geothermie van af de start in 2007 tot heden worden belicht alsmede de toekomstverwachtingen van aanbod van aardwarmte en de gerelateerde voorraden. In de Figuur 6.2 wordt grafisch weergegeven hoe de voorraden en het potentieel zich tot elkaar verhouden. Het getalsmatige overzicht is gegeven in Tabel 6.2. In paragraaf 6.3.1 worden de cijfers nader toegelicht en onderbouwd.




Figuur 6.2. Overzicht van het totale geologische (technisch winbare) aardwarmtepotentieel (links) en de aardwarmtevoorraad uit vastgesteld, voorwaardelijk en prospectief aanbod tot 2050 (rechts). Het geologisch potentieel is onderverdeeld in technisch winbare aardwarmtevoorkomens binnen gebieden met restricties (Natura2000, grondwaterwinning/bescherming, boringvrije zones), en voorkomens waar deze restricties niet aanwezig zijn. De waarden voor getoonde voorraden representeren de P50 verwachtingswaarde van toekomstig aanbod.

Tabel 6.2. Aardwarmtevoorraden ingedeeld volgens maturiteitsklasse.

| Categorie | P90 [PJ] | P50 [PJ] | P10 [PJ] |
|---|---|---|---|
| Vastgestelde voorraad producerend in VV*1 en SV*2 | 183 | 192 | 200 |
| Vastgestelde voorraad voor systemen in de opstartfase | 77 | 91 | 105 |
| *Totaal vastgestelde voorraad* | | ***283*** | |
| Voorwaardelijke voorraad SDE++ met startvergunning | 83 | 102 | 121 |
| Voorwaardelijke voorraad SDE++ zonder startvergunning | 81 | 104 | 104 |
| *Totaal voorwaardelijke voorraad* | | ***206*** | |
| Prospectieve voorraden in toewijzing zoekgebied | 93 | 130 | 207 |
| Prospectieve voorraden in open gebied | 72 | 188 | 703 |
| *Totaal prospectieve voorraad* | | ***318*** | |
| Geologisch potentieel aan winbare warmte in open gebied buiten restrictie-gebieden | 36.979 | 77.537 | 109.873 |
| Geologisch potentieel aan winbare warmte in open gebied zonder rekening te houden met restricties | | 119.000 | |

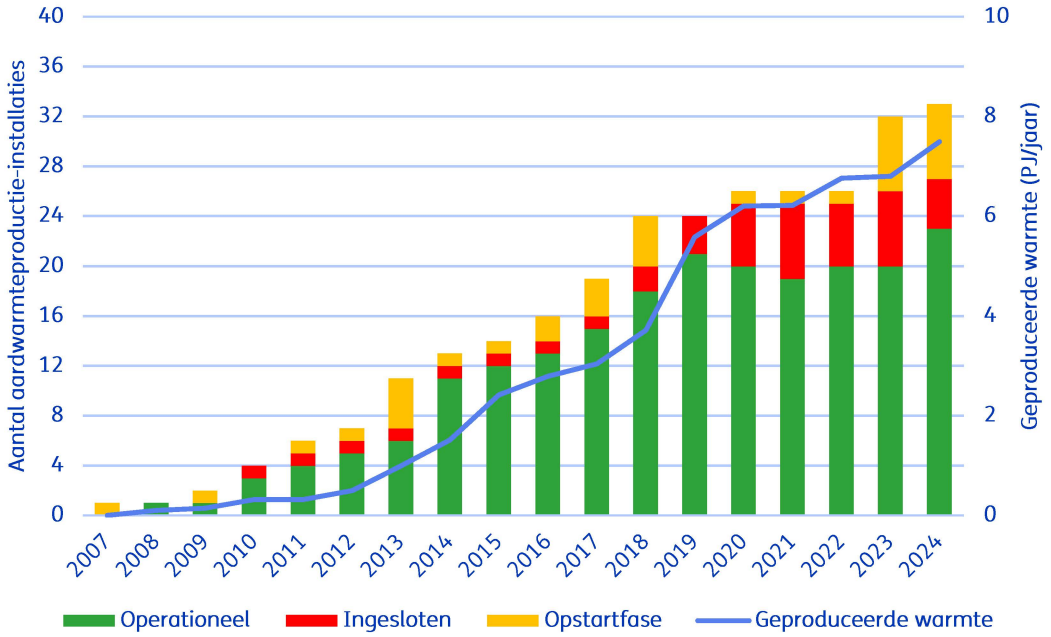
*1 SV = Startvergunning voor aardwarmte
*2 VV = Vervolgvergunning voor aardwarmte

### 6.3.1 Huidig warmtegebruik en toekomstige vraagscenario's

**Huidig verbruik**

7,6 % van het totale Nederlandse primaire energieverbruik wordt gebruikt voor warmte. Daarvan is het aandeel van aardwarmte circa 3,6 %: namelijk 7,491 PJ. Het grootste gedeelte hiervan is voor de verwarming van kassen in de glastuinbouw.

Van 2007 tot 2024 vertoonde de productie van aardwarmte in Nederland periodes van aanzienlijke en bescheiden groei (Figuur 6.3). In 2019 nam de productie met 50% toe ten opzichte van 2018. Daarentegen was de groei in 2023 beperkt tot slechts 0,5%. In 2024 steeg de jaarlijkse geothermische productie tot 7,49 PJ, wat een toename van 10,2% (0,7 PJ) vertegenwoordigt in vergelijking met 2023. Tot op heden is cumulatief ongeveer 55 PJ aan geothermische warmte geproduceerd.




Figuur 6.3. Aantal aardwarmteproductie-installaties, onderverdeeld naar status operationeel, ingesloten en opstartfase, uitgezet tegen de jaarproductie aan aardwarmte (PJ/jaar). Tot en met 2013 is de jaarproductie afkomstig uit: Hernieuwbare energie in Nederland 2013 (CBS, 2014). Vanaf 2014 wordt de warmteproductie gerapporteerd in het Jaarverslag Delfstoffen en Aardwarmte in Nederland (Ministerie van Klimaat en Groene Groei, 2025).

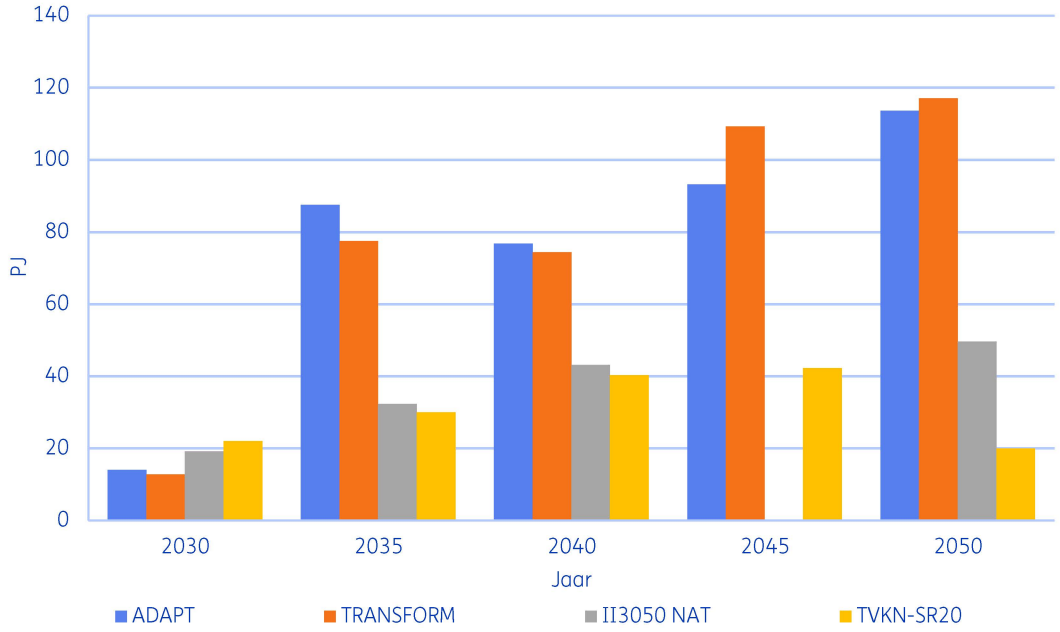
### Toekomstige vraag aardwarmte

Uit de energiescenario's (blijkt dat de vraag van aardwarmte gestaag toeneemt tot en met 2050 (zie Figuur 6.1, Figuur 6.4, Tabel 6.3). Het TVKN-SR20 scenario toont als enige een stagnatie en een afname van de aardwarmte vraag na 2040. Dit wordt met name veroorzaakt door een verschuiving van de bron van warmtevraag naar omgevingswarmte, de behoefte aan warmte verminderd in dit scenario niet. In de niet gepresenteerde TVKN scenario's (PB30, PR40) neemt de vraag naar aardwarmte wel toe.

Aardwarmte levert momenteel een beperkte bijdrage van 3,6 % aan het totale Nederlandse warmteaanbod. In de scenario's die uitgaan van een sterkte groei richting 2050, de ADAPT- en TRANSFORM-scenario's, zal aardwarmte een grotere rol spelen in het warmteaanbod. Op basis van het huidige warmteverbruik (206,36 PJ in 2024) is in 2050 de bijdrage van aardwarmte ca. 56 % voor de ADAPT en TRANSFORM scenario's. Ten opzichte van het huidige primaire energieverbruik (2712 PJ in 2024) is in 2050 het aandeel aardwarmte slechts 4,6 %.

Tabel 6.3. Vraag naar aardwarmte volgens de verschillende energiescenario's.

| | Vraag naar aardwarmte in PJ/jaar | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Energiescenario | 2030 | 2035 | 2040 | 2045 | 2050 |
| ADAPT | 14 | 88 | 77 | 93 | 114 |
| TRANSFORM | 13 | 78 | 75 | 109 | 117 |
| II3050 NAT | 19 | 32 | 43 | - | 50 |
| TVKN-SR20 | 22 | 30 | 40 | 42 | 20 |




Figuur 6.4. Vraag naar aardwarmte tot 2050 volgens de vier onderzochte energiescenario's. In het II3050NAT scenario worden geen cijfers gegeven voor het jaar 2045.

### Ruimtegebruik om toekomstige aardwarmtevraag in te vullen

Om een eerste orde inschatting te maken van de benodigde ruimte die nodig is om de aardwarmte vraag van het hoge scenario (TRANSFORM) in vullen, worden enkele aannames gemaakt. Belangrijke aanname is dat bovengrondse vergunde oppervlakte direct vertaald kan worden naar ondergronds ruimtegebruik.

Verder wordt aangenomen dat de jaarlijkse productie van nieuwe systemen 0,326 PJ is. Dit getal is bepaald aan de hand van de huidige jaarlijkse productie van 7,49 PJ en die te delen door het aantal productieve systemen (dit zijn er 23 in 2024). Daarnaast wordt op basis van de huidige aardwarmte ruimtegebruik een in schatting gemaakt van het toekomstige ruimtegebruik. De totale oppervlakte van de huidige 23 start- en vervolgvergunningen die bijdragen aan de productie is ca. 130 $km^2$. Dit geeft gemiddeld 5,8 $km^2$ per vergunning.

Het TRANSFORM scenario verwacht een vraag van 117 PJ in 2050. Op basis van bovenstaande aannames kan gesteld worden dat er daarvoor 359 aardwarmteproductie-installaties nodig zijn, uitgaande dat alle nieuwe systemen enkel bestaan uit een productie- en injectieput. Het is niet realistisch dat alle vergunningen netjes naast elkaar liggen. Daarom wordt een sorteringsfactor van 1,33 toegepast (van Wees, et al., 2012). De totaal benodigde ruimte in de ondergrond is daarmee 2770 $km^2$.

Dit betekent dat in het hoge scenario (TRANSFORM) de vergunning oppervlakte toeneemt met ongeveer 2640 $km^2$, grofweg de oppervlakte van de provincie Drenthe. Dezelfde berekening is toegepast op het lage scenario (II3050 NAT) en hiermee komt er vergunning areaal bij van 990 $km^2$, ongeveer de oppervlakte van de Flevopolder.

Het inpassen van de benodigde ruimte voor aardwarmte in Nederland is mogelijk. Hierbij moet wel rekening gehouden worden met de gebieden waar al aardwarmteproductie plaatsvindt. Echter, het is in sommige van deze gebieden nog mogelijk voor een gestapelde inpassing van nieuwe aardwarmteprojecten te realiseren. Daarnaast moet ook rekening gehouden worden met het feit dat niet de gehele ondergrond van Nederland geschikt is

voor conventionele open-loop geothermie. De gebieden die niet geschikt zijn, zijn mogelijk wel geschikt voor onconventionele geothermie systemen, bijvoorbeeld UDG of closed-loop systemen zoals het EAVOR-systeem. Tenslotte moet het aanbod van aardwarmte wel gekoppeld kunnen worden aan een bovengrondse vraag.

## 6.4 Aardwarmte voorraad & aanbod

In deze paragraaf worden eerst de aardwarmte voorkomens geclassificeerd en vervolgens gekwantificeerd. Waarbij de uitkomst van de kwantificering tegelijkertijd zowel het aanbod als de voorraad geeft in de vorm van een productieprofiel. De productieprofielen worden stochastisch berekend op basis van een aantal parameters, die per klasse toegelicht zullen worden.

### 6.4.1 Aardwarmtevoorkomens

Voor aardwarmte geldt dat het geologisch en technisch winbaar potentieel aan aardwarmte in de Nederlandse ondergrond zeer groot is en ruimschoots voldoende om aan de vraag-ambitie te voldoen. De vraag is sturend voor de realisatie van aanbod en daarnaast is de realisatie van aanbod afhankelijk van een waaier aan economische, sociale, maatschappelijke, milieu- en omgevingsfactoren.

Classificering van aardwarmte voorkomens gebeurt dan ook op basis van maturiteit, ofwel het ontwikkelingsstadium van een geothermie project. De drie ontwikkelingsstadia voor aardwarmtevoorkomens zijn: Vastgesteld, Voorwaardelijk, Prospectief en Potentieel; deze worden hieronder nader toegelicht:

1) Vastgestelde aardwarmtevoorkomens
   Nederland telt momenteel 33 aardwarmteproductie-locaties. In 2024 is door 23 van de 33 installaties aardwarmte gewonnen, 6 installaties zaten in de opstartfase om te gaan produceren en 4 lagen gedurende het hele jaar stil. In 2024 is in Nederland 7,491 PJ aardwarmte gewonnen.

   Van de 33 aardwarmteproductie-installaties zijn er 18 in het bezit van een vervolgvergunning, hiermee kan voor de lange termijn geproduceerd worden. De overige ontwikkelde installaties zijn allen in het bezit van een startvergunning, productie voor de korte termijn maximaal 3 jaar. Deze installaties moeten binnen de duur van de startvergunning een vervolgvergunning voor aardwarmte aanvragen.

   De 6 installaties die in de opstartfase zitten zullen binnen 1 à 2 jaar operationeel worden en tellen daarom mee bij de vastgestelde aardwarmtevoorkomens.

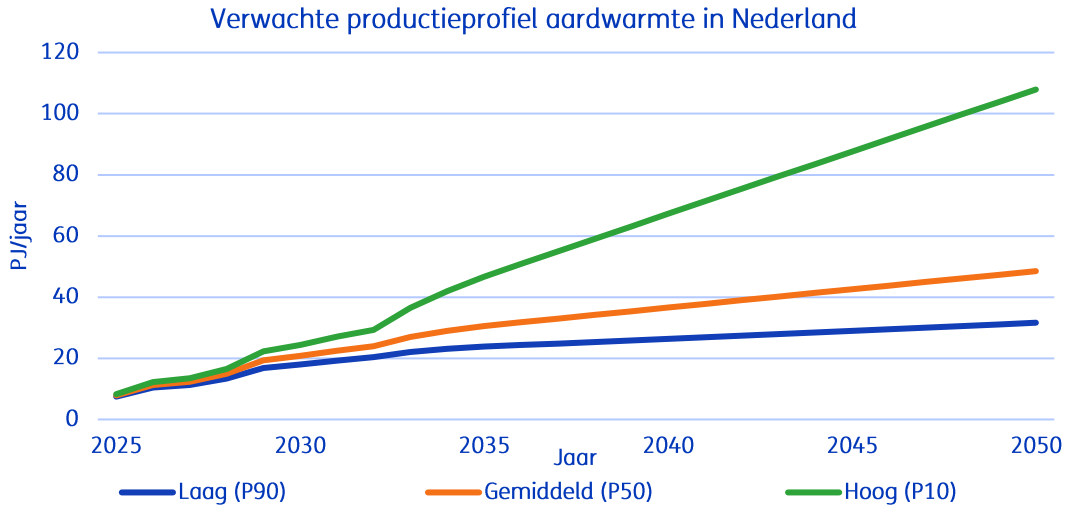
   De aardwarmtevoorraad, oftewel de cumulatieve hoeveelheid warmte die deze systemen naar verwachting tot 2050 zullen produceren, wordt de *vastgestelde voorraad* genoemd.
2) Voorwaardelijke aardwarmtevoorkomens
   Vergunningen met een SDE++ subsidie toekenning (dit kan zowel in een startvergunning als toewijzing zoekgebied) tellen mee in de voorwaardelijke aardwarmte voorraad, dit betekent dat er nog geen boring is gezet. De investeringsbeslissing is in procedure. De cumulatieve hoeveelheid warmte die deze systemen naar verwachting tot 2050 zullen produceren uit de voorwaardelijke voorkomens wordt de *voorwaardelijke voorraad* genoemd.

3) Prospectieve aardwarmtevoorkomens
De prospectieve voorraad aardwarmte bestaat uit alle toewijzing zoekgebieden (zonder SDE++) samen met de fictieve aardwarmteproductie-installaties. De cumulatieve hoeveelheid warmte die de fictieve systemen tot 2050 kunnen produceren uit de prospectieve voorkomens wordt de *prospectieve voorraad* genoemd.

4) Aardwarmte potentieel
Het aardwarmte potentieel in Nederland wordt in dit rapport gelijk gesteld aan de totaal winbare warmte. Dit zal verder uitgesplitst worden in het potentieel buiten restrictiegebieden. Belangrijk is dat het potentieel geen voorraad is.

## 6.4.2 Verwacht productieprofiel aardwarmte

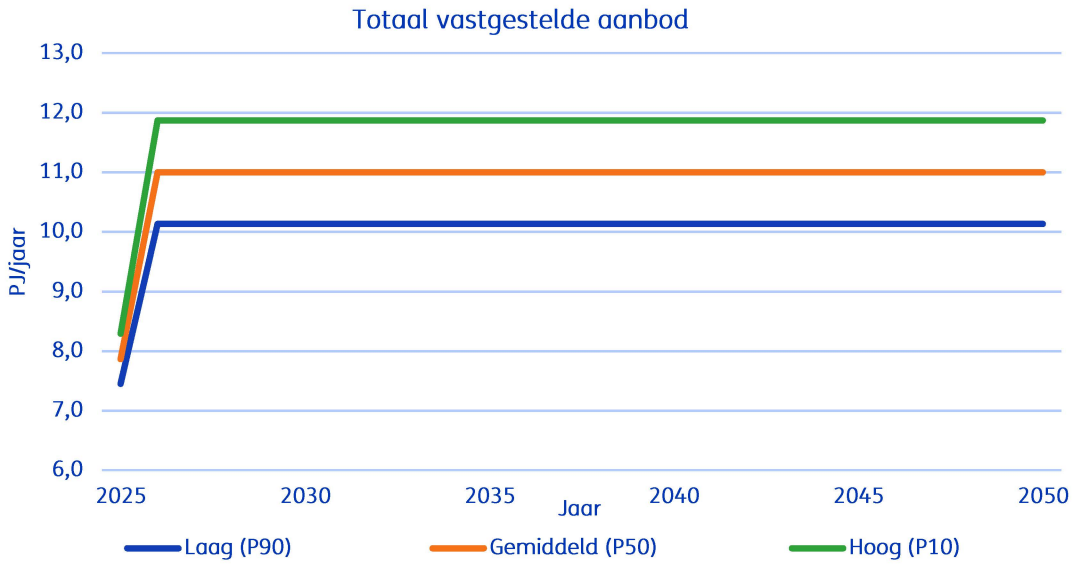
Voor het bepalen van de toekomstige voorraad en aanbod is per ontwikkelingsstadium een productieprofiel opgesteld. Deze productieprofielen zijn vervolgens gesommeerd om een beeld te krijgen van de toekomstige aardwarmte ontwikkeling in Nederland. Op basis van de gehanteerde productieprognoses en statistische benadering kan gesteld worden dat het aardwarmte aanbod in Nederland zal groeien. De P50-geothermische jaarproductie voor de jaren 2030 en 2050 is 21 PJ en 49 PJ.




