

Memo van de gedeputeerde

M.J.G. Spierings

Gedeputeerde Energie, Circulaire economie en Milieu

Onderwerp

Overzicht energieopslagtechnologieën

Datum

9 mei 2022

Documentnummer

5073379

Aan

Provinciale Staten van

Noord-Brabant

Kopie aan

Van

M.J.G. Spierings

Telefoon

Email

mspierings@brabant.nl

Bijlage(n)

-

Geachte Statenleden,

Via deze memo wil ik u graag informeren over de stand van zaken welke energieopslagtechnologieën beschikbaar zijn (en/of komen) inclusief interessante innovaties op dit gebied.

Deze technologieën kunnen een mogelijke oplossing bieden voor (o.a.) een deel van de schaarste op het elektriciteitsnet en oplossingen voor dag-nacht, weers- en seizoen ritmes van duurzame energie.

Hiermee wordt invulling gegeven aan een toezegging gedaan in de begrotingsbehandeling 2022 (Statenvoorstel 55/21 met stuknummer 4994011) in PS.

Opslagtechnologieën

Er zijn vele energieproductie- en opslagmethoden. Hieromtrent zijn reeds enkele Statenmededelingen en memo's de afgelopen tijd verschenen.

Dit zijn:

- [Innovatieve energiebronnen \(december 2019\)](#)
- [Eerste onderzoek naar het Brabantse energiesysteem \(juni 2021\)](#)
- [Waterstof \(november 2021\)](#)
- [Beschikbare technieken warmtetransitie \(januari 2022\)](#)

In deze memo wordt eerst een algemeen beeld geschetst van beschikbare opslagtechnieken voor elektriciteit. Daarna wordt specifiek ingegaan op de opslagmethoden die mogelijk een rol kunnen spelen in het energiesysteem binnen Brabant.

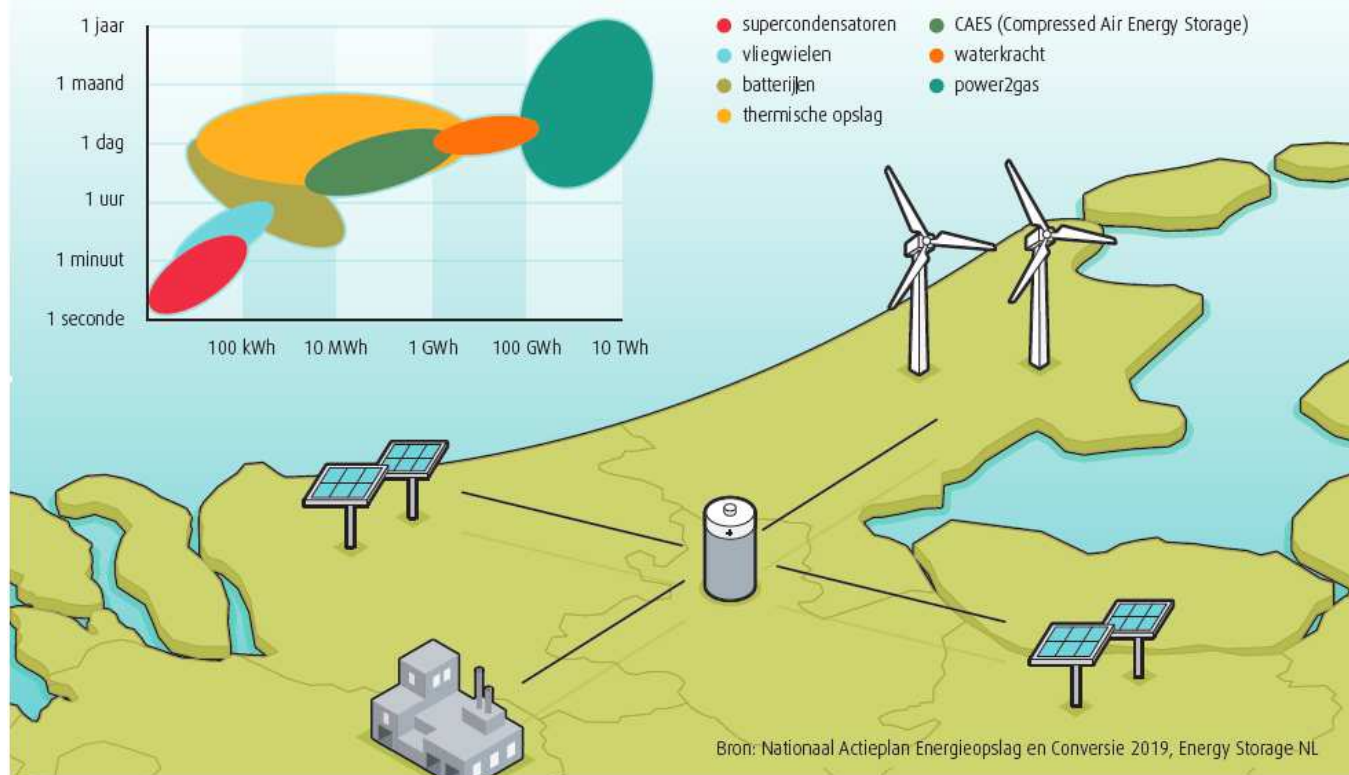
Opslag van energie kan in drie tijdschalen worden ingedeeld:

