

Kennisdocument thuisbatterijen

Algemene informatie voor overheden,
installateurs en consumenten



Committed to the Environment

Kennisdocument thuisbatterijen

Algemene informatie voor overheden, installateurs en consumenten

Delft, CE Delft, mei 2023

Publicatienummer: 23.220408.074

Opdrachtgever: Huawei Technologies B.V.

Dit kennisdocument is opgesteld door: Heleen Groenewegen, Lucas van Cappellen en Marieke Nauta

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al meer dan 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



1 Introductie van het energiesysteem en thuisbatterijen

1.1 Het nieuwe energiesysteem



Het energiesysteem in Nederland verduurzaamt door de overstap op hernieuwbare energie. Als onderdeel daarvan elektrificeert de samenleving in hoog tempo. Door steeds meer gebruik van elektrisch vervoer, elektrificatie in de industrie, warmtepompen in huizen en de aanleg van zonnepanelen en windmolens ontstaat zowel een grotere vraag als ook steeds meer aanbod van duurzame elektriciteit. Flexibiliteit wordt daardoor steeds belangrijker en is nodig voor twee doeleinden:

- **Energiebalancering:** door de toename in vraag naar elektriciteit en duurzame elektriciteitsproductie is er meer behoefte aan flexibiliteit op korte en lange termijn voor de balancering van vraag en aanbod.
- **Netcongestie:** de toename in de vraag en het aanbod van elektriciteit leidt ertoe dat de capaciteit van het huidige elektriciteitsnet onvoldoende is voor alle activiteiten. Dit probleem wordt ook wel netcongestie genoemd. Flexibiliteit kan ook ingezet worden om netcongestie te voorkomen of op te lossen.

Deze flexibiliteit kan gecreëerd worden door slimmer om te gaan met het verbruik (vraagsturing) of met bijvoorbeeld opslag in de vorm van elektriciteit, in moleculen zoals waterstof of in warmte. Opslag in de vorm van elektriciteit kan bijvoorbeeld in grootschalige batterijen of kleinschalig middels thuisbatterijen. In de toekomst is voor particulieren opslag en teruglevering vanuit de accu van hun elektrische voertuigen ook mogelijk, ook wel vehicle-to-grid genoemd.

In deze studie richten we ons op thuisbatterijen. Het doel van dit kennisdocument is om een overzicht te geven over de thuisbatterij en in te gaan op de rol van elektriciteitsopslag in thuisbatterijen, grondstoffen en recycling, brandveiligheid en cybersecurity. In een [verdiepende studie](#) (verwachte oplevering september 2023) richten we ons in meer detail op de businesscase van thuisbatterijen, de relatie met netcongestie, de rol in het energiesysteem en beleidsaanbevelingen voor de overheid en netbeheerders. Daarnaast wordt ook ingegaan op de ontwikkeling van thuisbatterijen in andere landen.

1.2 De thuisbatterij



De thuisbatterij is een batterij die wordt geplaatst bij huishoudens of kleine bedrijven. Thuisbatterijen worden achter de elektriciteitsmeter geplaatst en zijn onderdeel van het elektriciteitssysteem. De focus van dit kennisdocument is de lithium-ion-batterij, aangezien dit momenteel de standaard is voor commerciële thuisbatterij.

Een thuisbatterij kan voor verschillende functies ingezet worden: overtollige zonne-elektriciteit opslaan, handelen op energiemarkten of de piekbelasting op het elektriciteitsnetwerk verlagen. Het opslaan van eigen zonne-elektriciteit leidt tot lagere energiekosten voor het huishouden, doordat er minder energie via de energieleverancier gekocht hoeft te worden. Daarnaast kunnen gebruikers die een dynamisch energiecontract hebben (waarbij de prijzen fluctueren gedurende de dag) elektriciteit inkopen tegen gunstige tarieven en deze opslaan, zodat op momenten van ongunstige tarieven er geen stroom van het net gekocht hoeft te worden. Daarbij biedt het voor veel huishoudens een extra gevoel van onafhankelijkheid, ook al blijft met een thuisbatterij een aansluiting op het elektriciteitsnetwerk vereist. In Nederland zijn er nu nog weinig thuisbatterijen geïnstalleerd, onder andere omdat de terugverdientijd nu nog lang is.

Dit rapport is mede mogelijk gemaakt door betrokkenheid van Huawei, NVDE, ESNL, Netbeheer Nederland, Ministerie van EZK en Nederlands Instituut Publieke Veiligheid.

2 Thuisbatterijmodellen

2.1 Inleiding

De markt voor thuisbatterijen groeit, mede door het groeiend aantal zonnepanelen bij huizen. Er zijn verschillende aanbieders van lithium-ion-thuisbatterijen. Ter illustratie worden in dit hoofdstuk de thuisbatterijen van Huawei, LG Chem, Tesla en SolarWatt kort besproken, aangezien dit in Nederland of wereldwijd grote leveranciers zijn. Voor elk merk is een overzicht gemaakt van verschillende soorten batterijen met gegevens over de opslagcapaciteit en vermogen, kosten en formaat. De kosten zijn indicatief en worden bepaald door de leveranciers. Andere aanbieders van thuisbatterijen zijn onder andere Enphase, Solax, Fronius, Growatt, BYD, Varta, SMA, sonnenBatterie en Mercedes.

Thuisbatterijen zijn er in verschillende soorten en maten. Huidige reguliere modellen kunnen zo'n 2 tot 12 kWh opslaan. Thuisbatterijen zijn toepasbaar in ieder huishouden met genoeg ruimte om de batterij te plaatsen. De levensduur van een thuisbatterij varieert tussen de 10 en 20 jaar, afhankelijk van het aantal laadcycli. De kosten voor een thuisbatterij verschillen van € 2.500 tot € 12.000. Het gewicht varieert tussen de 20 en 170 kg, afhankelijk van de opslagcapaciteit.

Tekstblok 1 - Vermogen (W) en capaciteit (Wh)

Watt (W) en Wattuur (Wh) lijken op elkaar, maar zijn toch verschillend. **Watt** is het vermogen: dit is hoeveel energie een apparaat nodig heeft om te werken per tijdseenheid. **Wattuur** is een maat voor de hoeveelheid energie die wordt verbruikt, opgeslagen of geleverd: een stofzuiger met een vermogen van 1 kW (1 kW is 1.000 W) die een uur aan staat, heeft 1 kWh verbruikt. Een batterij met een capaciteit van 5 kWh kan vijf uur stroom leveren op een vermogen van 1 kW of twee uur op een vermogen van 2,5 kW. Ter vergelijking, een fietsaccu heeft een opslagcapaciteit van 0,4-1,0 kWh en de accu van een elektrische auto 40-100 kWh.

