

Een internationale verkenning naar fysieke veiligheidsaspecten van de energietransitie



Instituut Fysieke Veiligheid
Kennisonwikkeling en onderwijs
Postbus 7010
6801 HA Arnhem
Kemperbergerweg 783, Arnhem
www.ifv.nl
info@ifv.nl
026 355 24 00

Colofon

Instituut Fysieke Veiligheid (2019). *Een internationale verkenning naar fysieke veiligheidsaspecten van de energietransitie*. Arnhem: IFV.

Opdrachtgever: Instituut Fysieke Veiligheid
Contactpersoon: Nils Rosmuller
Titel: Een internationale verkenning naar fysieke veiligheidsaspecten van de energietransitie
Datum: 14 januari 2020
Status: Definitief
Versie: 1.0
Auteurs: Hans Bajjense, Nancy Oberijé, Tom Reijers (allen Oostkracht 10)
Inge Trijssenaar (IFV)
Review: Nils Rosmuller
Eindverantwoordelijk: Nils Rosmuller

Voorwoord

Tal van ontwikkelingen vinden plaats om in Nederland het gebruik van fossiele brandstoffen terug te dringen. Te denken valt aan toepassingen op het gebied van geothermie, wind- en zonne-energie, energieopslagsystemen, waterstof, biomassa en duurzaam bouwen. Al deze ontwikkelingen kennen hun eigen veiligheidsimplicaties, zowel wat betreft wet- en regelgeving als risicobeheersing en incidentbestrijding.

Ruim 1 jaar geleden, op 12 juni 2018, organiseerde ik samen met collega-lector Ricardo Weewer een plug-in sessie over de veiligheidsaspecten van de energietransitie. Enerzijds was mijn doel om hier aandacht voor te vragen, anderzijds om de reeds aanwezige kennis te delen. Aandacht voor veiligheid is en blijft nodig, zoals blijkt uit diverse ongelukken, bijvoorbeeld de explosie van het waterstoftankstation in Noorwegen (juni 2019), de brand met zonnepanelen in Dieren (juni 2019) of de uitgebrande BMW I3 te Enschede (mei 2019). Aandacht moet er ook zijn voor het delen van kennis op het gebied van energietransitie en veiligheid. In 2018-2019 is er al veel gebeurd op dit terrein. Gefaciliteerd door het IFV wordt in een drietal 'communities of practise' ('battery packs', waterstof en zonnepanelen) kennis gedeeld tussen veiligheidsregio's, het bedrijfsleven, overheden en kennisinstellingen. Een handreiking voor vergunningverlening (voor waterstoftankstations) en aandachtscaroten voor de bestrijding van incidenten waarbij waterstof is betrokken, zijn opgeleverd. Tientallen presentaties in de veiligheidsregio's en bij vitale partners, evenals interviews voor televisie en schrijvende media zijn gegeven. Ook mag ons *Informatieblad energietransitie ten behoeve van veiligheidsregio's* niet vergeten worden. Hierin hebben wij de veiligheidsrisico's en risicobeheersingsmaatregelen in Nederland verkend, gebaseerd op informatie uit Nederlandse bronnen. Het voorliggende onderzoek naar de maatregelen die internationaal getroffen worden ten aanzien van veiligheidsaspecten betreffende de energietransitie, is een logische volgende stap. Deze verkenning geeft ons inzicht in de herkende risico's, de risicobeheersing én in incidentbestrijdingsmaatregelen. We hebben deze studie in 'opdracht van onszelf' en met name ook voor onszelf uitgevoerd. Maar uiteindelijk doen we dit natuurlijk om betere en breder onderbouwde producten te maken voor de veiligheidsregio's. Omdat dit rapport interessant kan zijn voor iedereen die geïnteresseerd is in de veiligheidsaspecten van de energietransitie, hebben we gemeend het toch ook breder ter beschikking te stellen, maar dan wel met de 'disclaimer' dat de leesbaarheid soms te wensen overlaat: we rapporteren per gevonden bron, zonder de bronnen nader te analyseren op interne en onderlinge strijdigheden en onjuistheden, of op overlap. Ook pretenderen we zeker niet compleet te zijn.

Uit deze verkenning ontstaat de indruk dat Nederland het helemaal niet slecht doet op het gebied van veiligheidsbeschouwingen rondom de energietransitie. We leren het een en ander uit het buitenland, maar met name ook veel van elkaar. En dat is wat we moeten blijven doen in een maatschappij die zich qua energievoorziening in een langdurige transitiefase bevindt. Het IFV zal hier de komende jaren aan blijven bijdragen door het ontwikkelen van les- en leerstof, het organiseren van bijeenkomsten, het aanjagen van de maatschappelijke discussie en zeker ook met studies zoals deze.

Nils Rosmuller
lector Energie- en transportveiligheid

Inhoud

| | | |
|----------|------------------------------|-----------|
| | Abstract | 6 |
| | Samenvatting | 7 |
| | Inleiding | 8 |
| 1 | Geothermie | 11 |
| 1.1 | Risico's | 11 |
| 1.2 | Risicobeheersing | 12 |
| 1.3 | Incidentbestrijding | 13 |
| 1.4 | Samenvatting | 13 |
| 1.5 | Bronnenlijst | 14 |
| 2 | Windenergie | 15 |
| 2.1 | Risico's | 16 |
| 2.2 | Risicobeheersing | 19 |
| 2.3 | Incidentbestrijding | 22 |
| 2.4 | Samenvatting | 24 |
| 2.5 | Bronnenlijst | 24 |
| 3 | Biomassa | 25 |
| 3.1 | Risico's | 25 |
| 3.2 | Risicobeheersing | 26 |
| 3.3 | Incidentbestrijding | 28 |
| 3.4 | Samenvatting | 29 |
| 3.5 | Bronnenlijst | 30 |
| 4 | Zonne-energie | 31 |
| 4.1 | Risico's | 31 |
| 4.2 | Risicobeheersing | 37 |
| 4.3 | Incidentbestrijding | 39 |
| 4.4 | Samenvatting | 44 |
| 4.5 | Bronnenlijst | 45 |
| 5 | Waterstof | 47 |
| 5.1 | Risico's | 47 |
| 5.2 | Risicobeheersing | 48 |
| 5.3 | Incidentbestrijding | 50 |
| 5.4 | Samenvatting | 51 |
| 5.5 | Bronnenlijst | 52 |
| 6 | Energieopslagsystemen | 53 |
| 6.1 | Risico's | 53 |
| 6.2 | Risicobeheersing | 54 |

| | | |
|----------|--------------------------------|-----------|
| 6.3 | Incidentbestrijding | 55 |
| 6.4 | Samenvatting | 57 |
| 6.5 | Bronnenlijst | 58 |
| 7 | Duurzaam bouwen | 60 |
| 7.1 | Risico's | 60 |
| 7.2 | Risicobeheersing | 63 |
| 7.3 | Incidentbestrijding | 64 |
| 7.4 | Samenvatting | 64 |
| 7.5 | Bronnenlijst | 65 |
| 8 | Conclusie | 66 |
| 9 | Discussie | 68 |
| | Literatuurlijst | 70 |
| | Bijlage 1 Zoektermen | 72 |
| | Bijlage 2 Vragenlijsten | 74 |

Abstract

The goal of this exploratory study is to learn from other countries about certain aspects of physical safety related to the energy transition. The following questions have been asked:

1. Which risks for physical safety have been identified abroad, related to the energy transition, and more specifically to:
 - > new sources of energy and energy carriers (wind energy, solar power, geothermics, biomass, hydrogen and batteries)
 - > the development of sustainable buildings and the use of sustainable materials in these buildings?
2. Which measures have been identified abroad to prevent, limit or control the risks related to physical safety of the energy sources, energy carriers and sustainable buildings mentioned above, and why have these specific measures been identified?
3. Which consequences for the fire brigade, concerning the prevention, limitation and controlling of the risks for physical safety related to the energy transition have been identified abroad?

For this investigation an exploratory study of literature that deals with one or more of seven specified manifestations of the energy transition has been conducted. In addition, information has been collected by using a short questionnaire that has been sent to various (inter)national contact persons.

In chapters 1 up to and including 7 the results of each manifestation of the energy transition have been listed. In every chapter the risks and risk management of, and emergency response to, each specific manifestation are examined. The contents of every source have been enumerated or sometimes discussed more extensively. Each chapter finishes with a summary and a bibliography.

In this way, a general overview of the risks of the energy transition that have been identified abroad has been gained, just as an overview of the measures that can be taken with respect to risk management and emergency response. The impression is, that the views held abroad are comparable to those in the Netherlands.

Samenvatting

Dit onderzoek heeft als doel om van andere landen te leren over fysieke veiligheidsaspecten van de energietransitie. Het gaat hierbij om een verkennende studie. Om de doelstelling te bereiken, zijn de volgende vragen geformuleerd:

1. Welke fysieke veiligheidsrisico's zijn in het buitenland geïdentificeerd, samenhangend met de energietransitie en meer specifiek met:
 - > de komst van nieuwe energiebronnen en -energiedragers (wind- en zonne-energie, geothermie, biomassa, waterstof en batterijen)
 - > de ontwikkeling van duurzame gebouwen en duurzaam materiaalgebruik in deze gebouwen?
2. Welke maatregelen zijn in het buitenland geïdentificeerd om de fysieke veiligheidsrisico's van bovengenoemde energiebronnen, energiedragers en duurzame gebouwen te voorkomen, beperken of bestrijden, en waarom juist deze maatregelen?
3. Welke consequenties zijn in buitenland bekend voor de brandweer als het gaat om het voorkomen, beperken en bestrijden van fysieke veiligheidsrisico's die de energietransitie met zich mee brengt?

De gegevens zijn op twee manieren verzameld, enerzijds door middel van een verkennende literatuurstudie over zeven uitingsvormen van de energietransitie (energiebronnen en - dragers) en anderzijds door informatie te verzamelen via een korte vragenlijst, die verstuurd is naar verschillende (inter)nationale contactpersonen.

De resultaten van beide zijn gezamenlijk per uitingsvorm van de energietransitie gerapporteerd in de hoofdstukken 1 tot en met 7. Binnen ieder hoofdstuk wordt ingegaan op de risico's van de betreffende uitingsvorm, de risicobeheersingmaatregelen en vervolgens de gevolgen voor de incidentbestrijding. Per gevonden rapport wordt de inhoud opgesomd of wat uitgebreider besproken. Elk hoofdstuk sluit af met een samenvatting en een bronnenlijst.

Op deze manier is een eerste beeld is verkregen van de risico's van de energietransitie die buiten Nederland gezien worden en de maatregelen waaraan gedacht wordt op het gebied van risicobeheersing en incidentbestrijding. De indruk is, dat er in het buitenland vergelijkbare inzichten als in Nederland bestaan.

Inleiding

Aanleiding

Om de doelstellingen uit het klimaatakkoord van Parijs te kunnen halen, heeft het kabinet zich ten doel gesteld om de Nederlandse CO₂-uitstoot drastisch te verminderen. Om dit doel te kunnen bereiken, is een transitie naar (meer) duurzame energiebronnen en duurzame gebouwen noodzakelijk. Deze grootschalige transitie zal een forse impact hebben op de fysieke leefomgeving. De nieuwe vormen van winning, opslag, distributie en transport van energie brengen veiligheidsrisico's voor de fysieke leefomgeving met zich mee, net als de toepassing van nieuwe materialen en energiebronnen in gebouwen.¹ Met veiligheidsrisico's worden risico's voor de fysieke veiligheid van burgers en hulpverleners bedoeld. Denk bijvoorbeeld aan branden in buurtbatterijen en in zonnepanelen, of de risico's van het gebruik van waterstof als nieuwe energiedrager.

Veiligheidsregio's worden geconfronteerd met vragen over de risico's van deze nieuwe energievormen en -dragers. Er is bij hen dan ook behoefte aan meer informatie om een veilige energietransitie mogelijk te kunnen maken en om inzicht te krijgen in de consequenties van deze energietransitie voor risicobeheersing en incidentbestrijding. Het IFV heeft in 2018 een informatieblad² uitgebracht om in beeld te brengen wat er tot op dat moment in Nederland bekend was over de (fysieke) veiligheidsrisico's van de nieuwe energievormen en energiedragers, alsmede de getroffen risicobeheersingsmaatregelen. Aangezien de energietransitie een mondiale opgave is, zal naar verwachting ook in andere landen nagedacht zijn en worden over de veiligheidsconsequenties van deze transitie. Het IFV wil daarom in beeld brengen wat er van andere landen geleerd kan worden over de fysieke veiligheidsaspecten van de energietransitie.

Doel en vraagstelling

De doelstelling van het onderzoek is om van andere landen te leren over fysieke veiligheidsaspecten van de energietransitie. Het gaat daarbij om een zeer beperkte verkennende studie, waarbij we voor onszelf een eerste beeld willen krijgen welke risico's gezien worden en aan welke maatregelen gedacht wordt. En uiteindelijk doen we dit natuurlijk om betere en breder onderbouwde producten te maken voor de veiligheidsregio's.

Om de doelstelling te bereiken, zijn de volgende vragen geformuleerd:

1. Welke fysieke veiligheidsrisico's zijn in buitenland geïdentificeerd, samenhangend met de energietransitie en meer specifiek met:
 - > de komst van nieuwe energiebronnen en -energiedragers (wind- en zonne-energie, geothermie, biomassa, waterstof en batterijen)
 - > de ontwikkeling van duurzame gebouwen en duurzaam materiaalgebruik in deze gebouwen?

¹ Energieagenda (2016), blz. 95.

² <https://www.ifv.nl/kennisplein/Documents/20181024-IFV-BRNL-IOV-Infoblad-Energietransitie-ten-bate-van-veiligheidsregios.pdf>.

2. Welke maatregelen zijn in het buitenland geïdentificeerd om de fysieke veiligheidsrisico's van bovengenoemde energiebronnen, energiedragers en duurzame gebouwen te voorkomen, beperken of bestrijden, en waarom juist deze maatregelen?
3. Welke consequenties zijn in buitenland bekend voor de brandweer als het gaat om het voorkomen, beperken en bestrijden van fysieke veiligheidsrisico's die de energietransitie met zich mee brengt?

Aanpak

Het onderzoek is uitgevoerd via twee sporen. Enerzijds is via een verkennende literatuurstudie informatie verzameld over zeven uitingsvormen van de energietransitie (elk besproken in een afzonderlijk hoofdstuk). We bestudeerden de bronnen aan de hand van de drie hierboven genoemde onderzoeksvragen. Een 'verkennende studie' houdt in dit verband in dat er in een beperkt tijdsbestek (twee dagen per uitingsvorm (energiebron/energiedrager/toepassing in duurzaam bouwen)) via internet gezocht is naar relevante (toegepaste) informatie. Anderzijds is informatie verzameld via een korte vragenlijst, die verstuurd is naar verschillende binnen het IFV bekende (inter)nationale contactpersonen.

Verkennende literatuurstudie

De verwachting was dat er weinig wetenschappelijke literatuur en officiële beleidsstukken te vinden zouden zijn over de consequenties van de energietransitie voor de brandweer. Het is immers een relatief nieuw beleidsveld en het uitvoeren en publiceren van wetenschappelijk onderzoek daarover vergt tijd. Daarnaast denkt en werkt het brandweerveld toepassingsgericht, en is minder gericht op het produceren van wetenschappelijke artikelen over de opgedane kennis en ervaring. Er zijn voor deze studie derhalve geen databases met wetenschappelijke literatuur geraadpleegd, maar er is vooral via internet (Google) gezocht, met name in de Engelse en Duitse taal. Die talen zijn wij machtig, en artikelen in die talen leveren informatie op over landen die qua beleidsintenties/-ontwikkeling (Klimaatakkoord van Parijs) in de energietransitie gelijkgesteld kunnen worden aan Nederland. De zoektermen zijn onder andere gebaseerd op de energievormen en energiedragers die in het eerder genoemde *Informatieblad energietransitie* opgenomen zijn, en op de onderwerpen die in de onderzoeksvragen zijn benoemd. Gezocht is in de periode november 2018 tot en met januari 2019. Een overzicht van de gebruikte zoektermen is opgenomen in bijlage 1.

Vragenlijst

Parallel aan de literatuurstudie via internet is een korte digitale vragenlijst gezonden naar verschillende, binnen het IFV bekende, (inter)nationale contactpersonen. Deze vragenlijst is ook via sociale media verspreid. De vragenlijst is zowel in het Nederlands als in het Engels opgesteld en had tot doel internationale bronnen en contactpersonen te inventariseren voor deze verkenning. In bijlage 2 is de vragenlijst opgenomen. In totaal zijn er 100 reacties op de Nederlandse vragenlijst binnen gekomen (waarvan het merendeel van de reacties inhield dat men geen relevante buitenlandse contactpersonen of websites kon benoemen). Er zijn zeven reacties uit het buitenland binnengekomen.

De via de literatuurstudie en de vragenlijst verkregen informatie is geordend in een matrix, waarin per onderzoeksvraag en per land is weergegeven welke informatie (op hoofdlijnen) er op basis van het verkennende literatuuronderzoek gevonden is. Met behulp van deze matrix is op basis van de titel en samenvatting van de gevonden literatuur per energievorm/energiedrager, en omwille van het beperkte budget, een beperkt aantal

documenten gekozen dat nader bestudeerd is en als basis is gebruikt voor de rapportage. Daarbij zijn met name die bronnen geselecteerd die van recente datum zijn en ingaan op de consequenties van de energietransitie voor risicobeheersing en incidentbestrijding door de brandweer.

