Auteurs dr. ir. A.G. (Bram) Entrop[a*], dr. ir. S. (Sander) Siebelink[a], ir. S.I. (Sandra) Wijnant-Timmerman[b]

a) Saxion, school of Business, Building and Technology (3BT), lectoraat Sustainable Areas and Soil Transitions (SAST), Enschede, Nederland
b) Saxion, Life Science, Engineering & Design (LED), lectoraat Sustainable Energy Systems (SES), Enschede, Nederland
*) corresponding author: a.g.entrop@saxion.nl

Ondergrondse energieopslag; een bijdrage in Twente?

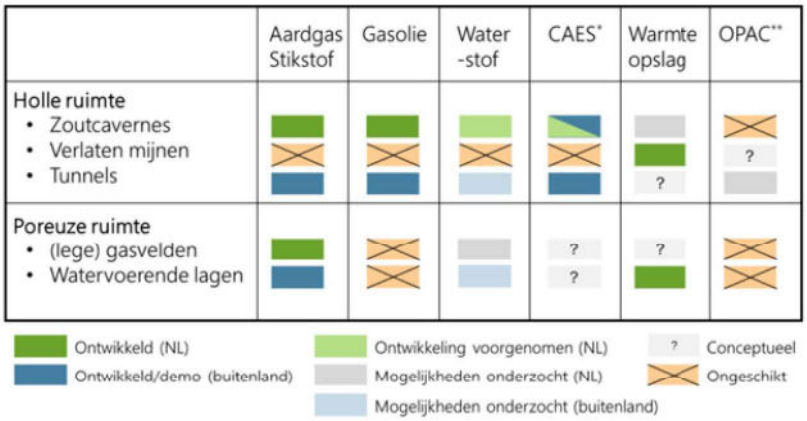
Dit artikel presenteert de eerste resultaten vanuit het RAAK onderzoeksproject 'Ondergrondse Energieopslag Twente', waarin de mogelijkheden en onmogelijkheden van energieopslag in ondergrondse zoutcavernes en gasvelden worden onderzocht. De focus in dit artikel ligt op aspecten van het systeemontwerp: energiescenario's, geschikte opslagmedia in de ondergrond, energie-infrastructuur en de potentiële omvang van ondergrondse energieopslag in Twente.

De duurzame energietransitie speelt een sleutelrol in het Nationaal Klimaatakkoord dat in Nederland in 2019 is vastgesteld. Voor Twente is dit akkoord uitgewerkt in de Regionale Energiestrategie (RES)[1], waarin wordt gestreefd naar een klimaatneutraal Twente in 2050+ en, waar mogelijk, naar energieneutraliteit. Tegen 2030 is de ambitie om minimaal 1,5 TWh aan elektriciteit duurzaam in Twente op te wekken. Om deze ambitie te bereiken is opslag van energie essentieel, zodat verschillen tussen vraag en aanbod in de tijd kunnen worden gebufferd. De ondergrond van Twente kan hier een belangrijke rol in spelen, dankzij de aanwezigheid van zout- en gasvoorkomens, die geschikt zijn voor structurele energieopslag[2] (zie Figuur 1).

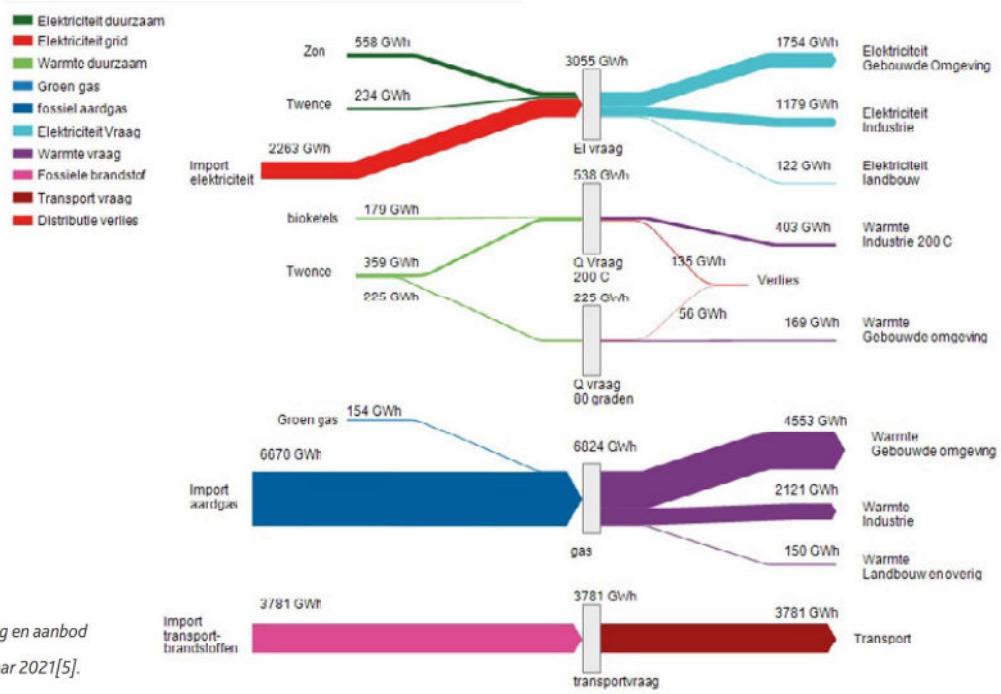
Recente onderzoeken laten het belang zien van de aanleg van dergelijke ondergrondse energieopslagsystemen. Hierbij de belangrijkste redenen[3]:

- Balans tussen vraag en aanbod: ondergrondse opslag kan zorgen voor leveringszekerheid in centrale en regionale energienetten en op wijk-/gemeenteniveau;
- Ontwikkeling van verdienmodellen: ondergrondse opslag kan bijdragen aan het ontwikkelen van verdienmodellen, die inspelen op energieprijsfluctuaties, specifieke systeemdiensten leveren en de (internationale) handel in energiedragers;
- Kostenbesparing: door schaalvoordelen kan grootschalige ondergrondse opslag economisch aantrekkelijk zijn in vergelijking met kleine energieopslagsystemen;
- Ruimtebesparing: door energieopslag ondergronds te faciliteren, zal de aanspraak op bovengrondse ruimte beperkter zijn.