Een Nederlands gemiddeld huishouden met aardgasaansluiting verbruikt dagelijks gemiddeld 7,5 kWh elektriciteit. Indien een huis de warmtevraag niet voorziet met gas maar met een elektrische warmtepomp, dan is het dagelijks gebruik gemiddeld zo'n 15kWh. Er zijn echter sterke onderlinge verschillen in stroomverbruik die bepaald worden door type woning en het aantal personen in een huishouden. Ook varieert het stroomgebruik gedurende de seizoenen, met name als de warmtevraag elektrisch geregeld is.

2.2 Voorbeelden van thuisbatterijen

Huawei Luna2000

Het Chinese Huawei produceert de modulaire thuisbatterij *Huawei Luna2000*. Doordat de batterij modulair is, kan de batterij indien gewenst uitgebreid worden door meer modules op elkaar te stapelen. Hierdoor wordt de opslagcapaciteit vergroot naar 15 kWh.

Thuisbatterijmodellen van Huawei

Naam	Opslagcapaciteit en vermogen (kWh/kW)	Kosten (€)	Formaat (b x d x h) (cm)
Bron: (Huawei)			
LUNA2000 5 kWh	5/2,5	~ 4.700	67 x 15 x 60
LUNA2000 10 kWh	10/5	~ 8.100	67 x 15 x 96
LUNA2000 15 kWh	15/5	~ 11.600	67 x 15 x 132



Huawei-omvormer en -thuisbatterijen (10 kWh) (MR Solar)

LG Chem

LG Chem is onderdeel van het Zuid-Koreaanse LG. Het merk biedt batterijen met diverse bruikbare opslagcapaciteiten. De LG RESU FLEX is een modulaire batterij waarbij tot wel vier batterijmodules gecombineerd kunnen worden, in totaal goed voor 17,2 kWh (Memodo blog, n.d.).

Thuisbatterijmodellen van LG Chem

Naam	Opslagcapaciteit en vermogen (kWh/kW)	Kosten (€)	Formaat (b x d x h) (cm)
Bron: (Alma Solar)			
RSU3.3	3,3/3	~ 2.500	45 x 12 x 40
RSU6.5	6,5/4,2	~ 4.000	45 x 12 x 65
RSU10	9,8/5	~ 5.400	45 x 23 x 48
RSU12	13,1/5	~ 6.500	45 x 23 x 63
RESU10H PRIME	9,6/5	~ 7.000	50 x 30 x 82
RESU16H PRIME	16/7	~ 10.000	50 x 30 x 109
RESU FLEX (BMA)	8.6/4,3	~ 4.000	67 x 15 x 67



Omvormer (boven) en de LG RSU10 thuisbatterij (onder) (Q-Home).

SolarWatt

Het Duitse SolarWatt maakt thuisbatterijen in samenwerking met BMW. Het Solarwatt Battery flex-systeem is modulaair opgebouwd en kan gestapeld worden tot 57,6 kWh.

Thuisbatterijmodellen van SolarWatt

Naam	Opslagcapaciteit en vermogen (kWh/kW)	Kosten (€)	Formaat (b x d x h) (cm)
Bron: (SolarWatt)			
Flex base accu	4,8/6	~ 4.800	54 x 30 x 25
AC-1.3			
Flex middle/top pack	2,4/0.8	~ 1.100	54 x 30 x 14

Rechts: drie SolarWatt MyReserve packs en een base accu (Twente Zon).



Tesla Powerwall

De Amerikaanse autofabrikant Tesla levert ook thuisbatterijen. De Powerwall is vanwege grote opslagcapaciteit met name interessant voor een huishouden met groter verbruik. Er kunnen tot wel tien Powerwalls aan elkaar gekoppeld worden om een grotere opslagcapaciteit te creëren. Powerwall 2 is op dit moment nog niet te koop in Nederland.

Thuisbatterijmodel van Tesla

Naam	Opslagcapaciteit en vermogen (kWh/kW)	Kosten (€)	Formaat (b x d x h) (cm)
Bron: (Tesla360, 2022)			
Powerwall 2	13,5/5	~ 7.000-8.000	75 x 15 x 115

Rechts: Tesla Powerwall en lader voor elektrische auto (Tesla).



3 Rol van thuisbatterijen in het energiesysteem

Thuisbatterijen hebben verschillende mogelijke rollen in het energiesysteem. Hieronder zijn drie richtingen weergegeven, elk begeleid met een gestapelde figuur. Hoe de thuisbatterij ingezet wordt hangt af van de keuze van de eigenaar en de software op de thuisbatterij. Deze keuze is mede-gebaseerd op hoe het meeste geld verdiend kan worden met een thuisbatterij. Het is uiteraard mogelijk om de verschillende functies af te wisselen, er is dus niet spraken van uitsluitende één van deze rollen voor een thuisbatterij.

Toelichting rol thuisbatterij	Voorbeeld energiestromen voor één dag
<p>Zonne-energieopslag</p> <p>De thuisbatterij slaat overdag overtollige elektriciteit van zonnepanelen op. De opwek kan verschillen per seizoen, de figuur toont een typisch zonprofiel voor een zomerse dag. In de avond kan de elektriciteitsvraag van het huishouden geleverd worden uit de batterij, in plaats vanuit het elektriciteitsnetwerk. Als de batterij leeg is, moet er elektriciteit afgenomen worden van het net. Met het afschaffen van de salderingsregeling ontstaat er een financiële reden om dit te doen. In ons vervolgonderzoek bekijken we of er dan een rendabele businesscase is voor thuisbatterijen.</p>	
<p>Handel op energiemarkten</p> <p>De thuisbatterij wordt ingezet om geld te verdienen op de energiemarkten, door te laden en ontladen. In de avondpiek is de stroom relatief duur, het is aantrekkelijk om de elektriciteit uit de batterij te gebruiken. Op sommige momenten is het in de toekomst zelfs mogelijk voordelig om de opgeslagen elektriciteit weer te verkopen. Met een dynamisch energiecontract kan een huis deelnemen aan de energiemarkten, deelname aan balanceringsmarkten is mogelijk via een energieleverancier.</p>	
<p>Netcongestie reduceren</p> <p>De dag- en avondpiek wordt actief verlaagd door de batterij. Dit gebeurt door overdag zonne-energie op te slaan en 's avonds de batterij te ontladen, afhankelijk van de behoefte van het elektriciteitsnetwerk. Als er voldoende batterijen zijn, kan de netbelasting verlaagd worden en zou dit netcongestie in het elektriciteitsnetwerk kunnen voorkomen. Daarnaast heeft een huishouden wellicht geen grotere aansluiting op het elektriciteitsnetwerk nodig. Er zijn nu nog geen markten of nettarieven die sturen op het oplossen van congestie door huishoudens.</p>	

Batterijen kunnen ook in een groep ingezet worden door een externe partij, zoals een energieleverancier. De batterij kan dan ingezet worden op andere energiemarkten voor energiebalancering en zo meer geld verdienen. Naast de beschreven functies kan een thuisbatterij ook ingezet worden als back-up-elektriciteitsvoorziening voor het huishouden als de stroom uitvalt. Voor deze noodstroom is vaak nog wel een extra onderdeel nodig.