- minuten/uren;
- dagen/weken;
- maanden/seizoenen.

En er zijn verschillende vormen van energieopslag. Toepassing van een vorm is afhankelijk van de tijdsduur waarop deze opslag nodig is, de omvang van de opslag en de kosten die met toepassing van de betreffende techniek zijn gemoeid (zie figuur 1).

Energieopslag

Een overzicht van technologieën met hun capaciteit en typische opslagduur. Elke vorm van opslag heeft zijn eigen rol. Zo helpt een vliegwiel om de frequentie van het stroomnet stabiel te houden, terwijl thermische energieopslag (onder andere warm water in de bodem pompen) geschikt is voor seizoenopslag.



Figuur 1 toont een globaal overzicht van technologieën, opslagduur en hun capaciteit.

In tabel 1 is een generiek overzicht opgenomen van verschillende opslagvormen/technologieën met de aard van opslag, de manier waarop energie wordt omgezet in een andere vorm en de meest geschikte toepassing. Hierbij is zowel een indicatie van de tijdschaal (korte of juist lange termijn) als het toepassingsgebied (industrie, wonen) waarvoor het ingezet kan worden aangegeven.

Nr	Opslagvorm/	Van-> Via-> Naar	Tijdschaal (+/-)*	Toepassing**
----	-------------	------------------	-------------------	--------------

	Technologie	E= elektra K= druk/beweging M= molecuul W=warmte	Min/uren	Dag/weken	Maanden/ seizoenen	IW WW I
1	Batterijen – diverse soorten en grootten	E=>M=>E	+	+	datum 9 mei 2022	IW, WW, I
2	Kinetische opslag (luchtdruk, flywheels)	E=>K=>E	+	+	documentnummer	I
3	Koolwaterstoffen en combinaties in synthetische en biologische koolwaterstofroutes (o.a. Waterstof, methanol, mierenzuur, biogas, grondstoffen)	E=>M=>E (+ rest W)	-	-	+	WW, I
4	Ammoniak	E=>M=>E (+ rest W)	-	-	+	I
5	Metal fuels (metaalpoeder)	E=>M=>E (+ rest W)	-	-	+	I
6	Warmte opslag in puur materiaal (beton, basalt, water, etc.)	W=>W	+	+	+	IW, WW, I
7	Opslag van warmte in materialen met verandering van aggregatietoestand (bv in korrels en gels).	W=>M=>W	-	-	+	WW, I

Tabel 1

- * + = geschikt, - = Ongeschikt
- ** IW = individuele woning, WW = Woonwijk, I = Industrie

Voor stabilisering van het net worden kortstondige opslagmethoden ingezet zoals supercondensatoren, vliegwielen en batterijen.