Figuur 6.5. Resultaat van de productievoorspelling voor aardwarmte in Nederland. Deze grafiek toont de gesommeerde productieprognoses uit de vastgestelde, voorwaardelijke en prospectieve aardwarmte voorraden. Gepresenteerd in P90, P50 en P10 uitkomsten.

## 6.4.3 Vastgesteld aanbod & voorraad

Het vastgestelde aardwarmte aanbod tot 2050 ligt tussen de 10,1 PJ/jaar en 11,9 PJ/jaar, met als P50 verwachtingswaarde 11,0 PJ/jaar (Figuur 6.6). De vastgestelde voorraad ligt daarmee tussen de 260 en 305 PJ, met een verwachtingswaarde van 283 PJ.




Figuur 6.6. Totaal vastgestelde aardwarmte aanbod. Dit productieprofiel is opgebouwd uit huidige en toekomstige productie van aardwarmteproductie-installaties in zowel start- als vervolgvergunningen en installaties die nog in de opstartfase zitten.

De vastgestelde voorraad en aanbod van aardwarmte is gebaseerd op het productieprofiel van gerealiseerde systemen in start- en vervolgvergunningen (subklasse a). Daarnaast valt onder vastgestelde voorraad het verwachte aanbod van systemen die in de opstartfase zitten (subklasse b). De potentie en productiecapaciteit van deze groep is aangetoond middels een boring en productie wordt in de nabije toekomst ter hand genomen. De productieprofielen lopen door tot minimaal 2050, daarmee is de vastgestelde voorraad bepaald tot 2050.

De vastgestelde voorraad is afhankelijk van de duur van de vergunning en vergunde productieparameters in termen van maximaal te produceren volume water, injectietemperatuur en maximaal toegestane injectiedruk. De vastgestelde aardwarmte voorraad is daarmee vergunning technisch beperkt. Daarmee is de ontwikkelde aardwarmte voorraad in dit rapport een onderschatting, productie kan mogelijk verlengd worden en productieparameters kunnen aangepast worden. De vastgestelde voorraad kent hierdoor een mogelijke up-side.

Tenslotte, het jaarlijkse aanbod aardwarmte wordt bepaald door de warmtevraag van o.a. de glastuinbouw en gebouwde omgeving. Er wordt hier uitgegaan van een constant aanbod. In de werkelijkheid zal het aanbod jaarlijks fluctueren op basis van warmte vraag, die bijvoorbeeld afhankelijk is van de buitentemperatuur. Substantiële verhoging van het vastgestelde aanbod is lastig, dit vergt een aanpassing van de vergunning en/of aanpassing van de aardwarmteproductie-installatie. Daarnaast kan de lokale geologie ook een limiterende factor zijn voor de productie van aardwarmte.

Vastgestelde voorraad, producerend, met en zonder vervolgvergunning

Dit is de ontwikkelde en in productie genomen aangetoonde voorraad aardwarmte. De voorraad is aangetoond middels een boring en de investeringsbeslissing is genomen. De locatie is ruimtelijk vastgelegd, aangezien de installatie is ontwikkeld en de infrastructuur is aangesloten. Productie kan plaats vinden binnen een start- of vervolgvergunning voor aardwarmte.

Aardwarmteproductie-installaties in vervolgvergunningen bieden een betrouwbaar vastgestelde voorraad, omdat deze systemen al gedurende lange tijd operationeel zijn en daardoor voldoende productiehistorie beschikbaar is. Dit komt de betrouwbaarheid van het aanbod ten goede. De jaarlijkse productie van deze ontwikkelde voorraad is geëxtrapoleerd naar 2050, met een bandbreedte van onzekerheid van 7%. De productievariatie is gebaseerd op de jaarlijkse fluctuaties in aardwarmteproductie van de systemen die in een vervolgvergunning liggen (van der Molen, Tolsma, Davids, & Mijnlieff, 2025).

Aardwarmteproductie-installaties in startvergunningen hebben een vastgestelde voorraad die met meer onzekerheid is omgeven dan productie uit een vervolgvergunning. De duur van een startvergunning is namelijk maximaal 2 + 1 jaar. Verder zijn deze systemen nog niet lang in productie, waardoor er weinig productiehistorie is om prognoses op te bouwen. Voor de toekomstige productie uit deze systemen wordt de huidige gerealiseerde productie geëxtrapoleerd naar 2050 met een onzekerheidsmarge van 10% (van der Molen, Tolsma, Davids, & Mijnlieff, 2025).

In de voorraad prognose naar 2050 worden de systemen in vervolgvergunningen en startvergunningen samen gevoegd. De vastgestelde aardwarmtevoorraad van producerende systemen voor de periode tot 2050 ligt tussen de 183 PJ en 200 PJ, met een P50 waarde van 192 PJ.

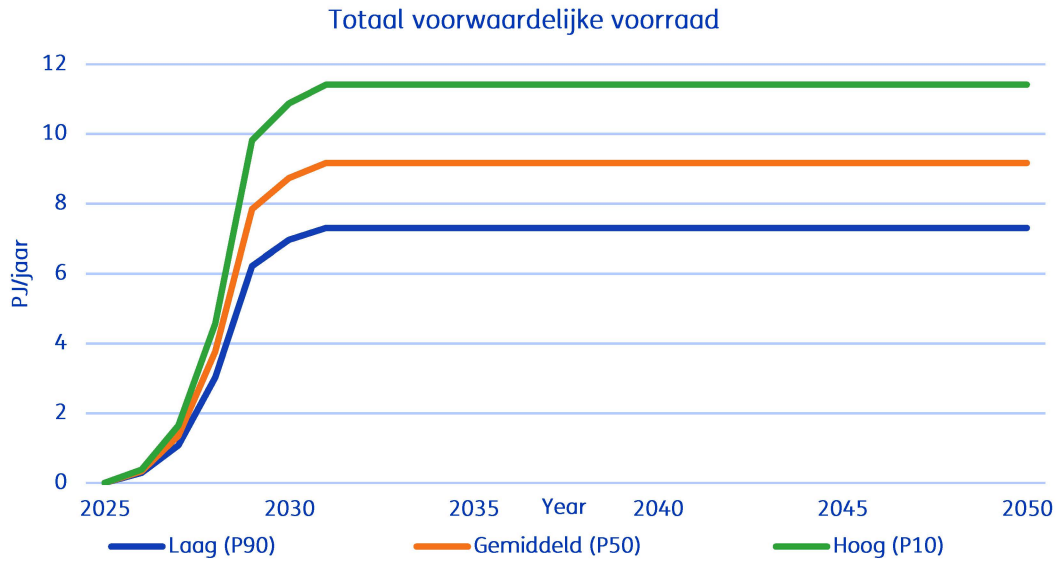
Vastgestelde voorraad voor systemen in de opstartfase, geen vervolgvergunning

Dit betreft een aangetoonde voorkomen omdat het is aangeboord en getest. Het zal in productie genomen worden als de aardwarmteproductie-installaties gereed zijn; deze geothermiesystemen zitten in de opstartfase. Dit betekent dat er nog geen gegevens beschikbaar zijn om met zekerheid het aanbod in te schatten. De bovengrondse installatie is in ontwikkeling, waarbij het ruimtegebruik en de locatie wel zijn vastgelegd. Verwacht wordt dat deze systemen binnen 1 à 2 jaar in productie genomen worden. Deze installaties liggen binnen een startvergunning.

De voorraad van deze systemen is stochastisch bepaald door gegevens uit de SDE++ audit te gebruiken, gecombineerd met een vermogensfactor van 0,8. Deze factor is afgeleid door een vergelijking van gerealiseerde vermogens en de bijbehorende SDE-beschikkingen. De vastgestelde aardwarmte voorraad voor systemen in de opstartfase, voor de periode tot 2050 ligt tussen de 77 PJ en 105 PJ, en een P50 waarde van 91 PJ.

### 6.4.4 Voorwaardelijk aanbod & voorraad

De voorwaardelijke voorraad ligt tussen de 164 en 256 PJ, met een verwachtingswaarde van 206 PJ. Uit de beschikbare werkplannen blijkt de voorwaardelijke aanbod vanaf 2030-2031 volledig zal draaien in de aardwarmteproductie van Nederland. Het voorwaardelijke aanbod van deze systemen in 2050 ligt tussen de 7,3 PJ/jaar en 11,4 PJ/jaar met een P50 waarde van 9,2 PJ/jaar (Figuur 6.7).




Figuur 6.7. Totaal voorwaardelijke aardwarmte aanbod tot 2050. Dit productieprofiel is opgebouwd uit alle aardwarmteprojecten die een SDE++ subsidie toegekend hebben. Deze projecten kunnen binnen een startvergunning of toewijzing zoekgebied liggen.

De voorwaardelijke voorraad aardwarmte in Nederland wordt opgedeeld in twee groepen. De eerste groep zijn projecten binnen een (aangevraagde) startvergunning en de tweede groep zijn projecten binnen een toewijzing zoekgebied. Voor beide groepen geldt dat ze een geldige SDE++ toewijzing hebben. De projecten binnen een (aangevraagde) startvergunning zijn daarentegen verder ontwikkeld o.a. door het aanvragen van een startvergunning.

SDE++ met startvergunning

Hier binnen vallen projecten waarvan de startvergunning is verleend of aangevraagd. De SDE++ subsidie is toegekend en er zijn warmteleveringsovereenkomsten. De putten zijn nog niet geboord omdat de investeringsbeslissing nog in behandeling is. De locatie is redelijk afgebakend door de aanvraag van de SDE++ subsidie en de (aangevraagde) startvergunning. Echter, de bovengrondse installatie, de transportleidingen en de aansluiting daarop moeten nog gerealiseerd worden. Dit maakt zowel het aanbod als de voorraad voorwaardelijk. Verwacht wordt dat deze systemen binnen 1 tot 4 jaar ontwikkeld en in productie zijn.

De voorraad van deze groep is bepaald op basis van de gegevens (vermogen en vollasturen) uit de SDE++ audit, gecombineerd met een vermogensfactor van 0,8. Een belangrijk punt binnen deze groep is de onzekerheid of alle projecten zullen worden gerealiseerd. Op basis van beschikbare (vertrouwelijke) gegevens wordt geschat dat tussen de 10% en 20% van deze projecten mogelijkerwijs niet zal worden gerealiseerd. Bij de bepaling van de voorraad wordt deze onzekerheid meegenomen door gebruik te maken van een realisatiefactor, variërend van 0,8 tot 0,9 (van der Molen, Tolsma, Davids, & Mijnlieff, 2025).

De voorwaardelijke voorraad tot 2050 ligt voor deze categorie tussen de 83 PJ en 121 PJ, met een verwachtingswaarde van 102 PJ.

SDE++ zonder startvergunning

Hier binnen vallen projecten die een toewijzing zoekgebied hebben en nog geen startvergunning in aanvraag hebben. Er zijn geen getekende

warmteleveringsovereenkomsten, maar voor de aanvraag van het zoekgebied waren getekende intentieverklaringen wel vereist.

De SDE++ subsidie is toegekend. De putten zijn nog niet geboord omdat de investeringsbeslissing nog in behandeling is. De locatie is redelijk afgebakend door de aanvraag van de SDE++ subsidie. Echter, de bovengrondse installatie, de transportleidingen en de aansluiting daarop moeten nog gerealiseerd worden. Dit maakt zowel de voorraad als het aanbod voorwaardelijk. Verwacht wordt dat deze systemen over 3 tot 5 jaar in de productie genomen zullen worden.

De voorraad van deze groep is bepaald op basis van gegevens uit de SDE++ audit, gecombineerd met een vermogensfactor van 0,8. Een belangrijk punt binnen deze groep is de onzekerheid of alle projecten zullen worden gerealiseerd. Op basis van beschikbare (vertrouwelijke) gegevens wordt geschat dat tussen de 20% en 30% van deze projecten niet zal worden gerealiseerd. Bij de bepaling van de voorraad wordt deze onzekerheid meegenomen door gebruik te maken van een realisatiefactor, variërend van 0,7 tot 0,8. (van der Molen, Tolsma, Davids, & Mijnlieff, 2025).

De voorwaardelijke voorraad tot 2050 is voor deze categorie tussen de 81 PJ en 135 PJ, met een verwachtingswaarde van 104 PJ.

### 6.4.5 Prospectief aanbod & voorraad

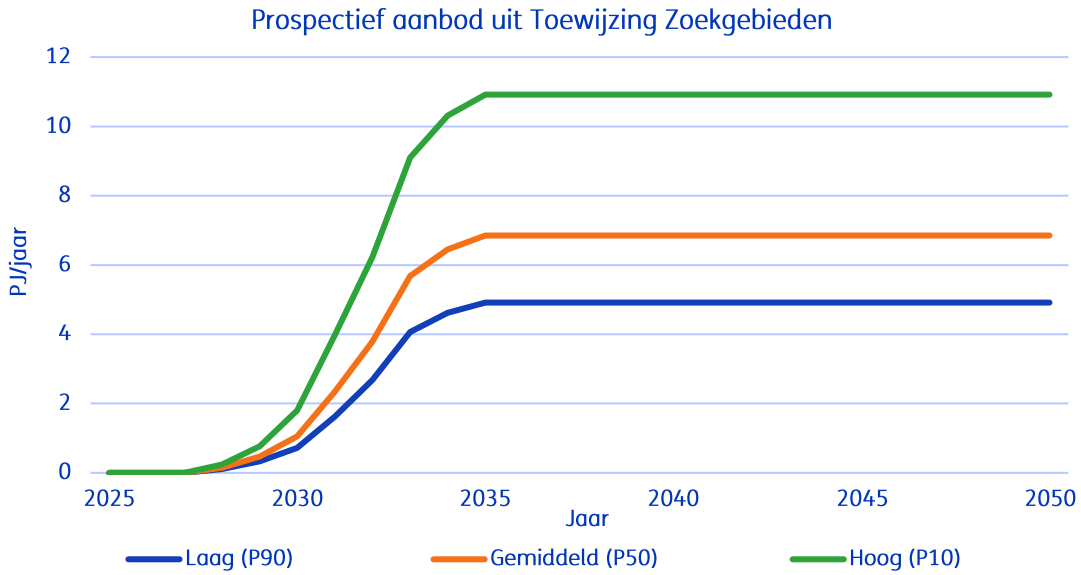
De potentie van winbare aardwarmte in Nederland is enorm. In deze analyse wordt gekeken naar de bereikbaarheid of realisatiepotentieel van het winbare aardwarmte potentieel. Het aardwarmte potentieel is niet overal te benutten vanwege verschillende wettelijke maar ook technische en economische beperkingen, onder andere zogenaamde restrictiegebieden waarbij een verbod geldt om te boren zoals in Natura2000, drinkwaterbeschermingsgebieden of boringvrije zones.

Bij de analyse van de prospectieve voorraad is gekozen om deze onder te verdelen in twee onderdelen. De prospectieve voorraad binnen vergunde toewijzing zoekgebieden en de prospectieve voorraad aardwarmte in open (niet voor aardwarmte vergund) gebied.

Prospectieve voorraad binnen vergunning

De prospectieve aardwarmte voorraad in toewijzing zoekgebieden zonder SDE++ subsidie is, voor de periode tot 2050, tussen de 93 PJ en 207 PJ, met als verwachtingswaarde 130 PJ. Het prospectieve aanbod van deze systemen in 2050 ligt tussen de 5 PJ/jaar en 11 PJ/jaar met een P50 waarde van 7 PJ/jaar (Figuur 6.8).

Voor de projecten binnen een toewijzing zoekgebied is een ruim zoekgebied afgebakend en nog geen zicht op een investeringsbeslissing. De eerste stap die voor deze projecten genomen moet worden is het aanvragen van SDE++ subsidie. Voor deze projecten zijn (regionale) studies beschikbaar over de geothermische potentie en op basis hiervan kan een prospectieve voorraad geconstrueerd worden.




Figuur 6.8. Prospectief aardwarmte aanbod tot 2050. Dit productieprofiel is opgebouwd uit alle aardwarmte-projecten binnen een toewijzing zoekgebied die geen SDE++ toekenning hebben.

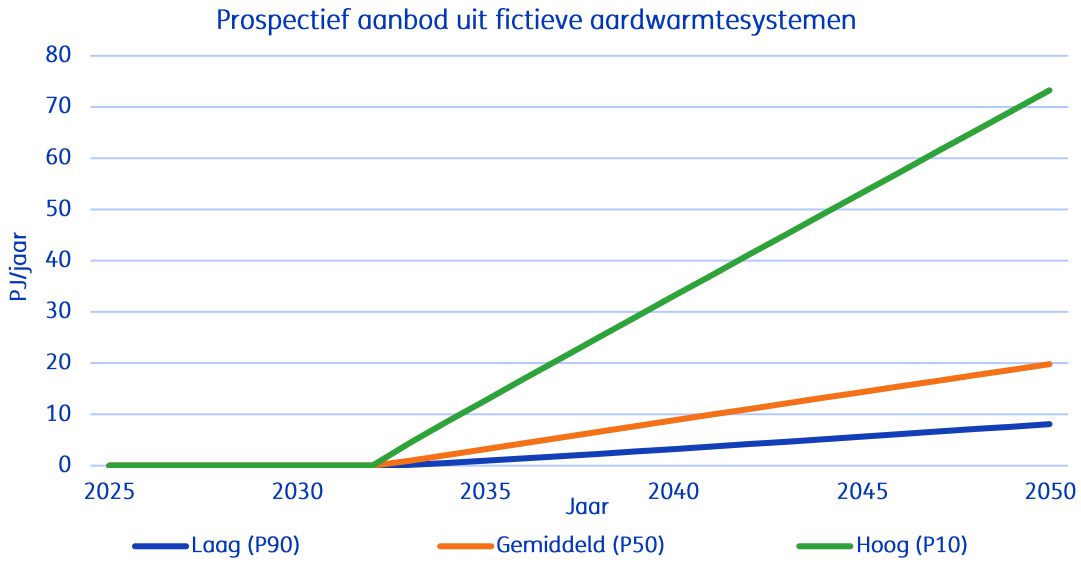
Toewijzing zoekgebieden voor aardwarmte zijn over het algemeen groot qua oppervlakte. Dit is noodzakelijk om een geschikte locatie voor een aardwarmtesysteem te vinden. Binnen zo'n zoekgebied kunnen qua oppervlak vaak meerdere systemen gerealiseerd worden. In dit rapport wordt aangenomen dat slechts één systeem per vergunning wordt gerealiseerd, tenzij de documentatie van een toewijzing zoekgebied een goed onderbouwd werkplan bevat dat uitgaat van meerdere geothermische systemen.

Het is voor een project binnen een toewijzing zoekgebied over het algemeen niet bekend wanneer het project gerealiseerd zal worden. Daarom wordt een schatting van de project realisatie gemaakt op basis van de einddatum van de vergunning, de mogelijke duur van het aanvragen van een startvergunning, plus drie jaar. Vanwege de geldigheidsduur van de verschillende vergunningen en mogelijke verleningen ervan wordt verwacht dat deze projecten 3 tot 8 jaar na toewijzing van het zoekgebied in productie genomen zullen worden.

Op basis van een "expert judgement" wordt geschat dat 40% van de projecten binnen deze groep een kans heeft om niet te worden gerealiseerd. Bovendien geeft een schatting op basis van het aantal verlopen vergunningen aan dat 50% van de projecten binnen deze groep wellicht niet wordt gerealiseerd. Daarom wordt de realisatiecorrectiefactor voor deze groep vastgesteld op 0,5 tot 0,6, toegepast in een uniforme verdeling.