Er zijn echter ook veel vragen rondom de ondergrondse energieopslag in Twente, waaronder de technische geschiktheid en de rol van ondergrondse energieopslag als onderdeel van het totale energiesysteem. Het zijn deze aspecten die onderdeel zijn van de eerste fase in dit RAAK-onderzoek naar ondergrondse energieopslag in Twente. De uitkomsten van de eerste fase zijn samengebracht in voorliggend artikel.



Figuur 1: *Overzicht van opslag technologieën en de theoretische geschiktheid van ondergronds opslag (ruimte). * = perslucht. ** ondergrondse pompaccumulatie (Overgenomen uit [2]).*



Figuur 1: *Representatie van de balans tussen vraag en aanbod van verschillende energievormen in Twente, peiljaar 2021[5].*

Onderzoeksopzet

In een RAAK-onderzoeksproject werken onderzoekers samen met professionals uit de publieke sector en het bedrijfsleven aan praktijkgericht onderzoek. Voordat het onderzoeksvoorstel tot stand kwam, zijn er werksessies georganiseerd met deze professionals. Dit leidde tot de volgende onderzoeksvraag:

Hoe kan duurzame ondergrondse energieopslag in zout- en gasvoorkomens in Twente concreet en tijdig worden gerealiseerd?

Om tot beantwoording van deze onderzoeksvraag te komen, zijn er twee perspectieven aangehouden, namelijk één vanuit gebiedsontwikkeling en één vanuit het systeemontwerp. Deze beide perspectieven zullen vervolgens samenkomen in een uitvoeringsstrategie. Dit praktijkgerichte onderzoek wordt uitgevoerd met de hulp van partners uit het overheids- en bedrijfsleven, alsmede door de inzet van studenten van verschillende opleidingen.

Dit artikel richt zich op het systeemontwerp. Daarbij komen de volgende onderwerpen aan bod:

1) een analyse van energiescenario's inzake de regionale energie-overschotten en tekorten in de tijd om de behoefte aan energieopslag vast te stellen, 2) de voor- en nadelen van verschillende opslagmedia, 3) de noodzakelijke energie-infrastructuur en 4) de omvang van de energieopslag. Met deze uitgangspunten in de hand wordt een ontwerptraject opgestart, waarin de omvang en elementen van de installatie worden vastgelegd in een schetsontwerp. Deze elementen omvatten het eerste werkpakket van het RAAK-onderzoeksproject.

Behoefte aan energieopslag

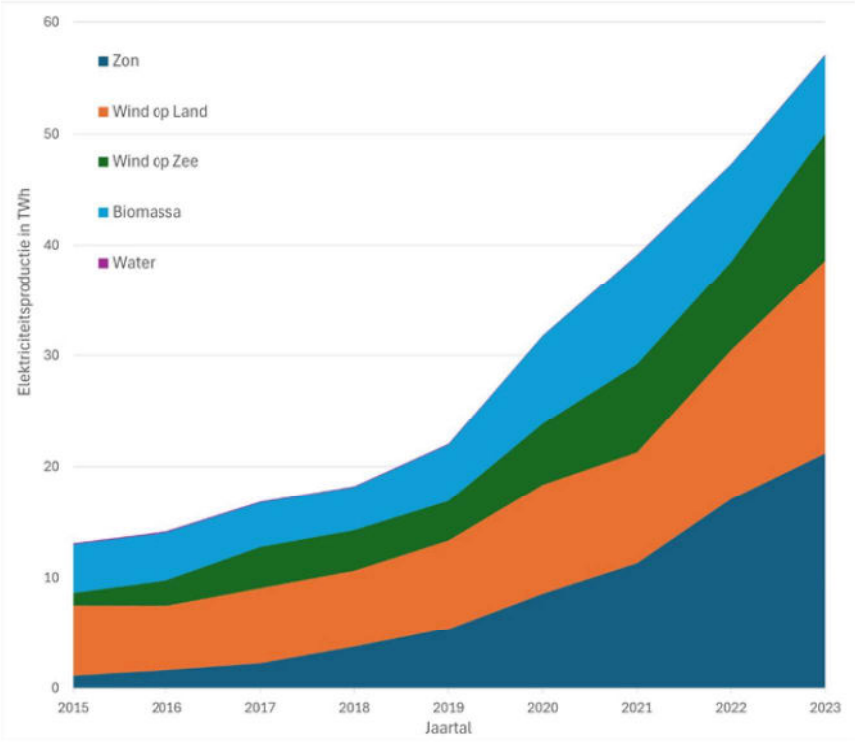
De behoefte aan energieopslag wordt bepaald door de toekomstige vraag en aanbod van energie, alsmede de onbalans in de tijd. Hierdoor ontstaat de behoefte om energie te bufferen, zodat energie in tijden van overschot kan worden opgeslagen en in de tijden van tekort wordt vrijgegeven uit de opslagvoorziening. Het kwantificeren van vraag en aanbod van energie in Twente is gedaan op basis van de online beschikbare klimaatmonitor[4], waarin overheden de voortgang van de energietransitie monitoren. De gegevens van het recente peiljaar 2021 zijn geanalyseerd voor de RES-regio Twente, waarbij verschillende dragers van energie en hun omvang zijn geschematiseerd (Figuur 2). De energievormen die daarin worden onderscheiden zijn: elektriciteit, warmte (80 °C), warmte industrie (200 °C), groen gas, aardgas en overige fossiele brandstoffen.

In de komende decennia wordt een daling verwacht in de elektriciteitsvraag van apparatuur vanwege efficiëntere technieken. Door de verbetering van thermische isolatie, warmteterugwinning en de luchtdichtheid in woningen en kantoren zal weliswaar de vraag naar aardgas voor warmte dalen, maar door de inzet van warmtepompen én een toename in koelbehoefte zal de elektriciteitsvraag stijgen. Een andere ontwikkeling is het toenemende aantal elektrische auto's, waarvoor laadcapaciteit zal worden gerealiseerd. Ook zal de industrie in toenemende mate worden geëlektrificeerd. Daarnaast vraagt de landelijke woningbouwopgave om keuzes m.b.t. grootschalige woningbouw; Twente is daarbij één van de mogelijke groeiregio's[6].