Energieopslagtechnologieën en conversiemethoden zijn sterk in ontwikkeling, met name op het gebied van prijs en technische prestaties.

Energieopslagtechnologieën

Elektriciteit kan worden opgeslagen via verschillende technologieën:

- A. Elektrochemische opslag is de meest bekende vorm van het opslaan van elektriciteit namelijk de batterij;
- B. Bij chemische opslag wordt elektriciteit omgezet in een molecuul, waterstof is de meest bekende. Er zijn verschillende stoffen die geschikt zijn om via elektriciteit energie in op te slaan. De toepassing of toepasbaarheid van die verschillende stoffen is afhankelijk van o.a. energiedichtheid (per kg of liter), temperatuur bij verbranding of omzetting (inclusief restwarmte benutting), veiligheid, enz.;

- C. Mechanische opslag; (kinetische)energie wordt opgeslagen en deze energie komt via beweging weer vrij. Deze beweging kan gebruikt worden om elektriciteit op te wekken via generatoren.

Datum

9 mei 2022

Documentnummer

Ad. A. Elektrochemische energieopslag

- Batterijen

Er zijn diverse typen batterijen voor elektriciteitsopslag zoals o.a. loodzuur-batterijen, lithiumbatterijen, Vanadium Redox Flow Batterijen en zoutwaterbatterijen (b.v. greenrock). Ieder batterijtype heeft haar eigen specifieke eigenschappen en kan dienst doen als ononderbroken noodstroomvoorziening, als off-grid- en micro-gridondersteuning, vraagverschuiving, piekreductie en transport.

Voor lange termijnopslag (seizoen) is de batterij niet geschikt en daarnaast treedt ook zelfontlading op.

De auto-industrie jaagt de ontwikkelingen in batterijopslag aan door over te stappen naar elektrische auto's waarvoor accu's nodig zijn.

Ook komen er steeds meer spelers op de markt voor thuisbatterijen om de opgewekte zonnestroom in op te slaan. Thuisbatterijen of buurtbatterijen kunnen een deel van de oplossing voor het bufferingsvraagstuk zijn dat nodig en nuttig is. De kosten voor een thuisbatterij zijn nog relatief hoog.

Voorbeeld: een Tesla powerwall (13,5 kWh) kost eenmalig circa 6000 euro.

Stel dat een kWh inkopen € 0,50 kost. Dan zou je minstens 12.000 kWh moeten opslaan om de investering terug te verdienen. Ten opzichte van een jaargebruik van 3000 tot 4000 kWh is dat respectievelijk 3 tot 4 jaar.

Tevens zal dit volledige aantal over een heel jaar niet lukken omdat er in de zomer (te) veel elektriciteit is en in de winter (te) weinig om de batterij volledig te vullen. Bovendien is de vergoeding voor terugleveren (die momenteel sterk uiteenloopt tussen de verschillende energieleveranciers) nog niet in deze berekeningen meegenomen.

Grosso modo kan met een volledige gevulde thuisbatterij van het type Tesla powerwall 1 of 2 dagen worden overbrugd, afhankelijk van de mate van inzet en energiezuinigheid van de apparatuur in huis.

Het Amerikaanse bedrijf SunPower brengt 2 nieuwe versies van haar thuisbatterij SunPower op de markt van 26 en 52 kWh die tevens als noodstroomvoorziening kan dienen.

Als in de toekomst de salderingsregeling wordt afgebouwd en met de stijgende energiekosten komt de terugverdientijd dichterbij.

Echter een gezamenlijke buurtbatterij in combinatie met een set aan elektrische voertuigen zal over het algemeen een betere businesscase geven.

Het rapport "[Het batterijenlandschap](#)" geeft een uitgebreide beschrijving van de huidige en toekomstige batterijen.