In de [verdiepende studie](#) onderzoeken we de potentie van thuisbatterijen voor het opslaan van zonne-energie, handelen op energiemarkten en netcongestie verhelpen. Daarbij analyseren we de businesscase voor consumenten en bedrijven die thuisbatterijen centraal kunnen aansturen, de potentiële toegevoegde waarde voor het energiesysteem en belemmeringen.

4 Grondstoffen en recycling

Het groeiend aantal batterijen voor de verduurzaming van voertuigen en het energiesysteem dragen significant bij aan de toenemende vraag naar grondstoffen zoals lithium, kobalt, koper, nikkel en aluminium. Voor thuisbatterijen wordt door de meeste fabrikanten de zogenoemde lithium-ijzerfosfaatbatterij (LFP) gebruikt. Voorheen was ook kobalt, naast lithium, een hoofdcomponent van thuisbatterijen, maar om verschillende redenen wordt kobalt tegenwoordig minder gebruikt.

4.1 Lithium

Cruciaal voor batterijen is het metaal lithium. Lithium wordt momenteel gewonnen in Australië (47%), Chili (30%) en China (15%). China domineert verder de lithiumketen: 60% van al het lithium wordt verwerkt in China en vervolgens wordt meer dan driekwart van de batterijen voor elektrische voertuigen gemaakt in China (NOS, 2023). Lithium is geologisch gezien niet schaars, het is echter onzeker hoeveel lithium economisch winbaar is. Schattingen over de toekomstige vraag naar lithium lopen sterk uiteen, door zowel onzekerheid over toekomstige groeiende vraag als minder vraag door technologische ontwikkelingen. Zo is de verwachting dat batterijen efficiënter worden en daardoor meer energie kunnen krijgen uit dezelfde hoeveelheid materiaal, waardoor er minder grondstoffen nodig zijn. Daarnaast kunnen nieuw type batterijen met andere grondstoffen er ook voor zorgen dat de vraag zich anders ontwikkelt.

Tekstblok 2 - Alternatieve grondstoffen voor (thuis)batterijen

Omdat er een limiet is aan de winning van lithium, wordt er ook gekeken naar batterijen waarin het metaal vervangen wordt door lichte metalen zoals natrium of kalium. Natrium-ion-batterijen lijken op lithium-ion-batterijen, maar gebruiken veel goedkoper en minder zeldzaam natrium. Natrium-ion-batterijen kunnen binnen enkele jaren competitief worden met lithium-ion en zouden een grote rol kunnen spelen voor energieopslagssystemen (NP RES & CE Delft, 2022).

Het World Economic Forum schat dat de vraag in 2030 meer dan 3 miljoen ton lithium carbonate equivalent (LCE) zal bedragen. In 2021 was de wereldwijde productie 540.000 ton LCE en opschaling van zowel de winning als de productie is dan ook vereist (WEF, 2023). Het opstarten van nieuwe mijnbouwprojecten kent een aanlooptijd tussen de 6 en 15 jaar. Lithiumwinning gaat vaak gepaard met ecologische complicaties, zoals vervuiling van land en water en heeft vaak grote gevolgen voor de lokale bevolking. Daarnaast is de productie van lithium een zeer waterintensief proces, terwijl het vaak gewonnen wordt in droge zoutvlaktes waar water schaars is (The Guardian, 2023).

Circulaire ontwerpprincipes kunnen daarom ook een cruciale rol spelen om te voorzien in de vraag(reductie) naar lithium. Ten eerste zorgen optimalisatie van de levensduur en efficiëntie van apparaten in de ontwerpfasen van een product voor een lagere vraag naar grondstoffen (rethink, reduce). Er hoeven zo minder snel nieuwe apparaten te worden geproduceerd. Ook is het van belang dat in het productontwerp rekening gehouden wordt met latere recycling (Royal HaskoningDHV, 2021). Tot slot is het cruciaal om niet alleen de grondstofwinning, maar ook de grondstofrecycling op te schalen en te optimaliseren.

4.2 Europese Critical Raw Materials Act

Momenteel zijn Nederland en de EU voor de toevoer van lithium en andere kritieke grondstoffen (zoals kobalt en grafiet) vrijwel geheel afhankelijk van import. De EU wil minder afhankelijk zijn van import en de risico's van de strategische afhankelijkheid beperken. De European Critical Raw Materials Act moet ervoor zorgen dat de EU haar toevoer van

kritieke grondstoffen aanzienlijk kan vergroten en diversifiëren om zo de leveringszekerheid te borgen (Europese Commissie, 2023). De verordening stelt een regelgevingskader vast om de ontwikkeling van Europese productiecapaciteit te ondersteunen en de duurzaamheid en circulariteit van de toeleveringsketens van kritieke grondstoffen in de EU te versterken. De EU-lidstaten zullen nationale programma's moeten ontwikkelen voor het verkennen van geologische hulpbronnen. In Europa zijn lithiumvoorraden aanwezig in onder andere Spanje, Portugal, Oostenrijk, Frankrijk en Scandinavië. Naar verwachting zal het creëren van draagvlak onder de lokale bevolking voor het (her)openen van mijnen een uitdaging zijn.

Met de verordening worden normen voor de productiecapaciteit binnen de EU vastgesteld voor zowel kritieke als strategische grondstoffen. In 2030 moet de toeleveringsketen voor kritieke grondstoffen minimaal het volgende leveren: 10% van het jaarlijkse EU-verbruik voor raffinage (industriële zuivering noodzakelijk voor verdere verwerking), 40% van het jaarlijkse EU-verbruik voor verwerking en 15% van het jaarlijkse EU-verbruik voor recycling (Europese Commissie, 2023).