Vervolgens is van elke bron de informatie over de fysieke veiligheidsrisico's en de consequenties voor risicobeheersing en incidentbestrijding opgenomen in deze rapportage. Onder risicobeheersing wordt daarbij het volgende verstaan: het voorkomen van onveilige situaties en omstandigheden en het beperken en beheersen van risico's, alsmede het realiseren van omstandigheden die een goede incidentbestrijding mogelijk maken. Met incidentbestrijding wordt het volgende bedoeld: de feitelijke bestrijding van incidenten, zoals branden en ongevallen.

Leeswijzer

De hoofdstukken 1 tot en met 7 bevatten het resultaat per uitingsvorm van de energietransitie. Binnen elk hoofdstuk wordt eerst ingegaan op de risico's van de betreffende uitingsvorm (paragraaf 1). Dan wordt de risicobeheersing besproken (paragraaf 2) en vervolgens de incidentbestrijding (paragraaf 3). In paragraaf 4 van ieder hoofdstuk presenteren we een samenvatting. Paragraaf 5 sluit dan af met een lijst, soms aanvullende, bronnen. In hoofdstuk 8 presenteren we de overkoepelende conclusie van deze internationale verkenning. We sluiten af met een reflectie op ons eigen onderzoekswerk in hoofdstuk 9.

1 Geothermie

Geothermische systemen maken gebruik van het hete binnenste van de aarde om elektriciteit op te wekken en om gebouwen te verwarmen of te koelen. Sommige systemen pompen water via leidingsystemen door de bodem om het in de leidingen op te laten warmen door de hitte in de grond. Andere systemen boren direct in natuurlijke warmwaterbronnen en gebruiken het water en de stoom die daaruit afkomstig zijn om elektriciteit op te wekken.

1.1 Risico's

In de literatuur zijn diverse risico's beschreven die verbonden zijn met het gebruik van geothermie. Hieronder volgt een opsomming per bron van de informatie die daaruit gedestilleerd kan worden.

Hochwimmer, A. en S. Kretser (2015). *Safety by design processes for the engineering of geothermal facilities. Auckland, New Zealand.*

- > Het vrijkomen van heet water onder druk.
- > Het vrijkomen van gassen die met het hete water meekomen, met name waterstof (H₂), waterstofsulfide (H₂S) en kooldioxide (CO₂). Deze gassen zijn verstikkend en in hoge concentraties toxisch.
- > Het opgepompte water bevat onzuiverheden, waaronder silicium en boor, die schadelijk kunnen zijn voor het milieu en de gezondheid.
- > In vulkanische gebieden kan verhoogd instortingsgevaar voor gebouwen of andere constructies aanwezig zijn. Met name systemen die het water uit de grond haalt en zich over een groot en vaak complex gebied uitstrekt, zijn hier gevoelig voor. Nota bene: Nederland is dan wel geen vulkanisch gebied maar aardbevingen (zoals in Groningen) kunnen in combinatie met geothermische installaties extra instortingsgevaar opleveren.

White, B.R. (2013). *A brief review of geothermal health and safety regulations following the 'pike river inquiry'.*

- > Een 'blowout': het vrijkomen van gas onder hoge druk dat kan optreden tijdens boorwerkzaamheden.
- > Opslag van grote hoeveelheden (tot circa 200 ton) brandstof (bijvoorbeeld pentaan) bij geothermische 'binary cycle' installaties. In een binary cycle installatie wordt een tweede vloeistof gebruikt waaraan de geothermische warmte wordt overgedragen.
- > Risico's van drukapparatuur: de bron kan onder aanzienlijke druk komen te staan.

Chisholm, O.F.M. (2016), *Hazards of geothermal drilling. Ontario.*

Ten slotte geeft Chisholm nog een aanvulling op alle bovenstaande risico's, namelijk het risico op het aanboren van aardgas tijdens boorwerkzaamheden.

1.2 Risicobeheersing

In de literatuur worden verschillende elementen genoemd die te maken hebben met beheersen van de risico's die verbonden zijn aan het gebruik van geothermie. Hieronder volgt een opsomming per bron van de informatie die daaruit gehaald kan worden. Aangezien niet in alle in de vorige paragraaf genoemde bronnen iets over dit onderwerp te vinden is, worden er hier slechts twee besproken.

White, B.R. (2013). *A brief review of geothermal health and safety regulations following the 'pike river inquiry'.*

White geeft een beschouwing van de wet- en regelgeving in Nieuw Zeeland, waar geothermische installaties in dezelfde categorie worden geschaard als mijnbouw en inrichtingen met grote hoeveelheden gevaarlijke stoffen. De indruk is dat het hier gaat om grootschalige geothermische sites, die ingezet worden als elektriciteitscentrale. White noemt de volgende aspecten met betrekking tot risicobeheersing:

- > Veiligheidsmanagement en cultuur
 - Bezoekers van de geothermische installatie krijgen een instructie voor veiligheidskleding, worden begeleid en weten wat de verzamelplaats is in geval van een alarm.
 - 'Contractors' die tijdens constructie van de installatie worden ingezet, krijgen een vergelijkbare instructie en worden gewezen op de specifieke risico's van dat moment.
- > Safety Engineering
 - Risicoanalyse bijvoorbeeld door middel van een 'hazard and operability' (HAZOP) studie
 - Ontwerp van de installatie
 - Veiligheid(sprocedures) voor tijdens de bedrijfsvoering
 - Management van veiligheidskritische systemen.

Chisholm, O.F.M. (2016), *Hazards of geothermal drilling. Ontario.*

- > Controle tijdens het boren op het meekomen van (aard)gas.
- > Als onderdeel van de controle stelt een professionele ingenieur of geowetenschapper een werkplan op ter preparatie op en preventie van het eventueel vrijkomen van gevaarlijk gas.

Deze controles zijn in Ontario ingesteld naar aanleiding van een incident in 2012, waarbij aardgas met hoge druk vrijkwam na aanboren. Het gas migreerde horizontaal naar een nabijgelegen woonhuis. De bewoner ontdekte de aanwezigheid van dit reukloze gas door het opborrelen ervan in een gootsteen in de kelder.

1.3 Incidentbestrijding

In slechts één van de in dit hoofdstuk gebruikte bronnen is informatie te vinden over incidentbestrijding.

Chisholm, O.F.M. (2016), *Hazards of geothermal drilling*. Ontario.

Indien tijdens de boring gevaarlijk (aard)gas gedetecteerd wordt, dient de constructeur de volgende personen te waarschuwen en te informeren: de lokale brandweer, de 'milieu ongevallen dienst', de aanwezigen van omliggende gebouwen, de grondeigenaar, de gemeente en de afnemer van de geothermische energie.

1.4 Samenvatting

Geothermische systemen maken gebruik van het hete binnenste van de aarde om elektriciteit op te wekken en om gebouwen te verwarmen of te koelen.

Risico's

Het gebruik van geothermie brengt een aantal risico's met mee. De belangrijkste risico's die ook voor de Nederlandse situatie relevant zijn, zijn de volgende:

- > het vrijkomen toxisch gas of aardgas
- > een blowout
- > het vrijkomen van heet water onder druk.

Risicobeheersing

In Nieuw-Zeeland worden geothermische installaties in dezelfde categorie geschaard als mijnbouw en inrichtingen met grote hoeveelheden gevaarlijke stoffen. Het is voor (grootschalige) geothermische installaties van belang dat zij inzetten op veiligheidsmanagement en -cultuur. Tevens kan veiligheid aan de voorkant geregeld worden door middel van 'safety engineering'. Als concrete maatregel is in de bestudeerde literatuur het controleren op het vrijkomen van aardgas tijdens de boring genoemd en het maken van een werkplan door een geowetenschapper om het vrijkomen van aardgas te voorkomen.

Incidentbestrijding

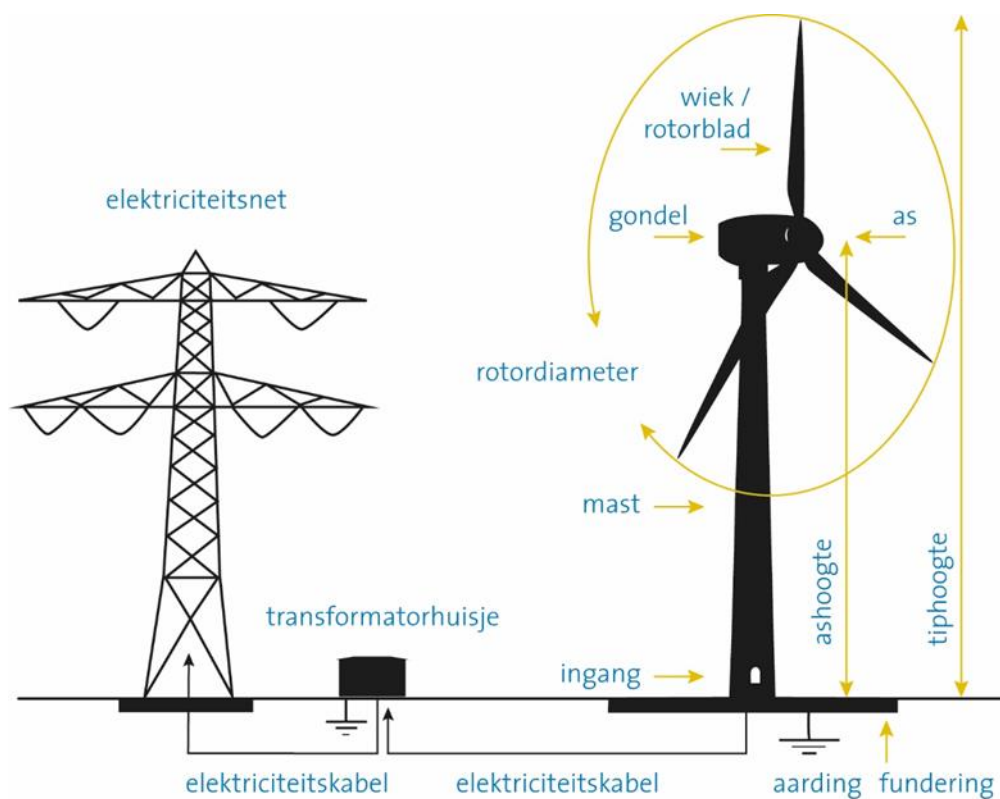
In de gevonden internationale literatuur zijn nauwelijks concrete maatregelen voor incidentbestrijding bij geothermische installaties genoemd. De enige beschreven maatregel is het waarschuwen van de brandweer en milieudiensten zodra aardgas gedetecteerd is. Met betrekking tot aardgaswinning bestaan er waarschijnlijk concretere handreikingen voor incidentbestrijding. Hier is in het kader van deze verkenning geen nader onderzoek naar gedaan.

1.5 Bronnenlijst

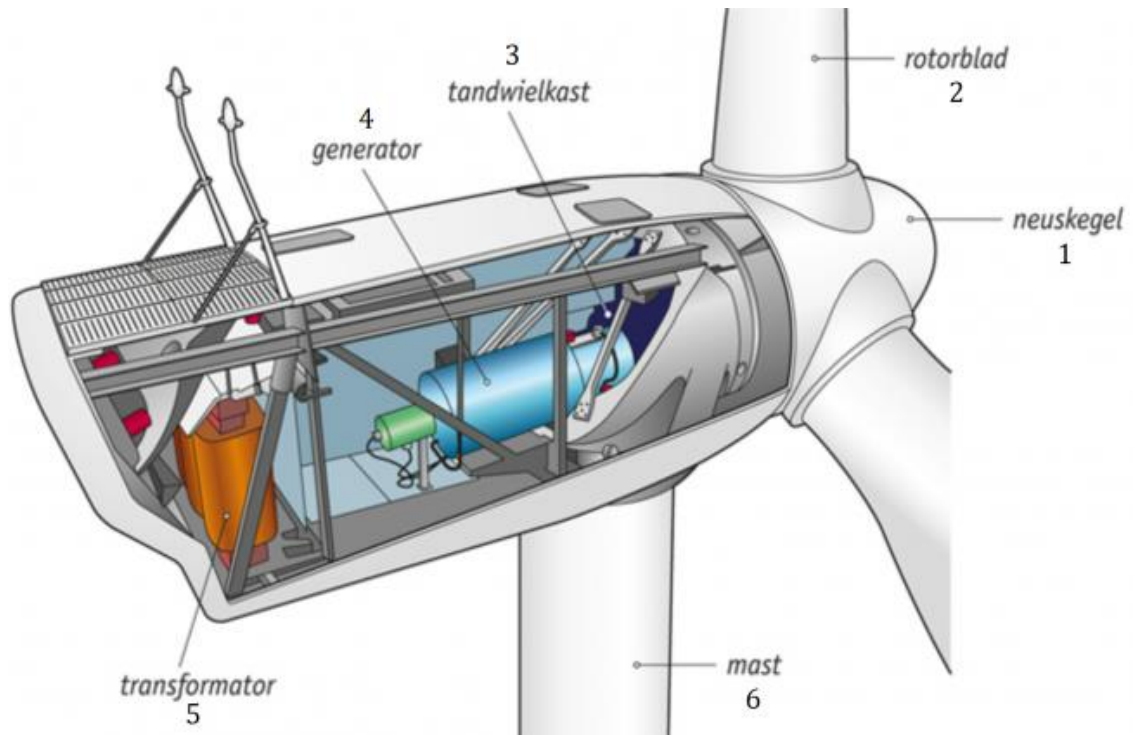
- > Chisholm, O.F.M. (2016), *Hazards of geothermal drilling*. Ontario.
- > Galassi, T. en P.J. Kapust, P.J. (19 oktober 2017). *Interim Enforcement Guidance for the Respirable Crystalline Silica in Construction Standard, 29 CFR 1926.1153*.
- > Hochwimmer, A. en S. Kretser, S. (2015). *Safety by design processes for the engineering of geothermal facilities*. Auckland, New Zealand.
- > OSHA (2019). *Green job hazards*. Geraadpleegd op 7 mei 2019 van: <https://www.osha.gov/dep/greenjobs/geothermal.html>.
- > White, B.R. (2013). *A brief review of geothermal health and safety regulations following the 'pike river inquiry'*.

2 Windenergie

Windenergie is energie opgewekt door bewegende lucht, die middels een windturbine omgezet wordt in met name elektriciteit. Het gebruik van windenergie voor de productie van elektriciteit is relatief jong in de eeuwenoude geschiedenis van de 'windmolen'. Windenergie wordt traditioneel gebruikt voor onder meer het malen van graan en het verplaatsen van water. Daarnaast kan ze ook worden ingezet voor het genereren van warmte die lokaal gebruikt wordt. In dit rapport is nader ingegaan op de risico's van windturbines die worden gebruikt voor het genereren van elektriciteit. Figuren 2.1 en 2.2 geven een overzicht van alle onderdelen van een windturbine.



Figuur 2.1 Onderdelen van een windturbine (Infoblad energietransitie, 2018)



Figuur 2.2 Onderdelen van de gondel van een windturbine (Bron: Tromp, R., Eijkelkamp, M., & Smits, T. (sd). *NOVA, nieuwe Natuur- en Scheikunde, 3 vmbo-kgf. 's-Hertogenbosch*: Malmberg. Sittrop Grafisch Realisatiebureau, Rotterdam)

2.1 Risico's

In de literatuur worden diverse risico's beschreven die verbonden zijn met het gebruik van windenergie. Hieronder volgt een opsomming per bron van de informatie die daaruit gedestilleerd kan worden.

CFPA (2012). *Wind turbines fire protection guideline. CFPA-E Guideline No 22: 2012 F.*

In haar handleiding *Wind turbines fire protection guideline* noemt de Confederation of Fire Protection Association de volgende risico's die zijn verbonden aan het gebruik van windturbines:

- > brandrisico's
- > risico's voor de omgeving.

Hieronder zullen deze risico's uitgebreider worden besproken.

- > Brandrisico's
 1. Blikseminslag

Doordat windturbines ten opzichte van hun omgeving hoog zijn, is het risico op blikseminslag relatief groot. Het risico neemt in het bijzonder toe als de bliksemafleider niet goed geïnstalleerd of onderhouden is. Als de contactweerstand van de bliksemafleider te groot is,

is schade op het moment van een blikseminslag vrijwel niet te voorkomen. Die schade kan resulteren in brand.

2. Falen van elektrische installaties

Naast blikseminslag, is het falen van elektrische installaties van windturbines een van de belangrijkste brandoorzaken. Brand wordt veroorzaakt door oververhitting als gevolg van overbelasting, kortsluiting (geen goede aarding) of vlambogen. Een tweetal incidenten wordt als voorbeeld gegeven:

- Voorbeeld 1: een schakelaar was niet goed bevestigd, waardoor de weerstand van deze schakelaar leidde tot een aanzienlijke temperatuurtoename. Bovendien traden de zekeringen pas in werking op het moment dat de brand flink was uitgegroeid.
- Voorbeeld 2: door een ontwerpfout ontstonden hoge stromen (ten gevolge van resonantie) waardoor condensatoren werden beschadigd en er vervolgens brand ontstond.