<u>Prospectieve aardwarmtevoorraad, fictieve systemen</u>

De prospectieve aardwarmte voorraad gedefinieerd door fictieve systemen is, voor de periode tot 2050, tussen de 72 PJ en 703 PJ, met als verwachtingswaarde 188 PJ. Het prospectieve aanbod van deze systemen in 2050 ligt tussen de 8 PJ/jaar en 73 PJ/jaar met een P50 waarde van 20 PJ/jaar (Figuur 6.9).




Figuur 6.9. Prospectief aardwarmte aanbod tot 2050. Dit productieprofiel is gemaakt op basis van fictieve aardwarmtesystemen. Dit zijn systemen die nog niet binnen een project of vergunning zijn gedefinieerd, en liggen daarom per definitie buiten een aardwarmtevergunning.

Toekomstige productie van de winbare warmte buiten vergunde gebieden wordt gedaan door nog niet gedefinieerde systemen, fictieve systemen. In de analyse wordt uit gegaan dat de eerste fictieve (of niet gedefinieerde) systemen pas over 8 jaar gerealiseerd zullen worden. Door het gebruik van fictieve productiesystemen kan een deel van de totale winbare warmte, in open gebied & buiten restrictiegebieden, omgezet worden naar een prospectieve voorraad. Er kan immers een productieprofiel opgesteld worden.

De productieprognose voor de fictieve aardwarmtesystemen wordt benaderd door het maken van enkele aannames en door het uitvoeren van een statistische (Monte Carlo) analyse op basis van “key-parameters”. Hierbij wordt aangenomen dat de systemen overal geplaatst kunnen worden en altijd aanbod kunnen genereren, mits er voldoende aantrekkelijke locaties zijn om te boren.

De minimale, gemiddelde en maximale vermogens zijn afgeleid van de gemiddelde geothermische vermogens van de voorgaande groepen, namelijk 5, 15 en 27 MW. De vollasturen worden bepaald met een dubbele driehoeksverdeling, welke afhangt van de waarschijnlijkheid van de warmtevraag, afkomstig van de glastuinbouw of de gebouwde omgeving. Er wordt aangenomen dat jaarlijks tussen de 0 en 10 systemen geplaatst kunnen worden, gebaseerd op historische realisatiesnelheid. De kansverdeling voor het aantal systemen per jaar is trapezoïdaal, met een piek tussen 2 en 6 systemen.

De totale productie uit de fictieve systemen is vele malen kleiner dan de “Potentieel winbare warmt , open gebied buiten restrictiegebieden”. De productie in PJ/jaar kan wel verhoogd worden door andere aannames te doen, bijvoorbeeld een aanname dat de boorinspanning toeneemt.

### 6.4.6 Aardwarmte potentieel

Het aardwarmte potentieel in Nederland is enorm. Geologisch gezien is er geen schaarste aan aardwarmte, er zijn daarentegen wel geologische beperkingen op de winbaarheid maar ook op de bereikbaarheid van de warmte. Er zijn gebieden waar de winbare aardwarmte potentie aanzienlijk hoger is dan in vergelijking met andere gebieden (Figuur 6.10).

Daarnaast zijn er gebieden waar de aardwarmte niet bereikbaar is vanwege bovengrondse restricties.

Voor het vaststellen van het volledige aardwarmte potentieel in Nederland is gebruik gemaakt van de “mogelijk winbare warmte kaart” afkomstig uit ThermoGIS. Er wordt aangenomen dat de warmte gewonnen kan worden zonder wettelijke-, economische-, sociale-, omgevings-, en ontwikkelingsrestricties. Deze kaart geeft per vierkante kilometer de mogelijk te winnen warmte per jaar. In dit rapport wordt de “mogelijk winbare warmte” beschouwd als de toekomstig te winnen warmte uit “nog niet geïdentificeerde of gedefinieerde exploratie projecten” (Tabel 6.4).

Tabel 6.4. De potentie aan winbare warmte zonder rekening te houden met "restricties".

| | Tot 2050 |
|---|---|
| Totale mogelijk winbare aardwarmte, zonder rekening te houden met restricties | Ca. 196.000 PJ |

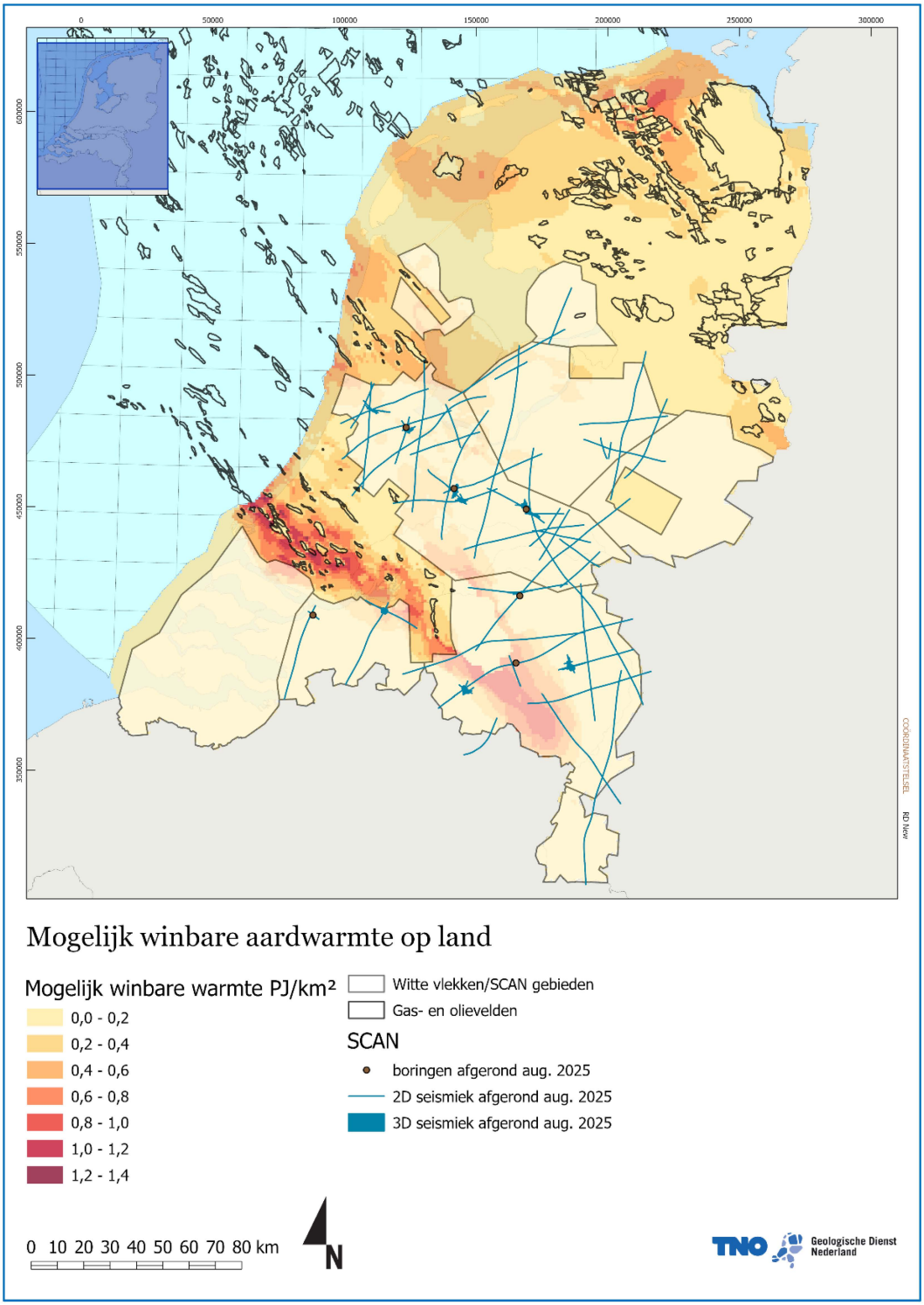
Potentieel winbare warmte, rekening houdend met restrictiegebieden

Voor de bepaling van dit aardwarmte potentieel is gebruik gemaakt van de “mogelijk winbare warmte” kaart. Voor deze kaart gebruikt kan worden moet er eerst een omrekening plaatsvinden naar PJ per 30 jaar. Waarbij 30 jaar de aangenomen productie levensduur van een aardwarmte systeem is. Daarnaast worden voor deze omrekening enkele technische en geografische aannames gedaan. De uitkomst van deze omrekening geeft een kaart met de “totale winbare aardwarmte” in PJ.

Vervolgens zijn op de omgerekende kaart wettelijke-, economische-, sociale-, omgevings-, en ontwikkelingsrestricties zijn toegepast. Dit betekent dat binnen de restrictiegebieden er één of meerdere oorzaken zijn waardoor de ontwikkeling beperkt is of dat er geen aardwarmte gewonnen mag worden. Tabel 6.5 toont de potentie aan winbare aardwarmte dat overblijft nadat de filters van de verschillende “restrictie gebieden” zijn toegepast.

Tabel 6.5. De potentie aan winbare warmte nadat de "restricties" zijn toegepast.

| | Laag | Midden | Hoog |
|---|---|---|---|
| Potentieel winbare warmte, buiten restrictiegebieden | 36.979 PJ | 77.537 PJ | 109.873 PJ |




Figuur 6.10. Mogelijk winbare aardwarmte in Nederland. Deze kaart geeft per vierkante kilometer de mogelijk te winnen warmte per jaar weer. In dit rapport wordt de “mogelijk winbare warmte” beschouwd als de toekomstig te winnen warmte uit “nog niet geïdentificeerde of gedefinieerde exploratieprojecten”. De mogelijk winbare warmte is gebaseerd op de huidige geologische inzichten. In sommige regio’s is de potentie laag door beperkte beschikbaarheid van data, de zogeheten witte vlekken (zie SCAN boringen en seismiek op de kaart). Daarnaast zorgen aanwezige gas- en olievelden vaak voor een lagere aardwarmte-potentie, doordat deze gebieden minder geschikt zijn voor aardwarmtewinning. Het EBN-TNO SCAN-programma richt zich op het verkleinen van deze witte vlekken door nieuw seismisch onderzoek en boringen, waarmee de ondergrond beter in kaart wordt gebracht en de potentie nauwkeuriger kan worden bepaald.

# 7 Steenzout

## 7.1 Definitie van vraag, voorraad en aanbod

Bij zoutwinning worden de volgende definities gebruikt voor vraag, voorraad en aanbod:

**Vraag:** De vraag naar steenzout wordt weergegeven in miljoen ton gewonnen zout. Dit betreft het gewicht na indamping, maar voor verwerking tot afgeleide zoutproducten. De vraag wordt bepaald door de markt voor afzet van zoutproducten

**Aanbod:** Het aanbod representeert het zout dat per jaar wordt geproduceerd in vastgestelde en voorwaardelijke winningsprojecten. Dit wordt weergeven in miljoenen tonnen per jaar.

**Voorraad:** Dit is de cumulatieve hoeveelheid zout die uit het vastgestelde en voorwaardelijke aanbod in winningsplannen kan worden geproduceerd.

**Potentieel:** Het geologisch potentieel (eveneens weergegeven in miljoen ton) representeert het zout dat uit cavernes kan worden onttrokken, gegeven een bepaalde caverne omvang en toegestane afstand tussen cavernes onderling en tussen cavernes en de grens van het zoutvoorkomen[7]. Voor schattingen van het technisch winbare geologische wordt in dit rapport uitgegaan van een standaard caverne met een volume van 1 miljoen $m^3$ en een onderlinge afstand van 210 m (cavernewand tot cavernewand). Een dergelijke caverne levert ca. 2,2 miljoen ton zout.

In dit hoofdstuk wordt onderscheid gemaakt tussen **standaard steenzout** (NaCl of keukenzout of haliet) dat voor een breed spectrum van toepassingen wordt gewonnen, en het meer bijzondere en zeldzame **magnesiumzout** ($MgCl_2$ of magnesiumchloride) dat voor specifieke toepassingen in de industrie en landbouw wordt gebruikt.

## 7.2 Hoofdbevindingen

### Vraag naar steenzout

- De productie en verwerking van steenzout binnen de industrie is vrij constant en varieert - een enkele uitschieter daargelaten – tussen 6 en 7 miljoen ton zout, waarvan 0,25 miljoen ton in de vorm van magnesiumzout.
- Met het uitgangspunt dat dit beeld gelijk blijft, zal er tot 2050 opgeteld ca. 150 miljoen ton standaard steenzout nodig zijn en ca. 6-7 miljoen ton magnesiumzout.

### Steenzout voorraad en aanbod

- Standaard steenzout is ruimschoots aanwezig in de Nederlandse ondergrond en geologisch gezien is er geen schaarste. In theorie zou dit genoeg zijn om duizenden jaren te voorzien in de vraag. Indien winning wordt beperkt tot gebieden die technisch geschikt zijn voor aanleg van opslagcavernes, dan wordt het geologisch potentieel teruggebracht

[7] Buiten het zout dat uit cavernes kan worden gewonnen, is er nog een grote hoeveelheid zout die niet gewonnen kan worden en dus ook niet tot voorraad of aanbod wordt gerekend.

tot minder dan 1%, wat nog steeds voldoende zou zijn om tot ver na 2050 te voorzien in de vraag steenzout.

- De vastgestelde voorraad standaard steenzout binnen bestaande vergunningen, die momenteel aanbod genereert of waarvoor productie wordt voorbereid, voorziet in ca. driekwart van de totale geschatte vraag tot 2050. Volgens de huidige winningsplannen (toegekend en in procedure) zal deze voorraad tot ca. 2040-2045 aanbod genereren. Het (publieke) winningsplan voor magnesiumzout veronderstelt dat de ontwikkelde voorraad voldoende is om in de vraag tot 2040 - 2045 te voorzien.
- Uitgaande van een constante vraag van 6 miljoen ton steenzout per jaar zal er tussen 2040 en 2050 nog 38 miljoen ton extra steenzout uit voorwaardelijke of prospectieve voorraden tot ontwikkeling moeten worden gebracht. De nu bekende voorwaardelijke voorraden in bestaande winningsvergunningen zijn in principe ruim voldoende om dit aanbod te bieden (ca. 130 miljoen ton).
- Magnesiumzout is zeldzamer dan standaard steenzout en komt verspreid in overwegend dunne en discontinue lagen voor. Voor zover hier publieke verkenningen naar zijn uitgevoerd, zijn er geen andere voorkomens op land aangetoond waar dit zout zo puur en zo centraal in een doorlopende laag bij elkaar voorkomt als bij Veendam. Op basis van de informatie uit het winningsplan van Nedmag (NEDMAG, 2018) wordt aangenomen dat het voorkomen bij Veendam technisch gezien nog ruimte biedt voor aanvullende productielocaties die mogelijkerwijs tot na 2050 aanbod kunnen genereren.
- De evaluatie en ontwikkeling van nieuwe winningslocaties neemt in de regel minimaal 5 jaar in beslag voordat hier daadwerkelijk aanbod uit kan worden gegenereerd. Bovendien hebben cavernes in het beginstadium nog een beperkte omvang en zijn ze pas na enkele jaren in staat om op vol vermogen te produceren.
- Het jaarlijkse aanbod wordt bepaald door de vraag naar zout. Operators vragen in vergunningen in principe een hoeveelheid winning aan die afgestemd is op de maximale productiecapaciteit van de zoutverwerkende faciliteiten. Aanbod kan worden vergroot door deze capaciteit te vergroten. Dit gaat gepaard met forse investeringen.

### Ruimtelijke inpassing en aandachtspunten rond ontwikkeling

- Standaard steenzout komt over grote delen van de provincies Friesland, Groningen, Drenthe, Overijssel, Gelderland, Noord-Holland en Flevoland voor. Indien zoutwinning moet resulteren in cavernes die geschikt zijn voor opslag van gassen, dan zijn slechts enkele lokale voorkomens en structuren in beeld.
- Voor de winning van kalium- en magnesiumzout vormt het voorkomen bij Veendam een unieke locatie. Aanvullende kartering en opsporing kunnen eventueel nog nieuwe geschikte voorkomens aantonen maar de kans hierop is veel kleiner dan voor steenzout.
- De vraag naar opslagcavernes voor waterstof kan in de toekomst sturend worden voor de aanleg van nieuwe cavernes en zelfs de ontwikkeling van nieuwe zoutwinningslocaties.
- Eventuele nieuwe winningslocaties zullen via ingegraven pekelleidingen worden aangesloten op bestaande zout verwerkende installaties.

### Mijnbouweffecten en impact op omgeving

- Bodemdaling als gevolg van zoutwinning treedt in een gebied rond de winningslocatie op, waarbij de daling geleidelijk afneemt met toenemende afstand van de cavernes. Bij winning op grotere diepte (m.n. onder 2 km) zal bodemdaling tijdens winning optreden vanwege ‘zoutkruip, een proces waarbij het steenzout zich onder de hoge druk beweegt

in de richting van de caverne (Bollen & van Bree, 2024). Bij ondiepere cavernes zal in mindere mate enige bodemdaling optreden tijdens winning omdat de druk minder hoog is. Het merendeel van de bodemdaling treedt op na afsluiting van de caverne. De mate van bodemdaling hangt af van hoe de caverne wordt afgesloten. Indien cavernes worden ingezet als opslaglocatie, dan kan de bodemdaling voor lange tijd (decennia) worden uitgesteld (tot na sluiting van de opslag).

- Het is bekend dat lichte trillingen kunnen optreden bij zoutcavernes. Deze zijn in principe niet voelbaar en alleen registreerbaar met sensors.

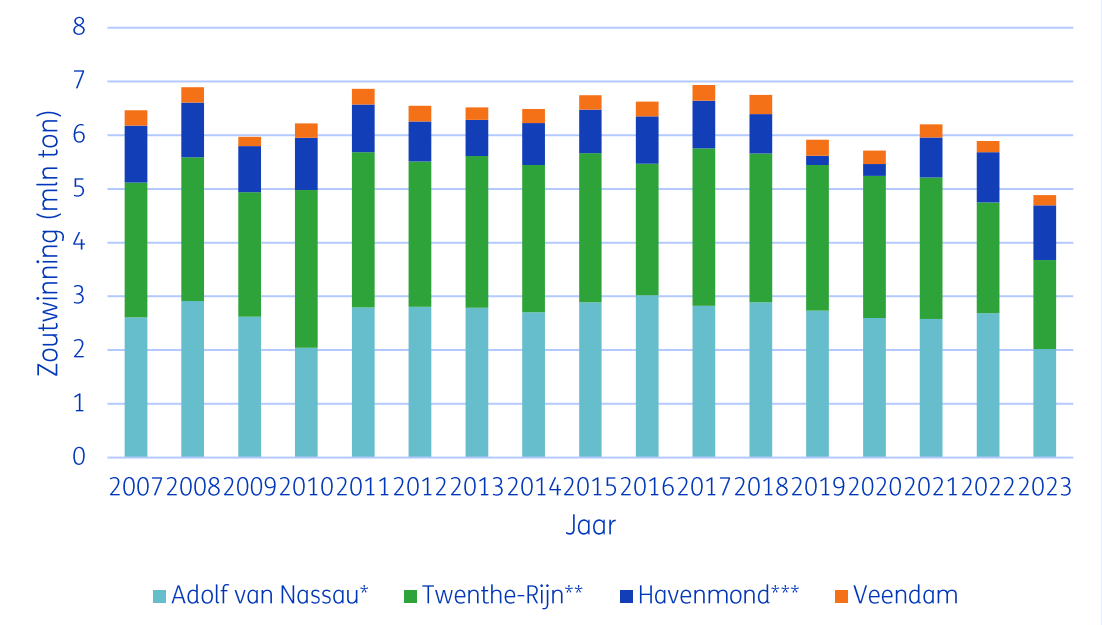
## 7.3 Kengetallen

Deze paragraaf geeft verdere details omtrent de kwantificering van vraag, voorraad en aanbod van standaard steenzout en magnesiumzout.