4.3 Europese Batterijenverordening

Naast de European Critical Raw Materials Act bevat de nieuwe Europese Batterijenverordening diverse verplichtingen die de circulariteit bevorderen, als mede ook de veiligheid en duurzaamheid. Deze nieuwe verordening zal een modernisering en vervanging zijn van de huidige Batterijenrichtlijn. De verordening beoogt een circulaire economie voor de batterijsector door zich te richten op alle fasen van de levenscyclus van batterijen, van ontwerp tot afvalverwerking. Voorbeelden zijn eisen op het gebied van inzameling, het stimuleren van de repareerbaarheid en hergebruik, recycling en op de verplichting om gerecycled materiaal toe te passen in nieuwe lithiumbatterijen. Zo wordt het streefcijfer voor de terugwinning van lithium uit afgedankte batterijen vastgelegd op 50% in 2027 en 80% in 2031. De verordening voorziet ook in etiketterings- en informatievereisten over de componenten en gerecyclede inhoud van de batterij (Raad van de Europese Unie, 2023). In de Verkenning regelgeving veiligheid batterijen (Royal HaskoningDHV, 2021) wordt uitgebreid ingegaan op de bestaande en nieuwe regelgeving. De auteurs merken op dat er in de voorgestelde verordening veel verantwoordelijkheid bij de producent wordt neergelegd, maar dat het lastig is te controleren of een producent er alles aan doet of een batterij op de juiste manier afgevoerd, verwerkt, gerecycled of refurbished wordt.

4.4 Nederlands beleid

Nederland werkt vanuit de agenda voor Buitenlandse Handel en Ontwikkelingssamenwerking aan het vergroten van de leveringszekerheid van kritieke grondstoffen en via diverse organisaties aan verduurzaming van deze grondstoffenketens. Er komt daarbij steeds meer nadruk op de grondstoffenketens die geraakt worden door de energietransitie en naar de milieu- en klimaatrisico's in deze ketens (Staatssecretaris van I&W, 2022b).

In Nederland is recent ook het Nationaal Programma Circulaire Economie 2023-2050 gepresenteerd, waar de grondstoffenstrategie voor een volledig circulair Nederland in 2050 wordt toegelicht (Ministerie van I&W, 2023). In Nederland geldt op dit moment al een producentenverantwoordelijkheid met betrekking tot batterijen, waardoor de partij die een batterij op de markt plaatst ook verantwoordelijk is voor het op een juiste wijze van de markt afhalen (Stibat, n.d.). De producenten zijn daarmee verantwoordelijk voor (de kosten van) het inzamelen en recyclen van gebruikte producten.

Specifiek voor thuisbatterijen bestaat er momenteel nog geen concreet plan van aanpak. Voor veel andere apparaten en lampen geldt al langere tijd een recyclingbijdrage, die in de prijs van het product verrekend is. Voor zonnepanelen zal binnenkort een hogere recyclingbijdrage gelden, aangezien deze sterk groeiende markt voor een steeds grotere

afvalstroom zal zorgen. Bij een grotere aantal thuisbatterijen zal meer aandacht besteed moeten worden aan de infrastructuur voor veilige inzameling en recycling van thuisbatterij, zoals bijvoorbeeld een installateur die in huishoudens voor veilige demontage zorgt.

4.5 Belgisch beleid rondom inzameling en recycling

In België zijn er vanwege de grotere inzet van thuisbatterijen meer ontwikkelingen rondom de inzameling en recycling. Er geldt, net zoals in Nederland, de producentenverantwoordelijkheid. Om de toekomstige groei van verwerkingskosten te dekken, geldt er sinds 1 januari 2022 een milieubijdrage voor thuisbatterijen. De bijdrage dekt de kosten voor registratie, preventie, sensibilisering, inzameling, ontmanteling, verwerking, recycling, rapportering aan de overheid en onderzoek om na te gaan of de batterij een tweede leven kan krijgen. Deze dient de producent of installateur bij het op de markt komen van de batterij te betalen aan Bebat. Bebat organiseert in België de inzameling en recycling van batterijen, vergelijkbaar met het Nederlandse Stibat (Bebat, n.d.).

5 Brandveiligheid

5.1 Veiligheidsrisico's

De lithium-ion-batterij is een volwassen technologie, maar kent wel veiligheidsrisico's. Hoewel de kans op calamiteiten klein is, is de impact bij brand van een thuisbatterij in een huishouden groot. Het scenario met de grootste gevolgen is het ontstaan van een thermal runaway, waarbij er te veel warmte in de batterijcellen ontstaat, met oververhitting en een onomkeerbaar chemisch verhittingsproces tot gevolg (PGS team, 2022).

Dit leidt tot een felle, lastig te bestrijden brand, het vrijkomen van giftige stoffen en mogelijk een explosie. Bij het blussen ontstaat vervolgens verontreinigd bluswater, wat schadelijk kan zijn voor de brandweer en andere omstanders (Veiligheidsregio Haaglanden et al., 2019). Een thermal runaway kan verschillende oorzaken hebben, zoals:

- productiefout;
- mechanische schade door vallen of stoten;
- extreem laadgebruik van de batterij, oftewel overladen of volledig ontladen;
- te hoge of lage temperatuur;
- veroudering, hieronder valt ook het in gebruik nemen van een oudere tweedehands thuisbatterij;
- ondeskundig onderhoud of ondeskundig uitgevoerde montages of reparaties.

Als eenmaal een thermal runaway plaatsvindt bij een batterij, is de situatie moeilijk te stabiliseren, vanwege de zeer snelle toename van de temperatuur en druk, door de uiterst brandbare bestanddelen van een lithium-ion-batterij. Bij een thermal runaway zal de lithium-ion-energiedrager zeker tot ontbranding komen. Brandbestrijding van thuisbatterijen is lastig, aangezien de batterij een afgesloten geheel is waarbij normaal gesproken geen vocht of stof kan komen. Hierdoor kan het bluswater de batterijcellen slecht bereiken, waardoor de brand zich kan verspreiden naar naastgelegen batterijcellen binnenin de batterij, waardoor de brand heviger wordt. Koeling en blussen kan verdere uitbreiding van de brand beperken, mits het bluswater op enige wijze de batterijcellen kan bereiken.