In opdracht van TKI Urban Energy en Enexis heeft CE Delft een onderzoek uitgevoerd. Het rapport [Omslagpunt grootschalige batterijopslag](#) beschrijft de betekenis van batterijopslag voor inpassing van zon in het energiesysteem. Een conclusie van deze rapportage is dat er een forse versnelling van de

uitrol van hernieuwbare opwek mogelijk is door gebruik te maken van batterijen bij bestaande aansluitingen van zonneparken.

Ad. B. Chemische Energieopslag (=opslag in moleculen)

Datum

9 mei 2022

Documentnummer

- [Waterstof](#)

In de statenmededeling [waterstof](#) wordt uitgebreid ingegaan op de verschillende soorten, productiemethoden etc.

Het momenteel meest toegepaste omzettingsproces van elektra naar waterstof (H_2) heeft een groot (conversie)verlies (33%) en er komt veel warmte bij vrij. Het Australisch bedrijf Hysata claimt [een nieuwe manier te hebben ontdekt om waterstof te maken](#) met een conversieverlies van 5%. De verwachting is dat dit nog jaren kan duren voordat het in voldoende mate is uitontwikkeld. Waterstof is lastig op te slaan, mede omdat het een klein molecuul is. Verder is een relatief groot volume en hogedruk nodig om grote hoeveelheden energie op te kunnen slaan.

Elektrolyse is een bewezen techniek voor het maken van waterstof. De doorontwikkeling van het elektrolyseproces door o.a. VDL/Dutch Electrolyzer richt zich met name op het toepassen van andere materialen en verlengen van de levensduur en kostenreductie van de installatiemodules zodat deze op grote schaal toe te passen zijn.

Waterstof kan in meerdere vormen worden opgeslagen en (internationaal) getransporteerd. Welke vorm de standaard gaat worden is afhankelijk van ontwikkelingen op de wereldmarkt. Zo zal de energiedichtheid per liter of kg een rol spelen maar ook de mate van het kunnen bewerken of verwerken van de stof (bijvoorbeeld verpompen) en/of de mate van externe veiligheid (giftigheid, ontploffingsgevaar). Waterstof kan op de internationale markt 'verpakt' gaan worden als vloeistof (liquid organic hydrogen carrier), H_2 onder druk, of als gas (NH_3 , H_2 , methaan). De verwachting is dat het in een bepaalde vorm (via schepen) kan worden geïmporteerd (bijv. uit Zuid-Europa) en dat via een H_2 gasleiding verder het land in wordt getransporteerd en er mogelijk (kleine) gasbuffers nodig zijn.

Een andere mogelijkheid is dat een gedeelte van de productie van windparken op de Noordzee die na 2030 gebouwd gaan worden (noordelijk op Noordzee) ook zal worden gebruikt om waterstof te maken (bijv. op de Doggersbank). Via gasleidingen wordt het dan aan land gebracht omdat stroomkabels voor deze afstand mogelijk te duur worden.

- [Ammoniak](#)

Ammoniak (NH_3), bestaat uit stikstof (N_2) en waterstof (H_2) en is een brandstof en waterstofbron.

Het principe is dat (groene) stroom water splitst met elektrolyse, waarbij waterstof en zuurstof ontstaan. Waterstof kan samen met stikstof uit de lucht (de atmosfeer bevat 78 procent stikstof) onder hogedruk en temperatuur omgevormd worden tot ammoniak (NH_3). Ammoniak kan, in tegenstelling tot waterstofgas, in grote tanks als vloeistof worden opgeslagen (bij een overdruk van 8,5 bar op kamertemperatuur of onder atmosferische druk bij min 33

graden Celcius). Het heeft een hoge energiedichtheid (de helft van diesel) en kan schoon verbranden; met een geschikte katalysator en niet te veel zuurstof komen alleen waterdamp (H_2O) en stikstof (N_2) vrij.

Ammoniak wordt nu nog traditioneel gemaakt via het Haber-Boschproces, dat goed gedijt op grote schaal en op continue basis.