### 7.3.1 Huidig verbruik en toekomstige vraagscenario's

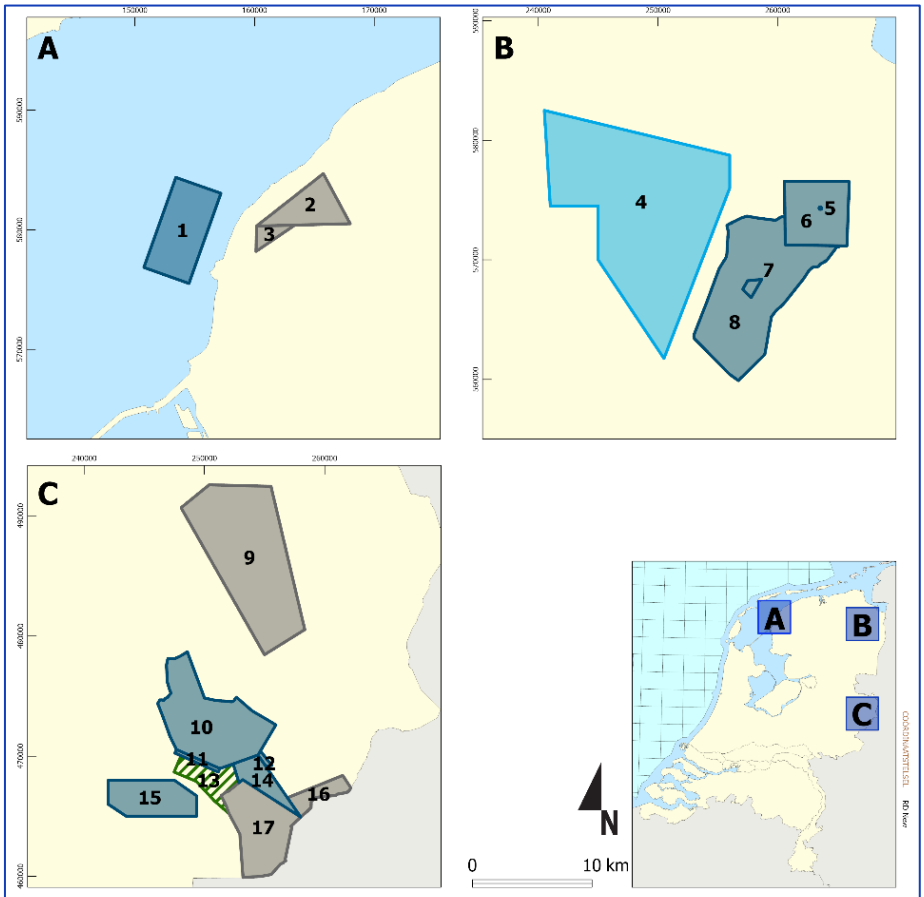
**Finaal verbruik en huidige productie**

- Wereldwijd staat Nederland op de elfde plaats van grootste producenten van steenzout (Bollen & van Bree, 2024). Binnen Europa is Nederland de een-na-grootste producent na Duitsland.
- De jaarlijkse productie van steenzout is direct gekoppeld aan de vraag naar zoutproducten. De totale jaarlijkse hoeveelheid gewonnen zout in de periode 2007 t/m 2023 varieert tussen de 6 en 7 miljoen ton per jaar (Figuur 7.1), met een enkele uitschieter in 2023 waar de productie lager dan 5,5 miljoen ton per jaar was als gevolg van een lagere vraag naar chloor (Jaarboek TNO, 2024) (Ministerie van Klimaat en Groene Groei, 2024). Ongeveer 0,25 miljoen ton van de jaarlijkse zoutproductie vindt plaats in de vorm van magnesiumzout (NEDMAG, 2018). De rest betreft standaard steenzout (keukenzout).




Figuur 7.1. Zoutproductie 2007 – 2023 (in miljoen ton). *Inclusief Uitbreiding Adolf van Nassau III. **Inclusief Uitbreiding Twenthe-Rijn, Twenthe-Rijn Helmerzijde en Twenthe-Rijn Oude Maten. ***Inclusief Barradeel I (laatste productie in 2020) en Barradeel II (laatste productie in 2021). Start productie Havenmond 2021.

- In Nederland produceren drie bedrijven actief zout. **Nobian** is de grootste producent met verschillende vergunningen in Groningen (Adolf van Nassau) en Overijssel (Twente-Rijn, Isidorushoeve). **Frisia** produceert zout uit voorkomens onder de Waddenzee in Friesland (Havenmond). **Nedmag** is de enige producent van magnesiumzout in Nederland (vergunning Veendam in Groningen). Het Duitse Salzgewinnungsgesellschaft Westfalen (SGW) houdt de winningsvergunning Zuid-Oost Enschede maar wint op dit moment geen zout in Nederland. Tenslotte zijn er nog de winningsvergunningen Buurse, Weerselo en Barradeel die momenteel geen producerende cavernes bevatten. Figuur 7.2 geeft de ligging van de verschillende vergunningsgebieden weer. Tabel 7.1 toont de namen van zoutstructuren en cavernevelden die verderop in het hoofdstuk worden genoemd.




Figuur 7.2. Vergunningen voor de winning van steenzout naar status in mei 2025. Bron: NLOG (Nederlandse Olie- en Gasportaal (NLOG)).

Tabel 7.1. Overzicht van winningsvergunningen en daarin voorkomende zoutstructuren en cavernevelden. ZE = Zechstein Groep, TR = Trias Röt Formatie.

| Vergunning | Operator | Zoutvoorkomen | Caverneveld | Status Caverneveld |
|---|---|---|---|---|
| Adolf van Nassau | Nobian | Winschoten (ZE) | Heiligerlee<br>Zuiderveld | Producerend<br>Evaluatie |
| | | Zuidwending (ZE) | Zuidwending<br>Zuidwending Oost | Producerend<br>Evaluatie |
| Twenthe-Rijn | Nobian | -- (TR) | Twenthe-Rijn<br>Helmerzijde<br>Oude Maten | Producerend<br>Producerend<br>Producerend |
| Buurse | Nobian | -- (ZE) | -- | Niet ontwikkeld |
| Weerselo | Nobian | -- (ZE) | -- | Niet ontwikkeld |
| Isidorushoeve | Nobian | Haaksbergen (ZE) | Haaksbergen | Productie start |
| Havenmond | Frisia | -- (ZE) | Havenmond | Producerend |
| Barradeel | Frisia | -- (ZE) | Barradeel | Uit productie |
| Veendam | Nedmag | Veendam (ZE) | Veendam | Producerend |
| Zuid-Oost Enschede | SGW | -- (ZE) | -- | Niet ontwikkeld |

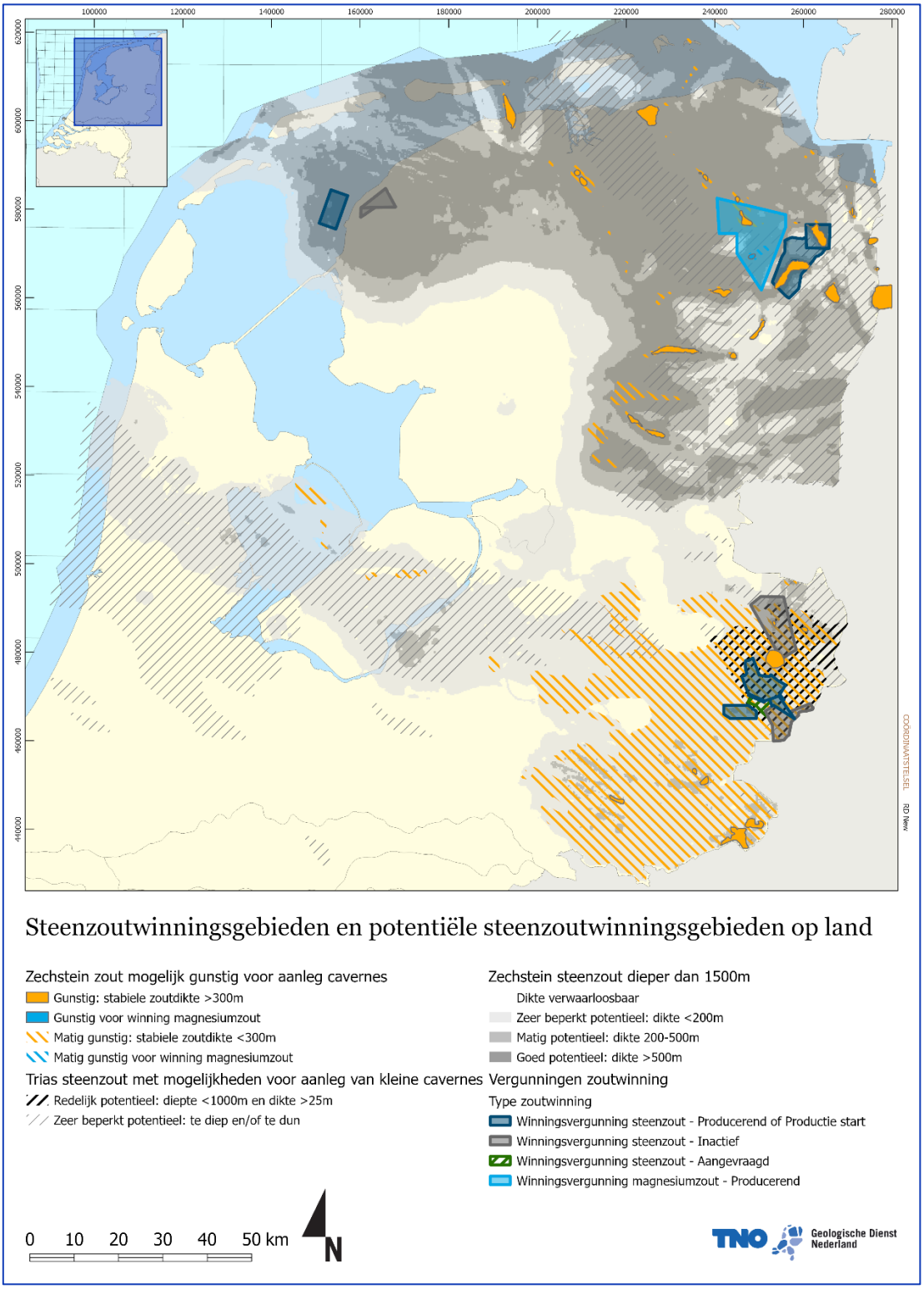
Toekomstige vraag steenzout

- Er zijn geen prognoses of andere inzichten bekend die erop wijzen dat de vraag naar steenzout in de nabije toekomst substantieel zal veranderen. Er zijn geen beleidsdoelen geformuleerd om zoutproductie te versnellen of af te bouwen. Voor het inschatten van de toekomstige vraag naar zowel gewoon steenzout als kalium- en magnesiumzout, wordt derhalve uitgegaan van een aangenomen continuering van het gemiddelde aanbod dat over de afgelopen 15 jaar is gerapporteerd.
- Met bovengenoemd uitgangspunt bedraagt de totale geschatte vraag naar standaard steenzout ca. 150 miljoen ton tussen nu en 2050. Van deze 150 miljoen ton is een groot gedeelte reeds vergund en vastgelegd in bestaande winningsplannen.
- Uitgaande van een gemiddelde productie van 0,25 miljoen ton magnesiumzout per jaar, zal de totale vraag naar magnesiumzout tot 2050 rond 6 tot 7 miljoen ton uitkomen.
- Er zijn vele factoren die de vraag naar steenzout in positieve of negatieve zin kunnen beïnvloeden zoals macro-economische ontwikkelingen en groei of krimp van de industrie. Wegens gebrek aan nader gedefinieerde scenario's en prognoses zijn deze onzekerheden niet meegenomen in deze studie.

## 7.3.2 Voorraad en aanbod

Overzicht van steenzoutvoorkomens (geologisch potentieel)

- Figuur 7.3 toont de verbreiding van steenzoutvoorkomens in de Nederlandse ondergrond welke geconcentreerd zijn in twee niveaus:
  - De Zechstein Groep met een verbreiding over grote delen van Noord Nederland en het noordelijke deel van de Nederlandse Noordzee. Steenzout is hierin over het algemeen zeer dik ontwikkeld met enkele structuren waar het zout verticaal over meerdere kilometers voorkomt.
  - De Trias Röt Formatie met een kleinere verbreiding een over noordelijke en oostelijke delen van Nederland. Dit betreft een vrij dun (max. 100m) gelaagd zoutpakket.

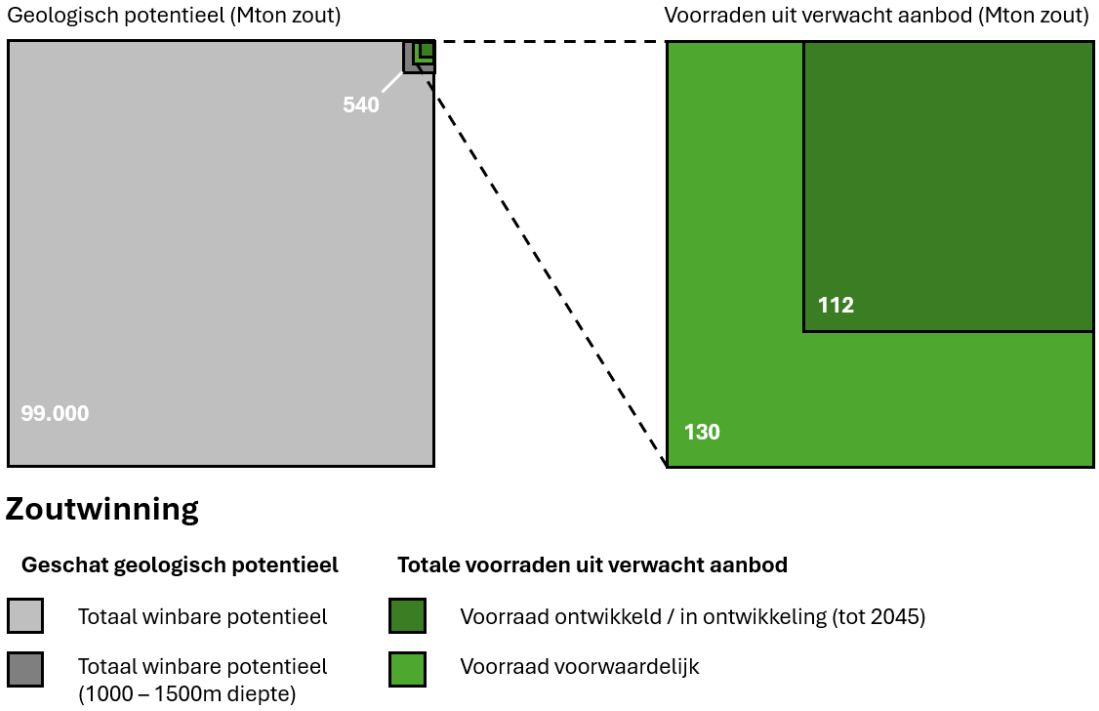



Figuur 7.3. Overzichtskaart met geologische verbreiding van steenzout, zoutvoorkomens die wellicht geschikt zijn voor aanleg van opslagcavernes en de huidige winningsvergunningen.

- De economische winbaarheid van steenzout hangt af van vele factoren, waaronder de diepteligging, de homogeniteit van het zoutpakket en het voorkomen van onoplosbare delen. Bij een grote diepteligging (> 2km), zullen de gevormde winningscavernes tijdens winning dichtdrukken (door zoutkruip) met bodemdaling als gevolg. Bij ondiepe(re) zoutvoorkomens blijven winningscavernes in stand of verloopt het zoutkruipproces veel trager (afhankelijk van hoe de caverne wordt afgesloten). In het diepte bereik tussen ca. 1000 en 1500, met een bandbreedte van een paar honderd meter, kunnen cavernes worden aangelegd die geschikt zijn voor opslag van gassen.

### Voorraad standaard steenzout

Figuur 7.4. toont een grafische weergave van de verhoudingen tussen de totale vastgestelde en voorwaardelijke voorraad standaard steenzout en het geologisch potentieel.




Figuur 7.4. Grafisch overzicht van het geologische (technisch winbare) potentieel aan steenzout in Nederland (links) en de verwachte voorraad uit vastgesteld en voorwaardelijk aanbod (rechts). De oppervlakten van verschillende groene vlakken geven de verhouding van vastgestelde, voorwaardelijke en prospectieve voorraad weer. De grijze vlakken representeren het geologische potentieel voor alle zoutvoorkomens (lichtgrijs) en voor specifieke zoutstructuren tussen 1.000-1.500 diepte waarin ook opslagcavernes kunnen worden aangelegd (donkergrijs). De getoonde waarden in het figuur representeren het aantal miljoenen tonnen zout..

### Vastgestelde voorraad en aanbod (standaard steenzout)

- Op basis van de data uit de openbare winningsplannen van de verschillende steenzoutvergunningsgebieden is berekend dat de vastgestelde voorraad standaard steenzout op dit moment 112 miljoen ton bedraagt (Tabel 7.2). Deze voorraad is in productie of productie wordt voorbereid. Voor 66 miljoen ton is de productie vastgelegd middels een goedgekeurd winningsplan. Voor de overige 46 miljoen ton is een winningsplan in procedure. Uitgaande van de winningsplannen zal deze voorraad tot ca. 2040-2045 aanbod genereren. Het vastgestelde aanbod is aanwezig in de volgende vergunningen
  - Nobian Adolf-Nassau (Zoutvoorkomens Zuidwending en Winschoten)

- Frisia Havenmond
- Nobian Twente-Rijn
- Nobian Isidorushoeve (zoutvoorkomen Haaksbergen)

➢ Uitgaande van de geschatte totale vraag naar steenzout tot 2050 (150 miljoen ton) zal er nog 38 miljoen ton aan aanbod moeten worden ontwikkeld uit voorwaardelijke voorraden en prospectieve voorraden binnen vergunde zoutvoorkomens of nieuw aan te vragen vergunningsgebieden.

Tabel 7.2. Overzicht van de geschatte vraag naar steenzout tot 2050, het vastgestelde aanbod en het resterende deel dat voor 2050 nog zou moeten worden ontwikkeld voor de geschatte vraag.

| Zoutvraag per jaar (miljoen ton) | Totale geschatte zoutvraag tussen 2025 en 2050 (miljoen ton) | Vastgesteld aanbod tot 2050 (miljoen ton) | Nog te ontwikkelen voorraad voor vraag tot 2050 (miljoen ton) |
|---|---|---|---|
| 6 | 150 | 112 | 38 |

### Voorwaardelijke voorraad en aanbod (standaard steenzout)

➢ De voorwaardelijke voorraad steenzout is de hoeveelheid steenzout die in reeds vergunde gebieden is aangetoond en waarbij de operator een evaluatie heeft uitgevoerd van het potentieel winbare zout. Het aanbod uit deze voorraad is o.a. afhankelijk van verdere ontwikkelplannen, investeringen en verlening van benodigde vergunningen en goedkeuringen.

➢ Er zijn alleen publieke gegevens m.b.t. de voorwaardelijke voorraad bekend over de winning uit vergunningen Adolf van Nassau (zoutvoorkomen Zuidwending en Winschoten) en Isidorushoeve (zoutvoorkomen Haaksbergen). Tabel 7.3 geeft een overzicht van de kentallen.

Tabel 7.3. Voorwaardelijke voorraad binnen de vergunningsgebieden Adolf van Nassau en Isidorushoeve.

| Vergunning / caverneveld | Aantal voorwaardelijke cavernes | Geschatte voorwaardelijke voorraad steenzout (miljoen ton) |
|---|---|---|
| Adolf van Nassau / Zuidwending-Oost | 14 | 30 |
| Adolf van Nassau / Zuiderveen | 10 | 22 |
| Isidorushoeve / Haaksbergen | 28 | 78 |
| *Totaal* | *74* | *130* |

➢ In het Milieueffectrapport van Nobian (Zoutwinning Haaksbergen (Royal HaskoningDHV, 2022)) wordt gemeld dat er in de betreffende winningsvergunning in totaal 36 cavernes kunnen worden aangelegd (totaal ca. 100 miljoen ton steenzout, Tabel 5-2 MER rapport (Royal HaskoningDHV, 2022)). Voor 8 cavernes is inmiddels goedgekeurd winningsplan beschikbaar. Deze worden tot vastgestelde voorraad gerekend. De overige 28 cavernes vertegenwoordigen een voorwaardelijke voorraad van ca. 78 miljoen ton steenzout.