3. Hete oppervlakken

Als alle aerodynamische remmen uitvallen, kunnen de mechanische remmen die de rotor vertragen temperaturen bereiken die resulteren in ontsteking van brandbaar materiaal. Rondvliegende vonken die worden veroorzaakt door mechanische remmen vormen zonder isolatie een groot risico. Defecten aan turbines zoals een lekkage van de oliesystemen, verhogen, net als de aanwezigheid van vuil, het risico op oververhitting. Andere mogelijke oorzaken van hete oppervlakken zijn overbelasting en een slechte smering van de tandwielkast van een generator. Daarbij wordt de aansluiting van de tandwielkast op de generator te heet. Brandbaar materiaal en smeermiddelen kunnen ontbranden wanneer ze in contact komen met hete oppervlakken. Bovendien kunnen wrijving van draaiende componenten en vonken brand veroorzaken.

4. Werkzaamheden waarbij brandgevaar optreedt

Bij reparatie-, bouw- of sloopwerkzaamheden van een turbine is de inzet van technieken zoals lassen, slijpen, solderen of vlamsnijden een veelvoorkomende brandoorzaak. Naast hoge temperaturen kunnen vonken ontstaan, waardoor brandbaar materiaal tot op ruim 10 m afstand van de werkplek kan ontbranden. Veel branden ontstaan pas enkele uren nadat het werk is afgerond. Onderhouds-, inspectie- en reparatiewerkzaamheden worden ernstig belemmerd door de nauwe ruimtes waarin zij moeten worden uitgevoerd. Dit kan de risico's van deze werkzaamheden vergroten.

5. Brandlast

De brede variatie aan brandbare materialen in de gondel kan resulteren in een snelle brandverspreiding. Denk daarbij aan geluidsisolatieschuim, de kunststof behuizing van de gondel, olie in hydraulische systemen, diverse (smeer)oliën, elektrische installaties, kabels en dergelijke. Olie in hydraulische systemen kan ook onder hoge temperatuur en druk verneveld vrijkomen, waardoor de brand zich zelfs explosief kan uitbreiden.

6. Slechte bereikbaarheid voor brandbestrijding

Een brand in de rotor of gondel van een windturbine is bijna niet te bestrijden. De brandhaard is met behulp van de huidige stand der techniek niet veilig bereikbaar.

> Risico's voor de omgeving

Als risico's voor de omgeving worden genoemd:

1. Het falen of afbreken van de mechaniek
2. Brand in de omgeving als gevolg van brand in de turbine en vallende brandende onderdelen
3. Het instorten van de windturbine.

Ontario Ministry of Labour en Ontario Fire Service Section 21 Advisory Committee (augustus 2015). *Fire fighters guidance note # 6-3.*

Naast bovenstaande risico's noemt het Ministerie van Arbeid van de Canadese staat Ontario nog enkele andere gevaren die verbonden zijn aan het gebruik van windturbines. Deze gevaren zijn het ontstaan van brand in de turbine en het instorten van de turbine:

1. Brand in de turbine

Het grootste risico van brand wordt veroorzaakt door een mechanisch falen van de apparatuur in de gondel of door elektrische issues, zoals kortsluiting. In de windturbine is brandstof aanwezig, te weten circa 750 liter hydraulische olie. Deze olie vergroot het brandrisico.

2. Instorten van de windturbine

Er is een klein risico op het instorten van de windturbine (ter illustratie zie: <https://www.youtube.com/watch?v=wfzqlxMEo8g>). Als belangrijkste oorzaken daarvan worden genoemd:

- > Een botsing van bijvoorbeeld een vliegtuig met een blad van de windturbine (voor een voorbeeld zie <https://www.wind-watch.org/news/2015/04/21/ntsb-factual-report-released-in-collision-with-wind-turbine/>)
- > Een te hoge snelheid van de rotor
- > Een windhoos of valwind
- > Slecht of incorrect onderhoud van (het koppel van) de bouten.

Ferraro (2015). *Wind turbine safety – top 5 hazards.*

Ferraro (2015) somt een top 5 op van gevaren voor werknemers, die ook van belang zijn voor hulpverleners bij blus- of reddingswerkzaamheden in een windturbine:

- > Het vallen van hoogte.
- > Een beknelling in kleine ruimtes in de toren, gondel, naaf of bij werk aan de bladen.
- > Elektrocutie: zowel bovenin de gondel als op grondniveau is er sprake van elektrocutiegevaar vanwege de aanwezigheid van elektrische apparatuur in de gehele windturbine.
- > Brand door overbelasting van elektrische onderdelen, bliksem of frictie van de roterende bladen door incorrecte smering. Als er eenmaal brand is uitgebroken, bestaat het risico om niet te kunnen ontsnappen.
- > Geraakt worden door bewegende delen: niet alleen de bladen, maar ook kleinere onderdelen in een windturbine kunnen bewegen en draaien.

2.2 Risicobeheersing

In de literatuur worden verschillende elementen genoemd die te maken hebben met beheersen van de risico's die verbonden zijn aan het gebruik van windenergie. Hieronder volgt een opsomming per bron van de informatie die daarin gevonden kan worden. Aangezien niet in alle bronnen iets over dit onderwerp te vinden is, worden er in deze paragraaf slechts twee besproken.

CFPA (2012). *Wind turbines fire protection guideline. CFPA-E Guideline No 22: 2012 F.*

De eerdergenoemde richtlijn van de CFPA (2012) is voornamelijk geschreven voor veiligheidsdeskundigen van bedrijven, maar kan ook gebruikt worden door onder meer hulpdiensten.

1. Veiligheidsconcept

Door het opstellen van een goed veiligheidsconcept voor brandpreventie kan brand voorkomen of in de kiem gesmoord worden. Hierbij is het raadzaam om alle partijen te betrekken, in het bijzonder de verzekeringsmaatschappij. De eerste stap is het bepalen van de veiligheidsdoelen. Vervolgens kunnen alle structurele, turbinespecifieke en organisatorische maatregelen op elkaar worden afgestemd om gezamenlijk de veiligheidsdoelen te kunnen invullen.

Er bestaan (Europese) richtlijnen met technische eisen aan zowel planning, implementatie en bedrijfsvoering als aan de kwaliteit van brandpreventietechniek. Bovendien is er een richtlijn voor de certificatie van windturbine-monitoringssystemen.

Bij de ontwikkeling en revisie van een windturbine wordt het uitvoeren van een risicoanalyse aanbevolen, waarin onder andere de volgende risicoparameters worden meegenomen:

- > De structuur van de windturbine en de plaatsing van risicocomponenten
- > Incidenten met verschillende types en componenten van turbines
- > De capaciteit van de turbine (MW)
- > De locatie van de turbine (onshore of offshore).

Het is raadzaam om gecertificeerde componenten en systemen toe te passen en het veiligheidsconcept te laten toetsen door een onafhankelijke partij.

2. Brandpreventiemaatregelen

- > Bliksem- en overspanningsbeveiliging

De bliksem- en overspanningsbeveiliging dient geschikt te zijn voor het gebruikte type windturbine.

- > Risicoreductie voor elektrische systemen

Er wordt geadviseerd maatregelen te nemen die een afwijkende werking van elektrische installaties detecteren en indien nodig deelsystemen of de gehele windturbine gecontroleerd kunnen uitzetten. Bij een dergelijke 'shutdown' dient de turbine als geheel van het net te

worden ontkoppeld. Bij het activeren van beschermingsmaatregelen dient een automatische foutmelding naar de controlepost van de windturbine te worden gestuurd.

> Reductie van brandbaar materiaal

De voorkeur gaat uit naar hydraulische vloeistoffen en smeeroliën die onbrandbaar zijn of een zeer hoog vlampunt hebben. Vermijd het gebruik van brandbaar materiaal, zoals kunststoffen (polyurethaan of polystyreen voor isolatie). Gebruikte afdekmaterialen dienen goed afwasbaar te zijn, zodat vervuiling kan worden vermeden. Bij kabels en leidingen dient ook te worden gelet op het vrijkomen van toxische of corrosieve stoffen en de hoeveelheid rookvorming bij brand.

> Vermijden van mogelijke ontstekingsbronnen

Ontstekingsbronnen dienen zoveel mogelijk te worden vermeden. Voorbeelden van ontstekingsbronnen zijn: bliksem, vonken, kortsluiting, vlambogen, resonantie in het elektrisch systeem, hete oppervlakken of een spontane ontbranding van een vieze schoonmaakdoek als gevolg van de daarin aanwezige oplosmiddelen.

> Vermijden van werkzaamheden met brandgevaar

Werkzaamheden met brandgevaar dienen vermeden te worden en bij voorkeur vervangen te worden door koudetechnieken (zagen, schroeven, koudlassen). Zijn deze werkzaamheden echt onvermijdelijk, dan is het nemen van maatregelen vóór, tijdens en na het werk verplicht om brand te voorkomen, vroeg te detecteren en effectief te kunnen bestrijden.

> Onderhoud en inspectie

Branden als gevolg van technische defecten van elektrische en mechanische systemen zijn de meest voorkomende schadeoorzaken. Door het automatisch monitoren van belangrijke parameters, zoals de druk en temperatuur van deze systemen kunnen tekortkomingen (vroegtijdig) worden gesignaleerd, en door middel van goed en gedegen onderhoud en inspectie kunnen zij tijdig worden verholpen. De inspectie bekijkt onder meer:

- het bliksemafleidingssysteem
- de mobiele apparatuur die gebruikt wordt bij onderhoudswerkzaamheden
- de fundering
- elektrische installaties middels thermografisch onderzoek.

Onderhoudsactiviteiten dienen genoteerd te worden en geïdentificeerde tekortkomingen moeten onmiddellijk verholpen worden.

> Niet roken

Geef duidelijke instructie aan medewerkers en externen, plaats 'niet roken' etiketten in en op de hele locatie van de windturbine.

> Training

Geef training aan medewerkers en geautoriseerde externe bedrijven over de risico's, inclusief de volgende onderwerpen:

- brandpreventie
- de werking van systemen en installaties voor brandpreventie en hoe hiermee om te gaan
- correct gedrag in het geval van brand, waaronder alarmering
- het gebruik van brandblusmiddelen.

Oefen noodsituaties en evacuatie van de gondel regelmatig en betrek de lokale brandweer bij de training.

> Voorkomen van natuurbranden

Een brand in een windturbine kan een brand in de omgeving veroorzaken. Houd de eerste 25 meter in de omgeving van een windturbine vrij van rommel of begroeiing.

1. Branddetectiemaatregelen

> Automatische branddetectie

Doorgaans is er geen personeel aanwezig bij of in een windturbine, dus automatische branddetectie, alarmering (en bestrijding) zijn noodzakelijk. Monitoring is noodzakelijk van zowel ruimtes (zoals gondel, transformator en elektriciteitsonderstations) als installaties (zoals tandwielkast of omvormer). Bij de selectie van detectoren dient rekening gehouden te worden met bijzondere condities, zoals temperatuur, vocht en trillingen. Bij detectie van een brand moeten de volgende acties automatisch uitgevoerd worden:

- alarmering van een continu bemande post
- stopzetten van de turbine en ontkoppeling van het elektriciteitssysteem
- activering van het blussysteem.

De werking van detectie- en blussystemen dient continu en liefst op afstand gemonitord te worden. Indien brandbeveiligingssystemen voor korte tijd moeten worden uitgeschakeld (bijvoorbeeld vanwege onderhoudswerkzaamheden), is het van belang om back-upmaatregelen te nemen met betrekking tot brandmelding en de aanwezigheid van brandblusmiddelen.

> Noodplan

Het maken van een noodplan is raadzaam. Het noodplan dient in ieder geval het volgende te bevatten:

- een werkschema voor 24-7 oproepbaarheid van personeel
- contactinformatie van en voor hulpverleners
- een stappenplan wat te doen in geval van brand (zie incidentbestrijding).

Het noodplan moet besproken worden met brandweer en politie.

> Kwaliteitsborging

Kwaliteitsborging met betrekking tot het ontwerp, de installatie en de bedrijfsvoering omvat onder meer:

- het gebruik maken van algemeen geaccepteerde technologie en ontwerpen
- het toepassen van producten en systemen met bewezen kwaliteit, die indien noodzakelijk intern of extern gemonitord kunnen worden
- kwalificatie van ontwerp- en installatiespecialisten
- regelmatig en gedegen onderhoud door gespecialiseerd personeel of externen
- documentatie en monitoring van het onderhoud.

Ferraro (2015). Wind turbine safety – top 5 hazards.

In aanvulling op de richtlijnen van de CFPA kunnen in Ferraro (2015) de volgende maatregelen op het gebied van risicobeheersing worden gevonden:

- > Het plaatsen van gevaaretiketten in de verschillende kleine ruimtes met een waarschuwing voor het risico op beknelling bij misstappen en op uitglijden.
- > Het stoppen van de elektriciteitsproductie door het ontkoppelen van de windturbine. Hierbij dient er tevens een extra vergrendeling te kunnen worden gezet op de bediening van de grendel, zodat de elektriciteitsproductie niet per ongeluk weer aan kan worden gezet.
- > Het plaatsen van een waarschuwing voor elektrocutiegevaar: door de gehele windturbine heen is elektrische apparatuur aanwezig.
- > Brandveiligheid als prioriteit behandelen.
- > De windturbine uitrusten met evacuatiemiddelen voor een snelle afdaling: een parachute of reddingslijn ('emergency drop line').
- > Het aanbrengen van een markering op de vloer, bijvoorbeeld met tape, die waarschuwt voor de aanwezigheid van bewegende delen.

2.3 Incidentbestrijding

In alle drie de bronnen die voor dit hoofdstuk gebruikt zijn, is informatie te vinden over incidentbestrijding. Hieronder volgt een beschrijving daarvan, waarbij de gegevens die door de CFPA en het Ontario Ministry of Labour worden aangedragen, zijn samengevoegd.

CFPA (2012). Wind turbines fire protection guideline. CFPA-E Guideline No 22: 2012 F en Ontario Ministry of Labour en Ontario Fire Service Section 21 Advisory Committee (augustus 2015). Fire fighters guidance note # 6-35.

Als er ondanks alle genomen maatregelen op het gebied van preventie toch een (brand)ongeval plaatsvindt, kan er adequaat worden opgetreden als de onderstaande richtlijnen op het gebied van brandbestrijding worden opgevolgd.

1. Brandbestrijding

Gezien de afwezigheid van personeel en de slechte bereikbaarheid voor de brandweer zijn met name automatische brandblussystemen in windturbines effectief. Bij het in werking treden van de blussystemen dient de ventilatie automatisch uitgezet te worden.

> Brandblussystemen

De keuze voor het type (automatisch) brandblussysteem hangt af van het klimaat in de windturbine, de brandbelasting en de locatie van het blussysteem binnen de turbine. Zowel CO₂ blussers, inert gassystemen en water als mist/water spray en schuimsystemen kunnen worden toegepast. Poederblussystemen worden afgeraden vanwege de schade die ze kunnen aanbrengen aan de elektrische systemen, waardoor hernieuwde ingebruikname van de turbine na een brand grotere risico's met zich meebrengt. De blussystemen dienen met

zorg te worden gekozen en gedimensioneerd. Hierbij is het van belang dat ze weinig residu achter laten, niet-corrosief zijn en niet geleiden.

> Brandblusapparatuur

Naast de automatische systemen zijn handblussers op verschillende locaties noodzakelijk, waaronder de gondel, de basis van de toren en het elektriciteitsonderstation.

2. Stappenplan brand in een windturbine

> Afstand houden

Een brand in een windturbine duurt niet lang, waardoor de beste tactiek meestal 'defensief buiten' is. Dit wil zeggen dat personeel en hulpverleners in een veilig gebied blijven op afstand van de turbine en de omgeving beschermen tegen brand op grondniveau als gevolg van vonken of vallend materiaal.

> Afsluiten van elektriciteit

Het afsluiten van de elektrische aansluiting van de turbine is belangrijk ter voorkoming van letsel door elektrische schokken. Dit dient door de technische dienst van de windturbine te worden uitgevoerd.

> Instortgevaar

De veilige afstand bij instortgevaar is afhankelijk van de grootte en het gewicht van de onderdelen en van de windcondities. Tot nu toe zijn bij incidenten onderdelen binnen een straal van 500 meter vanaf de basis van de windturbine terecht gekomen.

Potter, G. (2011) . *Response to emergencies in wind turbines.*

Indien iemand in de turbine gewond is geraakt, kan een hoogtereddingsteam van de brandweer worden ingeschakeld. Hieronder staat een stappenplan voor het redden van een gewonde uit een turbine:

1. Bepaal de locatie van de windturbine
 - Raadpleeg kaartmateriaal
 - Vraag de GPS coördinaten op bij de eigenaar van het windpark
 - Het machinenummer staat op de toegangsdeur van de windturbine
2. Neem contact op met de technische dienst van de windturbine
 - De windparkeigenaar kan valgordels en andere benodigdheden voor het veilig werken op hoogte aanleveren
 - De technici kunnen de elektriciteitsproductie afsluiten en andere veiligheidsmaatregelen treffen, waaronder het stilzetten van mechanische componenten
3. Slachtofferbenadering
 - Maak gebruik van de reddingslijnen in de turbine of van andere veiligheidsuitrusting voor het werken op hoogte
 - De brandweer dient de veiligheid van het medisch personeel te borgen
4. Ophijsen reddingsmateriaal en brancard
 - Maak gebruik van de lier in de gondel of van eigen materiaal van de brandweer
5. Slachtofferevacuatie
 - Maak gebruik van veiligheidslijnen en gordels voor de evacuatie van het slachtoffer.

2.4 Samenvatting

Windenergie is energie opgewekt door bewegende lucht, die middels een windturbine omgezet wordt in met name elektriciteit.