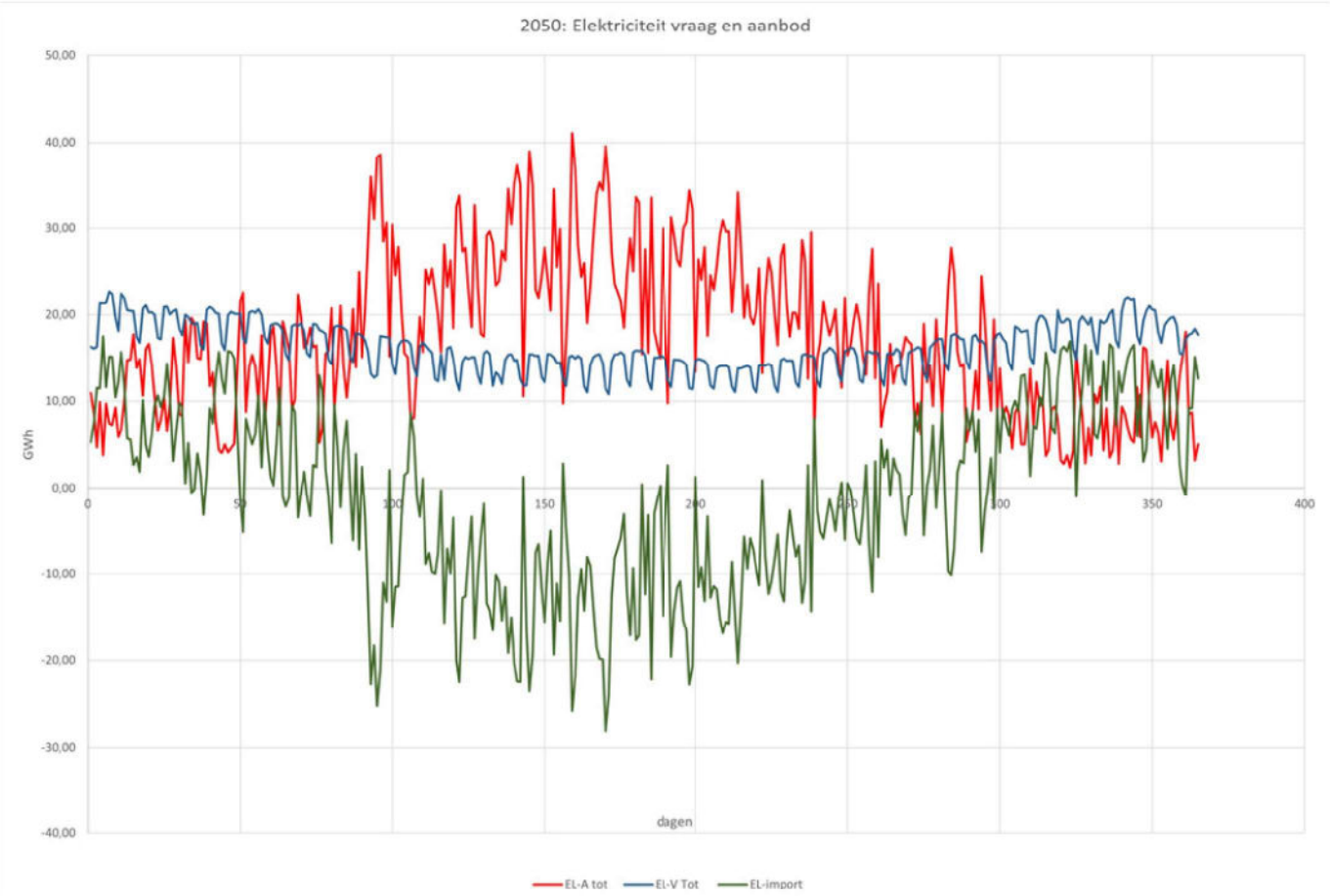
Aanbod (in GWh)	2021	2030	2050
wind op land	0	600	2000
zon	486	900	4114
zon achter de voordeur	72	144	

Tabel 1: *Voorziene ontwikkeling in elektriciteitsproductie uit hernieuwbare bronnen in regio Twente[5].*

Het kwantificeren van bovenstaande ontwikkelingen in een realistisch scenario voor de RES-tijdshorizonnen van 2030 en 2050 is geen gemakkelijke opgave. Gezien de huidige druk op het elektriciteitsnetwerk[7] en de verwachte verdere afname van het aardgasgebruik, gaat het niet lukken om in onze energiebehoefte te voorzien met slechts elektrische energie over het elektriciteitsnetwerk of duurzaam geproduceerde elektriciteit. Via het huidige gasnetwerk of via een nieuw aan te leggen netwerk zal waterstof en/of biogas nodig zijn.



Figuur 3: *Elektriciteitsproductie per hernieuwbare bron in Nederland in TWh[8].*



Figuur 4: *Scenario voor 2050 die de onbalans schetst tussen vraag (blauw) en aanbod (groen = import, rood = hernieuwbare energie) van elektrische energie in Twente[5].*

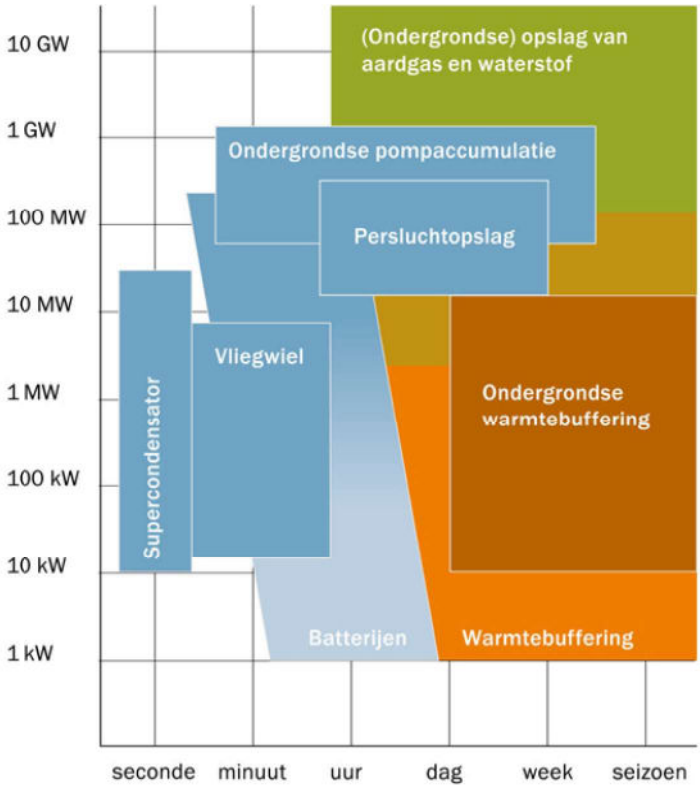
In 2023 was bijna de helft van de elektriciteitsproductie in Nederland afkomstig uit hernieuwbare bronnen[8]. De enorme toename van de elektriciteitsproductie uit hernieuwbare bronnen is goed zichtbaar in Figuur 3. Hoewel deze grafiek de elektriciteitsproductie voor heel Nederland betreft, kunnen we deze situatie ook betrekken op Twente. De RES Twente voorziet bijna een verdubbeling van de energieopwekking uit zon en een aanzienlijk aandeel van windenergie in 2030 (zie Tabel 1). Vanwege onzekerheid rondom politieke keuzes (op welke locaties staan we opwekking van zonne-energie toe?) en de dynamiek van de publieke en politieke besluitvorming (zijn windturbines op land wel of niet gewenst?), is enige voorzichtigheid bij toekomstige scenario's geboden. Echter, we gaan er wel van uit dat de ingezette stijgende trend van energieopwekking uit hernieuwbare bronnen zich zal voortzetten. De waarden die in Tabel 1 zijn opgenomen voor de scenario's van 2030 en 2050 vormen hiervan een afspiegeling.