➢ In het zuidelijke deel van het ontwikkelde zoutvoorkomen Winschoten (caverneveld Zuiderveen) wil Nobian in de toekomst 10 nieuwe winningscavernes aanleggen met een geometrisch eindvolume van 1 miljoen $m^3$. Dit komt overeen met een totale voorwaardelijke voorraad van ca. 22 miljoen ton steenzout. Er is nog geen tijdslijn die specificeert wanneer deze cavernes aanbod zullen leveren. Nobian geeft aan dat de cavernes niet voor opslagdoeleinden worden aangelegd.

- In het oostelijke deel van het ontwikkelde zoutvoorkomen Zuidwending (caverneveld Zuidwending-Oost) wil Nobian in de toekomst 14 nieuwe winningscavernes aanleggen met een geometrisch eindvolume van 1 miljoen $m^3$. Dit komt overeen met een totale voorwaardelijke voorraad van ca. 30 miljoen ton steenzout. Er is nog geen tijdslijn die specificeert wanneer deze cavernes aanbod zullen leveren. Nobian houdt er rekening mee dat de cavernes in de toekomst kunnen worden ingezet voor de opslag van gassen/energie. Er lijkt verdere potentie te zijn voor aanvullende cavernes in het zuidelijke deel van het zoutvoorkomen Zuidwending. Dit potentieel is niet verder gekwantificeerd maar zou naar schatting nog 10 a 20 cavernes kunnen herbergen (op basis van eerdere analyse ten behoeve van TNO/EBN, 2018 (van Gessel, Breunese, Larré, Huijskes, & Remmelts, 2018) en TNO/EBN, 2021 (van Gessel, Huijskes, Juez-Larré, & Dalman, 2021)).
- Binnen vergunningsgebied Havenmond is geen voorwaardelijke voorraad vastgesteld. Er wordt niet verwacht dat hier nog extra cavernes kunnen worden aangelegd. Dit hangt mede samen met politiek-maatschappelijke sentimenten rond mijnbouwactiviteiten onder de Waddenzee.
- Informatie over voorwaardelijke voorraden in de overige vergunningsgebieden voor zoutwinning is niet bekend of publiek toegankelijk.

Geologisch potentieel (standaard steenzout)

- Het geologisch potentieel aan technisch winbaar steenzout in overige (niet vergunde) zoutvoorkomens in Nederland is enorm. Binnen de huidige verkenning van steenzoutvoorkomens op land is een zeer grove analyse gedaan om een eerste orde inschatting te maken van dit potentieel. Wanneer er een winbaarheidscriterium (het inpassen van zoutcavernes) wordt toegepast op de totale oppervlakte van het gebied waar er minimaal 300 meter dik Zechstein aanwezig is in de ondergrond, dan resulteert dit in een technisch winbaar potentieel van 99.000 miljoen ton steenzout.
- Wanneer toekomstige ontwikkeling van zoutwinning wordt beperkt tot de lokale zoutstructuren waar cavernes kunnen worden aangelegd die geschikt zijn voor gasopslag dan resulteert dit in een technisch winbaar potentieel van ca. 540 miljoen ton steenzout, uitgaande van cavernes van 1 miljoen $m^3$ in het dieptebereik tussen 1000 – 1500 meter.
- Vanwege de lange aanlooptijden voor geologische evaluatie, proefboringen, aanvraag van vergunningen, etc. is het noodzakelijk om op tijd te starten met deze procedures. Als er nu wordt gestart met de procedures, is het redelijk om te veronderstellen dat benodigde cavernes technisch gezien rond 2045 in productie kunnen worden gebracht.

Voorraad en aanbod (kalium- en magnesiumzout)

- Het winningsplan Veendam uit 2018 vermeldt een totale vastgestelde voorraad van 3,7 miljoen ton magnesiumzout. Uitgaande van het huidige productieniveau, voorziet het winningsplan hiermee in een vastgesteld aanbod magnesiumzout tot ca. 2040.
- Voor de resterende jaren (2040-2050) zal aanvullend aanbod uit voorwaardelijke voorraad of prospectieve voorraad moeten worden gerealiseerd. Bij een continuering van de huidige vraag, komt dit neer op totaal 2,5 miljoen ton magnesiumzout bovenop de reeds vastgestelde voorraad (zie Tabel 7.4).
- De voorwaardelijke en prospectieve voorraad magnesiumzout is niet bekend. Op basis van de data in het winningsplan ligt het voor de hand dat er in theorie binnen het Veendam zoutkussen ruimte is voor aanvullende productieputten. Binnen de vergunning Veendam ligt nog een ander zoutkussen waarvan is vastgesteld dat hierin geen economisch winbare voorraden magnesiumzout voorkomen.

- Het geologisch potentieel magnesiumzout in overige delen van Nederland is niet bepaald. Hoewel het bekend is dat magnesiumzout verspreid voorkomt in grote delen van de Zechstein formatie, zijn er vanuit de publieke kartering, naast het zoutkussen Veendam, geen locaties bekend waarbij het voorkomen van magnesiumzout ook technische en economisch winbaar is. In veel gevallen zullen de voorkomens naar verwachting vrij dun, heterogeen en discontinu zijn wat de technische en economische winning verhindert.

Tabel 7.4. Aanbod magnesiumzout.

| | Aangetoonde voorraad (miljoen ton) | Jaarlijkse vraag (miljoen ton) | Aangetoond aanbod (jaar) | Voorwaardelijk aanbod (miljoen ton) | Voorwaardelijk aanbod (jaar) |
|---|---|---|---|---|---|
| Magnesiumzout | 3,7 | 0,25 | 15 | 2,5 | 10 |

# 8 Opslag van gassen

## 8.1 Definitie van vraag, voorraad en aanbod

Bij opslag van gassen worden de volgende definities gebruikt voor vraag, voorraad en aanbod:

**Vraag:** De vraag naar gasopslag wordt weergegeven als de totale energie-inhoud (PJ) van het werkgasvolume[8] dat op enig moment nodig is om energie aanbod en verbruik in het energiesysteem voor een bepaalde duur (uren, dagen, maanden) in balans te houden.

**Voorraad:** Dit betreft het beschikbare en operationele werkgasvolume (weergegeven als energie-inhoud, PJ) in bestaande zoutcavernes of in gasvelden die als opslaglocatie zijn ontwikkeld, dan wel het potentiële werkgasvolume dat mogelijk kan worden gerealiseerd in bestaande of nog aan te leggen zoutcavernes of in gasvelden die op termijn beschikbaar worden voor ontwikkeling van gasopslag.

**Aanbod:** Het aanbod representeert het werkgasvolume (weergegeven als energie-inhoud - PJ), dat binnen een bepaalde periode kan worden gerealiseerd tot een nieuwe (operationele) locatie voor gasopslag.

## 8.2 Hoofdbevindingen

Vraag naar gasopslag

- Aardgasopslag (UGS): De voorspelling is dat aardgasopslag nog maar beperkt nodig zal zijn in 2050 met een omvang in de orde van de huidige capaciteit in UGS-Zuidwending. In alle gevallen is het onwaarschijnlijk dat er nieuwe opslaglocaties voor aardgas nodig zijn. Zodra de bestaande opslagen uit bedrijf worden genomen, kan hieruit het kussengas[9] worden geproduceerd, wat kan resulteren in een substantiële verhoging van de bestaande aardgasvoorraad. Anderzijds kan worden overwogen om de aardgasopslagen om te bouwen tot opslag voor waterstof.
- Stikstofopslag: Er zijn geen prognoses omtrent de vraag naar stikstofopslag. De inzet van stikstofopslag zal grotendeels afhangen van de vraag naar laagcalorisch gas, die in de meeste scenario's sterk afneemt richting 2050. Het is onwaarschijnlijk dat nieuwe opslaglocaties voor stikstof nodig zijn.
- Waterstofopslag (UHS): Alle onderzochte energiescenario's voorspellen dat er vanaf 2030 vraag zal zijn grootschalige waterstofopslag in zoutcavernes en op termijn ook in uitgeproduceerde gasvelden. De recent gepubliceerde Nationale Agenda voor Ondergrondse Waterstofopslag (KGG, 2025) geeft een samenvatting van beschikbare nationale studies en vertaald deze naar een ondergrens en bovengrens voor de vraag

[8] Het werkgasvolume is het deel van het opgeslagen gas dat kan worden benut voor levering aan het energiesysteem en dat dus cyclisch wordt geïnjecteerd en geproduceerd.

[9] In een opslag zit, naast het werkgasvolume, ook nog een deel kussengas opgeslagen dat altijd in de opslag blijft zitten voor het onderhouden van een minimale druk die nodig is voor het functioneren van de opslag. Nadat de opslag uit bedrijf is genomen, kan dit kussengas eventueel nog worden geproduceerd.

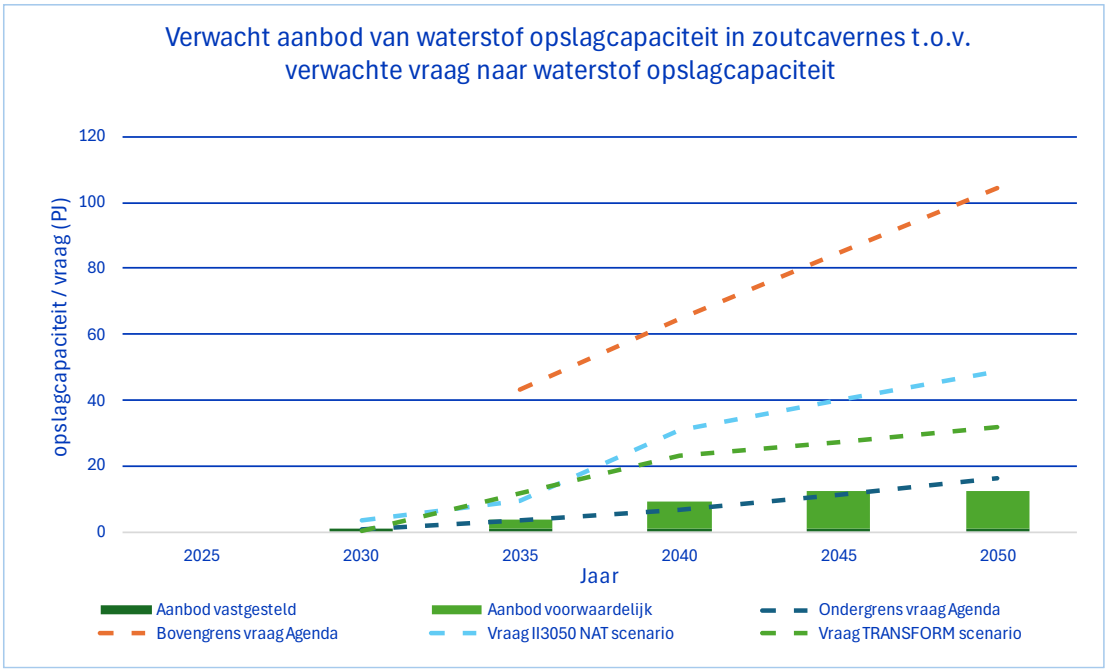
naar ondergrondse waterstofopslag. Deze samenvatting is gebruikt voor deze studie. Rond 2030 gaat het in alle gevallen om minimaal 1 zoutcaverne. De voorspellingen richting 2050 lopen na 2030 sterk uiteen waarbij de vraag naar ondergrondse waterstofopslag sterk zal afhangen van hoe de waterstofsector zich zal ontwikkelen (productie en type gebruik) en van de omvang van elektriciteitsproductie uit variabele bronnen zoals zon en wind.

- Persluchtopslag (CAES: Compressed Air Energy Storage): Persluchtsystemen zijn in staat om grote hoeveelheden elektrische energie op te slaan in zoutcavernes (vergelijkbaar met pomp-accumulatiesystemen in valmeren) maar leveren energetisch een kleinere opslagcapaciteit en vermogen dan een vergelijkbare caverne gevuld met waterstof of aardgas[10]. Persluchtopslag is geen noodzakelijke of unieke optie voor het borgen van leveringszekerheid, zoals dat wel het geval is bij ondergrondse opslag van aardgas en waterstof. Perslucht opslag vormt wellicht een interessant alternatief voor andere opslagtechnologieën op het elektriciteitsnet.

**Voorraad en aanbod van zoutcavernes voor opslag van waterstof**

- Omdat er geen toekomstige vraag is naar nieuwe opslaglocaties voor aardgas en stikstof, worden de voorraden en het aanbod van opslagcavernes alleen besproken in relatie tot de vraag naar waterstofopslag. Voor persluchtopslag geldt dat er gebruik wordt gemaakt van vergelijkbare cavernes en dat de aanleg dus van invloed is op het aanbod van zoutcavernes voor waterstofopslag.
- Nederland heeft geologisch gezien ruimschoots voldoende geologisch potentieel om opslagcapaciteit voor waterstof in zoutcavernes aan te leggen. In Groningen, Friesland en Drenthe zijn zo'n 13 locaties geïdentificeerd, waarvan er twee reeds worden ingezet voor aardgasopslag en stikstofopslag. Samen hebben deze locaties een technische potentie voor aanleg van meer dan 300 opslagcavernes. In enkele andere gebieden (o.a. oostelijke delen van Gelderland en Overijssel) zijn aanvullende potenties in beeld waar nadere verkenningsonderzoek kan resulteren in nog eens enkele tientallen cavernes. Verder zijn er op zee zoutstructuren die eventueel ruimte kunnen bieden voor enkele honderden cavernes.
- Het huidig vastgestelde en voorwaardelijke aanbod van opslagcavernes voor waterstof ligt momenteel alleen binnen het zoutvoorkomen van Zuidwending (zowel bestaande als nieuw aan te leggen cavernes). Vanaf 2031 kan een eerste caverne in bedrijf worden genomen. Indien alle (voorwaardelijke) plannen worden gerealiseerd, dan zouden er rond 2040 maximaal 19 opslagcavernes gereed kunnen zijn, waarvan 4 in Zuidwending Hystock, 9 in Zuidwending-Oost en ombouw van de 6 bestaande aardgas opslagcavernes in Zuidwending. De totale voorwaardelijke opslagcapaciteit is 4,0 TWh (14,4 PJ).Dit komt overeen met de ondergrens van de geprognotiseerde vraag naar waterstopopslag in de Nationale Agenda Ondergrondse Waterstofopslag (4-5 TWh in 2050) maar is nog steeds ruim onder de bovengrens (29 TWh) (zie Figuur 8.1).

[10] De hoeveelheid energie die een waterstof-gevulde caverne kan leveren kan tot een factor 100 groter zijn dan van een perslucht-gevulde caverne. De hoeveelheden hangen sterk af van het ontwerp en de technische specificaties.




Figuur 8.1: Het verwachte aanbod van ondergrondse waterstof opslagcapaciteit in zoutcavernes tegen de verwachte vraag naar waterstofopslag in de periode 2030 – 2050. De boven- en ondergrens van de vraag zijn afgeleid uit de Nationale Agenda Ondergrondse Waterstofopslag.

- Voor het realiseren van de bovengrens van gevraagde waterstofopslagcapaciteit kunnen de volgende opties worden ingezet:
  - Aanleggen van opslagcapaciteit in lege (uitgeproduceerde) gasvelden
  - Gebruik maken van opslagcapaciteit die in Duitsland wordt aangelegd (Buijs, et al., 2025). Hier richten meerdere projecten zich op de aanleg van waterstofopslag in zoutcavernes en is er tevens een veel groter geologisch potentieel.
  - Toestaan dat de pekel die vrijkomt bij aanleg van zoutcavernes kan worden geloosd. Hierdoor is er geen beperking meer door de capaciteit van zoutverwerking en kunnen cavernes sneller worden geloogd.

### Geologisch potentieel van gasvelden voor opslag van waterstof

- De technische mogelijkheden voor het opslaan van waterstof in lege gasvelden zijn nog in een stadium van onderzoek. In het buitenland worden enkele pilot- en demonstratieprojecten uitgevoerd met veelbelovende uitkomsten en in Nederland wordt momenteel gekeken naar de mogelijkheden om een demonstratieproject te ontwikkelen in de periode 2030-2035. Afhankelijk van de resultaten van demonstratie en verder onderzoek, zal het aanbod van volwaardige opslaglocaties voor waterstof in gasvelden pas op zijn vroegst tussen 2035 en 2040 tot stand komen.
- Eerdere verkenningen van TNO en EBN (van Gessel, Huijskes, Juez-Larré, & Dalman, 2021) (van Gessel, et al., 2022) en EBN (2025) (EBN, 2025) concluderen dat er op land en op zee ruim 140 gasvelden naar voren komen uit een eerste screening met een potentie voor opslag van waterstof. Indien de mogelijkheid voor ontwikkeling van waterstofopslag in gasvelden ook technisch bewezen is, betekent dit dat er technisch gezien ruimschoots voldoende keuze is om te voorzien in de verwachte vraag van maximaal 4-5 gasvelden.
- Naast gasvelden worden internationaal ook mogelijkheden onderzocht om gassen op te slaan in diepe (zoutwater-voerende) aquifers. Deze optie is voor Nederland nog niet

nader onderzocht en wordt gekenmerkt door grotere onzekerheden. In principe bieden gasvelden en zoutcavernes voldoende potentieel voor het bedienen van de toekomstige vraag.

Ruimtelijke inpassing en aandachtspunten (opslag in zoutcavernes)

- De ontwikkeling van opslagcavernes is gebonden aan de locaties waar steenzout wordt geproduceerd. Alhoewel er voor zoutwinning zelf sprake is van een ruimer prospectief gebied, is de mogelijkheid voor aanleg van opslagcavernes afgebakend door locatie-specifieke structuren binnen de verbeiding van steenzoutvoorkomens. Dit komt door specifieke eisen voor opslagcavernes (b.v. diepte, geometrie en kwaliteit van het zout).
- Om bovengenoemde redenen zijn zoutcavernes die in het verleden specifiek zijn aangelegd voor zoutwinning, in principe ongeschikt of ongunstig voor opslag van gassen. Dit betekent dat voor waterstofopslag nieuwe cavernes moeten worden aangelegd, of bestaande opslagcavernes moeten worden omgebouwd.
- Bestaande zoutcavernes bij Zuidwending die nu worden ingezet voor opslag van aardgas kunnen op termijn worden omgebouwd naar opslag voor waterstof. In dat geval worden deze aangesloten op de installaties die nu worden aangelegd en is er geen sprake van extra ruimtebeslag en zijn aanvullende mijnbouwwerkzaamheden zeer beperkt.
- Indien cavernes buiten de bestaande vergunningsgebieden voor zoutwinning worden aangelegd, zal er rekening moeten worden gehouden met lange doorlooptijden oplopend tot 15 jaar. Dit is nodig voor verkenningsonderzoeken, het plaatsen en onderzoeken van opsporingsboringen, het verkrijgen van vergunningen en de aanleg van infrastructuur die de locaties verbindt met zoutverwerkende installaties.
- Opslag van waterstof en ook perslucht neemt per eenheid opgeslagen elektrische energie beduidend minder bovengrondse ruimte in dan batterijsystemen. Verder is aanleg van ondergrondse opslag minder afhankelijk van kritische grondstoffen.