Ammoniak is giftig en explosief. Een gevaarlijke concentratie in de werkomgeving kan bij het vrijkomen van dit gas zeer snel worden bereikt. Het is traanverwekkend en de stof werkt bijtend op de ogen, de huid en in de luchtwegen. Bij blootstelling aan hoge concentraties kan kans op verstikking ontstaan met dodelijke afloop. In Nederland gelden strenge regels omtrent gebruik en opslag van ammoniak.

Datum

9 mei 2022

Documentnummer

- [Synthetisch methaan](#)

Van kooldioxide (CO_2) en waterstof (H_2) kun je met een elektrisch procedé synthetisch methaan (CH_4) maken met als restproduct water (H_2O). CO_2 kan dan worden gebruikt als nuttige grondstof.

Methaan kan zo'n 10 keer goedkoper worden opgeslagen dan waterstof.

Er vinden diverse ontwikkelingen hieromtrent plaats. [Carbyon](#), dat is voortgekomen uit het programma Fuelliance en aangesloten is bij het [Dutch Institute for Fundamental Energy Research \(DIFFER\)](#), heeft een techniek ontwikkeld om CO_2 zuiver en relatief betaalbaar af te vangen.

De universiteit van Utrecht [doet onderzoek naar methaan als route voor opslag van energie uit zon en wind](#).

- Synthetisch vloeistoffen zoals Methanol en mierenzuur.

Op dezelfde wijze als bij het synthetisch maken van een gas kan ook een vloeistof worden gemaakt. Ook hier geldt dat wat gewenst is, afhankelijk is van de gewenste eigenschappen voor de toepassing van de vloeistof.

Onderzoekers van TU Delft ontwikkelen meer opslagvormen en toepassingen van Methanol. Terwijl het Brabantse [dense](#) zich richt op mierenzuur (hydrozine). Met deze stoffen kan ook weer efficiënt (zonder al te veel restwarmte) elektriciteit worden gemaakt. Dense gebruikt nu hun generator voor mobiele locaties, zoals b.v. een hydrozine-aggregaat voor op de bouwplaats.

- Metaalpoeders

Metaalpoeders zijn stoffen die circulair een zuurstofmolecuul kunnen toevoegen (bij verbranden) en er afhalen (regenereren). Het wordt gezien als 'de nieuw kolen' omdat het grootschalig en voor een lange termijn (in open opslag) energie kan vasthouden. Hiervoor kunnen meerdere metalen ingezet worden zoals aluminium, zink, magnesium of ijzer. IJzer lijkt momenteel het meest interessant. IJzer is een energiedrager die heel compact is. Dit is een voordeel bij het vervoer. Daarnaast is ijzer een veel voorkomende stof en relatief goedkoop. Een ander aspect is de temperatuur van de vlam. De temperatuur van de ijzervlam van ongeveer $1900\text{ }^{\circ}C$ komt goed overeen met die van de brandstof van bestaande installaties, zodat die met weinig aanpassingen geschikt is voor ijzerpoeder als brandstof. Het resultaat van de

verbranding is energie en roest. De roestdeeltjes worden in een cycloon afgevangen en worden in een volgende stap, de regeneratie, weer omgezet in ijzer. De regeneratie bestaat uit de reductie van het ijzeroxide tot ijzerpoeder. Het poeder wordt in een reactor gemengd met waterstof, dat voor een milieuvriendelijk proces natuurlijk 'groen' moet zijn. Uit de reactor komt schoon ijzerpoeder en water. Het is reeds toegepast bij Bavaria om warmte aan het productieproces van bierbrouwen toe te voegen maar met deze warmte kan ook een generator worden aangestuurd om elektriciteit te produceren. En binnenkort start een 1 MW (warmte voor 500 huishoudens) installatie voor het warmtenet van Ennatuurlijk in Helmond.

Datum

9 mei 2022

Documentnummer

Ad. C. Mechanische energieopslag

Voor de volledigheid zijn mechanische energieopslagtechnologieën opgenomen.

Deze komen in Brabant tot op heden niet of nauwelijks voor.