Nu al worden PV-systemen op sommige momenten uitgeschakeld, vanwege een overbelasting van het elektriciteitsnet. Ondanks het potentieel van de hernieuwbare bronnen, is de ongelijktijdigheid van het aanbod en de vraag een situatie om in de toekomstige scenario's rekening mee te houden. In de studie van Saxion[5] zijn analyses gemaakt op dagniveau, waarbij is aangenomen dat de fluctuaties binnen een dag worden opgevangen door flexibiliteit in het energiesysteem. Het scenario van vraag en aanbod van elektriciteit voor 2050 is zichtbaar in Figuur 4. Aangezien de ondergrondse opslag met name geschikt is voor seizoensopslag met een reactietijd van één tot meerdere dagen, zijn tijdprofielen in de figuur met een periode van één dag aangehouden. De resulterende vergelijking van vraag en aanbod over het jaar laat zien, dat er (met name) in de zomerperiode grote overschotten van hernieuwbare energie zullen ontstaan. In de winterperiode zal het aanbod uit hernieuwbare bronnen niet voldoende zijn om in de behoefte te voorzien. Hoewel in de scenario's buiten beschouwing gelaten, zal ook op de tijdschaal van een dag onbalans voorkomen. Overdag kunnen overschotten bestaan; daarentegen zijn er 's nachts tekorten. Dit toekomstbeeld vraagt dus om een energiesysteem met zowel buffering van energie over de seizoenen heen, als flexibiliteit waarmee fluctuaties op dagbasis kunnen worden opgevangen. Energieopslag in Twentse zoutcavernes en/of gasvelden biedt voornamelijk uitkomst voor de lange termijn opslag, terwijl voor de korte termijn mogelijk batterijen of laadpalen gebruikt kunnen worden. Wat betreft de benodigde omvang van een ondergronds energieopslagsysteem is, op basis van de geschetste scenario's, ca. 300 GWh tot 1400 GWh benodigd.

De volgende paragraaf zet uiteen, welke technieken en opslagmedia er zijn om energie in de ondergrond op te slaan.

Opslagmedia voor ondergrondse energieopslag

In de kern kunnen we drie vormen van energie ondergronds opslaan onderscheiden, te weten (I) moleculen zoals waterstof of methaan (biogas), (II) warmte via warm water en (III) mechanische energie zoals perslucht en pompaccumulatie[9]. Daarnaast bestaat er in theorie de kans om in twee ondergrondse voorkomens (IV) de elektrolytopslag voor een redox flow batterij te faciliteren, maar deze stoffen zijn momenteel verre van milieuvriendelijk. De genoemde vormen, waarmee ervaringen reeds zijn opgedaan, worden gekenmerkt door een potentieel aan energieopslag én door een typerende tijdspanne, waarover de buffering van energie kan plaatsvinden (Figuur 5). Ter illustratie: een vergelijking leert ons dat het energieopslagpotentieel van waterstof een factor 10 tot 100 maal zo groot is als het energieopslagpotentieel van perslucht. Naast energiepotentieel en tijdspanne spelen andere kenmerken een rol in de afweging van geschikte opslagmedia, welke hieronder beknopt worden toegelicht.



Figuur 5: *Een vergelijking van energieopslagpotentieel (verticale as) en tijdsduur (horizontale as) van diverse opslagvormen van energie [9].*

Waterstof:
Waterstof wordt geproduceerd door elektrolyse van water, waarbij elektriciteit wordt gebruikt om watermoleculen te splitsen in waterstof en zuurstof. Het waterstofgas kan vervolgens ondergronds worden opgeslagen, bijvoorbeeld in zoutcavernes[10]. De grote energetische dichtheid van waterstof t.o.v. de andere opslagvormen is één van de belangrijkste voordelen, zoals we al zagen in Figuur 5. Bovendien is waterstof zeer geschikt om energie over grotere tijdspannen van de seizoenen op te slaan. Een nadeel zijn de energieverliezen, die optreden bij de conversie van elektriciteit naar waterstof en vice versa. De efficiëntie van de elektrolyse ligt rond de 60% [11]. In Nederland worden momenteel de eerste stappen gezet met ondergrondse opslag van waterstof in het project Zuidwending[12]. Er zijn ook enkele voorbeelden van reeds gerealiseerde waterstofopslagen in zoutcavernes in het Verenigd Koninkrijk en de Verenigde Staten, welke worden ingezet als industriële grondstoffenvoorziening[10]. Het is daarom interessant om te onderzoeken of we de zoutstructuren in Twente (die gelijkenissen vertonen met die in het Verenigd Koninkrijk) ook voor industrieel gebruik kunnen inzetten en bovendien geschikt kunnen maken voor het energiesysteem.

Groen gas:
Biogas uit biomassa en methanisatie van (groene) waterstof zijn bronnen van groen gas. In de regio Twente gaat biogas, en mogelijk de opwerking naar groen gas, naar verwachting een rol spelen in het toekomstige energiesysteem[13]. Onderzoek laat zien dat groen gas kan worden opgeslagen in bestaande aardgasopslagen[2]. Door het stoppen van aardgaswinning in Nederland zal de behoefte aan ondergrondse opslag van aardgas afnemen. De meeste scenario's voor 2050, zoals de studie "Net voor de Toekomst" van CE Delft[13] voorspellen dat aardgas een kleinere rol zal spelen in het energiesysteem en dat de opslagcapaciteit van aardgasvelden kan worden verminderd. Dit biedt voldoende opslagcapaciteit voor groen gas, waarvoor dan geen zoutcavernes hoeven te worden aangewend.