Mijnbouweffecten en impact op omgeving

- Aanleg van opslagcavernes zal gepaard gaan met bodemdaling op de langere termijn. Bodemdaling treedt m.n. op na het beëindigen van opslagactiviteiten. In de regel blijven opslagcavernes meerdere decennia in bedrijf.
- Met een juiste afstand tussen cavernes onderling en tussen cavernes en de grens van het zoutvoorkomen, is het onwaarschijnlijk dat de opslagactiviteiten interfereren met andere ondergrondse activiteiten. Het is wel zo dat er keuzes zijn m.b.t. het type opslag dat wordt aangelegd (bijv. waterstof vs. perslucht). In die zin kan er sprake van competitie rond de beschikbaarheid van cavernes indien het aanbod van opslagcavernes beperkt is.
- Voor verdere aandachtspunten en mijnbouweffecten ten aanzien van aanleg van zoutcavernes wordt verwezen naar Zoutwinning (Hoofdstuk 7)

Ruimtelijke inpassing en aandachtspunten (opslag in gasvelden)

- Zodra waterstofopslag in gasvelden bewezen en commercieel toepasbare technologie is, komt een ruimer gebied in beeld voor realiseren van aanbod. Dit biedt bijvoorbeeld de mogelijkheid om opslag nabij grote waterstofclusters zoals Rotterdam (voor de kust) te realiseren waar geen mogelijkheden voor aanleg van zoutcavernes zijn. Door hun grotere capaciteit kunnen gasvelden gemiddeld 10-30 zoutcavernes vervangen, wat niet alleen doorwerkt in een kleinere ruimtelijke voetafdruk, maar ook in een versnelde doorlooptijd voor ontwikkeling van gevraagde opslagcapaciteit voor waterstof. Verder kan de spreiding van opslaglocaties bijdragen aan een meer robuust energiesysteem (minder

kwetsbaar voor evt. uitval van een locatie) en kan de toekomstige waterstofbackbone meer regionaal worden gereguleerd met opslag.

- Indien waterstofopslag in gasvelden op zee wordt ontwikkeld, dan kan dit eventueel concurreren met de ruimte voor opslag van $CO_2$ alhoewel de laatste vooral naar grotere volumes kijkt dan bij waterstofopslag het geval is. Op land zijn er, naast de her-injectie van formatiewater[11], geen andere activiteiten voorzien in uitgeproduceerde gasvelden.

# 8.3 Kengetallen

## 8.3.1 Huidige inzet van gasopslagen

### Huidige inzet van gasopslagen

- Sinds 1997 zijn er in Nederland vijf (UGS) locaties in bedrijf. Vier daarvan slaan aardgas op in gasvelden en één locatie slaat aardgas op in zoutcavernes (Tabel 8.1). De UGS locaties Norg en Grijpskerk (beide laagcalorisch gas in gasvelden) bedienen vooral de seizoensgebonden (warmte)vraag. UGS Alkmaar heeft een relatief klein opslagvolume binnen een gasveld en wordt ingezet voor piekvraag naar laagcalorisch gas. UGS Bergermeer (gasveld) heeft een seizoensgebonden injectie- en productieprofiel maar wordt ingezet om de verschillende afnemers van hoogcalorisch gas (markt derden) te bedienen. De UGS locatie Zuidwending slaat laagcalorisch aardgas op in 6 zoutcavernes en is eveneens bedoeld om piekvragen van één of meerdere dagen op te vangen.

Tabel 8.1. Werkvolumes van gasopslagen in Nederland.

| Opslaglocatie | Type opslag | Type gas | Werkvolume miljard $Nm^3$ | Werkvolume PJ |
|---|---|---|---|---|
| Alkmaar | Gasveld | L-gas | 0,5 | 17,6 |
| Bergermeer | Gasveld | H-gas | 4,9 | 172,3 |
| Zuidwending | 6 Zoutcavernes | L-gas | 0,4 | 14,1 |
| Grijpskerk | Gasveld | L-gas | 2,4 | 84,4 |
| Norg | Gasveld | L-gas | 5,9 | 207,5 |

- Naast de ondergrondse opslagen voor aardgas, is er één locatie (UGS Heiligerlee) met een caverne voor opslag van stikstof. Deze opslag wordt gebruikt om verzekerd te zijn van voldoende stikstof voor het omzetten van hoogcalorisch aardgas naar laagcalorisch (Groningen kwaliteit) aardgas.
- De huidige inzet van de aardgasopslagen is nauw verbonden met de gasleveringszekerheid in Nederland. Na de definitieve sluiting van het Groningengasveld en het stopzetten van de Russische gasleveringen via pijpleidingen, bevindt deze zich nu in een andere dynamiek. Een van de maatregelen die het kabinet heeft genomen om de leveringszekerheid zo goed mogelijk te borgen is het instellen van een minimale, gemiddelde vulgraad van de gasopslagen van 90% op 1 november 2024 (Jetten, 2024). Dit gegeven, in combinatie met de oproep van Gasunie Transport Services (GTS) om de resterende capaciteit te gebruiken voor het aanleggen van een noodvoorraad (GTS, 2024), maakt dat we in deze studie stellen dat vraag en aanbod in balans zijn.

[11] Bij winning van aardgas en aardolie kan mogelijk diep formatiewater worden mee geproduceerd. In de regel wordt dit formatiewater weer teruggebracht in het gasveld waaruit gewonnen wordt, of geïnjecteerd in een nabijgelegen gasveld.

## 8.3.2 Toekomstige vraag naar gasopslag

**Toekomstige vraag naar opslagcapaciteit voor aardgas (UGS)**

- In de meeste onderzochte energiescenario's daalt het aandeel aardgas in het energiesysteem richting 2050 (zie Hoofdstuk 4). In de scenario's TRANSFORM en TVKN SR20 speelt aardgas na 2050 geen rol van betekenis meer en in het II3050 NAT scenario is er sprake van een zeer beperkte aandeel aardgas in de energievoorziening. In het ADAPT scenario zal er na 2050 nog substantieel aardgas worden verbruikt (ongeveer de helft van het verbruik in 2024).
- Alleen de II3050 studie rapporteert een analyse van de toekomstige vraag naar aardgasopslag. Hieruit blijkt dat vanaf 2030 de vraag in alle scenario's substantieel daalt, zoals hier weergegeven voor het II3050 NAT scenario (Tabel 8.2). De voorspelde resterende vraag naar aardgasopslag in 2050 is in dit scenario vergelijkbaar met de bestaande opslagcapaciteit in UGS Zuidwending en Rotterdam LNG terminal bij elkaar.
- Voor TRANSFORM en TVKN SR20 kan redelijkerwijs worden aangenomen dat aardgasopslag niet meer nodig is. Voor ADAPT zal de omvang van aardgasopslag in 2050 tussen huidig niveau en het voorspelde niveau in II3050 NAT liggen.
- Het is belangrijk te vermelden dat de inschattingen van de energiesysteemstudies niet zijn gebaseerd op een volwaardige analyse van leveringszekerheid. Uit een dergelijke analyse kan blijken dat de vraag naar opslag tussen 2030 en 2035 afwijkt van de hier gepresenteerde informatie. Dit hangt mede af van geopolitieke ontwikkelingen en de invloed daarvan op de (inter)nationale gasmarkt.

Tabel 8.2. Verwachte vraag Nederlandse ondergrondse gasopslagen in PJ volgens het II3050 NAT energiescenario.

| Jaar | 2030 | 2035 | 2040 | 2050 |
|---|---|---|---|---|
| Verwachte vraag aardgasopslag (PJ) | 130 | 96 | 49 | 18 |

**Toekomstige vraag naar opslagcapaciteit voor waterstof (UHS)**

- Voor de vraag naar waterstofopslag wordt uitgegaan van de schattingen en profielen die zijn opgesteld voor de "Nationale Agenda Ondergrondse Waterstofopslag" (KGG, 2025). De uitgangspunten van de gepresenteerde schattingen in deze visie zijn onderbouwd door een aantal andere studies waaronder TNO/EBN 2021, TNO 2023 (TNO-AGE, 2023), TNO 2024 (Scheepers, et al., 2024), Common Futures, ongepubliceerd (Common Futures, 2024), en CE-Delft (Delft & Bos, 2024) en Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025 (Netbeheer 2025). Deze lijst omvat meerdere scenario's die niet zijn benoemd of gebruikt in Hoofdstuk 3 en de hoofdstukken over aardgas, aardolie en aardwarmte. Sommige van de scenario's in de Nationale Agenda Ondergrondse Waterstofopslag zijn specifiek gericht op waterstofopslag en andere vormen van energieopslag.
- De Nationale Agenda Ondergrondse Waterstofopslag presenteert een prognose voor de toekomstige vraag op basis van een ondergrens en een bovengrens (zie Figuren 8.1 en 8.2 en Tabel 8.3). Deze grenzen representeren de minimale en maximale waarde van alle schattingen in onderzochte scenario's die beschikbaar zijn voor een gegeven jaar. In 2030 berekenen beide prognoses een opslagbehoefte van maximaal 0,25 TWh (0,9 PJ) wat overeenkomt met de opslagcapaciteit van één zoutcaverne[12]. Volgens het profiel van de

[12] Uitgaande van een opslagcaverne met een geometrisch volume van 1 miljoen $m^3$ en een diepteligging tussen 1000 en 1500 meter.

ondergrens neemt de opslagbehoefte daarna geleidelijk toe tot een waarde van 4-5 TWh (16-18 PJ) in 2050. Dit komt overeen met de opslagcapaciteit van 17-20 zoutcavernes.

- Het profiel voor de bovengrens wijkt hier sterk van af en stijgt in 2035 al tot een waarde van ca. 12 TWh (43 PJ). Daarna zet de stijging door tot 29 TWh (104 PJ) in 2050. Indien Nederland zelf in deze capaciteit wil voorzien, dan zal dat betekenen dat enkele tientallen cavernes en meerdere gasvelden moeten worden ontwikkeld tot opslaglocatie voor waterstof.

Tabel 8.3. Verwachte vraag naar ondergrondse opslagcapaciteit voor waterstof in TWh en PJ op basis van de ondergrens en bovengrens gepresenteerd in de Nationale Agenda Ondergrondse Waterstofopslag (KGG, 2025) en de scenario's II3050-NAT en TRANSFORM.

| | Scenario | 2030 | 2035 | 2040 | 2050 |
|---|---|---|---|---|---|
| Verwachte vraag waterstof opslag (TWh) | Ondergrens | 0,25 TWh | 1 TWh | 1,5 TWh | 4,5 TWh |
| | Bovengrens | | 12 TWh | 18 TWh | 29 TWh |
| | II3050 NAT | 0,9 TWh | 2,6 TWh | 8,5 TWh | 13,5 TWh |
| | TRANSFORM | 0,03 TWh | 3,2 TWh | 6,4 TWh | 8,8 TWh |
| Verwachte vraag waterstof opslag (PJ) | Ondergrens | 0,9 PJ | 3,6 PJ | 5,4 PJ | 16 PJ |
| | Bovengrens | | 43 PJ | 65 PJ | 104 PJ |
| | II3050NAT | 3,3 PJ | 9,3 PJ | 30,7 PJ | 48,9 PJ |
| | TRANSFORM | 0,1 PJ | | 23,2 PJ | 31,5 |

### Toekomstige vraag naar opslag van perslucht

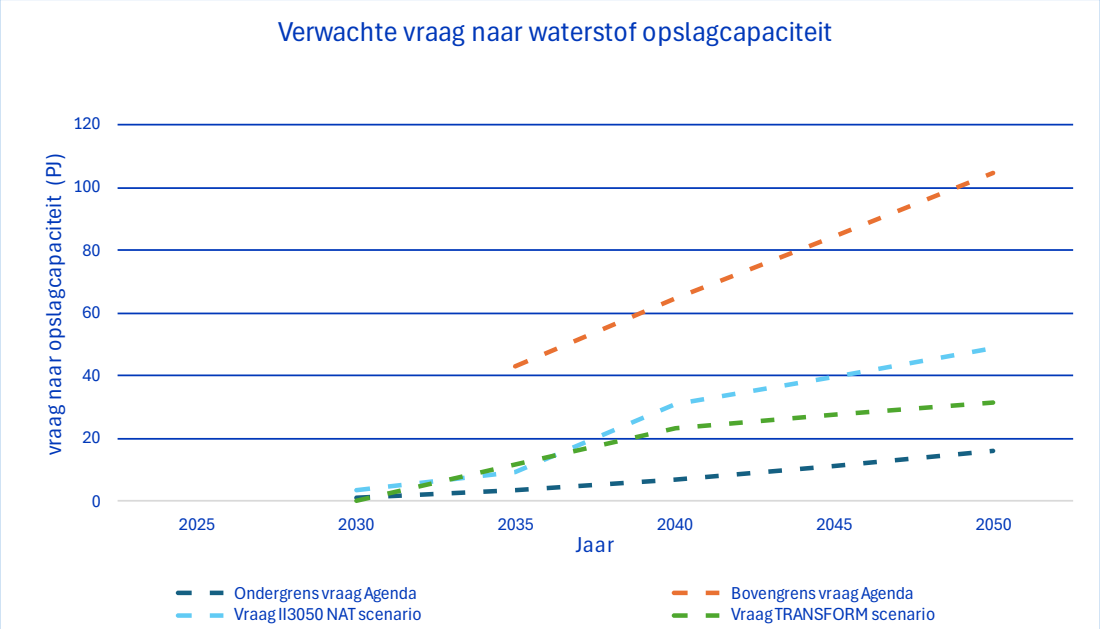
Er zijn geen beleidsscenario's die duiden op een noodzakelijke inzet van perslucht in het toekomstige energiesysteem. Een enkel onderzocht scenario voorziet wel de inzet van een persluchtopslag als een technisch en economisch aantrekkelijke optie om flexibele diensten binnen het elektriciteitsnet te bieden. Perslucht opslag vormt wellicht een interessant alternatief voor andere opslagtechnologieën op het elektriciteitsnet zoals bijvoorbeeld grootschalige batterijsystemen en bieden voordelen door de relatief lage aanlegkosten per eenheid opslagcapaciteit en door het combineren van diensten op het elektriciteitsnet zoals bijvoorbeeld arbitrage, frequentie-regulering, reservevermogen, herstart na black-out en het balanceren van kort-cyclische variaties in aanbod en vraag van elektriciteit. Mede om die redenen kunnen persluchtsystemen worden geselecteerd in energiesysteemscenario's. Verschillende initiatieven in Nederland en omringende landen (o.a. Duitsland en Denemarken), onderzoeken de inzet op regionaal niveau op het hoogspanningsnet.

### Toekomstige vraag naar stikstofopslag

De bestaande stikstofopslag bij Heiligerlee is verbonden met de stikstofinstallatie te Zuidbroek. Deze faciliteit is bedoeld om voldoende stikstof te hebben voor bijmenging in hoogcalorisch aardgas en daarmee gas te verkrijgen van dezelfde kwaliteit als het (laagcalorische) Groningen-gas. De stikstofopslag heeft een werkgasvolume van 36,6 miljoen $m^3$ stikstofgas.

De vraag naar opslag van stikstof t.b.v. conversie van hoogcalorisch gas naar laagcalorisch gas, is o.a. afhankelijk van de ontwikkeling van duurzame energie en daarmee de afbouw van vraag naar fossiele brandstoffen. Verder speelt de ombouw van laagcalorisch gas naar hoogcalorisch gas in het buitenland ook een belangrijke rol. Bij alle scenario's is er in ieder geval tot 2050 sprake van vraag naar aardgas, waarbij niet wordt aangegeven of het om laag- of hoogcalorisch gas gaat. Bij het II3050 NAT scenario en het TNO ADAPT scenario is er

ook na 2050 nog vraag naar aardgas. De vergunning voor de bestaande stikstofopslag loopt door tot 2079. Het is niet aannemelijk dat er vraag komt naar meer opslagcapaciteit voor stikstof.




Figuur 8.2. Prognose van de ontwikkeling van de gevraagde waterstof opslagcapaciteit (bron: Nationale Agenda Ondergrondse Waterstofopslag (KGG, 2025) en de scenario's II3050-NAT en TRANSFORM. De onder- en bovengrens van de Nationale Agenda zijn gebaseerd op verschillende studies en onderliggende scenario's: ((TNO & EBN, 2021), (TNO, 2023b), (TNO, 2024), (Netbeheer Nederland, 2025), (Common Futures, 2023), (CE Delft, 2024)

### Toekomstige vraag naar stikstofopslag

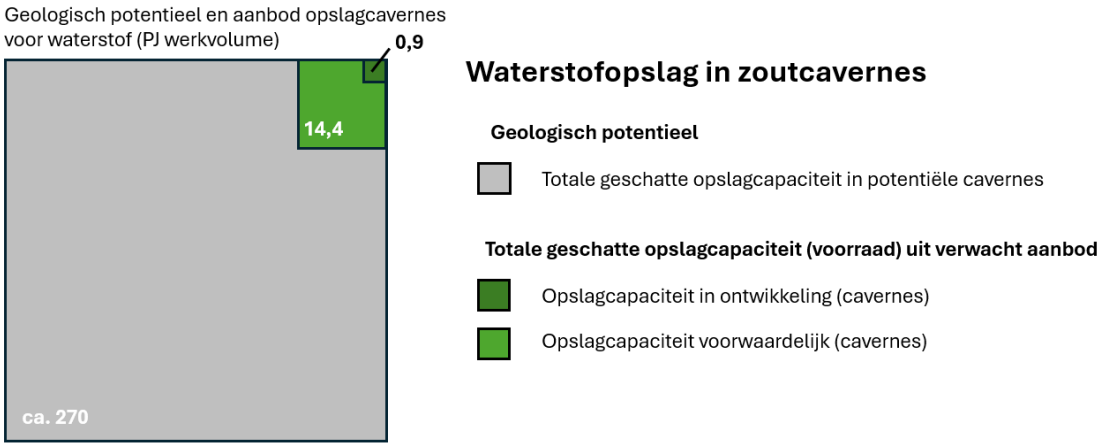
De bestaande stikstofopslag bij Heiligerlee is verbonden met de stikstofinstallatie te Zuidbroek. Deze faciliteit is bedoeld om voldoende stikstof te hebben voor bijmenging in hoogcalorisch aardgas en daarmee gas te verkrijgen van dezelfde kwaliteit als het (laagcalorische) Groningen-gas. De stikstofopslag heeft een werkgasvolume van 36,6 miljoen $m^3$ stikstofgas.

De vraag naar opslag van stikstof t.b.v. conversie van hoogcalorisch gas naar laagcalorisch gas, is o.a. afhankelijk van de ontwikkeling van duurzame energie en daarmee de afbouw van vraag naar fossiele brandstoffen. Verder speelt de ombouw van laagcalorisch gas naar hoogcalorisch gas in het buitenland ook een belangrijke rol. Bij alle scenario's is er in ieder geval tot 2050 sprake van vraag naar aardgas, waarbij niet wordt aangegeven of het om laag- of hoogcalorisch gas gaat. Bij het II3050 NAT scenario en het TNO ADAPT scenario is er ook na 2050 nog vraag naar aardgas. De vergunning voor de bestaande stikstofopslag loopt door tot 2079. Het is niet aannemelijk dat er vraag komt naar meer opslagcapaciteit voor stikstof.