- [Gecomprimeerde lucht](#)
Lucht wordt gecomprimeerd en onder hogedruk opgeslagen in vaten of ondergrondse cavernes met behulp van overtollige energie. Deze gecomprimeerde lucht wordt later door toevoegen van warmte geëxpandeerd door een conventionele gasturbine om elektriciteit op te wekken. Compressed Air Energy Storage (CAES) heeft een hoge opslagcapaciteit.
- [Pompcentrale](#)
In een pompcentrale wordt elektriciteit geproduceerd of opgeslagen door middel van hoogteverschil tussen twee waterbassins. Bij vraag naar elektriciteit wordt water vrijgelaten van het bovenste bassin, dat een turbine in beweging zet waardoor elektriciteit wordt geproduceerd. Een pompcentrale is een efficiënte en voordelige vorm van energieopslag met een lange levensduur en een lage slijtage om elektriciteit in bulk voor een langere termijn op te slaan.
- Opslag in gewichten
Er zijn technieken om ten tijde van overschot van elektra zware blokken in de lucht te hijsen. Bij een tekort aan elektra kan dit weer (met de zwaartekracht) naar beneden gelaten worden en kan het elektra genereren.
Het Zwitserse bedrijf Energy Vault heeft een systeem ontwikkeld "de [blokkentoren](#)". Het systeem heeft volgens Energy Vault een efficiëntie van rond de 90 procent.
De techniek is nog in ontwikkeling.
- Vliegwielen
Opslag van elektrische energie in een vliegwiel is een bekende techniek. Vliegwielen zijn geschikt voor het leveren van hoge vermogens over een korte periode en worden ingezet door de netbeheerders om de frequentie op het elektriciteitsnet en kleine verschillen in aanbod en vraag op te vangen.

Energieopslag en –conversietechnologieën voor zowel elektra als warmte zijn continu in ontwikkeling. Diverse interessante technieken die in Brabant (mede) worden ontwikkeld zijn reeds genoemd. Onderstaand zijn deze aangevuld en is vermeld wie er mee bezig zijn.

De meeste innovaties ontvangen een vorm van ondersteuning vanuit de provincie (subsidies, fondsen, financiering etc.) of hebben deze in het verleden ontvangen.

Datum

9 mei 2022

Documentnummer

- Batterij technologie: LeydenJar, Lionvolt (3D solid-state batterijen), Holst en het BCC (Battery Competence Center). Nieuwe generatie batterijen met lagere kostprijs, circulair, hogere energie-intensiteit en geen zeldzame aardmetalen.
- Mierenzuur/waterstof generator van DENS; voor energieopslag en duurzame stikstofvrije energievoorziening op o.a. bouwplaatsen.
- Heliox, Energie infrastructuur via batterijen, opslag- en (snel)laadsystemen.
- Innovatiecoalitie waterstof (PNB, BOM, EIRES, bedrijven), gericht op doorbraak elektrolyzer op wereldmarkt zetten (Next Gen Electrolyzers), met onder andere VDL/ Dutch Elektrolyzer, Prodrive, Demcon.
- GreenH2UB, zie www.greenh2ub.nl; wind/zonneparken met groene waterstof in 1 systeem. Kan oplossing zijn voor netcongestiemanagement via vraag/aanbod sturing.

Met betrekking tot warmte:

- Een gesloten systeem voor geothermie, waarmee men niet meer afhankelijk is van de aanwezigheid geschikte watervoerende lagen in de bodem.
- De Cesar warmteaccu, waar (duurzame) elektriciteit wordt omgezet in hoge temperatuur warmte en opgeslagen in basaltblokken. Deze wordt momenteel gerealiseerd in het Ecodorp in Boekel.
- De zoutbatterij, waarin waterdamp en een zouthydraat bij elkaar kunnen worden gebracht waarbij warmte vrijkomt. Een techniek die is ontwikkeld door TNO en de Technische Universiteit Eindhoven. Het initiatief is te zien via <https://cellcius.com/>
- Metal fuels, verbranden van ijzerpoeder, RIFT (Renewable Iron Fuel Technology).

Met vriendelijke groet,

M.J.G. Spierings