Perslucht:
Bij persluchtenergieopslag wordt lucht gecomprimeerd en opgeslagen in ondergrondse reservoirs om later turbines aan te drijven en elektriciteit te genereren. Deze technologie heeft lage operationele kosten, maar kent uitdagingen zoals warmteverlies tijdens compressie en de noodzaak van geschikte geologische formaties voor opslag. Technisch gezien zijn er verschillende vormen[14] van energieopslag door middel van perslucht: (I) Isotherm; (II) Adiabatisch; (III) Diabatisch en (IV) Hybride.

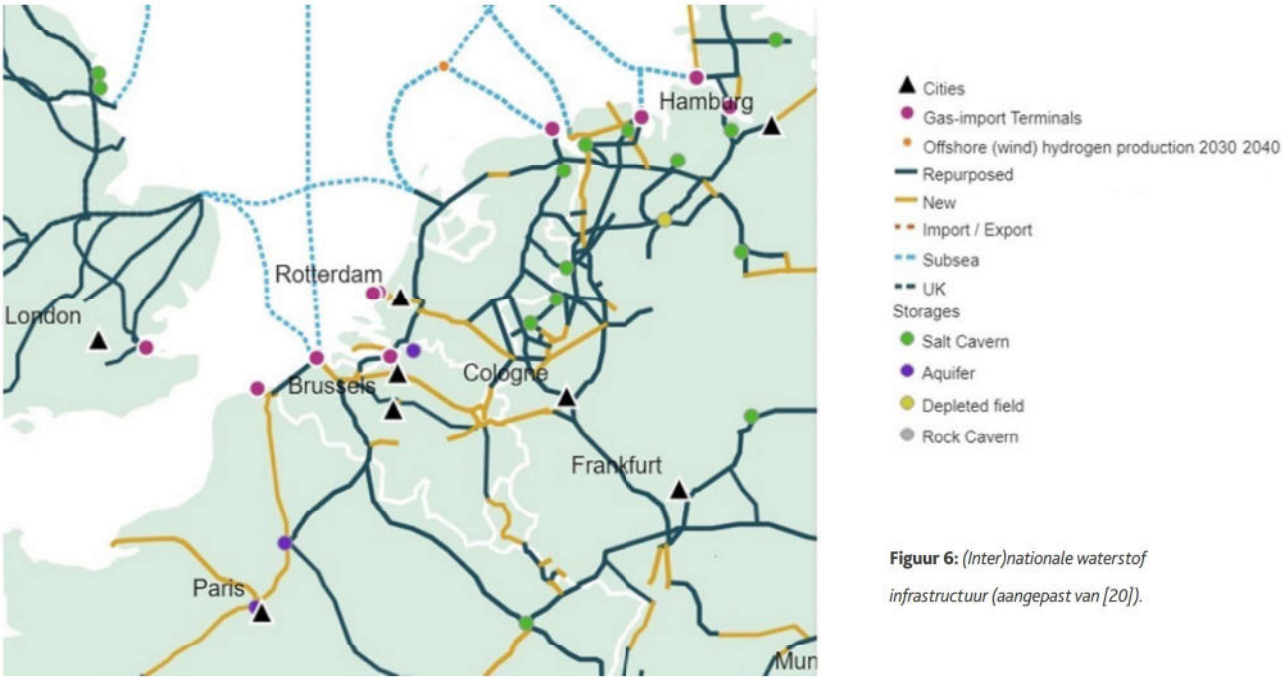
Warmteopslag:
Bij warmteopslag wordt overtollige warmte, bijvoorbeeld afkomstig van zonne-energiesystemen, opgeslagen in ondergrondse reservoirs of rotsformaties. Dit kan worden gebruikt voor ruimteverwarming, industrieel gebruik of elektriciteitsopwekking. Hoewel warmteopslag efficiënt is en een lange levensduur heeft, is het aantal geschikte locaties beperkt en zijn er hoge initiële investeringskosten. Diep gelegen zoutcavernes zouden interessant kunnen zijn voor warmteopslag[15].

Aansluiting infrastructuur

Nederland heeft een wijdverbreid aardgasnetwerk. Aardgas zorgde ervoor dat de warmtebehoefte grotendeels werd ingevuld, maar aardgas is een fossiele brandstof waarvan de Rijksoverheid het gebruik wil verminderen[16]. Biogas en/of waterstof zouden deels de rol van aardgas kunnen gaan overnemen, waarbij (een deel van) het huidige aardgasnetwerk wordt gebruikt[17]. Er zijn op enkele locaties in Twente zelfs loze aardgasleidingen aanwezig, die in de vorige eeuw zijn aangelegd voor gas-intensieve industrie. In potentie kunnen deze leidingen ook waterstof transporteren naar grote industriële afnemers (T. Beune, H2 Hub Twente, geïnterviewd 13-5-2024). Het gebruik van bestaande aardgas-infrastructuur lijkt ook wenselijk om een betrouwbare energievoorziening te garanderen. Het is namelijk niet haalbaar om de totale energiebehoefte een invulling geven met elektrische energie getransporteerd over het elektriciteitsnet. Nu al ervaren we de druk op het elektriciteitsnet; zowel qua aanbod- als aan de vraagzijde uit netcongestie zich steeds vaker in de vorm van uitval[7].

Een ondergronds energieopslag systeem dient alleen al voor bijvoorbeeld het meten, comprimeren, koelen, filteren, verwarmen en drogen van het medium een degelijke zware verbinding te hebben met het elektriciteitsnetwerk, maar uiteraard ook met een gasnetwerk, biogasnetwerk of waterstofnetwerk. Waterstof kan eventueel ook ter plekke bijvoorbeeld door middel van elektrolyse worden gemaakt en na opslag weer in een brandstofcel in elektrische energie worden omgezet, maar dat hoeft niet altijd gunstig te zijn voor wat betreft het elektriciteitsnetwerk. Het kan gunstig zijn juist decentraal waterstof (bijvoorbeeld bij een zonnepark of windmolenpark) te produceren, via een leidingnetwerk naar de opslag te transporteren, onder druk ondergronds op te slaan en dan pas na verloop van tijd weer aan een leidingnetwerk voor decentraal gebruik toe te voeren.