Risico's

De belangrijkste risico's voor de omgeving zijn brand, afgebroken bladen en het instorten van de windturbine. Voor werknemers en hulpverleners - die de turbine in moeten voor een redding/blussing - zijn daarnaast vallen van hoogte, beknelling, elektrocutie en geraakt worden door bewegende delen belangrijke risico's.

Risicobeheersing

Er is een breed scala aan maatregelen dat getroffen kan worden om de risico's voor de omgeving en voor werknemers zo laag mogelijk te houden. Het gaat daarbij vooral om brandpreventiemaatregelen en 'good housekeeping' maatregelen voor het personeel dat onderhoudswerkzaamheden uitvoert aan de windturbine. Bestrijding van incidenten in een windturbine is lastig vanwege de grote hoogte van de installatie. Incidenten dienen daarom zoveel mogelijk voorkomen te worden. Het opstellen van een goed veiligheidsconcept is dus van belang.

Incidentbestrijding

Gezien de afwezigheid van personeel en de slechte bereikbaarheid voor de brandweer zijn met name automatische brandblussystemen effectief. Indien iemand in de turbine gewond is geraakt, kan een hoogtereddingsteam van de brandweer worden ingeschakeld. In de literatuur is een stappenplan genoemd dat aangeeft hoe de brandweer te werk dient te gaan bij een hoogteredding.

2.5 Bronnenlijst

- > CFPA (2012). Wind turbines fire protection guideline. CFPA-E Guideline No 22: 2012 F. http://www.cfpa-e.eu/wp-content/uploads/files/guidelines/CFPA_E_Guideline_No_22_2012_F.pdf.
- > Ontario Ministry of Labour en Ontario Fire Service Section 21 Advisory Committee (augustus 2015). *Fire fighters guidance note # 6-3*. <http://www.oafc.on.ca/system/files/privateattachments/page/218/GN-6-35%20Wind%20Turbines%20FINAL%20August%202015.pdf>.
- > Ferraro (2015). *Wind turbine safety – top 5 hazards*. <https://blog.creativesafetysupply.com/wind-turbine-safety-top-5-hazards/>.
- > Potter (2011) . *Response to emergencies in wind turbines*. <https://www.wind-watch.org/documents/response-to-emergencies-in-wind-turbines/>.
- > Infoblad energietransitie (2018), <https://www.ifv.nl/kennisplein/Documents/20181024-IFV-BRNL-IOV-Infoblad-Energietransitie-ten-bate-van-veiligheidsregios.pdf>.
- > Innocentrum (2019), <https://www.innocentrum.eu/windenergie>.

3 Biomassa

Met de toenemende vraag naar energie in samenhang met de uitstoot van fossiele brandstoffen, is de bruikbaarheid van hout en biomassa 'herontdekt' als een alternatieve vorm van energie. Een groot voordeel van biomassa is daarnaast dat ze een hernieuwbare energiebron is (Block, 2017).

3.1 Risico's

In de literatuur zijn diverse risico's beschreven die verbonden zijn met het gebruik van biomassa. Hieronder volgt een opsomming per bron van de informatie die daaruit gedestilleerd kan worden.

IEA, Bio-energy (2013). *Health and safety aspects of solid biomass storage, transportation and feeding. IEA Bioenergy, Task 32.*

Volgens IEA (2013) zijn de volgende risico's relevant voor biomassa:

1. brand
2. explosie.

In het rapport worden meerdere oorzaken van brand in biomassa beschreven, zoals externe ontstekingsbronnen, oververhitte machines en frictie tussen een transportband en geaccumuleerd materiaal. De meeste aandacht wordt echter besteed aan broei als belangrijkste oorzaak van brand.

Biomassa is vatbaar voor broei. Broei wordt gezien als de eerste stap van zelfontbranding. Vervolgens kan er een 'thermal runaway' optreden. Dit is een toename in temperatuur die leidt tot een verdere, snellere en oncontroleerbare toename van die temperatuur, waardoor het materiaal spontaan kan ontbranden. Gezien het gebrek aan zuurstof in een stapel biomassa, zal ontbranding resulteren in een smeulbrand. Wanneer dit smeulend materiaal in contact komt met zuurstof (het smeulen bereikt de buitenzijde van de hoop of de hoop wordt uit elkaar gehaald), kan brand ontstaan.

Naast broei is biomassa vatbaar voor stofexplosies. Het risico op daarop manifesteert zich met name bij het transporteren van biomassa. Bij het laden en lossen daarvan komen vaak hoge concentraties stof vrij. Dit stof kan ontstoken worden door de statische lading die opgewekt wordt bij het laden of lossen van de biomassa.

Koppejan (2011). *Safety aspects in small scale biomass combustion.* SP Technical Research Institute of Sweden.

In een presentatie gaat Koppejan in op de risico's van kleinschalige verbranding van biomassa. Hierbij gaat het bijvoorbeeld om een pelletkachel die een huiskamer of werkruimte verwarmt. Het risico op spontane zelfontbranding bij kleinschalige opslag is lager dan bij grootschalige opslag. De reden hiervoor is het kleinere volume dat wordt opgeslagen. De volgende risico's worden door Koppejan genoemd:

1. Rookgasexplosie

Bij de verbranding van biomassa is er een risico op een rookgasexplosie, veroorzaakt door een slechte ontsteking, natte materie, een verminderde zuurstoftoevoer of een geblokkeerde schoorsteen. Bovendien kunnen schadelijke gassen ontsnappen in de boilerkamer of in de woonkamer. Dit kan gebeuren door overdruk in de verbrandingsruimte of als het systeem niet volledig lekdicht is.

2. Back burning

Ook bestaat bij kleinschalige verbranding van biomassa het risico op brandontwikkeling richting de brandstoftoevoer (de Engelse term hiervoor is *back burning*).

3. Schoorsteenbrand

Ten slotte noemt Koppejan bij kleinschalige biomassa-installaties het risico op een schoorsteenbrand.

3.2 Risicobeheersing

In de literatuur worden verschillende elementen genoemd die te maken hebben met beheersen van de risico's die verbonden zijn aan het gebruik van biomassa. Hieronder volgt een opsomming per bron van de relevante informatie die daarin is gevonden.

Block, S.N. (5 juli 2017). *Biomass power plants: what fire hazards are hidden within the fuel.* The Moran Group, Northbrook, Illinois.

Volgens Block zijn de meest voorkomende oorzaken van brand of explosies bij een biomassa-centrale het falen van apparatuur en menselijk falen. Block beschrijft een tweetal aspecten die kans op een explosie en/of brand kunnen verkleinen.

1. 'Good housekeeping'

Allereerst is het van belang dat beheerders van biomassa-centrales ervoor zorgen dat de centrale stofvrij blijft. Machines en ruimtes moeten periodiek schoongemaakt worden om te voorkomen dat er zich te veel stof ophoopt (good housekeeping). Ook wanneer de biomassa-centrale (tijdelijk) stilgelegd wordt, moet deze grondig schoongemaakt worden om het risico van een stofexplosie te elimineren. Een aantal ruimtes zijn lastig schoon te maken, bijvoorbeeld opslagsilo's of -bunkers. Bij deze ruimtes is het aan te raden om ze te vullen met een inert gas (CO₂) om het zuurstofgehalte te minimaliseren.

2. Ontwerp

Opslagsilo's en -bunkers zijn veelvoorkomende ruimtes waar branden ontstaan. Om het blussen van branden in deze opslaglocaties gemakkelijker te maken, is het verstandig om toegangspunten op verschillende niveaus te hebben. Een andere ontwerpkeuze die gemaakt kan worden, heeft betrekking op de vorm van de silo. Veel silo's en bunkers hebben een 'funnel-flow bottom'. Deze vorm staat toe dat biomassa accumuleert, waardoor frictie ontstaat met de losse biomassa. Frictie veroorzaakt hitte, die vervolgens kan resulteren in een brand. Door een kegelvormige ('cone') silo toe te passen wordt het probleem van frictie voorkomen.

IEA, Bio-energy (2013). *Health and safety aspects of solid biomass storage, transportation and feeding*. IEA Bioenergy, Task 32.

In dit rapport worden de volgende maatregelen aanbevolen om broei en mogelijk spontane zelfontbranding te voorkomen:

- > Vermijd opslag en transport van biomassa in grote hoeveelheden als het onbekend is hoe vatbaar het product is voor broei en spontane ontbranding.
- > Vermijd opslag van biomassa met een vochtigheidsgraad hoger dan 15% (massapercentage water). De vochtigheidsgraad is een van de parameters die meetelt in het ontstaan van broei.
- > Vochtige en beschadigde pellets uit een 'rail container' of pellets die met schepen vervoerd zijn, mogen niet opgeslagen worden. In plaats daarvan moeten deze weggegooid, of beter: direct verbrand worden in de centrale.
- > Vermijd de opslag van meerdere typen biomassa op één locatie. Uit onderzoek van meerdere biomassabranden is gebleken dat de meeste branden starten op de grens van compacte biomassa en niet-compacte biomassa.
- > Vermijd grote hoeveelheden fijne deeltjes in de biomassa.
- > Meet en monitor de verspreiding van temperatuur en de gassamenstelling in de opslag. Periodieke en visuele inspectie wordt aangeraden.
- > Monitor zowel de opslaglocatie als de aangelegen locaties op CO en O₂ om te voorkomen dat er een gevaarlijke atmosfeer ontstaat.
- > Beperk de opslagtijd.
- > Hanteer het opslagprincipe: het eerste erin, het eerste eruit.
- > Maak de opslag schoon voordat nieuwe biomassa in diezelfde ruimte opgeslagen wordt.

Voor de opslag van biomassa in silo's wordt in het rapport het volgende aanbevolen:

- > Meet de temperatuur op verschillende niveaus in de silo.
- > Meet CO boven in de silo. Een toename van CO geeft een indicatie van 'activiteit' in de biomassa.
- > Let op broei. De eerste tekenen hiervan zijn een 'kleverige en irriterende geur'.
- > Start een brandweerinzet vanaf het moment dat er vuur wordt gedetecteerd door middel van geur of het waarnemen van rook; op dat moment is er pyrolyse in de opslaghoop.

Om de gevolgen van een silobrand te beperken en om zeker te zijn van een efficiënte blussing met een inert gas, worden de volgende zaken aangeraden in het rapport van IEA Bioenergy:

- > Het juiste materiaal voor het injecteren van een inert gas moet op het terrein aanwezig dan wel snel ter plaatse (kunnen) zijn. Het gaat hierbij om een inert gas zelf en een verdampingsunit daarvoor.
- > Er moeten mogelijkheden zijn om het gas te injecteren. Voor (nieuwe) silo's met een grotere diameter zou in het ontwerp al een dergelijk systeem ingebouwd moeten worden. Voor silo's met een kleinere diameter is een lans voldoende.
- > De constructie van de silo moet zo luchtdicht mogelijk worden uitgevoerd.
- > Aan de bovenzijde van silo moeten mogelijkheden aanwezig zijn om verbrandingsgassen te laten ontsnappen. Hierbij is het van belang dat er geen zuurstof de silo binnenkomt.

3.3 Incidentbestrijding

Alleen in het rapport van IEA Bioenergy is informatie gevonden met betrekking tot incidentbestrijding.

IEA, Bio-energy (2013). Health and safety aspects of solid biomass storage, transportation and feeding. IEA Bioenergy, Task 32.

1. Water versus schuim

Het blussen van pellets met water wordt afgeraden, zeker als de pellets zijn opgeslagen in een silo. De reden hiervoor is dat pellets die nat worden, tot drie-en-half keer de originele grootte kunnen uitzetten. Bovendien hardt het materiaal zodanig uit, dat een drillboor nodig is om de pellets te verwijderen. Als het uitzetten en uitharden geen belemmering vormt of geen extra gevaren met zich mee brengt (zoals het scheuren van de muren van de silo), dan kan water wél een optie zijn. Beperkte hoeveelheden water kunnen ook gebruikt worden om stof neer te laten slaan om zo een mogelijke stofexplosie te voorkomen.

In het rapport wordt schuim aangeraden als meeste efficiënte blusmiddel. Het gaat hierbij om klasse A-schuim, of beter: CAFS (Compressed Air Foam System). Schuim heeft meerdere voordelen ten opzichte van water. Zo kan schuim beter en meer geleidelijk opgebracht worden. Bovendien reduceert het gebruik van schuim de stofvorming en wanneer een schuimdeken over de biomassa ligt, straalt de massa minder warmte uit. Dit reduceert de kans op brandescalatie. Een ander voordeel van schuim is dat er minder water nodig is. Hierdoor is er minder schade (uitzetten en uitharden) aan de pellets. Tot slot is het gebruik van schuim effectiever wanneer onderdelen/apparatuur van de biomassacentrale (bijvoorbeeld de transportband of shovel) in brand staan.

2. Brandbestrijding van hopen biomassa in binnen- of buitenopslag

Grote hopen biomassa moeten, wanneer broei gedetecteerd is, uit elkaar gehaald worden door bijvoorbeeld een shovel of kraan. Elke schep die uit de hoop gehaald wordt, moet zorgvuldig gecontroleerd worden op smeulend materiaal. Wanneer de geïnspecteerde massa goedgekeurd is (dat wil zeggen: wanneer er geen smeulende resten zijn aangetroffen), dan moet die op een aparte, veilige locatie opgeslagen worden. Om escalatie van het incident te voorkomen, is het van belang dat er altijd repressief personeel aanwezig is bij het wegscheppen van de biomassa. Wanneer een kraan biomassa

wegneemt, wordt smeulend materiaal immers voorzien van zuurstof, wat kan resulteren in brand. Het is van belang dat deze brandjes zo snel mogelijk gedoofd worden.

3. Brandbestrijding van biomassa in silo's

Broei of brand is in een silo moeilijk te lokaliseren en bovendien is het lastiger in een silo dan in een brandende binnen- of buitenopslag om de brand te isoleren en te blussen. Bovendien is het aantal mogelijke openingen om een brand te bestrijden gelimiteerd. Alleen via de boven- en onderzijde is de silo normaal gesproken toegankelijk. Daarnaast ontstaat bij broei door pyrolyse een hoge concentratie giftige en brandbare gassen. Deze gassen kunnen bij een geïmproviseerde opening tot een escalatie van het incident leiden. Het gaat hier bijvoorbeeld om een rookgasexplosie of brandescalatie in de centrale.

Bij het bestrijden van brand in een silo wordt het gebruik van een inert gas aangeraden, bij voorkeur stikstof (N₂). Het injecteren van een inert gas verdrijft de aanwezige zuurstof in de silo. Dit injecteren moet via de onderzijde van de silo gebeuren.

Het rapport van IEA Bioenergy vat de belangrijkste stappen van de brandbestrijding in silo's als volgt samen (p. 28):

- > Identificeer het type silo en het brandscenario.
- > Voer een eerste risicobeoordeling uit en stel een toetredingsprocedure vast.
- > Beschouw het risico op rookgas-/stofexplosie.
- > Sluit de silo af om zuurstoftoevoer aan de broei/brand te voorkomen.
- > Zet materieel op de juiste locatie.
- > Injecteer stikstof in de silo (via onderkant).
- > Monitor gassen aan de bovenzijde van de silo.
- > Breng, indien nodig (als de gaslevering op zich laat wachten of de kans op open vuur aanwezig is), een schuimlaag aan op de biomassa.
- > Start met het lossen van de silo wanneer de brand onder controle is.
- > Wees voorbereid op een langdurige inzet.

3.4 Samenvatting

Met de toenemende vraag naar energie in samenhang met de uitstoot en eindige beschikbaarheid van fossiele brandstoffen, is de bruikbaarheid van hout en biomassa 'herontdekt' als een alternatieve vorm van energie.

Risico's

Brand als gevolg van broei en stofexplosies is het meest relevante risico bij biomassa-installaties.

Risicobeheersing

Het is voor risicobeheersing relevant om in een vroeg stadium mee te denken over het ontwerp van de opslagvormen en over de werkprotocollen/huishouding binnen het bedrijf. Op deze wijze kan de kans op broei en zelfontbranding verlaagd worden. Met name het laag houden van de vochtigheid van de pellets (dat wil zeggen een massapercentage water lager

dan 15) en het monitoren van de temperatuur en concentraties CO zijn goede manieren om broei te voorkomen of in een vroegtijdig stadium te detecteren.

Incidentbestrijding

Als er toch brand uitbreekt, is de kern van de brand in zowel een opslagsilo als in bulkopslag lastig te lokaliseren. De incidentbestrijding moet zich dan ook voorbereiden op een langdurige inzet. Voor brand in een bulkopslag lijkt schuimvormend middel het meest efficiënte blusmiddel te zijn, terwijl voor brand in een silo het inbrengen van een inert gas wordt aangeraden.

3.5 Bronnenlijst

- > Block, S.N. (5 juli 2017). *Biomass power plants: what fire hazards are hidden within the fuel*. The Moran Group, Northbrook, Illinois.
- > IEA, Bio-energy (2013). *Health and safety aspects of solid biomass storage, transportation and feeding*. IEA Bioenergy, Task 32.
- > Intelligent Energy – Europe (2009). *Final guideline for safe and eco-friendly biomass gasification*. https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/gasification_guide_final_guideline_for_safe_and_eco_friendly_biomass.pdf.
- > Iowa State University (2014). *Safety and Health in on-farm biomass production and processing*. https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1896&context=abe_eng_pubs.
- > Kasedde, H. (2009). *Hazard and safety evaluation of gasifier installations in Uganda*. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1039263/FULLTEXT01.pdf>.
- > Koppejan (2011). *Safety aspects in small scale biomass combustion*. SP Technical Research Institute of Sweden.