Het is lastig in te schatten hoe vaak een thermal runaway voorkomt bij een thuisbatterij, omdat er nog geen grootschalig onderzoek naar gedaan is. Daarnaast spelen gebruik en het onderhoud een rol en zijn deze factoren lastig te voorspellen. Om de kans op thermal runaway te verkleinen is voorlichting over veilige plaatsing, gebruik en onderhoud van belang.

Naast thermal runaway zijn andere mogelijke veiligheidsrisico's van lithium-houdende energiedragers het vrijkomen van (toxische) chemicaliën in het geval van beschadiging en elektrische gevaren zoals kortsluiting zoals voor de meeste elektrische apparaten.

5.2 Ingebouwd veiligheidssysteem en veilige plaatsing

Voor batterijen gelden, net zoals voor andere apparaten, internationale product- en systeemnormen en certificeringseisen. Om risico's te verkleinen hebben thuisbatterijen ingebouwde veiligheidssystemen waaronder constante monitoring van de temperatuur, afschakeling bij oververhitting en in sommige gevallen een ingebouwd brandblusmiddel. Daarnaast wordt in de meeste nieuwe modellen gebruik gemaakt van de nieuwere batterijtypes lithium-ijzerfosfaatbatterij (LFP), waarbij de weerstand tegen hoge temperaturen beter is dan bij andere types (NMC of NCA). Hierdoor zal minder snel een thermal runaway plaatsvinden.

Naast ingebouwde maatregelen is het belangrijk om voorzorgsmaatregelen te treffen bij het plaatsen van een thuisbatterij en in het gebruik zorgvuldig om te gaan met het apparaat.

In eerste instantie is het belangrijk dat de thuisbatterij niet op een plek staat waar deze makkelijk beschadigd kan raken. Daarnaast gaat de voorkeur uit naar een locatie die voor hulpdiensten goed bereikbaar is en die niet in de vluchtroute staat voor bewoners. Een voorbeeld van veilige plaatsing kan zijn in een garage, tegen een stenen muur en op ooghoogte. Dit laatste om te voorkomen dat een auto of fiets tegen de thuisbatterij aanstoot. De thuisbatterij kan eventueel ook aan de buitenmuur van een woning geplaatst worden. Het is hierbij echter van belang dat de thuisbatterij beschermd wordt tegen verwarming door zonneschijn en tegen regen.

In de ruimte waar de thuisbatterij staat is het belangrijk dat er voldoende ventilatie is en bij voorkeur ook een brandmelder en een onbrandbare rookgasafvoer. Een brandwerende vloeistofdichte bak om de thuisbatterij kan ook de gevolgen van een brand beperken, doordat deze bak bij brand gevuld kan worden met water. Het document 'Veiligheidsprincipes kleinschalige EOS'en' geeft nog meer gedetailleerde veiligheidsvoorschriften voor zowel gebruikers als voor veiligheidsregio's, verzekeraars en bevoegd gezag (Meijer et al., 2021).

Er is sinds eind 2022 een registratieplicht voor opslageenheden zoals een thuisbatterij bij de netbeheerder. Er is echter geen registratieverplichting bij de brandweer of veiligheidsregio. Voor hulpdiensten kan het cruciaal zijn om bij het betreden van een woning met brand te weten of er een thuisbatterij aanwezig is. Momenteel wordt er gekeken of de brandweer inzicht kan krijgen in de data van de netbeheerder.

De kans op brand bij een thuisbatterij is zeer klein, maar de impact kan groot zijn. Een installateur en de consument zouden op de hoogte moeten zijn van de hiervoor genoemde voorzorgsmaatregelen en op deze manier bijdrage aan de veilig plaatsing van een thuisbatterij. Op dit moment is er nog geen concrete regelgeving voor de plaatsingen van de thuisbatterij en voor erkende installateurs hiervan. Veiligheid bestaat uit een veelvoud van maatregelen, advisering en bewustwording. Zowel de installateur als de eigenaar van de thuisbatterij zou daarom goed geïnformeerd moeten zijn, om zo de risico's te minimaliseren.

Tekstblok 3 - Hergebruik batterijen

Standaardmodellen thuisbatterijen zijn met name het domein van gerenommeerde en grote fabrikanten, waarbij veiligheid een belangrijk thema in de ontwikkeling is. Daarnaast worden batterijen ook vaak hergebruikt. Oudere modellen accu's of systemen met gebruikte batterijen uit elektrische auto's worden bijvoorbeeld op eigen initiatief ingezet als thuisbatterijen. Een tweedehandsbatterij is veel lastiger in te schatten op veiligheidsrisico's, aangezien het onbekend is of de batterij schade heeft geleden. Hierdoor zijn de risico's vele malen groter (OPSS, 2023). Op dit moment worden er ook nog geen regels gesteld aan refurbishment (Royal HaskoningDHV, 2021).

5.3 Beleid voor brandveiligheid

Met een toename van het aantal lithium-ion-batterijen is het belangrijk dat de veiligheid gewaarborgd wordt. Het regelgevend kader blijft echter (nog) achter rondom energie-opslagsystemen met lithium-ion-batterijen en de kennis bij gebruikers is beperkt. Er worden ook geen specifieke eisen met betrekking tot batterijen gesteld aan de brandveiligheid van gebouwen (Royal HaskoningDHV, 2021).

De ‘Circulaire risicobeheersing lithium-ion-energiedragers’ bevat uitleg omtrent de risico’s en adviezen om de veiligheid in de omgeving van lithium-ion-energiedragers te verhogen, voor systemen met een capaciteit van 100 kWh en meer (Ministerie van I&W, 2020). Dit document is opgesteld vooruitlopend op de totstandkoming van daadwerkelijke regelgeving over lithium-ion-energiedragers. Momenteel is er een conceptversie richtlijn voor de veilige opslag van elektriciteit in lithium-houdende energieopslagsystemen groter dan 20 kWh, genaamd PGS 37-1 (PGS team, 2022). De conceptrichtlijn bevat eisen over de constructie, de plaatsing, de brandveiligheidsvoorzieningen en het benodigde onderhoud van de batterijen, om de veiligheidsrisico’s te beperken. PGS 37-1 zal onderdeel worden van de Omgevingswet, in het ‘Besluit activiteiten leefomgeving’ (Bal), en daarmee het wettelijke kader vormen voor lithium-ion-energiedragers groter dan 20 kWh. Aangezien thuisbatterijen voornamelijk kleiner zijn dan 20 kWh, zal deze richtlijn niet gaan gelden voor de meeste thuisbatterijen, maar voor grotere batterijsystemen voor in huishoudens met een groot elektriciteitsverbruik of buurtbatterijen. De verwachting is dat een toekomstige richtlijn voor thuisbatterijen wel veel gelijkenis zal tonen met PGS 37-1.