Globaal lopen er diagonaal in Twente van noordwest tot in het oosten over de grens met Duitsland een 380 kV hoogspanningsverbinding met een groot verdeelstation in Hengelo en hogedruk gastransportleidingen met meetregelstations in Bornerbroek, Hengelo en Enschede. Net over de grens aan de noordoost kant van Twente ligt een aardgasleiding van het Nederlandse Vlieghuis, door het Duitse Kalle, ten westen langs Nordhorn naar Ochtrup. Deze aardgasleiding is door de firma Thyssengas van RWE gekocht met als doel waterstof te gaan transporteren. Iets ten zuidoosten van Enschede, net over de grens in het Duitse Epe, liggen 114 cavernes waarvan er 80



Figuur 6: *(Inter)nationale waterstof infrastructuur (aangepast van [20]).*

voor opslag van aardgas worden gebruikt. De belangrijkste exploitanten van de cavernes zijn Uniper, RWE en Vattenfall. De cavernes in het gebied hebben een werkvolume van meer dan 2 miljard m³ en werken op een druk die kan oplopen tot 200 bar[18]. Onder de naam H_2ercules is RWE ook een waterstofopslag systeem aan het ontwikkelen met een aansluiting op de European Hydrogen Backbone (EHB), waarin zowel de opslagen in de Duitse grensregio alsook de aardgas- en toekomstige waterstofopslag Zuidwending een prominente rol heeft[19]. Dit alles zorgt ervoor dat zowel een ondergronds energieopslagsysteem in Haaksbergen, als in Weerselo mogelijk relatief eenvoudig verbonden kan worden met belangrijke bestaande en toekomstige energie-infrastructuren, zoals geïllustreerd in Figuur 6.

Omvang van de energieopslag

De volgende uitgangspunten zijn voor een waterstofopslagsysteem in Nederland in 2020 geformuleerd[21]:

- De faciliteit behelst een combinatie van cavernes en injectie-/productie-installaties;
- Het injecteren (laden) en produceren (ontladen) gaat met een snelheid van <10 ton/uur tot >40 ton/uur;
- Het systeem is schaalbaar vanaf de eerste opslagbehoefte tot een maximum van vier cavernes;
- De opslagcapaciteit qua werkgas per caverne is ruim 6.500 ton;
- De werkdruk is aangepast aan het drukregime van het achterliggende netwerk, welke is uitgelegd op 10 tot 30 bar en/of 30 tot 50 bar;
- De kwaliteit van de geleverde waterstof blijft binnen de geldende specificaties, waarbij door water in de zoutcavernes waterstof bijvoorbeeld na opslag moet worden gedroogd;
- Een snelle omschakeling tussen injectie en productie is mogelijk.

Tabel 2: *Karakteristieken van bestaande waterstofopslagsystemen in zoutcavernes (in [24], gebaseerd op [25–29] en met aanvullingen vanuit[30]).*

Locatie	Teesside (UK)	Clemens Dome (USA)	Moss Bluff (USA)	Spindletop (USA)
Diepte tot top caverne (m)	350 - 450	850	823	1128
Hoogte caverne (m)	15-40	300	579	518
Diameter caverne (m)	70	49	60	76
Volume caverne (m³)	3 x 70.000	580.000	566.000	600.000
Operationele druk range (bar)	45 – 50	70 – 135	55- 152	<150
Opslagcapaciteit (GWh)	25	92	120	>120

In Nederland heeft Gasunie in Zuidwending zes aardgas opslagcavernes met een volume van in totaal 4,4 miljoen m³. Deze liggen in een zoutlaag met een dikte van 1000 tot 1500 m. De cavernes hebben een doorsnede van 50 à 80 m en zijn 300 à 400 m hoog[12]. In Enschede worden op een diepte van 400 tot 500 m twee zoutcavernes van in totaal 250.000 m³ gebruikt voor de opslag van gasolie in een zoutlaag van circa 50 m dik[22]. In Duitsland zijn 350 zoutcavernes in gebruik, waarvan driekwart voor de opslag van aardgas[23]. Kortom, er is reeds de nodige ervaring opgedaan met het opslaan van energie in de ondergrond, maar dit betreffen dan met name fossiele brandstoffen. Tabel 2 geeft internationale kengetallen weer voor bestaande industriële waterstofopslagsystemen in zoutcavernes.

Locatie	Diepte (m)	Hoogte (m)	Opslagcapaciteit (GWh)	Cyclustijd (dagen)	Minimale druk (MPa)	Maximale druk (MPa)
Weerselo	476,0	413,5	121,2	245	3,4	9,0
Haaksbergen	699,0	131,0	59,1	120	4,9	13,0
Hengelo	323,5	60,7	8,6	18	2,3	6,2

Tabel 3: *berekende capaciteit voor mogelijke waterstofopslagsystemen in Twente[31].*

De Twentse ondergrond beschikt over lege gasvelden en zoutcavernes. Vijf uitgeproduceerde gasvelden in Twente hebben een indicatieve omvang hebben van 0,3 · 109 tot 13 · 109 Nm³. De tot op heden in deze regio gevormde zoutcavernes hebben op een diepte tussen de 400 en 500 m een geometrische omvang van 1,0 · 105 tot 3,0 · 105 m³. Een deel van de zoutcavernes is qua vorm niet geschikt voor de opslag van waterstof, maar de capaciteit zou globaal tussen de 11 en 33 GWh per caverne kunnen liggen (TNO, persoonlijke communicatie, 16-8-2023).

Saville (2024)[31] heeft op basis van literatuurstudie een rekenmodel ontwikkeld om te bepalen welke opslagpotentie ondergrondse zoutcavernes kunnen hebben op bepaalde locaties in Nederland. Data verkregen vanuit een waterstofopslagsysteem in Teesside (VK) en vanuit NLOG zijn gebruikt om capaciteitsberekeningen en cyclustijden te bepalen. In Tabel 3 zijn de resultaten opgenomen voor drie locaties in Twente, waar de zoutlaag mogelijk aan een voor waterstofopslag geschikte caverne plaats zou kunnen gaan bieden met ruim 59 en 121 GWh aan opslagcapaciteit. Deze waarden liggen bij de vermelde drukregimes nog ver onder de 6.500 ton per caverne.