4 Zonne-energie

Zonne-energie is energie van de zon bestaande uit warmte en licht. Er zijn verschillende manieren om de energie van de zon te benutten; de twee belangrijkste zetten de energie van de zon om in warmte via zogenaamde 'solarthermie-installaties' (bijvoorbeeld zonneboilers) of in stroom (via 'photovoltaic panelen' oftewel PV-panelen). Deze installaties kunnen op verschillende plaatsen gesitueerd zijn. In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de risico's van PV-panelen op daken. Deze brengen ten opzichte van solarthermie - installaties andersoortige risico's voor de brandweer met zich mee, namelijk risico's die gepaard gaan met elektriciteit. Bij solarthermie-installaties zijn de risico's vergelijkbaar met andere gebouwbranden op daken. Net als bij dergelijke branden dient de brandweer rekening te houden met mogelijk naar beneden vallende delen, toxische rookgassen en een gedeeltelijke afdekking van het dakoppervlak.

4.1 Risico's

In de literatuur zijn diverse risico's beschreven die verbonden zijn met het gebruik van zonne-energie. Hieronder volgt een opsomming per bron van de informatie die daaruit gedestilleerd kan worden.

DFV (Berlijn 2010). *Einsatz an photovoltaikanlagen. Informationen für Einsatzkräfte von Feuerwehren und technischen Hilfsdiensten. Deutscher Feuerwehrverband, Berlijn.*

In een brochure van het Deutsche Feuerwehrverband worden de volgende specifieke risico's van PV-installaties genoemd:

- > toxische rookgassen
- > instorting/naar beneden vallende delen
- > gevaar veroorzaakt door elektriciteit
- > vlamboog.

1. Toxische rookgassen

Bij een brand waarbij PV-panelen betrokken zijn, komen toxische verbrandingsproducten vrij. Het gaat hierbij grotendeels om de stoffen die ook bij gebouwbranden vrijkomen.

Bouwstoffen die in PV-panelen worden toegepast zijn onder andere:

glas, silicium, metalen, zware metalen, giethars, ethyleen, vinylacetaat, siliconen, folieverbindingen en verschillende andere kunststoffen.

2. Instorting/naar beneden vallende delen

Onderdelen van PV-installaties zijn in de regel niet in bouwmaterialaalklassen ingedeeld. Een gedetailleerde uitspraak over het brandgedrag is daarom niet mogelijk. Het glas van de PV-panelen kan door verhitting en/of het opvallende bluswater barsten en in delen naar beneden vallen. De ervaring tot nu toe leert dat bij brand in de PV-installatie de

onderliggende dakconstructie beschadigd raakt en overwegend naar binnen valt. Maar ook naar buiten vallende delen vormen een gevaarenbron, net als bij andere gebouwbranden.

3. Gevaar veroorzaakt door elektriciteit

Gevaar veroorzaakt door elektriciteit ontstaat bij wisselstroomsystemen ('Alternating Current' oftewel AC) bij een spanning van 50 Volt en bij gelijkstroomsystemen ('Direct Current' oftewel DC) vanaf een spanning van 120 Volt (DIN VDE 0100- 410 en IEC 60479 - 1). Zelfs bij een geringe lichtinval produceren zonnepanelen elektrische spanning. De spanning van 120 Volt (DC) wordt bij PV-panelen in de regel ruimschoots overschreden. Ook bij schemering of door kunstmatige verlichting is gevaar van elektriciteit niet uit te sluiten.

In principe dient men er daarom vanuit te gaan dat een PV-installatie onder spanning staat, zo lang niet is vastgesteld dat deze spanningsvrij is. Deze spanning wordt echter pas gevaarlijk als er isolatieschade is aan de leidingen of als onderdelen van de installatie beschadigd zijn. Dan kan het aanraken van een installatieonderdeel tot een elektrische schok leiden. Daarbij zijn spanningen tot 1.000 Volt gelijkspanning geen uitzondering.

Het ondeskundig losmaken van leidingen of connectoren, isolatieschade of onderbrekingen van kabels kan daarnaast een vlamboog veroorzaken. Over de risico's van vlambogen en de bestrijding daarvan volgt hieronder meer.

4. Vlamboog

Een vlamboog is een elektrische ontlading die gepaard gaat met een sterke lichtstraling, een hoge temperatuur en een karakteristiek geluid (zie ook het kader op pagina 34). Bij contact met een vlamboog ontstaan verbrandingsgevaar en het gevaar op een elektrische schok. Als een vlamboog optreedt, moeten de regels uit de DIN VDE 0132 gevolgd worden. Een blusmiddel kan ingezet worden om branden in de omgeving van de vlamboog te bestrijden; hierbij dienen de veiligheidsafstanden en blusmiddelaanwijzingen uit DIN VDE 0132 aangehouden te worden. De vlamboog kan alleen gestopt worden door het uitschakelen van de betrokken stroomkring. De hoge temperatuur en de vlammen kunnen voor een ontsteking van ontvlambare stoffen in de omgeving zorgen.

TÜV (2015). *Bewertung des Brandrisikos in Photovoltaik-Anlagen und Erstellung von Sicherheitskonzepten zur Risikominimierung.* TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH, Keulen.

De tweede Duitse bron (TÜV, 2015) maakt wat betreft de fysieke veiligheidsrisico's van PV-panelen een onderscheid tussen risico's voor de omgeving en risico's voor de hulpdiensten.

1. Risico's voor de omgeving

Als risico voor de omgeving wordt het ontstaan van brand (en mogelijke brandoverslag) genoemd, alsmede het vrijkomen van toxische verbrandingsproducten die zich verspreiden in de omgeving. Deze risico's worden hieronder verder toegelicht.

> Brand

PV-panelen zijn brandbaar vanwege de in het materiaal aanwezige polymeren.

– Oorzaken van brand

Brand kan ontstaan door een brand in of aan het gebouw met overslag naar de PV-installatie (externe oorzaak) of door oververhitting of het ontstaan van een vlamboog in de PV-installatie zelf (interne oorzaak). Van de 430 onderzochte branden in PV-installaties in Duitsland die plaatsvonden in 2013, was in ongeveer de helft (210) van de gevallen sprake van een brand met een interne oorzaak. In de andere 220 gevallen was er sprake van een brand veroorzaakt door een externe oorzaak. De branden met interne oorzaak waren voor het grootste deel te wijten aan installatiefouten (39%), gevolgd door productiefouten (36%), ontwerpfouten (18%) en schade veroorzaakt door overige factoren (bijvoorbeeld doordat kabels aangevreten waren door dieren) (10%).³ De belangrijkste foutoorzaak blijkt 'de factor mens' te zijn. Daarnaast is er een relatie tussen de kans op het ontstaan van brand en de zonkracht: hoe sterker de zonkracht, hoe groter de kans op brand in de PV-installatie.

– Effecten van brand

In experimenteel onderzoek zijn verschillende typen PV-panelen blootgesteld aan een warmtestraling van 25 respectievelijk 150 kW. Bij een blootstelling aan 25 kW vond alleen gedeeltelijke en oppervlakkige beschadiging plaats van de panelen. Er was geen sprake van nabranden.

Bij een blootstelling aan een warmtestraling van 150 kW werden alle zonnepanelen volledig verwoest en bleven zij na het stoppen van de verhitting (voor zover er nog brandbaar materiaal aanwezig was) nog 2 tot 3 minuten nabranden. Door dit nabranden konden ook bitumen dakbedekkingen in brand raken. Na enkele minuten was er sprake van het afdruppen van brandende materialen (folie, gesmolten glas) en versplinterend glas. Daarbij ontwikkelden de zogenaamde 'glas-glas modules' vanwege hun geringer aandeel polymeren minder verbrandingswarmte en minder rookgassen.

Een ander gevaar dat kan worden veroorzaakt door brand ligt in de vanwege de hitte barstende glasplaten. Glas en wafelsplinters kunnen hierdoor in alle richtingen geschoten worden.

> Toxische gassen/emissies

PV-panelen bevatten naast glas en aluminium verschillende kunststoffen die afhankelijk van de toegepaste technologie ook zware metalen bevatten. Bij brand kunnen hierdoor toxische verbrandingsgassen ontstaan.

In het uitgevoerde onderzoek van TÜV (2015) naar emissies bij branden met PV-panelen zijn aanvullende schadelijke stoffen gemeten ten opzichte van de bij een normale woningbrand vrijkomende CO en CO₂. Mogelijke overschrijding van toxicologische grenswaarden van zware metalen zoals lood en cadmium is echter alleen in de onmiddellijke nabijheid van de brand en onder zeer ongunstige omstandigheden gemeten. Een gevaar voor de omgeving door schadelijke stoffen vanwege brandende PV panelen is op grond van het uitgevoerde literatuuronderzoek, de eigen TÜV-brandproeven en simulatieonderzoek uitgesloten.

Het gehalte aan zware metalen zoals lood en cadmium in brandresten kan echter wel de grenswaarden voor bodemverontreiniging overschrijden. Afvalwater kan bij beschadigde

³ Hoe het komt dat auteurs tot meer dan 100% komen is niet te herleiden uit deze publicatie.

CdTe-modulen kritische waarden voor cadmium bevatten. Het is dan ook belangrijk om de brandresten op een zorgvuldige wijze te verwijderen. Bij grotere brandschade aan CdTe-modules wordt het aangeraden een bodemonderzoek uit te voeren in de nabije omgeving.

2. Risico's voor de hulpdiensten

In Duitsland gebruikt men de AAAACEEEE-regel om gevaren voor de hulpdiensten bij een inzet voor een brand aan PV-panelen te duiden.

Deze gevaren zijn:

1. Atemgifte (toxische stoffen)
2. Angstreaktion (angstreactie)
3. Ausbreitung (uitbreiding)
4. Atomare Strahlung (radioactieve straling)
5. Chemische Stoffe (chemische stoffen)
6. Erkrankung / Verletzung (ziek/gewond raken)
7. Explosion (explosie)
8. Elektrizität (elektriciteit)
9. Einsturz (instorting)

Hieronder is aangegeven hoe deze risico's in het TÜV-rapport beoordeeld zijn.

1. Toxische gassen – ja
PV-panelen zijn brandbaar en bevatten naast glas en aluminium verschillende kunststoffen die, afhankelijk van de toegepaste technologie, ook zware metalen bevatten. Via rookgassen en roetpartikels kan dit gevaar opleveren.
2. Angstreactie – nee
Er is bij een PV-panelenbrand geen verhoogd explosiegevaar, noch treden snelle mechanische bewegingen of andere bedreigende scenario's op.
3. Uitbreiding – ja
Door de compacte bouwwijze en kabeldoorvoeringen tussen de verschillende onderdelen kan een brand zich uitbreiden.
4. Radioactieve straling – nee
Treedt niet op.
5. Chemische stoffen – ja
Overwegend in de vorm van toxische gassen, zie punt 1.
6. Ziek/gewond raken – ja
Ziek raken door toxische gassen, zie punt 1.
Gewond raken door elektrocutie of vallen vanwege een schrikreactie of door vallende delen van de installatie, zie punten 8 en 9.
7. Explosie – in principe niet
Een uitzondering geldt voor PV-installaties met accu's en overstroomde kelderruimtes. Explosieachtige effecten kunnen echter wél plaatsvinden als een gebouwbrand vanuit het dak overslaat naar de PV-installatie en de PV-panelen plotseling barsten. Er zijn gevallen bekend waarbij glassplinters tot op een afstand van 20 tot 30 m gevonden zijn. Door de optredende thermiek werden wafelfragmenten tot op enkele honderden meters in de omgeving verspreid.
8. Elektriciteit – ja
Vooral door de problematiek van de onder spanning staande DC-zijde treedt gevaar op bij beschadiging, bij aanraken en bij het blussen.
9. Instorting – ja

Door de hitte kan de draagkracht van een staalconstructie negatief beïnvloed worden. Bij een houtconstructie wordt de draagkracht verminderd door het inbranden en door reductie van het dragende oppervlak.

Voor meer details over deze risicobeoordeling wordt verwezen naar het TÜV-rapport. Daarin is ook een nadere uitwerking opgenomen die specifiek gericht is op de inzet van de brandweer.

Hieronder wordt nader ingegaan op het gevaar van elektriciteit en het gevaar van de toxische gassen.

> Elektriciteit: elektrocutiegevaar/gevaar voor elektrische schok

Panelen blijven gelijkspanning opwekken zo lang er licht op valt, ook als zij niet op het net zijn aangesloten. Drie of vier aaneengesloten panelen zullen 150 Volt opwekken. Bij grote installaties kan de spanning oplopen tot 1000 Volt. Het gevaar wordt niet zozeer direct door de spanning zelf veroorzaakt, als wel door de elektrische stroom die vanwege het spanningsverschil tussen beide door het menselijk lichaam loopt als dit in contact komt met de panelen. Er kunnen fysiologische, fysieke en chemische effecten optreden, afhankelijk van de wijze waarop de stroom door het lichaam stroomt, de stroomsterkte, de blootstellingsduur en ook de aard van de stroom.

> Elektriciteit: vlamboog

Een ander gevaarlijk verschijnsel dat kan optreden bij een PV-installatie is een 'vlamboog'.

Een vlamboog wordt ook wel elektrische boog of lichtboog genoemd. Een vlamboog is een door ionisatie optredende gasontlading (plasma) tussen twee elektroden met een spanningsverschil. Een vlamboog kan alleen in stand worden gehouden bij een gelijkspanning tussen de elektroden. Bij wisselspanning dooft de boog zodra de spanning weer daalt. Bij de volgende periode kan wel opnieuw een vlamboog ontstaan.

Gevaarlijke effecten van een vlamboog zijn:

- > drukstijging (0,1 - 1 bar)
- > geluidsdruk (>140dB(A))
- > hittestroom met temperaturen tot 18.000 °C
- > UV-straling
- > metaalpartikels en damp (giftige koperdamp).

Gelet op het grote aantal elektrische contacten in iedere PV-installatie, is het risico op het ontstaan van een vlamboog aanwezig. Eén enkele module bevat al honderden schakelingen tussen de verschillende cellen. Als een pool van de solargenerator geaard is, kan door een beschadigde isolatie een contact tussen de andere pool en de aarde ontstaan, met een vlamboog als gevolg.

Elektrische vlambogen treden overigens niet alleen op bij kortsluitingen; het onderbreken van een stroomvoerende kring (zoals door het verwijderen van zekeringen) veroorzaakt eveneens een vlamboog.

> Elektriciteit: explosiegevaar

Bij een overstrooming van delen van de PV-installatie (bijvoorbeeld bij een zich in de kelder bevindende wisselstroomrichter) kan elektrolyse plaatsvinden bij gelijktijdige aanwezigheid

van gelijkspanning tussen een plus- en een minpool van het systeem. Hierbij wordt waterstof (knaalgas) gevormd, dat in slecht geventileerde ruimten explosiegevaar oplevert. De kans dat een explosieve atmosfeer gevormd wordt, is klein, gelet op de hiervoor genoemde factoren waarvan dit afhankelijk is. De effecten van een waterstofexplosie voor de hulpdiensten zijn echter aanzienlijk. Daarom wordt dit toch als een risico benoemd.

> Toxisch gevaar

Zoals eerder is aangegeven, bevatten PV-panelen naast glas en aluminium verschillende kunststoffen, die afhankelijk van de toegepaste technologie ook zware metalen bevatten. Bij brand kunnen hierdoor toxische verbrandingsgassen vrijkomen in concentraties die de grenswaarden voor de gezondheid overschrijden. Omdat de brandweer met ademblucht werkt, wordt geconcludeerd dat de risico's voor de brandweer van blootstelling aan deze toxische verbrandingsgassen gering zijn. In het rapport wordt er wel een kanttekening geplaatst bij deze conclusie, vanwege onder andere de geringe omvang van de steekproef, de spreiding van de resultaten en het feit dat de testomstandigheden (volledige verbranding en een brandduur 10 minuten) niet overeenkomen met de praktijk (waar vaak sprake is van onvolledige verbranding en een brandduur langer dan 10 minuten).

NFPA (2010). *Fire fighter safety and emergency response for solar power systems.*

In deze bron is de kans beschreven op het vrijkomen van hete vloeistoffen. Voor PV-systemen geeft de NFPA aan dat het risico op een elektrische schok aanwezig is. De auteurs merken verder op dat het krijgen van een elektrische schok tijdens bluswerkzaamheden aan een PV-systeem een reëel gevaar is, vooral omdat er spanning op de PV-panelen blijft staan zolang er daglicht op valt. Bovendien kan de stroom die opgewekt wordt bij een PV-systeem opgeslagen worden in batterijen, hetgeen ook bepaalde risico's met zich mee brengt. De risico's van batterijen worden beschreven in hoofdstuk 6.

De auteurs noemen ook het gevaar van een vertraagde ontsteking wanneer een brand ontstaat in de nacht en in de nacht geblust wordt. Aangezien de modules niet blootgesteld worden aan zonlicht, staan deze ook niet onder spanning. In zo'n geval lijkt het incident onder controle, totdat de modules blootgesteld worden aan zonlicht. Kortsluiting kan vervolgens overdag leiden tot een nieuwe brand aan hetzelfde object.

CanSIA (2015). *Solar Electricity Safety Handbook for Firefighters.*

In Solar Electric Safety Handbook for Firefighter (2015) noemen de auteurs de volgende gevaren:

- > Er bestaat altijd het gevaar van een elektrische schok.
- > PV-systemen kunnen metalen constructies of grondwater onder spanning zetten bij een overstroming.
- > Verbrandingsgassen van panelen kunnen zeer toxische gassen bevatten.
- > Als er contact wordt gemaakt met gelijkstroom is het bijna niet mogelijk of zelfs onmogelijk om los te laten door de constante stroom.
- > Batterijopslagen kunnen corrosieve en explosieve gassen genereren wanneer deze worden blootgesteld aan brand.