Het ontbreekt dus momenteel aan (aankomende) regelgeving op het gebied van brandveiligheid voor kleinere batterijsystemen zoals de thuisbatterij. Regelgeving voor thuisbatterijen zou kunnen voortborduren op aanstaande wetgeving voor grotere lithium-ion-energiedragers, maar kent mogelijk andere maatregelen door de kleinere omvang. Hiervoor is aanvullend onderzoek nodig, welke zich nu in een beginstadium bevindt. Staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat, Vivianne Heijnen, heeft aangekondigd nader onderzoek te willen laten doen naar risicoprofielen van thuisbatterijen (Staatssecretaris van I&W, 2022a).

Specifiek zou de regelgeving in kunnen gaan op aanvullende veiligheidseisen voor fabrikanten, zoals het verplicht stellen van ingebouwde blusmiddelen of een ingebouwde vulopening met verzegeling, welke opent bij hoge temperaturen. Hierdoor kan de brandweer alsnog de normaal gesproken afgesloten batterijcellen blussen. Inzicht in data over huishoudens met thuisbatterijen is van belang voor de veilige inzet van de brandweer en ontbreekt momenteel nog. Daarnaast zou regelgeving voor thuisbatterijen zich ook kunnen focussen op regelgeving en certificering rondom installateurs, plaatsing en onderhoud. Regelgeving en algemene kennisuitbreiding kan het bewustzijn bij consumenten vergroten wat risico’s kan verkleinen.

6 Cybersecurity

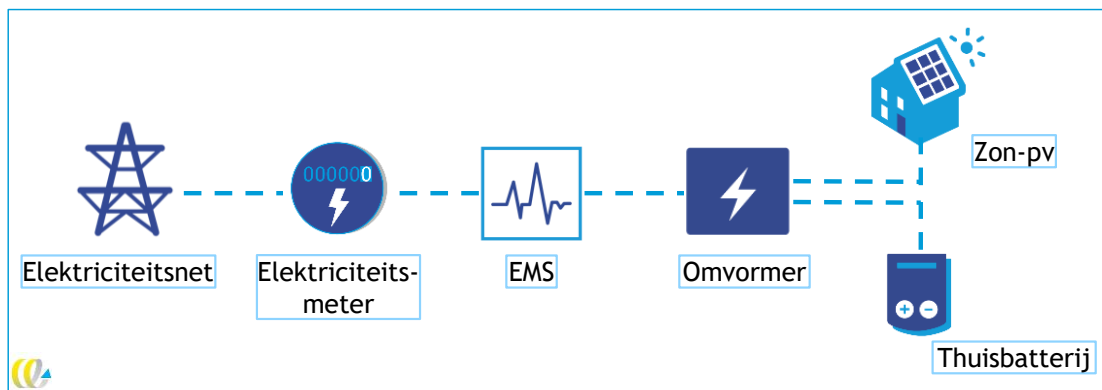
Digitale beveiliging, ook wel cybersecurity, speelt een grote rol in het veilig gebruik van thuisbatterijen. Cybersecurity is een steeds belangrijker thema, aangezien het aantal apparaten dat in verbinding met het internet staat steeds verder groeit. Via een internetverbinding zijn apparaten vatbaar voor cyberaanvallen. In dit hoofdstuk zal eerst uitgelegd worden hoe de besturing van een thuisbatterij werkt. Vervolgens wordt in Paragraaf 6.2 ingegaan op mogelijke gevolgen van een cyberaanval op een thuisbatterij. Beveiliging en beleid voor cybersecurity spelen een grote rol in het minimaliseren van cyber risico's en worden behandeld in Paragraaf 6.3.

6.1 Besturing thuisbatterij

Voor energieopwek en -opslag in een huishouden is een combinatie van apparaten nodig. Er is veelal sprake van een zonnepaneleninstallatie, welke aangesloten is op een omvormer. Deze omvormer is vervolgens weer verbonden met de meterkast en de thuisbatterij. Voor veel modellen van thuisbatterijen geldt dat een thuisbatterij een op zichzelf staande accu is met relatief eenvoudige regelsoftware. De thuisbatterij is zelf niet met het internet verbonden en is geen 'slim apparaat', welke andere apparaten kan aansturen. Een thuisbatterij is te vergelijken met een normale wasmachine of koelkast.

Een toevoeging van een energiemanagementsysteem (EMS) maakt het mogelijk om efficiënt om te gaan met elektriciteitsvraag en -productie. Het energiemanagementsysteem is vaak een los apparaat dat apart aangesloten moet worden op de meterkast en de thuisbatterij. In theorie kan een EMS ook onderdeel zijn van de thuisbatterij, maar dan is er sprake van twee aparte componenten. De verschillende onderdelen zoals hier beschreven zijn schematisch weergegeven in Figuur 1. Een EMS kan met behulp van geavanceerde software elektriciteitsstromen meten en analyseren. Vervolgens kan de EMS een thuisbatterij en andere apparaten in het huishouden intelligent aansturen en in- en uitschakelen.

Figuur 1 - Schematische weergave van onderdelen voor energieopwek en -opslag in een huishouden met energiemanagementsysteem (EMS). Het EMS is via de meterkast verbonden met andere apparaten binnen het huishouden. Er zijn verschillende configuraties mogelijk, het onderstaande is een voorbeeld.



Een EMS is wel met het internet verbonden. Daarmee is het ook mogelijk om via een EMS te handelen op elektriciteitsmarkten, door de thuisbatterij te laden en te ontladen. Om de thuisbatterij op te kunnen laden met wisselspanning (AC) van het elektriciteitsnetwerk is een omvormer nodig die wisselspanning kan omzetten in gelijkspanning (DC) voor de thuisbatterij. Vaak heeft een standaardstelsel met zonnepanelen nog niet zo'n soort omvormer, maar alleen een omvormer die DC kan omzetten naar AC. Voor het opladen van een thuisbatterij is dus een omvormer nodig die ook AC kan omzetten naar DC. Het EMS stuurt

de omvormer aan om zo de thuisbatterij te laden met netstroom en te ontladen. In de [vervolgstudie](#) (september 2023) wordt verder ingegaan op het handelen op de elektriciteitsmarkten met een thuisbatterij.