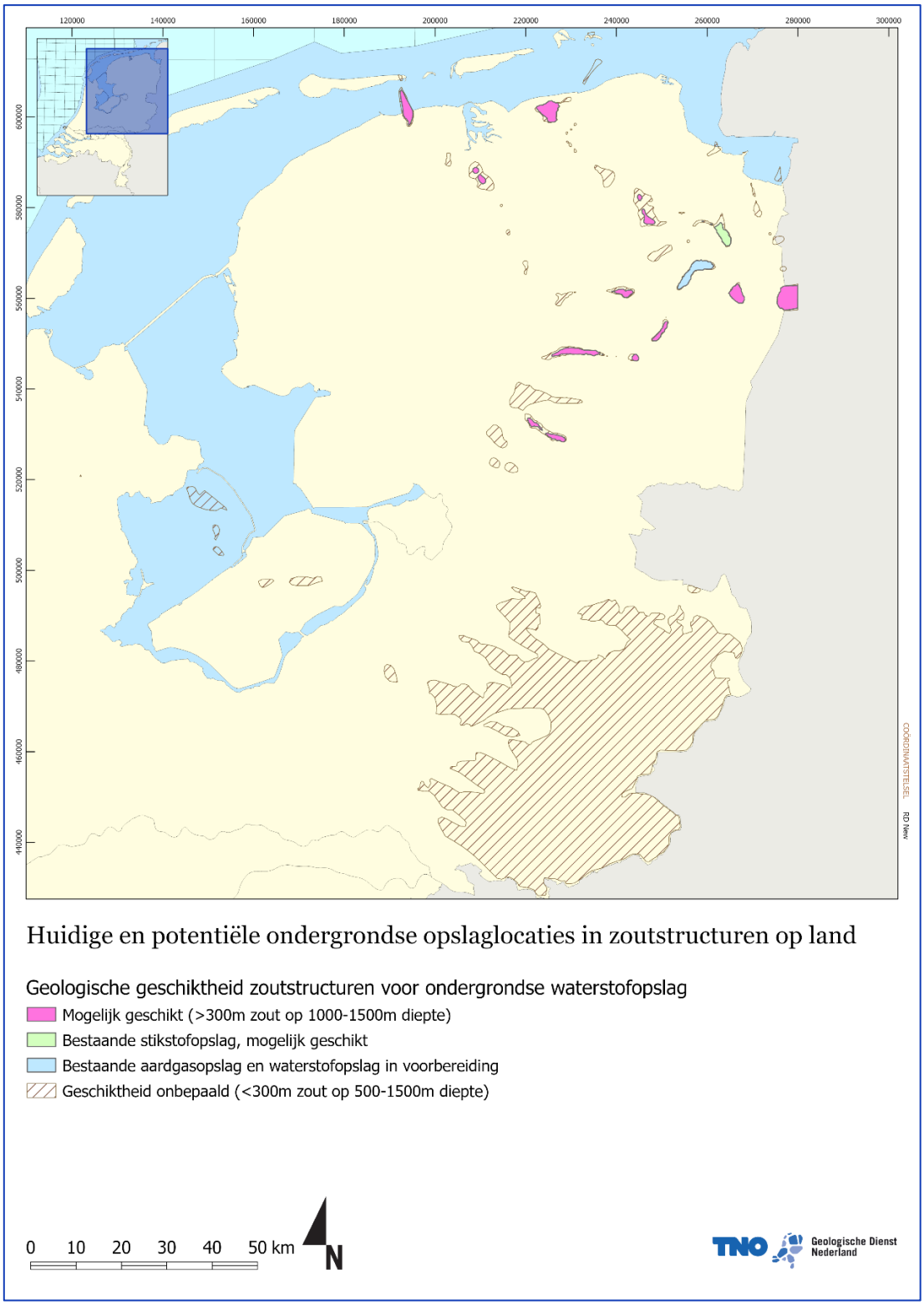
## 8.3.3 Voorraad en aanbod zoutcavernes voor opslag

Overzicht van potentieel voor gasopslag in zoutcavernes

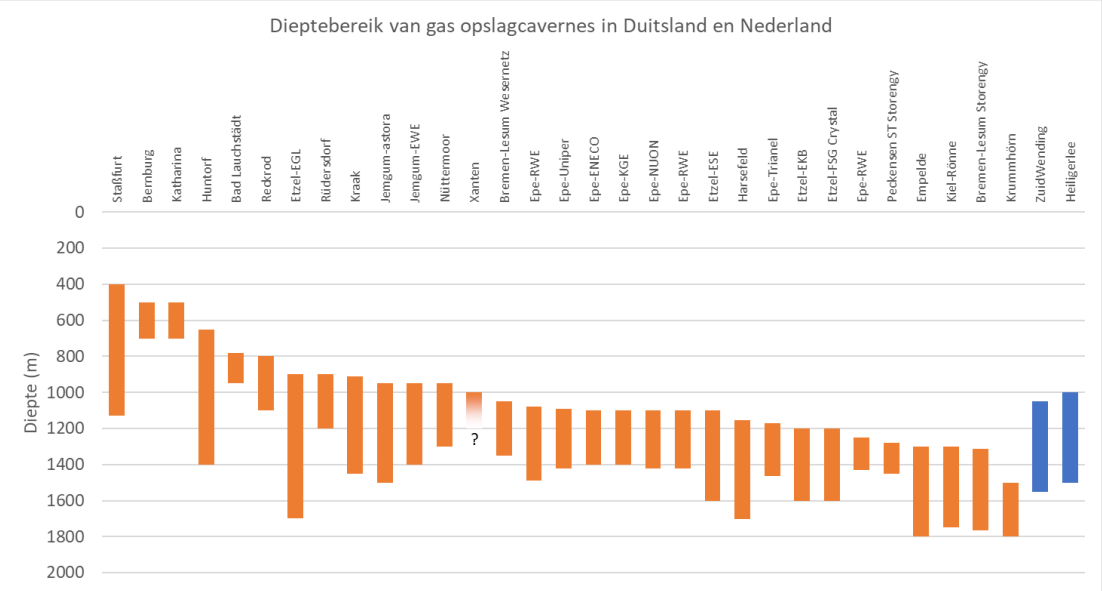
- De kaart in Figuur 8.4 toont de ligging van zoutstructuren op land die geschikt zijn voor het aanleggen van zoutcavernes die geschikt zijn voor opslag van gassen. In twee structuren op land (bij Zuidwending en Heiligerlee) worden reeds zoutcavernes ingezet voor opslag van aardgas en stikstof. Gegevens volgen uit geologische verkenningen die tussen 2018 en 2024 door TNO en EBN zijn uitgevoerd (van Gessel, Breunese, Larré, Huijskes, & Remmelts, 2018; van Gessel, Huijskes, Juez-Larré, & Dalman, 2021; van Gessel, et al., 2022).
- De getoonde locaties in het overzicht zijn in principe geschikt voor de aanleg van cavernes waarin aardgas, stikstof, waterstof of perslucht kan worden opgeslagen. Omdat er voor aardgas, stikstof en perslucht geen specifieke vraag of noodzaak is vastgesteld voor aanleg van nieuwe locaties, zal de evaluatie van opslag voorraad en aanbod in de volgende paragrafen alleen voor waterstof worden gepresenteerd. Indien er toch andere vormen van opslag binnen dit aanbod worden aangelegd, dan gaat dat ten koste van de mogelijkheden om waterstof aan te leggen.
- Het standaard uitgangspunt voor de geologische verkenning is dat cavernes binnen het dieptebereik van 1000 – 1500 meter worden aangelegd met een geometrisch volume van 1 miljoen $m^3$. Bij dit uitgangspunt is er in de regel sprake van een gunstig compromis tussen enerzijds het realiseren van een stabiele cavernevorm en anderzijds het opslaan van gas onder hoge druk waarmee een groot werkvolume en een hoge uitzendcapaciteit kunnen worden gerealiseerd. Dit resulteert in cavernes met een waterstofopslagcapaciteit van ca. 0,25 TWh (0,9 PJ) (Figuur 8.3).
- In de praktijk kunnen opslagcavernes ook enkele honderden meters dieper of ondieper worden aangelegd. Een overzicht van dieptes van bestaande (m.n. aardgas) opslagcavernes in Nederland en Duitsland is weergegeven in Figuur 8.5. Bij een ondiepere ligging zal opslag onder lagere druk plaatsvinden en zijn volumes en uitzendcapaciteit lager. Op grotere dieptes is er meer kans op vervorming van de caverne door zoutkruip, maar kan het gas mogelijkerwijs ook onder nog hogere druk worden opgeslagen.




Figuur 8.3. Overzicht van het geologische potentieel voor aanleg van cavernes waarin waterstof kan worden opgeslagen (grijs) en de verwachte voorraad aan waterstofopslagcapaciteit tot 2040 o.b.v. vastgestelde en voorwaardelijk te ontwikkelen cavernes. De waarden geven de opslagcapaciteit in petajoule (PJ) weer uitgaande van een maximale opslagcapaciteit van 0,9 PJ (0,25 TWh) per caverne.




Figuur 8.4. Overzicht van mogelijk geschikte zoutvoorkomens en structuren voor aanleg van opslagcavernes.




Figuur 8.5. Overzicht van het dieptebereik van opslagcavernes in Duitsland en Nederland. De twee blauwe staven representeren de bestaande Nederlandse gasopslag cavernes. De bron voor gegevens over Duitse cavernes is LBEG 2023, Untertage-Erdgasspeicherung in Deutschland (LBEG, 2024).

### Koppeling tussen aanbod van opslagcavernes en zoutwinning

- Binnen het bestaande wettelijke kader is de aanleg van zoutcavernes gekoppeld aan de winning van steenzout. Als sec naar de jaarlijkse productiecapaciteit van steenzout wordt gekeken en er geen rekening wordt gehouden met de doorlooptijd voor ontwikkelen van nieuwe locaties en het aanvragen van vergunningen, dan zouden er tot 2050 in theorie maximaal 60 nieuwe cavernes met een geometrisch volume van 1 miljoen $m^3$ kunnen worden aangelegd (TNO-AGE, 2023). Dit komt overeen met een waterstofopslagcapaciteit van 15 TWh ofwel 54 PJ.
- Wanneer de doorlooptijd voor opsporing en ontwikkeling van nieuwe locaties wordt meegenomen, dan wordt het aanbod beperkt tot 16-28 cavernes tussen nu en 2040. Dit is gelijk aan een waterstofopslagcapaciteit van 4 - 7 TWh (ca. 14-25 PJ). Voor de bovengrens (tot 28 cavernes) zal de productiecapaciteit van bestaande zoutverwerkende faciliteiten moeten worden uitgebreid.
- De snelheid van aanbod van opslagcavernes kan worden vergroot wanneer de koppeling met de zoutmarkt wordt losgelaten en het op grond van Mijnbouwwetgeving en milieuwetgeving mogelijk wordt om de vrijkomende pekel bij aanleg van cavernes te lozen. In dat geval zijn er geen strikte randvoorwaarden meer voor de kwaliteit en verzadiging van gewonnen pekel en kan de tijd voor aanleg van cavernes met enkele jaren worden verkort.
- Een overzicht van vastgesteld en voorwaardelijk aanbod en het geologisch potentieel voor waterstofopslagcapaciteit in zoutcavernes is weergegeven in Tabel 8.4. De schattingen worden toegelicht in de volgende paragrafen.

Tabel 8.4. Overzicht van vastgestelde, voorwaardelijke en prospectieve voorraden en aanbod van waterstofopslagcapaciteit in zoutcavernes in Nederland.

| | | Aanbod opslagcapaciteit | | | Geologische potentie |
|---|---|---|---|---|---|
| Locatie | Aantal cavernes | Vastgesteld 2031 | Voorwaardelijk 2030 -2035 | Voorwaardelijk 2035 – 2040 | Mogelijke opslag-capaciteit >2040 |
| Zuidwending Hystock | 1 | 0,9 PJ (0,25 TWh) | | | |
| Zuidwending Hystock | 3 | | 2,7 PJ (0,75 TWh) | | |
| Zuidwending-Oost | 9 | | | 8,1 PJ (2,25 TWh) | |
| Zuidwending UGS | 6 | | | 3,6 PJ (1,0 TWh) | |
| 13 structuren in Groningen, Drenthe en Friesland | ca. 300 | | | | 270 PJ (75 TWh) |

### Vastgestelde voorraad en aanbod (waterstofopslag)

- Nobian heeft bij UGS Zuidwending één caverne aangelegd die Gasunie momenteel voorbereidt voor de opslag van waterstof. Deze locatie wordt gerekend tot vastgesteld aanbod. De caverne wordt naar verwachting rond 2031 in gebruik genomen (Het HyStock project, grootschalige ondergrondse opslag van waterstof, 2025). Er zijn verder geen projecten in Nederland die gerekend kunnen worden tot het vastgestelde aanbod.

### Voorwaardelijke voorraad en aanbod (waterstofopslag)

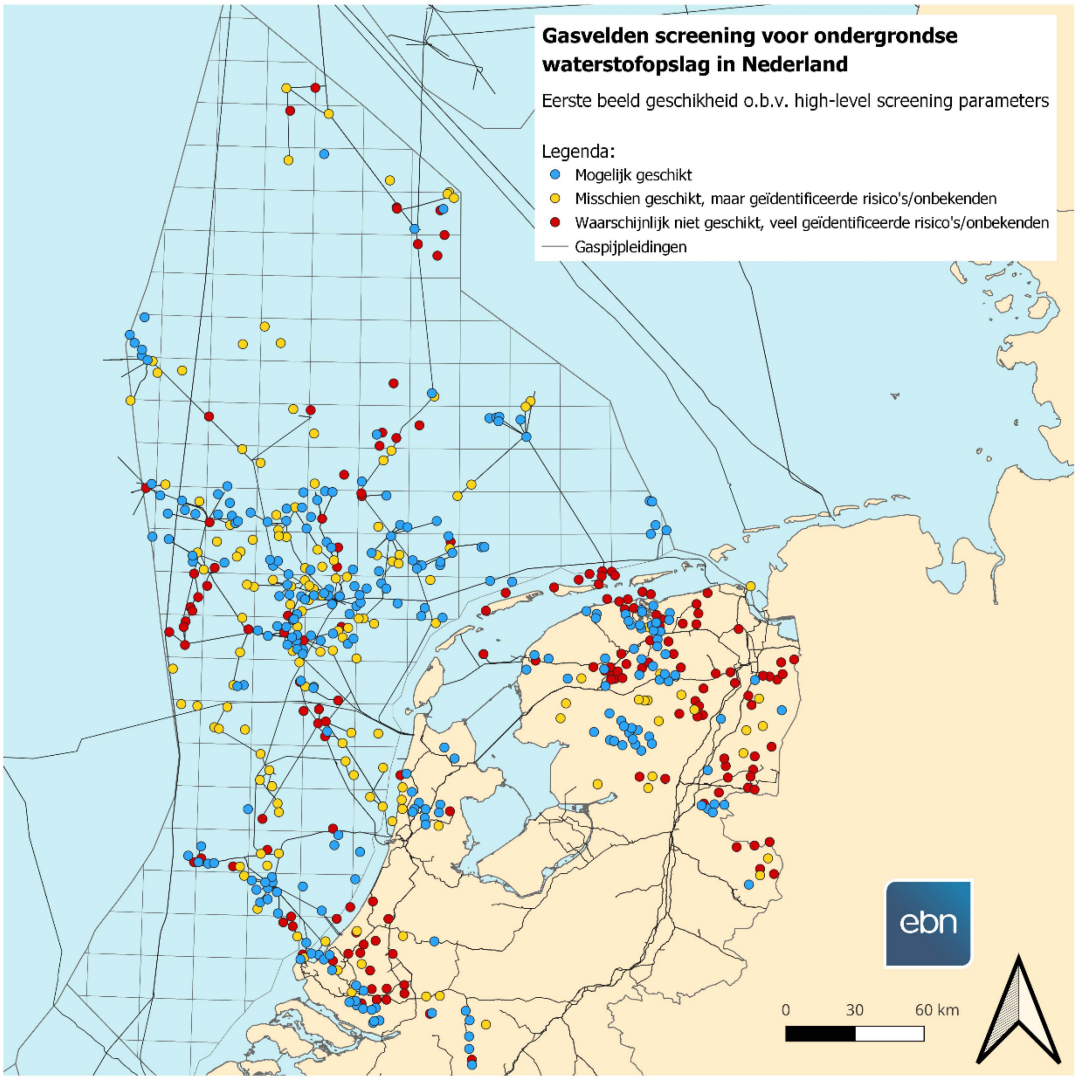
- Gasunie en Nobian hebben het plan om bij UGS Zuidwending drie extra zoutcavernes aan te leggen voor opslag van waterstof. Deze cavernes leveren een voorwaardelijk opslagaanbod van ca. 0,75 TWh (2,7 PJ) tussen 2030 en 2035. Daarnaast worden momenteel evaluaties uitgevoerd in het oostelijke deel van het zoutvoorkomen Zuidwending met het doel om daar 14 nieuwe winningscavernes aan te leggen die op termijn ook kunnen worden ingezet voor opslag van gassen (zie Hoofdstuk 7 - Zoutwinning). Daarvan zijn 9 voorzien voor opslag van waterstof. Deze cavernes representeren een voorwaardelijk aanbod van 2,25 TWh (8,1 PJ) dat rond 2040 beschikbaar kan komen. De realisatie van dit voorwaardelijke aanbod hangt o.a. af van verdere investeringsbeslissingen, vergunningverlening en de ontwikkeling van een markt voor waterstofopslag.
- Naast het voorwaardelijke aanbod van nieuw aan te leggen opslagcavernes wordt ook de mogelijkheid beschouwd om op termijn de bestaande aardgasopslag cavernes van UGS Zuidwending om te bouwen voor de opslag van waterstof. Ook deze cavernes worden tot het voorwaardelijke aanbod gerekend (totaal 1,0 TWh of 3,6 PJ) en kunnen, afhankelijke van hun benodigde inzet voor aardgasopslag, tussen 2035 en 2050 als waterstofopslag gaan fungeren.

Geologisch potentieel (waterstofopslag):

- Uit de evaluaties van TNO en EBN volgt dat er theoretisch minimaal ruimte is voor aanleg van ruim 300 opslagcavernes op land (ca. 75 TWh of 270 PJ aan waterstof; Figuur 8.2). Aanvullend potentieel is eventueel aanwezig in de gearceerde gebieden in Figuur 8.3. Verder is er op zee technisch en geologisch gezien ruimte voor enkele honderden opslagcavernes. Voor het ontsluiten van dit potentieel zullen wel eerst locatie-specifieke opsporingsonderzoeken moeten worden uitgevoerd en proefboringen worden geplaatst om de geschiktheid voor aanleg van cavernes vast te stellen.
- Bij bovengenoemd geoplogisch potentieel is nog geen rekening gehouden met bovengrondse beperkingen (bijv. ruimtebeslag, mijnbouweffecten), praktische beperkingen (bijv. ontwikkeling van locaties, aansluiting op vraag, doorlooptijden), economische beperkingen (bijv. afzet van gewonnen zout) en beleidsmatige beperkingen (bijv. weigeringsgronden voor vergunningen). Deze beperkingen kunnen een grote invloed hebben op wat er in de praktijk aan opslaglocaties kan worden gerealiseerd.
- Ondanks hot grote geologische potentieel om opslagcavernes aan te leggen, wordt het toekomstige aanbod hieruit (d.w.z. het realiseren van operationele opslagruimte in cavernes over tijd) sterk beperkt door de lange doorlooptijd die gemoeid is met opsporingsonderzoeken, het aanvragen van benodigde vergunningen en de tijd voor het aanleggen van cavernes (m.n. omdat dit ook gekoppeld is aan de productie van steenzout).

### 8.3.4 Geologisch potentieel waterstofopslag in gasvelden

- Tenslotte is er de mogelijkheid om waterstof op te slaan in uitgeproduceerde gasvelden. Inzet van dit potentieel hangt af van verder onderzoek en demonstratie. De kaart in Figuur 8.6 toont de uitkomsten van eerste verkenningen van TNO en EBN om geschikte gasvelden voor opslag van waterstof te identificeren. Deze velden liggen zowel op land als op zee en hebben een grotere geografische spreiding dan de mogelijkheden om waterstof in zoutcavernes op te slaan.
- Indien opslag van waterstof in gasvelden technisch bewezen is, dan zal dat zich vertalen naar een aanvullend geologisch potentieel dat vele malen groter is dan de verwachte vraag naar opslag als ook het bekende potentieel in zoutcavernes. Het mogelijke toekomstige aanbod van opslagruimte in gasvelden, bij succesvolle demonstratie, in de orde van 1-5 gasvelden liggen. De hoeveelheid waterstof die per gasveld kan worden opgeslagen is zeer variabel en afhankelijk van lokale geologische factoren. Als richtinggevend gemiddelde kan een waarde van 3 - 6 TWh per gasveld worden aangehouden met een totale bandbreedte van 1 – 20 TWh per gasveld.




Figuur 8.6. Kaart met de middelpunten (centerpoints) van alle bekende gasvelden in Nederland. In blauw zijn de gasvelden weergegeven die in op basis van eerste verkenning mogelijk geschikt zijn voor ondergrondse waterstofopslag (bron: Nationale Agenda Ondergrondse Waterstofopslag (KGG, 2025).