BPVA, 2011. *Photovoltaics and Fire.*

De British PV Association (2011) noemt de volgende risico's bij brand in zonnepanelen:

- > Inhaleren van toxische gassen
- > Gevaar door vallende objecten
- > Gevaar van vuurverspreiding.

In geval van brand en waterschade wordt gewezen op het gevaar van een elektrische schok.

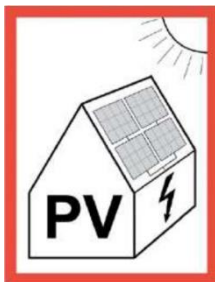
4.2 Risicobeheersing

In de literatuur worden verschillende elementen genoemd die te maken hebben met beheersen van de risico's die verbonden zijn met het gebruik van zonne-energie. Hieronder volgt een opsomming van de informatie die in verschillende bronnen gevonden is. Aangezien niet in alle in de vorige paragraaf genoemde bronnen iets over dit onderwerp vermeld is, worden er hier slechts drie besproken.

DFV (Berlijn 2010). *Einsatz an photovoltaikanlagen. Informationen für Einsatzkräfte von Feuerwehren und technischen Hilfsdiensten. Deutscher Feuerwehrverband, Berlijn.*

In het document van het Deutscher Feuerwehrverband wordt een aantal aanbevelingen gedaan aan de eigenaar van de PV-installatie.

- > Zorg voor een overzichtstekening van de PV-installatie voor de hulpdiensten, zodat zij snel kunnen zien in welke onderdelen van het object zich spanningvoerende delen bevinden.
- > De overzichtstekening dient samen met de installatietekening in een voor weersomstandigheden beschutte plaats bewaard te worden.
- > Daarnaast dient een waarschuwingsbord conform de veiligheidsstandaard VDE-AR2100-712 van de Deutsche Solar Gesellschaft geplaatst te worden. Dit bord wijst de hulpdiensten duidelijk op de aanwezigheid van een PV-installatie (zie figuur 4.1) en moet bij de huisaansluiting of bij de hoofdverdeelkast aangebracht zijn.



Afbeelding 4.1 Waarschuwingsschild PV-installatie conform VDE-AR2100-712

Ook wordt een aantal aanbevelingen gedaan dat betrekking heeft op de preparatie (voorbereiding op incidentbestrijding):

- > Leg aanwezige PV-installaties en hun ligging in het object vast.
- > Pas reeds aanwezige aanvalsplannen daarop aan, met duidelijk aangegeven de aard en ligging van stroomafschakelaars.
- > Organiseer een bezoek aan PV-installaties voor de hulpdiensten, zodat zij vertrouwd kunnen worden met de techniek en opbouw van de PV-installaties.
- > Inventariseer de eigen kennis: zijn er binnen het korps elektrovakmensen met kennis van PV-installaties?
- > Controleer welke uitrusting er voor de inzetkrachten beschikbaar is en of:
 - deze uitrusting geschikt is voor de te verwachte opgave (zie ook DIN 14885 „Feuerwehr-Elektrowerkzeugkasten mit bis 1.000 Volt (DC) isolierten Werkzeugen“)
 - een spanningsvoeler tot 1000 Volt DC beschikbaar is.
- > Gebruik alleen straalpijpen die geschikt zijn bevonden voor elektrische installaties.
- > Houd een lijst bij met telefoonnummers van plaatselijke PV-installatiemonteurs die installaties stroomvrij kunnen maken.

TÜV (2015). *Bewertung des Brandrisikos in Photovoltaik-Anlagen und Erstellung von Sicherheitskonzepten zur Risikominimierung.* TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH, Keulen.

Het TÜV-rapport adviseert om, gelet op het feit dat de meeste branden in PV-installaties veroorzaakt worden door slechte montage of een slecht ontwerp van de installatie zelf, met name aandacht te besteden aan kwaliteitscontrole, een goede opleiding van de installateurs en regelmatige controles door onafhankelijke derden.

Door het nabranden van PV-panelen kunnen ook dakbedekkingen die normaal gesproken als voldoende brandveilig gezien worden (zoals bitumen) in brand geraken. Bij bitumen daken dienen extra brandwerende maatregelen genomen te worden indien daarop een PV-installatie wordt aangebracht, om te voorkomen dat door een brand in de PV-installatie het hele dak in brand raakt.

PV-installaties zijn zeker bij een sterke rookontwikkeling niet altijd direct zichtbaar. Daarnaast bestaat in Duitsland geen centrale database waarin alle PV-installaties zijn opgenomen. Om toch snel duidelijke informatie voor de hulpdiensten beschikbaar te hebben, adviseert de TÜV het waarschuwingsbord, genoemd en afgebeeld op de vorige pagina, te plaatsen bij de meterkast of bij de hoofdstroomverdeler van het gebouw.

Daarnaast dient er conform VDE-AR2100-712 een overzichtstekening aanwezig te zijn, die de hulpdiensten helpt om de laagspanning voerende componenten in het object snel te identificeren. De overzichtstekening moet in ieder geval het volgende bevatten:

- > alle spanningvoerende niet-afschakelbare leidingen
- > de tegen brand beschermde DC-leidingen in het gebouw
- > de plaats van de PV-generator
- > de plaats van alle DC-schakelaars.

Ook dient een op grond van DIN 14095 vereist brandweerplan voor de inbedrijfname overlegd te worden.

Tenslotte dienen er zodanige technische maatregelen te worden getroffen dat de installatie bij falen automatisch in een veilige toestand wordt gebracht, zodat ook niet ter zake kundige personen veilig aan de installatie kunnen werken. Technische oplossingen daarvoor zijn ten tijde van het verschijnen van dit rapport in ontwikkeling.

Om een vlamboog ongedaan te maken zijn er vlamboogdetectoren. Deze detectoren werken alleen als zij de vlamsituatie kunnen herkennen en verkeerde oplossingen met hoge waarschijnlijkheid kunnen uitsluiten. Een zorgvuldige keuze van een dergelijk apparaat is dan ook een voorwaarde.

BPVA, 2011. *Photovoltaics and Fire.*

De BPVA geeft aan dat daken voldoende bestendig moeten zijn tegen een externe brand, vliegvuur en/of hittestraling.

4.3 Incidentbestrijding

Vier van de voor dit hoofdstuk gebruikte bronnen geven informatie over incidentbestrijding. Hieronder wordt de relevante informatie uit die bronnen samengevat.

DFV (Berlijn 2010). *Einsatz an photovoltaikanlagen. Informationen für Einsatzkräfte von Feuerwehren und technischen Hilfsdiensten. Deutscher Feuerwehrverband, Berlijn.*

Het Deutscher Feuerwehrverband noemt de volgende algemene gevaren die de incidentbestrijding kunnen bemoeilijken:

- > Schoorsteeneffect bij installaties op het dak en façadeconstructies.
- > Gevaar van branduitbreiding in de omgeving.
- > Gesloten oppervlaktes van PV-panelen kunnen blus- of hulpverleningswerkzaamheden bemoeilijken als:
 - een opening in het dak gewenst is
 - het nodig is het dak te betreden (de panelen mogen in principe niet betreden worden)
 - de brandwerende scheidingen doorbroken worden door brandbare installatieonderdelen (bijvoorbeeld leidingen).
- > Brandgevaar door een vlamboog bij een beschadigde installatie.

Verder worden er verschillende beschermende maatregelen genoemd die getroffen dienen te worden bij en na afloop van een inzet bij een PV-panelenbrand. Deze zijn hieronder beschreven, ingedeeld in zes categorieën.

1. Toxische rookgassen
 - > Ademlucht gebruiken
 - > Ventilatie uitschakelen
 - > Personen uit het getroffen gebied redden.

2. Instorting/naar beneden vallende delen
 - > Het door naar beneden vallende delen bedreigde gebied vermijden en afzetten.
 - > Bij een binnenaanval en nablussen de verhoogde dakbelasting in acht nemen.

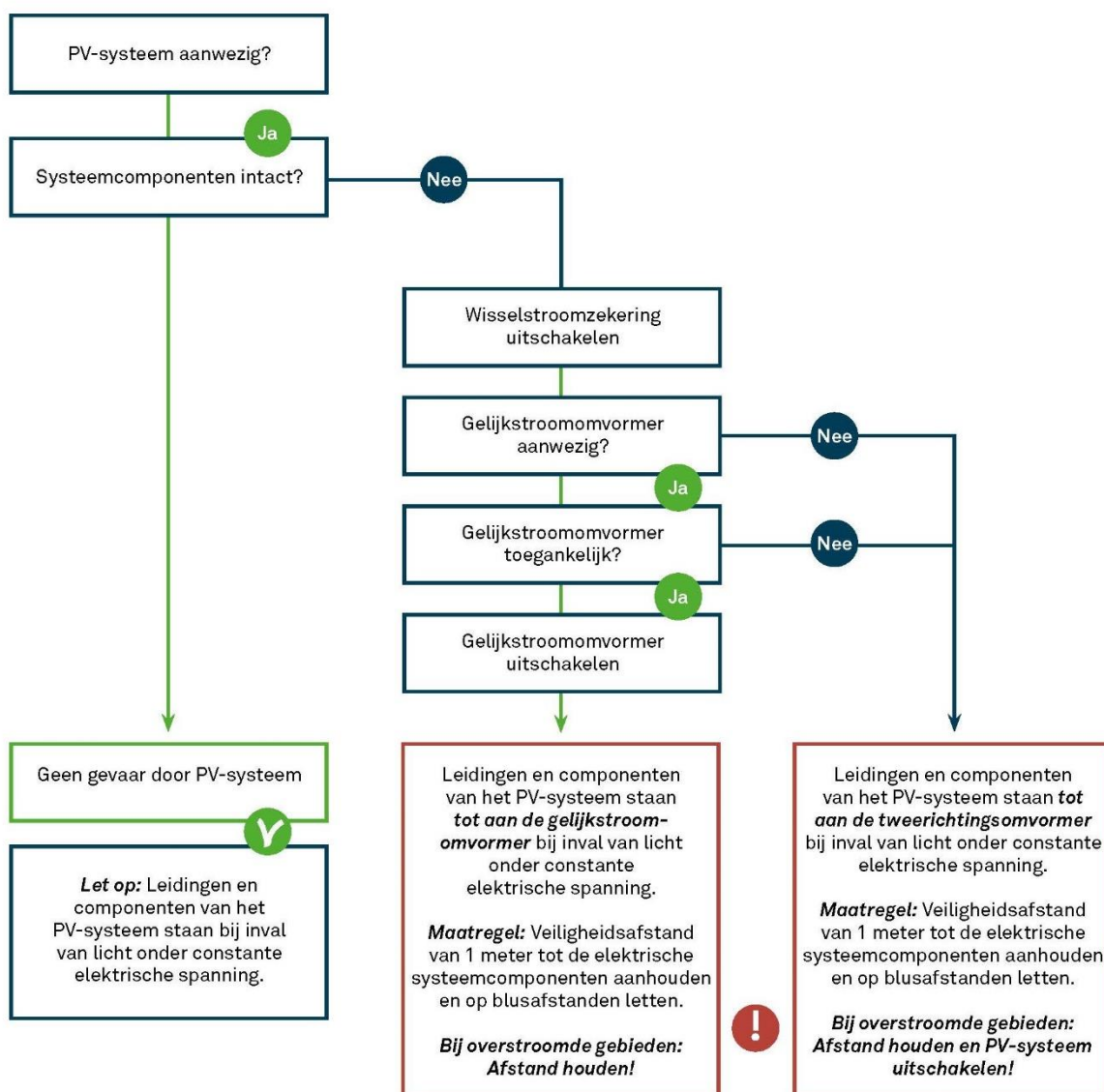
3. Gevaar van elektriciteit
 - > DIN VDE 0132 in acht nemen (met onder andere de aan te houden blusafstanden en regels voor het gebruik van blusmiddelen in de buurt van elektrische spanningsbronnen, zie ook tabel 1).
 - > GUV- I 8677 „Elektrische Gefahren an der Einsatzstelle“ in acht nemen: minstens één meter afstand houden tot mogelijk spanningvoerende delen en naburige metalen constructies die onder spanning kunnen staan.
 - > Omlaaghangende elektrische leidingen en andere installatieonderdelen niet aanraken.
 - > Handelingen aan defecte onderdelen van de installatie en het scheiden van PV-panelen alleen door elektrovakpersoneel laten verrichten.
 - > Letten op het gevaar van een eventuele indringing van bluswater in de elektrische installatie.
 - > Afstand houden van overstroomde delen en geleidende delen niet aanraken.

4. Vlamboog
 - > Het gebied rondom de vlamboog veilig stellen en een elektrovakman opdracht geven de stroom uit te schakelen.
 - > Mogelijke branduitbreiding in de gaten houden met bijvoorbeeld een warmtebeeldcamera.

5. Beëindiging van de inzet
 - > De plaats incident pas verlaten nadat deze veilig gesteld is.
 - > Indien nodig voor het verlaten van de plaats incident de installatie spanningsloos laten maken door een PV-installatiebedrijf.
 - > De overdracht van de plaats incident aan de houder van de PV-installatie begeleiden met de benodigde veiligheidswaarschuwingen
 - > Het door de brand verwoeste deel van de installatie als brandpuin behandelen.
 - > Recyclingmogelijkheden voor mechanisch beschadigde PV-installaties kunnen via het recyclingsysteem 'PV-cycle' nagevraagd worden (www.pvcycle.org).

6. Beschermende maatregelen na de inzet
 - > Veiligheidsafstanden conform DIN VDE 0132 aanhouden, omdat het gevaar bestaat dat andere metalen delen onder spanning staan.
 - > Verhindern van oneigenlijke toegang van personen tot onder spanning staande delen.
 - > Een elektrovakkracht inschakelen om de installatie spanningsvrij te maken.

In de brochure van de DFV zijn ook een inzetprocedure opgenomen en een stroomschema voor het al dan niet uitschakelen van de elektriciteit (zie figuur 4.2 op de volgende pagina, die gebaseerd is op het stroomschema van de DFV).



Figuur 4.2 Stroomschema afschakelen elektriciteit

TÜV (2015). *Bewertung des Brandrisikos in Photovoltaik-Anlagen und Erstellung von Sicherheitskonzepten zur Risikominimierung.* TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH, Keulen.

In het TÜV-rapport staat dat de volgende aspecten van invloed zijn op de incidentbestrijding:

- > gevaar voor een elektrische schok of elektrocutie
- > vrijkomen toxische stoffen
- > explosiegevaar.

1. Gevaar voor een elektrische schok of elektrocutie

Overeenkomstig het informatieblad 'Elektrische Gefahren an der Einsatzstelle' (GUV-I 8677) van de 'Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung e.V.' dient men in alle gevallen een afstand van minimaal 1 meter tot laagspanningsinstallaties aan te houden.

Om te voorkomen dat bij het blussen via de waterstraal een stroom van het onder (laag)spanning staande installatieonderdeel door het lichaam loopt, geeft de norm 'Brandbekämpfung und technische Hilfeleistung im Bereich elektrischer Anlagen' (DIN VDE 0132:2018-07) van het 'Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik e.V.' een veiligheidsafstand van 5 meter bij een gebonden straal en 1 meter bij een sproeistraal. Deze afstanden werden ook in het experimentele onderzoek voor PV-panelen bevestigd voor het blusmiddel water. Zie ook tabel 4.1.

Tabel 4.1 Veilige inzetafstanden conform DIN VDE 0132

| Lans DIN 14365-CM | Laagspanning (N) ≤ AC 1kV of ≤ DC 1,5 kV | Hoogspanning (H) > AC 1 kV of > DC 1,5 kV |
|----------------------|---|--|
| Sproeistraal | 1 m | 5 m |
| Volle straal | 5 m | 10 m |

Verder geven de metingen aan dat er geen risico is op elektrocutie door contact met een spanningvoerende DC-kabel van een PV-installatie indien complete en droge inzetkleding gedragen wordt. Doorweekte inzetkleding biedt echter nagenoeg geen bescherming tegen stroom, indien deze van de ene naar de andere hand loopt. Als de stroom van de handen naar de voeten loopt (wat te verwachten is bij een blusinzet), dan zal dit door de hoge weerstand van de bluslaarzen nauwelijks waarneembaar zijn.

In volgelopen kelders kan er echter wel degelijk sprake zijn van elektrocutiegevaar door aanwezige en beschadigde DC-kabels. Al bij lage spanningen van circa 100 Volt kan in die gevallen een gevaarlijke stroom door het lichaam lopen.

Ook kunstlicht (met name halogeen schijnwerpers) blijkt in staat te zijn om een gevaarlijke spanning in een PV-installatie op te wekken. Bij het aanhouden van de minimaal aangegeven afstanden tussen de PV-installatie en kunstverlichting is er echter sprake van een verwaarloosbaar risico. In tabel 4.2 is voor een aantal veel voorkomende schijnwerpervermogens aangegeven wat de minimaal aan te houden afstanden zijn voor een veilige toepassing.