Een EMS kan geleverd worden bij de thuisbatterij door dezelfde producent, maar er zijn ook in toenemende mate bedrijven die zich alleen focussen op de ontwikkeling van het EMS. Vaak kan het EMS en de verbonden apparaten met een app gevolgd worden en soms ingesteld worden door de gebruiker. Een EMS kan gebruikt worden om binnen het huishouden opwek, vraag en opslag zo efficiënt mogelijk te combineren. Daarnaast kan een EMS steeds vaker ook aangestuurd worden door een externe partij, bijvoorbeeld de leverancier van het EMS of een softwareontwikkelaar. Een voorbeeld hiervan is dat een energiebedrijf meerdere EMS'en en daarmee apparaten in huishoudens aanstuurt op de balanceringsmarkten of om netcongestie te voorkomen.

6.2 Gevolgen hack op een thuisbatterij

Een thuisbatterij is zelf niet met het internet verbonden, waardoor deze niet voor cyberaanvallen vatbaar is (Royal HaskoningDHV, 2021). Het energieopslagsysteem in een huishouden als geheel is daarentegen via het energiemanagementsysteem wel verbonden met het internet, waardoor deze wel vatbaar is voor cyberaanvallen. Cybersecuritybeleid is daarom met name van toepassing voor het energiemanagementsysteem, aangezien dit onderdeel verbonden is met het internet (Royal HaskoningDHV, 2021). Met een cyberaanval kunnen hackers de controle kunnen krijgen over het EMS en daarmee de thuisbatterij en andere verbonden apparaten beïnvloeden. Hierbij kunnen deze apparaten in het huishouden (tijdelijk) onbruikbaar worden of ongewenst gedrag vertonen. Ook kunnen bij een hack persoonsgegevens gestolen worden.

Een thuisbatterij vormt op kleine schaal ook onderdeel van het energiesysteem. De rol en het aantal thuisbatterijen bepalen met name de risico's en de grootte van de gevolgen van cyberaanvallen op thuisbatterijen voor het energiesysteem. Indien thuisbatterijen in combinatie met het EMS ingezet worden om op grote schaal flexibiliteit te creëren voor energiebedrijven of het elektriciteitsnetwerk, dan zijn er grote gevolgen voor het energiesysteem bij een cyberaanval op EMS'en. Door thuisbatterijen niet in te zetten, of juist op een ongewenste manier, zou er onbalans in het elektriciteitssysteem kunnen ontstaan, waardoor in het slechtste geval leveringszekerheid in gevaar komt of het netwerk overbelast raakt. Daarnaast zou er netcongestie kunnen ontstaan met mogelijke stroomuitval als gevolg.

6.3 Beleid voor cybersecurity

Om de kans op en het effect van cyberaanvallen te minimaliseren is het van belang dat een EMS werkt met beveiligde software welke regelmatig voorzien wordt van updates door de softwareleverancier. Eventueel zou extra ingebouwde beveiliging mogelijk zijn of eventueel als eis vanuit de overheid gesteld kunnen worden. Dit kan bijvoorbeeld in lijn met het zero-trustprincipe (NCSC, 2020), waarin authenticatie, autorisatie en monitoren een grote rol spelen. Bij het zero-trust wordt elk verzoek van toegang volledig geverifieerd, geautoriseerd en versleuteld voordat toegang wordt verleend. Met zero-trust zouden bijvoorbeeld toegangsrechten voor externen tot het EMS beperkt worden. Alleen geautoriseerde gebruikers kunnen dan toegang krijgen tot het systeem en de bevoegdheid hebben om het systeem te beheren en controleren. Ook zouden de activiteiten gemonitord kunnen worden, waarbij waarschuwingen gegeven worden aan de gebruikers als het EMS en de thuisbatterij benaderd of gebruikt worden. Tot slot dient de internetverbinding waarop het EMS is aangesloten ook beveiligd te zijn en van sterke wachtwoorden te worden voorzien.

Er is op Nederlands en Europees niveau al veel aandacht voor cybersecurity en de kwetsbaarheden die ontstaan bij de toename aan ‘slimme apparaten’ in de energietransitie. Cybersecuritybeleid specifiek voor thuisbatterijen wordt momenteel geagendeerd, maar concrete afspraken of regelgeving ontbreken nog. Op Europees niveau zijn voornamelijk de volgende verwachte regelgevingen van belang voor thuisbatterijen:

- **Network and Information Security Directive (NIS):** De NIS-richtlijn is in Nederland in 2018 vertaald in de Wet Beveiliging Netwerk- en Informatiesystemen (Wbni). Echter de NIS1 is verouderd en eind 2022 is deze uitgebreid naar de NIS2. De Europese NIS2 Directive wordt momenteel geïmplementeerd in Nederlandse wet- en regelgeving, naar verwachting zal de wet eind 2024 van kracht worden. In NIS2 worden afspraken tussen de supply chain, EMS-leveranciers en eindgebruikers wettelijk vastgelegd ten behoeve van de digitale weerbaarheid (Fox-IT, n.d.).
- **Cyber Resilience Act (CRA):** Een EU-brede norm voor cyberbeveiligingsregels voor zowel hardware- als softwareproducten. Speerpunten van de CRA zijn dat fabrikanten in zowel de ontwerpfase als gedurende levenscyclus de veiligheid van digitale producten moeten bevorderen en zorgen voor een samenhangend kader voor cybersecurity. Zo worden fabrikanten verplicht gedurende een bepaalde tijd updates te faciliteren. De norm zal vermoedelijk in 2024 in werking treden (Europese Commissie, 2022).
- **Radio Equipment Directive (RED):** De RED biedt al een aantal jaar richtlijnen voor radioapparatuur. Een update van de RED wordt in 2024 verwacht, waarbij vooral het toegevoegde artikel over cybersecurity van belang is voor de thuisbatterij.

Aangezien de bovengenoemde regelgevingen nog in wording zijn, ontbreekt het momenteel aan concrete regelgeving op het gebied van cybersecurity voor thuisbatterijen en energiemanagementsystemen. Voor de nog te verschijnen cybersecurityregelgeving is het van belang dat deze direct toepasbaar is voor producenten en installateurs en verifieerbaar is voor inspecties. Daarnaast zou eventueel nieuwe regelgeving met terugwerkende kracht kunnen gelden, voor apparaten die al op de markt zijn. Voor energieopwek, -opslag en vraagsturing in een huishouden zijn verschillende apparaten nodig, die vaak afkomstig zijn van verschillende producenten en aanbieders en die ook mogelijk apart geïnstalleerd worden door verschillende installatiebedrijven. Aangezien al deze verschillende apparaten wel met elkaar verbonden zijn, is het belangrijk dat voor alle partijen duidelijk is wat ieders rol is binnen cybersecurity en wie toegang heeft tot de data. Concrete regelgeving over afspraken, standaardisering en certificering of bijvoorbeeld standaardcontracten vanuit de Europese Commissie of nationale overheden kunnen hiervoor handvaten bieden.