# 9 Conclusies

### Verkenning van mijnbouwactiviteiten in de diepe ondergrond

In dit rapport wordt een gedetailleerd en samenhangend beeld geschetst van het gebruik van de diepe ondergrond op land binnen Nederland. Daarbij is de voorraad, het aanbod en de huidige en toekomstige vraag naar ondergrondse hulpbronnen systematisch in kaart gebracht. De studie omvat de winning van conventioneel aardgas en aardolie, aardwarmte, en steen- en magnesiumzout. Tevens is nader onderzoek verricht naar de opslagmogelijkheden van aardgas, waterstofgas en perslucht. Deze activiteiten zijn geselecteerd op basis van hun strategische relevantie voor de energietransitie. Bovendien zijn de meegenomen activiteiten grotendeels opgenomen in gepubliceerde energiescenario's, waardoor een vergelijking tussen het toekomstig aanbod en de verwachte vraag naar specifieke energiedragers of opslagtechnologieën mogelijk is.

De verkenning beperkt zich tot mijnbouwactiviteiten op land maar sluit expliciet de analyse van een aantal activiteiten uit, zoals de ondergrondse opslag van $CO_2$ en radioactief afval. De focus van de studie ligt primair op de haalbaarheid van verschillende mijnbouwactiviteiten in het licht van de energietransitie, door zowel de potentiële binnenlandse vraag als de mate waarin het aanbod daaraan kan voldoen, grondig te analyseren.

Deze verkenning beoogt beleidsmakers en andere gebruikers te voorzien van een feitelijk kader dat ondersteuning biedt bij strategische besluitvorming omtrent de ruimtelijke ordening van de diepe ondergrond voor de toekomstige energievoorziening van Nederland.

### De belangrijkste bevindingen in het licht van de energietransitie

In deze verkenning is onderzocht in hoeverre de verwachte capaciteit van de verschillende mijnbouwactiviteiten op land in Nederland toereikend is om aan de toekomstige vraag te voldoen, zoals geprognosticeerd in diverse energiescenario's.

Voor **aardgas** blijkt dat de binnenlandse vraag, ondanks een duidelijke geprognosticeerde daling, tot tenminste 2050 zal aanhouden. Aardgaswinning op land zal naar verwachting binnen de komende 20-25 jaar beëindigd worden. Dit heeft als gevolg dat Nederland in de jaren 2040 tot 2045 jaarlijks ongeveer 200-400 PJ aardgas moet importeren. Ook voor **aardolie** blijft zeker tot 2050 een vraag bestaan. Wel neemt deze vraag volgens alle geraadpleegde scenario's gestaag af. De binnenlandse productie dekt slechts 1 à 2 % van het totale verbruik, afkomstig uit twee olievelden (Rotterdam en Schoonebeek), waardoor import van aardolie in de komende decennia een belangrijke rol blijft spelen.

De potentie voor winbare **aardwarmte** is aanzienlijk: hiermee zou de in de energiescenario's geprognosticeerde vraag tot 2050 ruimschoots gedekt kunnen worden, mits er een versnelde en grootschalige ontwikkeling van aardwarmte plaats gaat vinden. Echter, hoge investeringskosten, lange doorlooptijden door ingewikkelde vergunningsprocedures en ruimtelijke uitdagingen in stedelijke gebieden vormen substantiële belemmeringen. De ontwikkeling van ondergrondse warmteopslagcapaciteiten kan de vraag naar aardwarmte positief beïnvloeden. Met het huidige activiteitenniveau kan vermoedelijk tot circa 2030 aan de verwachte vraag worden voldaan. Uitbreiding van het huidige activiteitenniveau, door

middel van de bouw van meer aardwarmte-installaties, vereist intensiever ruimtegebruik en afstemming met andere functies, zoals natuur- en drinkwatergebieden.

Op basis van historische gegevens blijkt de productie van **steenzout** (ca. 6-7 miljoen ton per jaar) in Nederland stabiel te zijn. Hiervan is ongeveer een kwart **magnesiumzout**. Bij gelijkblijvende productie is tot 2050 ongeveer 150 miljoen ton steenzout en 7 miljoen ton magnesiumzout benodigd. De geologische als de prospectieve voorraden zijn ruim voldoende om de vraag tot 2050 te dekken. Daarvoor is op basis van huidige winningsplannen aanvullende ontwikkeling van circa 35-40 miljoen ton steenzout na 2040 noodzakelijk. De verwachte toename in vraag naar waterstofopslag kan bovendien leiden tot extra behoefte aan zoutcavernes. Magnesiumzout wordt alleen gewonnen uit de unieke locatie Veendam waar voldoende potentieel bestaat voor aanvullende productiefaciliteiten om aan de berekende vraag tot 2050 te kunnen voldoen.

In deze verkenning is de ondergrondse opslag van vier soorten gas besproken: **aardgas**-, **stikstof**-, **waterstofgas**- en **persluchtopslag**. De vraag naar aardgasopslag zal richting 2050 sterk afnemen. Voor stikstofopslag ontbreken prognoses, maar de vraag is gekoppeld aan het gebruik van laagcalorisch gas, dat eveneens afneemt. Persluchtopslag wordt momenteel als een minder cruciale technologie voor de energietransitie gezien en is daarom in deze verkenning niet nader onderzocht.

Voor **opslag van waterstofgas** wordt vanaf 2030 een substantiële vraag verwacht, met een geprognosticeerde opslagcapaciteit van 6 tot 29 TWh in 2050. Zoutcavernes bieden voldoende potentieel om de ondergrens te realiseren, maar het behalen van de bovengrens vereist aanvullende capaciteit. Hiervoor kan gedacht worden aan de ontwikkeling van additionele zoutcavernes maar ook van uitgeproduceerde gasvelden. Opgemerkt moet hierbij worden dat de ontwikkeling van een opslagcaverne die buiten een bestaand vergunningsgebied ligt, een relatief lange ontwikkeltijd van rond de 15 jaar en diverse technische uitdagingen kent. De ontwikkeling van opslagcapaciteit in lege gasvelden bevindt zich bovendien nog in een vroeg stadium en zal nog enkele decennia in beslag nemen. Op dit moment wordt er internationaal veel onderzoek gedaan naar de technische mogelijkheden en beperkingen van opslag in lege gasvelden. Er zijn op dit moment een aantal demonstratieprojecten in Europa gaande maar grootschalige beschikbaarheid van capaciteit voor waterstofgasopslag in lege gasvelden wordt niet voor 2035-2040 verwacht.

Alle besproken mijnbouwactiviteiten kunnen impact hebben op de leefomgeving. De aanleg, exploitatie en beëindiging van productielocaties kunnen leiden tot geluids- en zichthinder, emissies, bodemdaling en geïnduceerde aardbevingen. Ook na beëindiging van een productielocatie kunnen zogenoemde na-ijleffecten optreden. Deze potentiële effecten dienen tijdig en zorgvuldig te worden meegenomen in de besluitvorming.

### Actualiteit en herhaalbaarheid

In dit rapport genoemde cijfers over de vraag naar en het aanbod van geselecteerde energiedragers en steenzout, evenals de gegevens voor de opslagcapaciteit van gassen, geven de stand van zaken weer per augustus 2025. Aangezien een deel van deze gegevens jaarlijks wordt geactualiseerd op basis van nieuwe analyses en prognoses, en energiescenario's regelmatig worden herzien en verfijnd, is het van belang om de verkenning periodiek te herhalen. Een tweejaarlijkse actualisatie wordt aanbevolen om de inzichten actueel te houden en nieuwe ontwikkelingen tijdig te integreren.
Door deze verkenningen systematisch te herhalen, ontstaat een robuust instrumentarium waarmee de actuele productie en toekomstige vraag naar energiedragers kunnen worden verbonden aan langetermijnscenario's. Dit biedt beleidsmakers en andere gebruikers een

onderbouwde basis voor strategische keuzes voor de lange termijn. Op basis van dit rapport kunnen politieke en beleidsmatige maatregelen worden getroffen die waarborgen dat de Nederlandse samenleving in de komende decennia verzekerd is van een betrouwbare energievoorziening, en tegelijkertijd de transitie naar een fossielarme of fossielvrije economie op verantwoorde wijze kan worden vormgegeven.

# 10 Bronnenlijst

Akhurst, M., Kirk, K., Neele, F., Grimstad, A.-A., Bentham, M., & Bergmo, P. (2021, September). Storage Readiness Levels: communicating the maturity of site technical understanding, permitting and planning needed for storage operations using CO2. *International Journal of Greenhouse Gas Control, 110*, 103402. doi:10.1016/j.ijggc.2021.103402

Arcadis. (2025). *Zoutwinning Zuiderveen Landschappelijke analyse en schetsontwerp Zuiderveen.* Tech. rep., Arcadis. Retrieved from https://gebiedsproceszuiderveen.nl/op-locatie

Blom, S. P., Hopman, B. C., & Hers, J. S. (2024). *Waterstof-opslagbehoefte 2030-2035.* Tech. rep., TNO. Retrieved from https://publications.tno.nl/publication/34643339/pfj3aUQG/TNO-2024-R10304.pdf

Bollen, J., & van Bree, M. (2024). *De economische enmaatschappelijke waarde vanzout.* Tech. rep., TNO Vector. Retrieved from https://publications.tno.nl/publication/34643923/IedONiqA/TNO-2024-VPRapportages.pdf

Buijs, L. J., Koornneef, J. M., Octaviano, R., Jayashankar, G. G., Patterson, J. S., Wolleswinkel, G. J., van Damme, R. (2025). *HY3+ Enabling and balancing the hydrogeninfrastructure in North Western Europe.* Tech. rep., TNO, ARCADIS. Retrieved from https://publications.tno.nl/publication/34644128/0B9h4xza/TNO-2025-R10490.pdf

CBS. (2014). *Hernieuwbare energie in Nederland 2013.* Centraal Bureau voor de Statistiek.

Common Futures. (2024). *Samenspel gasvelden en zoutcavernes voor waterstofopslag.* Tech. rep., Common Futures.

COVA. (2025). COVA voorraadbeheer. Retrieved from https://cova.nl/voorraadbeheer/

Daniëls, B., & Strengers, B. (2024). *Trajectverkenning klimaatneutraal 2050.* resreport, PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag.

Delft, C., & Bos, W. e. (2024). *Elektriciteitsmix en marktdynamiek in 2035 CO2-vrij elektriciteitssysteem.* Tech. rep., CE Delft & Witteveen en Bos. Retrieved from https://ce.nl/wp-content/uploads/2024/11/CE-Delft_WB_Presentatie-webinar_2035-CO2-vrij-elektriciteitssysteem.pdf

DINOloket - Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond. (n.d.). Retrieved from https://www.dinoloket.nl/

EBN. (2025). *Verkenning Randvoorwaarden UHS pilotproject in een Nederlands gasveld.* Tech. rep., EBN.

Elzenga, H., & Strengers, B. (2024, April). *Productie, import, transport en opslag van waterstof in Nederland.* resreport, PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag.

EZK. (2022, July 15). Kamerbrief versnellingsplan gaswinning Noordzee. *Kamerbrief versnellingsplan gaswinning Noordzee*. Retrieved from https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2022/07/15/versnellingsplan-gaswinning-noordzee

Groenenberg, R., Fokker, P., & den Hartogh, M. (2025). Salt production. In *Geology of the Netherlands.* Amsterdam University Press. doi:10.5117/9789463728362_ch16

GTS. (2024, March). *GTS visie op de leveringszekerheid van aardgas.* Tech. rep., Gasunie Transport Services. Retrieved from https://www.tweedekamer.nl/downloads/document?id=2024D12083

Het HyStock project, grootschalige ondergrondse opslag van waterstof. (2025). Retrieved from https://www.hystock.nl/en/about-hystock/the-project

IenW, & EZK. (2018, June). *Structuurvisie Ondergrond.* Tech. rep., Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. Retrieved from

https://open.overheid.nl/repository/ronl-da2bbe33-1384-4f85-9912-1b3d389e091e/1/pdf/bijlage-1-structuurvisie-ondergrond.pdf
Jetten, R. A. (2024). Voorzienings- en leveringszekerheid energie. *Voorzienings- en leveringszekerheid energie*. Retrieved from https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/brieven_regering/detail?id=2024Z05235&did=2024D12082
Juez-Larré, J., Groenenberg, R. M., Dinkelman, D., Huijskes, T. D., Koornneef, J. M., van Gessel, S. F., & F.M. Bos, C. (2025). Underground storage. In *Geology of the Netherlands.* Amsterdam University Press. doi:10.5117/9789463728362_ch20
KGG, Element NL, & EBN. (2025, April 23). Sectorakkoord gaswinning in de energietransitie. *Sectorakkoord gaswinning in de energietransitie*. Retrieved from https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2025/04/23/sectorakkoord-gaswinning-in-de-energietransitie
LBEG. (2024). Untertage-Erdgasspeicherung in Deutschland. Retrieved from https://www.lbeg.niedersachsen.de/download/215811/Untertage-Gasspeicherung_in_Deutschland_Stand_1.1.2024_.pdf
Lutgert, J., Mijnlieff, H., & Breunese, J. (2005, January). Predicting gas production from future gas discoveries in the Netherlands: quantity, location, timing, quality. *Geological Society, London, Petroleum Geology Conference Series, 6*, 77–84. doi:10.1144/0060077
Mijnlieff, H., Buijze, L., Rosendaal, E., Schoof, F., Vorage, R., & van Wees, J.-D. (2025). Geothermal energy – from potential plays to successful growth. In *Geology of the Netherlands.* Amsterdam University Press. doi:10.5117/9789463728362_ch19
Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, J. A. (2023, January). Contourennota aanpassing Mijnbouwwet. *Contourennota aanpassing Mijnbouwwet*. Retrieved from https://open.overheid.nl/documenten/ronl-47aba38e84d8c8a7309a8e8762998d9923f0fba4/pdf
Ministerie van Infrasctructuur en Milieu. (2016, June 24). Aanbieding nationale programma radioactief afval. *Aanbieding nationale programma radioactief afval*. Retrieved from https://open.overheid.nl/repository/ronl-archief-e5950b29-8f7a-4089-8d4a-032fbd1dc35b/1/pdf/aanbieding-nationale-programma-radioactief-afval.pdf
Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2016). *Het nationale programma voor het beheer van radioactief afvalen verbruikte splijtstoffen.* Tech. rep. Retrieved from https://open.overheid.nl/documenten/50e7d74f-19b5-4efb-828d-3056346e7544/file
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, M. G., & Heijnen, V. L. (2022, November 25). Kabinetsbrief Water en Bodem sturend. *Kabinetsbrief Water en Bodem sturend*. Retrieved from https://www.tweedekamer.nl/downloads/document?id=2022D50136
Ministerie van Klimaat en Groene Groei. (2024). *Delfstoffen en aardwarmte in Nederland - Jaarverslag 2023.* Ministerie van Klimaat en Groene Groei. Ministerie van Klimaat en Groene Groei. Retrieved from https://www.nlog.nl/nieuws/het-nieuwste-jaarverslag-delfstoffen-en-aardwarmte-nederland-2023-online-beschikbaar
Ministerie van Klimaat en Groene Groei. (2025). *Delfstoffen en aardwarmte in Nederland - Jaarverslag 2024.* Ministerie van Klimaat en Groene Groei. Ministerie van Klimaat en Groene Groei. Retrieved from https://www.nlog.nl/sites/default/files/2025-07/Jaarverslag_Delfstoffen_Aardwarmte_2024_NL.pdf
Nederlandse Olie- en Gasportaal (NLOG). (n.d.). Retrieved from https://www.nlog.nl/
NEDMAG. (2018). *Winningsplan 2018.* Tech. rep., NEDMAG.
Netbeheer Nederland. (2023, June). *Het energiesysteem van de toekomst: de II3050-scenario's.* resreport, Netbeheer Nederland.
Netbeheer Nederland. (2023). *II3050 Bijlagen.* resreport, Netbeheer Nederland.
Netbeheer Nederland. (2023, June). *Integrale infrasctructuur-verkenning 2030-2050.* resreport, Netbeheer Nederland.
Remmelts, G., Nelskamp, S., de Jager, J., & Geluk, M. C. (2025). Petroleum geology. In *Geology of the Netherlands.* Amsterdam University Press. doi:10.5117/9789463728362_ch14

Royal HaskoningDHV. (2022). *Zoutwinning Haaksbergen Milieueffectrapport.* Tech. rep., Royal HaskoningDHV. Retrieved from https://www.commissiemer.nl/projectdocumenten/011311_3527_MER_20221014.pdf

Scheepers, M., van Stralen, J., Chavarriaga, J. G., Elberry, A., Uslu, A., & Oliveira, C. (2024, May). *Towards a sustainable energy system for the Netherlands in 2050.* resreport, TNO.

Society of Petroleum Engineers. (2018). Petroleum Resources Management System (PRMS). *Society of Petroleum Engineers.* Retrieved from https://www.spe.org/en/industry/petroleum-resources-management-system-2018

StatLine - Energiebalans, aanbod, omzetting en verbruik (cbs.nl). (n.d.). Retrieved from https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83140NED/table?ts=1725960091426

ten Veen, J., Vis, G.-J., de Jager, J., & Wong, T. (Eds.). (2025). *Geology of the Netherlands.* Amsterdam: Amsterdam University Press.

The Netherlands - Countries & Regions - IEA. (n.d.). Retrieved from https://www.iea.org/countries/the-netherlands/oil

TNO-AGE. (2023, January). *Waterstofopslag in cavernes. Een maatschappelijke kosten-batenanalyse.* resreport, TNO, Postbus. Retrieved from https://www.nlog.nl/sites/default/files/2024-10/GELAKT TNO rapport MKBA waterstofopslag in cavernes 23-01-2023 .pdf

van der Molen, J., Tolsma, S., Davids, B., & Mijnlieff, H. (2025). *Aardwarmte in Nederland, 2024: hernieuwde groei in warmteproductie, onzekerheid vraagt om aandacht.* Tech. rep., TNO. Retrieved from https://publications.tno.nl/publication/34644488/P84vo6Hf/TNO-2025-R11292.pdf

van Gessel, S. F., Breunese, J., Larré, J. J., Huijskes, T. D., & Remmelts, G. (2018). *Ondergrondse Opslag in Nederland -Technische Verkenning.* Tech. rep., TNO, EBN. Retrieved from https://www.nlog.nl/sites/default/files/2018-11/Ondergrondse+Opslag+in+Nederland+-+Technische+Verkenning.pdf

van Gessel, S., Huijskes, T., Juez-Larré, J., & Dalman, R. (2021). *Ondergrondse Energieopslag in Nederland2030 – 2050: Technische evaluatie van vraagen aanbod.* Tech. rep., EBN, TNO. Retrieved from https://www.ebn.nl/wp-content/uploads/2022/10/Ondergrondse-energieopslag-in-Nederland-2030---2050---Technische-evaluatie-van-vraag-en-aanbod-2.pdf

van Gessel, S., Jaarsma, B., Groenenberg, R., Kleijweg, D., Juez-Larré, J., van Klaveren, S., . . . Koning, M. (2022). *Haalbaarheidsstudie offshore ondergrondse waterstofopslag.* Tech. rep., TNO & EBN. Retrieved from https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2022/07/01/22286281bijlage-1-haalbaarheidsstudie-offshore-ondergrondse-waterstofopslag/Haalbaarheidsstudie+offshore+ondergrondse+waterstofopslag+EBN+TNO+2022.pdf

van Wees, J.-D., Kronimus, A., van Putten, M., Pluymaekers, M. P., Mijnlieff, H., van Hooff, P., Kramers, L. (2012, December). Geothermal aquifer performance assessment for direct heat production – Methodology and application to Rotliegend aquifers. *Netherlands Journal of Geosciences - Geologie en Mijnbouw, 91*, 651–665. doi:10.1017/s0016774600000433

Energy & Materials Transition

Princetonlaan 6
3584 CB  Utrecht
www.tno.nl

TNO innovation for life