Tabel 4.2 Voorbeelden van aanbevolen minimale afstanden voor veel voorkomende schijnwerpervermogens

| Schijnwerpervermogen in kW | Aanbevolen minimumafstand in meters |
|----------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 10 |
| 2 | 13 |
| 4 | 16 |
| 6 | 19 |
| 8 | 22 |

Een algemene aanbeveling is gericht op het brandweerpersoneel: het belangrijk dat dit kennis neemt van de gevaren, effecten en mogelijk te nemen maatregelen bij een inzet bij PV-installaties. Onder tijdsdruk bij het redden van personen bijvoorbeeld, zal het uitgangspunt altijd moeten zijn dat er nog spanning op de installatie staat, ook al is er een afschakelvoorziening aanwezig.

2. Explosiegevaar

Bij een inzet in een gebied waar (delen van) een PV-installatie onder water staat/staan (geen afgewaarde panelen, maar onderdelen van de installatie zelf), is het volgende van belang:

- > Aanhouden van de eerder genoemde veiligheidsafstanden.
Het onder water staande gedeelte pas betreden nadat de installatie spanningsvrij is gemaakt conform GUV-I 8677. Hiertoe dienen door een elektrovakman de onder water staande onderdelen van de generator gescheiden te worden. Daarmee wordt ook de productie van waterstof vermeden.
- > Vanwege de mogelijke vorming van waterstof moeten explosiemetingen uitgevoerd worden alvorens de ruimte te betreden.
- > Handelen conform de gebruikelijke procedure indien er sprake is van explosiegevaar.
- > Verder kunnen door beschadiging van eventueel aanwezige accu's toxische en bijtende gassen ontstaan. Deze kunnen verwijderd worden door (overdruk)ventilatie.

3. Het vrijkomen van toxische stoffen

Bij metingen van rookgasconcentraties heeft TÜV in de door haar uitgevoerde experimenten een duidelijke overschrijding van de grenswaarden vastgesteld van CO en CO₂ vastgesteld. Halogeenwaterstofverbindingen en stikstofoxiden waren niet meetbaar.

Voor de zware metalen cadmium en selenium kunnen in het slechtste geval de toxicologische grenswaarden in de onmiddellijke nabijheid van de brand overschreden worden. In algemene zin is geen gevaarlijke concentratie in de rookgassen vastgesteld.

Bij brand in CdTe-panelen kan in het slechtste geval een kritische hoeveelheid cadmium in de bodem terecht komen. Het nemen van bodemonsters en de analyse daarvan wordt in dergelijke gevallen dan ook aanbevolen. Afhankelijk van de toegepaste technologie kunnen na een brand aan PV-panelen lood- en cadmiumconcentraties die kunnen uitloggen naar de bodem aanwezig zijn in de brandresten. Een zorgvuldige afvalverwerking en eventueel afgraven van de bodem worden daarom dringend aangeraden.

NFPA (2010). *Fire fighter safety and emergency response for solar power systems.*

In deze bron wordt beschreven dat het gevaar op een elektrische schok bij een incident een PV-systeem tot een groter probleem maakt dan een thermisch systeem. Een PV-systeem kan immers onder spanning blijven staan, in tegenstelling tot een thermisch systeem. Daarnaast kunnen bepaalde type PV-systemen (die geïntegreerd zijn in het dak) gemakkelijker 'onzichtbaar' blijven gedurende een brand. Een kritische eerste stap bij een brand is dus het identificeren van het type zonne-energiesysteem.

Wanneer een PV-systeem in brand staat, moet dit met voorzichtigheid geblust worden. Het bestrijden van een dergelijke brand is te vergelijken met het bestrijden van een brand aan eender welk elektrisch geladen materiaal. Normaal gesproken wordt hierbij de

stroomtoevoer afgesloten en wordt water volgens een mistpatroon aangebracht. Echter, een PV-systeem dat blootgesteld wordt aan zonlicht staat altijd aan en staat dus onder spanning.

Doordat zonnepanelen, zolang deze blootgesteld worden aan zonlicht, niet uitgeschakeld kunnen worden, blijven zij ook wanneer het incident bestreden is nog een risico. Kapotte modules kunnen nog steeds een elektrische schok afgeven of zelfs weer ontbranden. De auteurs raden dan ook aan dat het repressief personeel altijd volledige bescherming (ook met ademlucht) gebruikt wanneer het handelingen verricht aan beschadigde modules. De reden hiervoor is dat sommige (stabiele) materialen die verwerkt zitten in de modules bij een brand omgezet worden in giftige gassen en/of vloeistoffen.

De auteurs noemen een zestal punten om veilig te werk te gaan bij incidenten met PV-systemen:

1. Overdag is gevaar; in de nacht is geen gevaar.⁴
2. Informeer de 'incident commander' dat een PV-systeem aanwezig is.
3. Het afsluiten van de primaire elektriciteitsvoorziening schakelt de PV-modules niet uit. Houd daar rekening mee.
4. In de nacht genereert de verlichting die er is niet voldoende licht om een elektrisch gevaar te genereren in een PV-systeem.
5. Dek alle PV-modules 100% af om de elektriciteitsopwekking te stoppen.
6. Beschadig, verwijder of loop niet over de PV-modules. Blijf weg bij de modules, componenten en bekabeling.

CanSIA (2015). *Solar Electricity Safety Handbook for Firefighters*

De auteurs van *Solar Electricity Safety for firefighters* raden aan om volledige bescherming (juiste schoenen en handschoenen) te gebruiken bij incidenten met PV-systemen. Daarnaast adviseren zij om alle bedrading te behandelen alsof deze onder spanning staat.

4.4 Samenvatting

Zonne-energie (in casu licht) kan omgezet worden in warmte via zogenaamde 'solar thermie installaties' (bijvoorbeeld zonneboilers) of in stroom (via fotovoltaic panelen oftewel PV-panelen). In dit hoofdstuk zijn de risico's van PV-panelen besproken.

Risico's

De risico's die van toepassing zijn op PV-panelen kunnen in de twee volgende categorieën ingedeeld worden:

1. Risico's voor de omgeving.
Het gaat hierbij met name om het bij de verbranding van zonnepanelen vrijkomen van toxische stoffen:
 - het bij de brand vrijkomen van toxische stoffen in de lucht (CO, CO₂, cadmium, selenium).

⁴ Er dient te worden opgemerkt dat elektrocutiegevaar eerder is genoemd (dezelfde paragraaf, onder bron 2) in relatie tot kunstlicht. Ook kunstlicht kan spanning in PV-installaties opwekken.

- het optreden van bodem- en oppervlaktewaterverontreiniging vanwege het hoge gehalte aan zware metalen (onder andere lood en cadmium) in de brandresten en in het bluswater.
2. Risico's voor de hulpdiensten.
- Het gaat dan met name om gevaren die te maken hebben met elektriciteit vanwege:
- het bij daglicht continue stroom voeren van de installatieonderdelen.
 - het feit dat er tot aan de omvormer sprake is van gelijkstroom.

Risicobeheersing

Gelet op het feit dat de meeste branden in PV-installaties veroorzaakt worden door slecht uitgevoerd installatiewerk of een slecht ontwerp van de installatie, wordt geadviseerd om aandacht te besteden aan kwaliteitscontrole, een goede opleiding van de installateurs en regelmatige controles door onafhankelijke derden.

Incidentbestrijding

Een algemene aanbeveling is gericht op de opleiding van het brandweerpersoneel: voor hen is het belangrijk om kennis te nemen van de gevaren, effecten en mogelijke maatregelen bij de inzet bij PV-installaties. Belangrijkste aandachtspunten zijn het elektrocutiegevaar en het vrijkomen van toxische stoffen bij brand. Het dragen van de juiste beschermingsmiddelen (ademlucht) en voldoende afstand nemen bij het blussen van een brand (zie tabel 5.1 en 5.2) wordt aanbevolen.

4.5 Bronnenlijst

In deze lijst is een onderscheid gemaakt tussen de literatuur die verkregen is door middel van de enquête en de literatuur verkregen door middel van een literatuurstudie.

Enquête

- > Alessandrini, D. (2011). Sicurezza antincendio degli impianti fotovoltaici, van http://www.agrotecnici.it/prevenzione_incendi/dispensa_impianti_fv_versione_completa_CORRETA.pdf (Italiaans).
- > Bechník, B. (2014). Požáry fotovoltaiky a riziko úrazu elektrickým proudem, van <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11554-pozary-fotovoltaiky-a-riziko-urazu-elektrickym-proudem> (Tsjechisch).
- > Cvetković, D., Janković, Z., Anđelković, B., Živković, N., Vučković, L., ... Milošević, L. (7 december 2018). Proceedings. The 18th Conference of the series man and working environment, van <https://www.znrfak.ni.ac.rs/CIRS/PDF/CIRS%202018%20-%20PROCEEDINGS.pdf> (Servisch en Engels).
- > Cefas (z.j.) Czech Photovoltaic Association, van <http://www.cefas.cz/hlavni-strana/> (Tsjechisch).
- > Maîtriser le risque lié aux installations photovoltaïques, van <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/maitriser-risque-lie-installations-photovoltaïques-2013.pdf> (Frans).

- > Hasičský záchranný sbor ČR (2013). Požár fotovoltaické elektrárny umístěné na střeše skladové haly, van <https://www.hzscr.cz/clanek/casopis-112-rocnik-xii-cislo-2-2013.aspx?q=Y2hudW09Mw%3D%3D> (Tsjechisch).
- > Hošek, Z. (z.j.). Požární bezpečnost fotovoltaických systémů, van <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/pozarni-bezpecnost-fotovoltaickych-systemu--9835> (Tsjechisch).

Literatuurstudie

- > Backstrom, R., David, A. (2011). Firefighter safety and photovoltaic installations project, van https://www.ul.com/global/documents/offerings/industries/buildingmaterials/fireservice/PV-FF_SafetyFinalReport.pdf.
- > BPVA, 2011. *Photovoltaics and Fire*.
- > CanSIA (2015). *Solar Electricity Safety Handbook for Firefighters*.
- > DFV (Berlijn 2010). *Einsatz an photovoltaikanlagen. Informationen für Einsatzkräfte von Feuerwehren und technischen Hilfsdiensten*. Deutscher Feuerwehrverband, Berlijn.
- > Fiorentini, L., Marmo, L., Danzi, E. & Puccia, V. (2016). Fire risk assessment of photovoltaic Plants. A Case Study Moving from two Large Fires: from Accident Investigation and Forensic Engineering to Fire Risk Assessment for Reconstruction and Permitting Purposes, van <https://www.aidic.it/cet/16/48/072.pdf>.
- > NFPA (2010). *Fire fighter safety and emergency response for solar power systems*.
- > TÜV (2015). *Bewertung des Brandrisikos in Photovoltaik-Anlagen und Erstellung von Sicherheitskonzepten zur Risikominimierung*. TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH, Keulen.

5 Waterstof

In het streven naar het verminderen van de CO₂ uitstoot wordt elektrische energie als een belangrijke energiebron gezien. Transport en industrie zullen voor verschillende doeleinden echter alsnog brandstoffen nodig hebben. Waterstof kan in deze behoefte voorzien en kan door middel van schone hernieuwbare energie geproduceerd worden (IRENA, z.j.).

5.1 Risico's

In deze paragraaf volgt een uiteenzetting van de risico's die verbonden zijn met het gebruik van waterstof. De informatie afkomstig uit één bron, geschreven in het Verenigd Koninkrijk.

Pritchard, D.K., M. Royle, M. en D. Willoughby (2009). *Installation permitting guidance for hydrogen and fuel cell stationary applications: UK version. Health and safety laboratory, Buxton, Derbyshire.*

Waterstof is het kleinste en lichtste molecuul dat bekend is. Dit betekent dat het moeilijk is om verbindingen zodanig te maken dat waterstof er niet doorheen kan. Hierdoor kan waterstof sterke materialen (zoals staal of titanium en aluminium legeringen) bros maken; dit wordt ook wel waterstofbrosheid genoemd. Waterstof komt in de haarscheurtjes van het materiaal terecht, waardoor het materiaal verzwakt wordt. Dit verergert weglekken van de waterstof.

1. Explosie

Wanneer waterstof in een gesloten ruimte vrijkomt, zal snel een explosieve atmosfeer ontstaan vanwege het feit dat waterstof brede explosiegrenzen heeft. Bovendien heeft waterstof een heel lage ontstekingsenergie nodig om te ontbranden. Hierdoor kan waterstof spontaan ontbranden als het ongecontroleerd onder druk vrijkomt, zodat in een besloten ruimte een explosie kan ontstaan. In open gebieden zal daarentegen niet snel een explosieve atmosfeer bereikt worden, omdat waterstof zo'n licht molecuul is dat het snel opstijgt in de lucht.

2. Brand

Waterstof brandt met een voor het menselijk oog onzichtbare vlam. Bovendien straalt de vlam relatief weinig hitte uit, terwijl de temperatuur van de vlam wél hoog is. Deze combinatie maakt het zonder apparatuur lastig om te bepalen of het een gaslekage of een fakkelbrand betreft. Het voordeel van deze lage hittestraling is daarentegen dat de kans op escalatie (secundaire branden) lager is dan bij fossiele brandstoffen.

Tot slot heeft waterstof een hoge verbrandingssnelheid, waardoor fakkelbranden lastig in te sluiten of te blussen zijn.

5.2 Risicobeheersing

In dezelfde bron als gebruikt in de vorige paragraaf worden verschillende elementen genoemd die te maken hebben met beheersen van de risico's die verbonden zijn aan het gebruik van waterstof. Hieronder volgt een opsomming van de relevante informatie.

Pritchard, D.K., M. Royle, M. en D. Willoughby (2009). *Installation permitting guidance for hydrogen and fuel cell stationary applications: UK version. Health and safety laboratory, Buxton, Derbyshire.*

In het rapport zijn de volgende maatregelen beschreven om de in paragraaf 5.1 genoemde risico's te beheersen.

1. Locatie

De eerste 'line of defence' (LOD) in het voorkomen van een explosie is er voor te zorgen dat er geen explosieve atmosfeer kan ontstaan. Hiervoor is het belangrijk dat verbindingen gasdicht zijn. De installatie dient bij voorkeur buiten geplaatst te worden. Buitenlocaties moeten beschermd zijn tegen extreme temperaturen en externe impact. Waterstofapplicaties voor huishoudelijk gebruik moeten zodanig ontworpen en geïnstalleerd zijn, dat ze veilig geplaatst kunnen worden.

2. Materiaalkeuze

Bepaalde materialen die geschikt zijn voor de opslag van andere stoffen, zijn niet geschikt voor het opslaan van waterstof, dat immers eenvoudig kan weglekken, zoals in de eerste paragraaf van dit hoofdstuk beschreven is. Het is dan ook van belang dat voor waterstof de juiste materialen voor opslag, leidingwerk et cetera worden gebruikt.

3. Blikseminslag

Waterstofapplicaties die buiten gelokaliseerd zijn, moeten voldoende beschermd zijn tegen blikseminslag. Dit kan bereikt worden door het correct aarden van de installatie.

4. Gasontluchting

Waterstofapplicaties die gevoed worden door middel van (lokale) elektrolyse, moeten voorzien zijn van twee aparte en geïsoleerde gasontluchtingssystemen: één voor waterstof en één voor zuurstof.

5. Ventilatie

Ventilatie een goede manier om een explosieve atmosfeer bij kleine lekkages te voorkomen. Op basis van de verwachte grootte van een lekkage kan bepaald worden wat de capaciteit van de ventilatie moet zijn. Wat betreft type ventilatie zijn er twee mogelijkheden.

- > Passieve of natuurlijke ventilatie: de luchtstroom wordt gecreëerd door middel van verschil in druk/gasdichtheid buiten en binnen de ruimte.
- > Actieve of geforceerde (mechanische) ventilatie: de luchtstroom wordt gecreëerd door middel van een ventilator of een ander apparaat dat de lucht 'opstuwt' en/of 'aanzuigt'.

Natuurlijke ventilatie kan aangebracht worden door permanente openingen in de ruimte te maken. De ventilatieroosters waardoor de lucht binnenkomt, moeten aan de onderzijde van de ruimte zitten en zo geplaatst zijn dat eerder geventileerde lucht niet terug de ruimte

ingeblazen kan worden. Ventilatieopeningen waar de lucht uitkomt, moeten zich aan de bovenzijden van de ruimte bevinden. Om natuurlijke ventilatie zo efficiënt mogelijk te maken, moet bij het ontwerp ook gedacht worden aan eventuele obstructie door middel van vegetatie of sneeuw.

Wanneer mechanisch geventileerd wordt, moet de betrouwbaarheid van het systeem in acht genomen worden.

6. Ontstekingsbronnen vermijden

Wanneer een explosieve atmosfeer niet voorkomen kan worden, is het van belang dat ontstekingsbronnen zo veel mogelijk gemeden worden op de locaties waar waterstof kan accumuleren. Deze locaties moeten geïdentificeerd en geclassificeerd worden als ATEX zone.