Discussie

Als we reflecteren op de potentie en uitdagingen wat betreft ondergrondse energieopslag in Twente, komen verschillende aspecten naar voren. Allereerst blijkt dat de oudere zoutcavernes, ontwikkeld voor de jaren negentig, ongeschikt zijn voor gasopslag vanwege beperkte geomechanische stabiliteit. Deze cavernes hebben een diameter die tot vier keer groter is dan de hoogte, wat de stabiliteit in gevaar brengt. Bovendien speelt de beperkte dikte van de zoutlaag, zo'n 50 m, hier een belangrijke rol. In het vervolg van ons onderzoek bekijken we dan ook hoe deze ondergrondse assets nog wel kunnen worden ingezet ten behoeve van het regionale of landelijke energiesysteem.

De bestaande cavernes uit de jaren negentig en recenter zijn in theorie wel geschikt voor gasopslag. Echter, deze cavernes zijn relatief klein en ondiep gelegen, waardoor de opslagcapaciteit beperkt is. Met een energieopslagcapaciteit tussen de 11 en 33 GWh is een gemiddelde caverne in Twente ongeveer een factor 10 kleiner dan de beoogde opslag van 230 GWh in de cavernes bij Zuidwending. Hieruit volgt de aanbeveling om verder te verkennen wat de technische haalbaarheid is van een (gekoppeld) netwerk van cavernes in Twente.

Door de aanwezigheid van een dikkere zoutlaag bestaat in theorie in Weerselo en Haaksbergen de mogelijkheid om een grotere caverne met de juiste vorm voor waterstofopslag te realiseren met een mogelijke energieopslagcapaciteit van respectievelijk 121 GWh en 59 GWh. De huidige politieke besluitvorming in Haaksbergen heeft dit voor nu uitgesloten. In Weerselo heeft Nobian een concessie liggen voor toekomstige zoutwinning. Daar kan nog het gebruik van de cavernes voor de gehele levenscyclus mee worden genomen in de (initiële) ontwikkeling van nieuwe cavernes. Dit vraagt om nauwe samenwerking tussen verschillende partners in de regio, die met een nieuwe systeembenadering de exploitatie en het eigendom in verschillende stadia van de caverne voor hun rekening nemen.

Naast waterstof hebben we ook perslucht als potentieel opslagmedium in de Twentse ondergrond benoemd. Perslucht kent minder risico's dan waterstof wat betreft reacties in de ondergrond. Echter, persluchtopslag (CAES) heeft een ander regime in de tijd: dagelijkse of uurlijkse cycli, terwijl waterstofopslag geschikt is voor een grotere wekelijkse tot maandelijkse tijdschaal. De beide opslagmedia zijn vanuit energie-oogpunt dus eerder complementair aan elkaar. Nader onderzoek moet uitwijzen of we een deel van de bestaande cavernes voor persluchtopslag geschikt kunnen maken.

Tot slot, willen we onze ogen niet sluiten voor technische onzekerheden zoals vervorming van zoutstructuren, drukverschillen die de capaciteit doen afnemen, en zelfs risico's op inzakken. Hier wordt wereldwijd nog volop onderzoek naar gedaan.

Conclusie

De verkenning van de huidige en toekomstige energiescenario's laat zien dat er momenteel nog geen (structurele) behoefte is aan energieopslag in het Twentse energiesysteem; perioden met een overschot aan energie vanuit hernieuwbare bronnen komen nagenoeg niet voor. Echter, gezien de ontwikkelingen in de laatste jaren en voorziene toename in de opwekking van met name energie uit zon, ontstaat richting 2050 een onbalans en daarmee behoefte aan grootschalige opslag van energie.

Uit een afweging van verschillende opslagmedia blijken met name waterstof en perslucht daarvoor geschikt. Waterstof is met name interessant, omdat het per volume-eenheid een veel grotere opslagcapaciteit heeft en bovendien vraag-aanbod verschillen over de seizoenen heen kan overbruggen. Deze eigenschap van waterstof is zwaarwegend, vanwege de relatief beperkte omvang van de cavernes en beperkte dikte van de zoutstructuren in Twente. Desondanks kan perslucht een rol in het toekomstig energiesysteem vervullen, vanwege het kortere tijdsregime, waarmee korte pieken kunnen worden afgevlakt. Waterstof en perslucht zijn dus mogelijk complementair aan elkaar.

Op basis van een studie naar mogelijk geschikte locaties voor ondergrondse opslag in Twente, zijn drie zoekgebieden naar voren gekomen: Weerselo, Haaksbergen en Hengelo. Qua opslagcapaciteit komt de locatie in Weerselo momenteel als meest kansrijk naar voren. Hier is het volgens de modelberekeningen mogelijk om een caverne te ontwikkelen met een opslagcapaciteit in de vorm van waterstof van ruim 120 GWh. Internationaal gezien is er ervaring met de opslag van waterstof in zoutcavernes opgedaan, maar niet met het doel energieopslag. Met de scenario's voor benodigde opslagcapaciteit van rond de 1000 GWh per jaar in 2050, is het raadzaam om de mogelijkheden van een (geschakeld) netwerk van cavernes verder te onderzoeken.

Uit een inventarisatie van de aanwezige infrastructuur concluderen we dat Twente vrij centraal ligt in het Europese waterstofnetwerk met aansluitmogelijkheden in alle windrichtingen. Bovendien blijkt uit onderzoek dat het bestaande aardgasnetwerk veilig kan worden ingezet voor het transport van waterstof. Daarmee biedt het mogelijkheden voor decentrale productie en gebruik van waterstof, bijvoorbeeld voor benutting binnen industriële processen, zodat het elektriciteitsnetwerk minder hoeft te worden belast dan in een volledig elektrisch scenario. Dergelijke aspecten zijn natuurlijk ook relevant om te beschouwen in het licht van een mogelijke business case, de maatschappelijke kosten en baten, alsmede een overkoepelende uitvoeringsstrategie om ondergrondse energieopslag in Twente werkelijkheid te laten worden; de onderwerpen in het vervolg van ons onderzoek. Ondergrondse energieopslag kan daarmee straks ook een bijdrage zijn van de regio Twente aan de energietransitie in Nederland.