In Nederland is de Rijksinspectie Digitale Infrastructuur (RDI), voorheen Agentschap Telecom, toezichthouder, uitvoerder en expert voor digitaal veilige apparatuur en cybersecurity. Het RDI kondigde eerder in zijn ‘Jaarplan Toezicht 2022’ al aan het toezicht op de cybersecurity van thuisbatterijen te intensiveren (Agentschap Telecom, 2022). Als nationale cybersecurity certificeringsautoriteit kan de RDI toetsen of producten of productieprocessen wel voldoen aan de standaarden voor cybersecurity. De nieuwe verwachte regelgevingen rondom cybersecurity biedt het RDI meer handvaten.

Literatuur

- Agentschap Telecom, 2022. *Verder bouwen aan een veilige en weerbare digitale infrastructuur*.
- Alma Solar, 2023 *Zonnepanelen* [Online] <https://www.alma-solarshop.nl/121-zonnepanelen#/show-all> 24-03-2023.
- Bebat, n.d. *De milieubijdrage voor thuisbatterijen* [Online] <https://www.bebat.be/nl/thuisbatterij> 4-4-2023.
- Europese Commissie, 2022. *Cyber Resilience Act*, 30-1-2023 <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/cyber-resilience-act> 1-5-2023.
- Europese Commissie, 2023. *Voortgang Critical Raw Materials Act*, https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13597-European-Critical-Raw-Materials-Act_nl 17-2-2023.
- Fox-IT, n.d. *NIS2: een nieuwe Europese richtlijn voor Netwerk- en Informatiebeveiliging*, <https://www.fox-it.com/nl/nis2-eeen-nieuwe-europese-richtlijn-voor-netwerk-en-informatiebeveiliging/> 1-5-2023.
- Huawei, n.d. *Smart String Energy Storage System* [Online] <https://solar.huawei.com/nl-NL/download?p=%2F-%2Fmedia%2FSolar%2Fattachment%2Fpdf%2Fnl%2Fdatasheet%2FLUNA2000-5-15-S0.pdf> 24-3-2023.
- Meijer, M., Lepelaar, S. & Hessels, T., 2021. *Veiligheidsprincipes kleinschalige EOS'en (<20 kWh)*, Instituut Fysieke Veiligheid 01-03-2021 <https://nipv.nl/wp-content/uploads/2022/03/20210301-IFV-LIOGS-VRH-Veiligheidsprincipes-kleinschalige-EOSen.pdf> 2-2-2023.
- Memodo blog, n.d. *LG RESU FLEX: High-voltage battery with Tetris system* [Online] <https://blog.memodo-shop.com/lg-resu-flex/> 24-3-2023.
- Ministerie van I&W, 2020. *Circulaire risicobeheersing lithium-ion energiedragers*, Rijksoverheid, <https://wetten.overheid.nl/BWBR0043769/2020-07-01/0/informatie>.
- Ministerie van I&W, 2023. *Nationaal Programma Circulaire Economie 2023-2030 (NCPE)*, Den Haag.
- MR Solar, n.d. *Huawei omvormer met thuisbatterij* [Online] <https://www.mrsolar.be/particulier/realisaties/huawei-omvormer-met-thuisbatterij-10-kwh-hoevenen/> 24-3-2023.
- NCSC, 2020. *What about zero trust?*, <https://www.ncsc.nl/actueel/weblog/weblog/2020/what-about-zero-trust> 5-5-2023.
- NOS, 2023. *Geopolitieke strijd om de batterij: subsidierace tussen Europa en de VS?*, <https://nos.nl/nieuwsuur/artikel/2468953-geopolitieke-strijd-om-de-batterij-subsidierace-tussen-europa-en-de-vs> 28-03-2023.
- NP RES & CE Delft, 2022. *Factsheet Opslag van elektriciteit*, Den Haag.
- OPSS, 2023. *A Study on the Safety of Second-life Batteries in Battery Energy Storage Systems*.
- PGS team, 2022. *Concept PGS 37-1*, <https://publicatiereeksgevaarlijkststoffen.nl/publicaties/online/pgs-37-1/2021/0-1-februari-2022#voorwoord-1> 2-2-2023.
- Raad van de Europese Unie, 2023. *Raad en Parlement sluiten voorlopig akkoord over batterijen*, 18-01-2023 <https://www.consilium.europa.eu/nl/press/press-releases/2022/12/09/council-and-parliament-strike-provisional-deal-to-create-a-sustainable-life-cycle-for-batteries/> 28-3-2023.
- Royal HaskoningDHV, 2021. *Verkenning regelgeving veiligheid batterijen*, Amersfoort: HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.
- SolarWatt, *Datasheet MyReserve3* [Online] https://www.zelfenergieproduceren.nl/wp-content/uploads/2022/02/SOLARWATT_Battery_flex_AC-1_nl.pdf 24-3-2023.



- Staatssecretaris van I&W, 2022a. *Schoon en zuinig*.
- Staatssecretaris van I&W, 2022b. *Voortgang strategische aanpak batterijen 2022*, Ministerie van I&W, 23-12-2023 <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-2e66f1494249ef25343c700416f62fffe9795391/pdf>.
- Stibat, n.d. *Producenten verantwoordelijkheid* [Online] <https://www.stibat.nl/diensten/producentenverantwoordelijkheid/> 28-3-2023.
- Tesla360, 2022 *Tesla Powerwall kopen? 13 vragen & antwoorden!* [Online] <https://tesla360.nl/tesla-powerwall-kopen/> 24-3-2023.
- The Guardian, 2023. *Revealed: how US transition to electric cars threatens environmental havoc*. In, 24-1-2023.
- Veiligheidsregio Haaglanden, Veiligheidsregio Rotterdam-Rijnmond & Landelijk Informatiepunt Ongevallen Gevaarlijke Stoffen, 2019. *Handreiking Opslag Li-ion energiedragers (accu's en batterijen)*, 2-2-2023.
- WEF, 2023 *The future of lithium production* [Online] <https://www.weforum.org/agenda/2023/01/chart-countries-produce-lithium-world/#:~:text=The%20future%20of%20lithium%20production,tonnes%20of%20LCE%20in%202021>. 28-3-2023.