Referenties

1. Coördinatieteam RES Twente. (2021). *Regionale Energiestrategie Twente 1.0*. 18-5-2021.
2. van Gessel, S. F., Huijskes, T., Juez-Larré, J., & Dalman, R. A. F. (2021). *Ondergrondse Energieopslag in Nederland 2030–2050. Technische evaluatie van vraag en aanbod*.
3. van Gessel, S. F., Huijskes, T., Juez-Larre, J., & Dalman, R. (2021). *Ondergrondse Energie opslag in Nederland 2030-2050: Ontwikkelpaden en aanbevelingen*.
4. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (z.d.). *Regionale klimaatmonitor—Klimaatmonitor*. Geraadpleegd 11 februari 2024, van https://klimaatmonitor.databank.nl/
5. Wijnant-Timmerman, S. I., & Van Leeuwen, R. P. (2024). *Het energiesysteem in Twente en de rol van ondergrondse opslag*. Saxion University of Applied Sciences.
6. RTV Oost. (2023, oktober 17). *Overijssel begrijpt dat minister veel huizen wil bouwen in Twente en Deventer: 'Veel potentie'—RTV Oost*. https://www.rtvoost.nl/nieuws/2275083/overijssel-begrijpt-dat-minister-veel-huizen-wil-bouwen-in-twente-en-deventer-veel-potentie
7. Budding, D., Munters, P., Rijswijk van, R., Capellen van, L., Bakker, C., & Hesselink, F. (2024). *Oplossingen voor netcongestie bij bedrijven. Praktijkvoorbeelden met toekomstig potentieel en kosten per oplossing*. https://ce.nl/publicaties/oplossingen-voor-netcongestie-bij-bedrijven/
8. CBS. (2024, maart 7). *Bijna helft elektriciteitsproductie komt uit hernieuwbare bronnen | CBS*. https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2024/10/bijna-helft-elektriciteitsproductie-komt-uit-hernieuwbare-bronnen
9. van Gessel, S., Huijskes, T., Schroot, B., & Dalman, R. (2021). *Ondergrondse energieopslag noodzakelijk voor toekomstige energiesysteem: Opslag garandeert leveringszekerheid en flexibiliteit van het toekomstig energiesysteem*.
10. van Gessel, S. F., Breunese, J. N., Juez-Larre, J., Huijskes, T. D., & Remmelts, G. (2018). *Ondergrondse opslag in Nederland-Technische verkenning*. TNO.
11. Burton, N. A., Padilla, R. V., Rose, A., & Habibullah, H. (2021). Increasing the efficiency of hydrogen production from solar powered water electrolysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *135*, 110255.
12. EnergyStock. (z.d.). *Energiebuffer Zuidwending*. Geraadpleegd 22 januari 2024, van https://www.energiebufferzuidwending.nl/
13. CE Delft. (2017). *Net voor de Toekomst*.
14. Rabi, A. M., Radulovic, J., & Buick, J. M. (2023). Comprehensive review of compressed air energy storage (CAES) technologies. *Thermo*, *3*(1), 104-126.
15. van Bergen, F., & Lam Yip, C. (2019). *Het hergebruik van ondergrondse cavernes voor warmtetoepassingen*. EBN B.V. https://www.kasalsenergiebron.nl/content/user_upload/Eindrapport_Het_hergebruik_van_ondergrondse_cavernes_voor_warmtetoepassingen.pdf
16. Ministerie van Algemene Zaken. (2023). *Fossiele brandstoffen in de toekomst*. Ministerie van Algemene Zaken. https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/duurzame-energie/toekomst-fossiele-brandstoffen
17. Tezel, G., & Hensgens, R. (2021). *HyWay 27: Waterstoftransport via het bestaande gasnetwerk*.
18. Vattenfall. (z.d.). *Gasopslag Epe nog belangrijker na sluiting Groninger gasvelden*. Geraadpleegd 15 mei 2024, van https://group.vattenfall.com/nl/newsroom/achtergrondartikel/2024/gasopslag-epe-nog-belangrijker-na-sluiting-groninger-gasvelden
19. WaterstofNet. (2023). *Cross-border Hydrogen Value Chain in the Benelux and Its Neighbouring Regions*. https://www.waterstofnet.eu/_asset/_public/Publicaties/Final-Report-Benelux-H2-Project_FINAL.pdf
20. EHB. (z.d.). *European Hydrogen Backbone Maps*. Geraadpleegd 16 mei 2024, van https://ehb.eu/page/european-hydrogen-backbone-maps
21. Stouwie, B. (2020). *Hydrogen storage; technical information*. https://www.gasunie.nl/projecten/waterstofnetwerk-nederland/marktconsultatie-waterstofbackbone
22. SODM. (z.d.). *Staatstoezicht op de Mijnen*. Geraadpleegd 17 april 2024, van https://www.sodm.nl/
23. Polman, E. (2020). Opslag van waterstof in zoutcavernes. *Kenniscentrum gasbeheer*. https://www.netbeheernederland.nl/sites/default/files/page_files/Waterstof_56_fdb5487206.pdf
24. Williams, J. D., Williamson, J. P., Parkes, D., Evans, D. J., Kirk, K. L., Sunny, N., Hough, E., Vosper, H., & Akhurst, M. C. (2022). Does the United Kingdom have sufficient geological storage capacity to support a hydrogen economy? Estimating the salt cavern storage potential of bedded halite formations. *Journal of Energy Storage*, *53*, 105109.
25. Tarkowski, R. (2019). Underground hydrogen storage: Characteristics and prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *105*, 86-94.
26. Crotogino, F., Donadei, S., Bünger, U., & Landinger, H. (2010). Large-scale hydrogen underground storage for securing future energy supplies. *18th World hydrogen energy conference*, *78*, 37-45. https://core.ac.uk/download/pdf/34994782.pdf#page=62
27. Crotogino, F., & Huebner, S. (2008). Energy storage in salt caverns: Developments and concrete projects for adiabatic compressed air and for hydrogen storage. *KBB Underground Technologies GMBh, Hannover, Germany. SMRI Spring Technical Meeting, Porto, Portugal*, 28-29.
28. Landinger, H., & Crotogino, F. (2007). The role of large-scale hydrogen storage for future renewable energy utilisation. *Second International Renewable Energy Storage Conference (IRES II)*.
29. Hevin, G. (2019). Underground storage of Hydrogen in salt caverns. *European Workshop on Underground Energy Storage November 7th–8th*.
30. Gaffney Cline. (2022). *Underground Hydrogen Storage*. http://www.gaffneycline.com/
31. Saville, R. (2024). *Underground hydrogen storage in salt caverns: The potential of bedded salt formations* [Afstudeerscriptie]. Universiteit Utrecht.