7. Effectbeperkende maatregelen explosie

Als het niet lukt om een explosieve atmosfeer te voorkomen en ontstekingsbronnen niet vermeden kunnen worden, is het van belang dat er maatregelen getroffen worden die de effecten van een explosie zoveel mogelijk beperken. De volgende maatregelen zijn denkbaar om drukopbouw te limiteren of de explosie tot een bepaald gebied te beperken:

- > Overdrukontlasting: hiervoor worden bewust zwakkere plekken in het systeem aangebracht. Het idee is dat deze plekken bij een explosie als eerste bezwijken, waardoor de kracht van de explosie dan op deze locatie vrijkomt. Hiermee blijft de rest van het systeem intact en wordt de kans op escalatie beperkt.
- > Isolatiesystemen: door middel van bepaalde systemen is het mogelijk om de drukgolf en vlam te isoleren (complete isolatie) of om alleen de vlam te isoleren (gedeeltelijke isolatie). Wanneer een explosie zich voordoet, is het mogelijk dat deze via pijpleidingen effect heeft op andere delen van de installatie. Door middel van een 'procesklep' wordt de leiding in geval van een explosie afgesloten. Hierdoor worden de drukgolf en de vlam ingeblokkt.
- > Insluitsystemen: onderdelen van de installatie kunnen zo gebouwd worden dat ze een interne explosie kunnen insluiten. Dit kan op twee manieren.
 - Op de eerste plaats kan 'explosion-pressure-resistant' gebouwd worden. Dit houdt in dat er een interne explosie kan plaatsvinden zonder dat het onderdeel vervormt.
 - De tweede manier is 'explosion-pressure-shock-resistant' bouwen, wat inhoudt dat het materiaal bij een interne explosie kan vervormen, maar niet kan scheuren.
- > Explosiebestendige muren: bepaalde procesinstallaties kunnen beschermd worden door middel van explosiebestendige muren. Deze muren zijn ook bestendig tegen fragmentatie die veroorzaakt wordt door de explosie.

8. Isoleren van installatieonderdelen

Naast de bovenstaande explosie-effectmaatregelen wordt in het rapport ook een voorzorgsmaatregel beschreven die genomen kan worden om brand te voorkomen. Sommige type brandstofcellen werken onder normale omstandigheden met een temperatuur tussen de 600°C en de 1000°C. Installatieonderdelen moeten dus zodanig geïsoleerd zijn dat zij niet beïnvloed worden door deze temperaturen en oververhit raken.

5.3 Incidentbestrijding

In deze paragraaf wordt de relevante informatie uit de bronnen op het gebied van incidentbestrijding uiteengezet. Naast het in dit hoofdstuk reeds gebruikte rapport van Pritchard et. al, is een document van het U.S. Department of Energy van nut gebleken.

Pritchard, D.K., M. Royle, M. en D. Willoughby (2009). *Installation permitting guidance for hydrogen and fuel cell stationary applications: UK version. Health and safety laboratory, Buxton, Derbyshire.*

Volgens bovengenoemd rapport moeten waterstofbranden met de juiste materialen benaderd worden. In het rapport wordt een warmtebeeldcamera aangeraden waarmee de vlammen, die bijna onzichtbaar zijn, gedetecteerd kunnen worden. Daarnaast wordt afgeraden om waterstofbranden te blussen, tenzij de waterstoftoevoer gestopt is door het dicht draaien van een cilinder of afblokken van de leiding. De reden dat dit wordt afgeraden is het gevaar op een (explosieve) herontsteking.

De aanbevolen manier om met een waterstofbrand om te gaan is het gecontroleerd laten branden tot dat de toevoer gestopt kan worden. Hierbij moeten eventueel andere gascilinders gekoeld worden door middel van water.

U.S. Department of Energy (2017). *Hydrogen safety tips for first responders.*

Het U.S. Department of Energy heeft een richtlijn opgesteld waarin een aantal tips wordt gegeven voor repressief personeel bij waterstofincidenten. In deze richtlijn worden in het kort de volgende onderdelen aangestipt:

1. Wat zijn de eigenschappen van waterstof?
 2. Hoe detecteer je waterstof?
 3. De basisprincipes van waterstofincidentbestrijding
 4. Hoe identificeer je een waterstofvoertuig?
-
1. Eigenschappen van waterstof
 - > kleur-, geur- en smaakloos, niet giftig en niet bijtend
 - > onder normale omstandigheden gasvormig
 - > 14 maal lichter dan lucht, snel stijgend
 - > vloeibaar bij -253°C
 - > de volumeverhouding tussen vloeistof en gas is 1:848.

2. De detectie van waterstof

Waterstof kan op drie verschillende manieren vrijkomen:

- > Lekkage van waterstofgas
 - Luister of een luid sissend geluid te horen is. Dit is een indicatie dat gas onder hoge druk vrijkomt. Daarnaast is het mogelijk dat er gas- en/of vlamdetectoren aanwezig zijn op het terrein. Kijk en luister of deze geactiveerd zijn. Tot slot kan het repressief personeel door middel van meetapparatuur concentraties waterstof meten.
- > Lekkage van vloeibaar waterstof

Wanneer vloeibaar waterstof lekt, ontstaat er een witte wolk. Deze wolk bestaat uit gecondenseerde waterdamp.

> Fakkelflam van waterstof

Warmte van een waterstofvlam is bijna niet te voelen, tenzij de vlam dicht genaderd wordt. Gebruik een warmtebeeldcamera om te bepalen of er waterstof ontbrand is.

3. De basisprincipes van waterstofincidentbestrijding

- > Kijk naar herkenbare aanduidingen, luister of er sprake is van een eventuele gaslekkage en kijk door middel van een warmtebeeldcamera of waterstof brandt.
- > Laat, als het veilig is, een waterstofbrand uitbranden.
- > Knip nooit door roestvrijstalen leidingen of hoogspanningskabels.
- > Vermijd knippen in de bodem van het voertuig. Alle waterstofleidingen en hoogspanningskabels zijn hier gemonteerd.

Naast de basisprincipes wordt ook een aantal andere voorzorgsmaatregelen genoemd:

- > Houd niet-geautoriseerd personeel weg bij het incident.
- > Blijf bovenwinds.
- > Haal ontstekingsbronnen weg.
- > Raak het product niet aan, loop er ook niet over- of doorheen.
- > Spuit geen water in het overdrukventiel.

4. Het identificeren van een waterstofvoertuig

- > Vrachtwagens hebben een UN-nummer en gevaarsidentificatienummer.
- > Voertuigen hebben vaak een blauwe diamantvormige sticker op de achterzijde.

5.4 Samenvatting

Een belangrijke energiedrager van de toekomst die ook kan fungeren als brandstof voor transport en industrie is waterstof. Waterstof bestaat uit zeer kleine moleculen die een grote kans hebben om te lekken of materialen bros te maken.

Risico's

Naast de gevaren die ook gelden bij andere brandbare gassen, heeft waterstof een aantal specifieke gevaren, met name de slechte zichtbaarheid van de vlam als het in brand staat en de brede explosiegrenzen.

Risicobeheersing

Het is van belang dat, ongeacht het type installatie, goed wordt nagedacht over de locatie van de installatie en over de maatregelen die de kans op een incident en de gevolgen daarvan beperken. De installatie dient bij voorkeur buiten geplaatst te worden. Indien dat niet mogelijk is, moet voor voldoende ventilatie gezorgd worden.

Incidentbestrijding

Het is van belang dat het repressief personeel op de hoogte is van de gevaren van waterstof. Daarnaast is het gebruik van een warmtebeeldcamera bij een incident met waterstof essentieel.

5.5 Bronnenlijst

In deze lijst is een onderscheid gemaakt tussen de literatuur die verkregen is door middel van de enquête en de literatuur verkregen door middel van een literatuurstudie.

Enquête

- > Firehouse (2017). *Hydrogen fuel cell vehicles – what first responders need to know*. <https://www.firehouse.com/rescue/article/12385113/hydrogen-fuel-cell-vehicles-what-first-responders-need-to-know-firehouse>.
- > <https://h2tools.org/>.
- > <http://www.hyresponse.eu/>.

Literatuur

- > HyResponse (2016). *European Emergency Response Guide*. <http://www.hyresponse.eu/responseguide.php>.
- > International Energy Agency (2019). *Hydrogen. Tracking clean energy progress*. <https://www.iea.org/tcep/energyintegration/hydrogen/>.
- > LaFleur, C. et al. (2017). *Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicle Tunnel Safety Study*. <https://energy.sandia.gov/wp-content/uploads/2018/05/SAND2017-11157.pdf>.
- > <https://www.vehiclefireresearch.com/publications/>.
- > Pritchard, D.K., M. Royle, M. en D. Willoughby (2009). *Installation permitting guidance for hydrogen and fuel cell stationary applications: UK version*. Health and safety laboratory, Buxton, Derbyshire.
- > U.S. Department of Energy (2017). *Hydrogen safety tips for first responders*.

6 Energieopslagsystemen

Met de toename van hernieuwbare energie in de vorm van elektriciteit en het feit dat deze energie niet altijd beschikbaar is, is behoefte ontstaan aan mogelijkheden om deze energie op te slaan in periodes dat er een overschot geproduceerd wordt. Zoals al is aangegeven in het Infoblad energietransitie ten bate van veiligheidsregio's (IFV, 2018) heeft de toepassing van energieopslagsystemen in de vorm van batterijen een grote vlucht genomen. Hulpdiensten kunnen daardoor in toenemende mate geconfronteerd worden met incidenten met batterijen van verschillende schaalgrootte en in verschillende contexten. Met name de toepassing van de zogeheten 'Battery Energy Storage Systems' (hierna BESS) is nieuw. In Nederland worden dit soort systemen ook wel 'buurtbatterijen' genoemd. In Duitsland spreekt men van 'Stromspeicher' of 'Speichermedien für erneuerbare Energien'.

Met een buurtbatterij wordt het voor buurtbewoners mogelijk om opgewekte zonne-energie zelf op te slaan (Liander, 2017). Hierdoor wordt een buurt meer zelfvoorzienend wat betreft duurzame energie. Ook worden dit soort energieopslagsystemen steeds vaker toegepast op locaties waar tijdelijk energie nodig is, zoals bijvoorbeeld op evenemententerreinen. In tegenstelling tot het gebruik van batterijen als energieopslagsysteem bij bedrijven, is bij een buurtbatterij of een BESS op een evenemententerrein niet noodzakelijkerwijs iemand aanwezig die kennis heeft van het systeem. Hulpverleners zijn dus afhankelijk van de eigen expertise en de op afstand aanwezige kennis van de (net)beheerder.

In de volgende paragrafen wordt beschreven wat de risico's zijn van (buurt)batterijen en welke consequenties de opslag van energie in (buurt)batterijen heeft voor zowel risicobeheersing als incidentbestrijding.

6.1 Risico's

In de literatuur zijn diverse risico's beschreven die verbonden zijn met het gebruik van energieopslagsystemen. Hieronder volgt een opsomming per bron van de informatie die daaruit gedestilleerd kan worden.

AIG Energy Industry Group (2018). *Lithium-ion Battery Energy Storage Systems. The risks and how to manage them.*

In het rapport van AIG Energy Industry Group worden twee risico's van BESS beschreven.

- > Li-ion batterijen zijn gevoelig voor beschadigingen en stroomstoten. Dit kan leiden tot interne opwarming van een of meerdere cellen, en tot explosies en branden.

- > Thermal runaway; dit is het 'op hol slaan' van de chemische reactie in een batterij waardoor deze heet kan worden, brandbare en giftige gassen kan uitstoten en in brand kan vliegen (vergelijk ook pagina 24).⁵ Batterijbranden zijn lastig te bestrijden.

NFPA (2016). *Battery energy storage systems (BESS) emergencies. Quick reference guide.*

De NFPA benoemt de volgende risico's:

- > elektrocutie door beschadigde batterijen en/of componenten
- > elektrocutie door een vlamboog
- > brandwonden door onbeschermd contact met de elektrolyt (de geleidende vloeistof tussen kathode (+) en anode (-))
- > verspreiding van giftige gassen.

DNV GL (2017). *Considerations for ESS fire safety. Rapportnummer: OAPUS301WIKO (PP151894), Rev. 4. New York.*

DNV GL noemt in het bovenstaande rapport twee risico's van het gebruik van BESS:

- > explosie van (geventileerde) gassen
- > herhaalde ontsteking / thermal runaway, waardoor het blussen van een brand bemoeilijkt wordt.

6.2 Risicobeheersing

In de literatuur worden verschillende elementen genoemd die te maken hebben met beheersen van de risico's die verbonden zijn aan het gebruik van energieopslagsystemen. Hieronder volgt een opsomming per bron van de informatie die daaruit gedestilleerd kan worden. Aangezien niet in alle bronnen iets over dit onderwerp te vinden is, wordt er in deze paragraaf slechts één besproken.

AIG Energy Industry Group (2018). *Lithium-ion Battery Energy Storage Systems. The risks and how to manage them.*

De AIG Energy Industry Group uit het Verenigd Koninkrijk noemt in het bovengenoemde rapport een aantal vragen die een initiatiefnemer in de planningsfase voor het installeren van een BESS zichzelf dient te stellen, alsook de maatregelen die hij tijdens de bouwfase kan nemen om de risico's te beperken:

1. Planningsfase
 - > Op welke wijze wordt het BESS ingericht (brandcompartimentering, detectiesystemen, blussysteem)?
 - > Welke testen worden tijdens de ingebruikname uitgevoerd?

⁵ Een exotherme chemische reactie is een reactie die niet meer te controleren is (binnen korte tijd wordt veel warmte geproduceerd) waardoor de accu faalt met als gevolg het vrijkomen van gevaarlijke stoffen en mogelijk brandverschijnselen.

- > Hoe reageert het type batterij dat gebruikt wordt op brand?
- > Hoe weten brandweerlieden dat een brand van dat type batterij volledig geblust is?
- > Hoe moeten brandweerlieden omgaan met beschadigde batterijen die nog wel onder stroom staan?
- > Is de brandweer uitgenodigd voor een schouw ter plaatse bij het BESS?
- > Welke risico's zijn er voor het repressief personeel en voor de omgeving wanneer dit blootgesteld wordt aan giftige dampen die vrijkomen bij een brand in een BESS?
- > Wat zijn de gevolgen voor het milieu als een blussysteem geactiveerd wordt in een BESS?

2. Bouwfase

- > Geen brandbare materialen gebruiken.
- > Plaats een 'Battery management system' in het ontwerp. Dit systeem zorgt onder andere voor het correct opladen van de batterijen zodat zij niet overbelast raken.
- > Installeer het 'Battery management system' en (nood)schakelaars in een andere ruimte dan de batterijen.
- > Als het BESS buiten staat, houd dan zo mogelijk afstand tussen het BESS en kwetsbare gebouwen en/of infrastructuur. Als dat niet mogelijk is, plaats dan een brandwerende scheiding of sprinklers om het systeem te beschermen tegen aanstraling van buiten.
- > Als het BESS binnen is geplaatst, zorg dan dat dit een brandwerendheid heeft van minimaal 2 uur.
- > Behandel batterijen voorzichtig.
- > Voer meerdere testen uit om fouten in het BESS tijdig te ontdekken.
- > Zorg ervoor dat het BESS periodiek onderhouden en geïnspecteerd wordt.

6.3 Incidentbestrijding

Hieronder wordt de relevante informatie uit de bronnen - twee van de drie die besproken zijn in paragraaf 6.1 - op het gebied van incidentbestrijding samengevat.

NFPA (2016). *Battery energy storage systems (BESS) emergencies. Quick reference guide.*

Bij het bestrijden van een brand in een BESS wordt door de NFPA (2016) aangeraden om drie handelingen te doorlopen.

1. Identificeren van de locatie en het type batterijopslag. Dit kan door middel van labels en componenten.
2. Zorgen voor een 'shutdown' van het BESS door middel van een noodknop, het afkoppelen van het systeem of het omzetten van een schakelaar.
3. Oppassen voor een hoog voltage en andere gevaren.

Daarnaast geeft de NFPA nog een aantal algemene waarschuwingen wat betreft BESS.

- > Ga er altijd van uit dat de batterijen opgeladen zijn (ook na uitschakelen van het systeem) en dat aangesloten componenten onder stroom staan. Let dus op elektrocutiegevaar.

- > Safety Data Sheet (het veiligheidsinformatieblad van het BESS) kan belangrijke informatie bevatten wat betreft het type batterij en de daarmee samenhangende gevaren.
- > Draag PBM en kijk weg wanneer tijdens het loskoppelen van componenten in verband met een vlamboog.
- > Neem contact op met de beheerder van het BESS.
- > Wees erop bedacht dat mechanische ventilatiesystemen bediend moeten worden om de verspreiding van gevaarlijke gassen te beperken.

DNV GL (2017). *Considerations for ESS fire safety*. Rapportnummer: OAPUS301WIKO (PP151894), Rev. 4. New York.

DNV GL heeft in de Verenigde Staten een aantal uitgebreide tests uitgevoerd met betrekking tot het bestrijden van brand in een BESS. De bevindingen van deze tests zijn beschreven in het eerder genoemde rapport *Considerations for ESS fire safety*. Een belangrijke conclusie uit dit rapport is dat de risico's van een ESS (energy storage system) met de huidige Amerikaanse wetgeving en met de huidige Amerikaanse brandbestrijdingsmethoden en beschikbare materialen beheersbaar zijn.

In het rapport van DNV GL wordt tevens een aantal aandachtspunten beschreven dat door de brandweer gebruikt kan worden om te verwerken in haar procedures bij de bestrijding van een brand in een BESS. Deze zijn hieronder benoemd.

1. Toxiciteit

Over het algemeen stoot een batterijbrand dezelfde giftige stoffen uit als een plasticbrand. Het gaat dan bijvoorbeeld om koolstofmonoxide (CO), waterstofchloride (HCL), waterstoffluoride (HF) en Toluëen. Li-ion branden hebben korte pieken wat betreft de uitstoot van giftige gassen, omdat individuele cellen willekeurig falen.

Terwijl plastic geen CO meer uitstoot als de brand geblust is, zal een batterij dit wél blijven doen zolang deze heet is. In het rapport wordt aangeraden om hier rekening mee te houden, zeker in besloten ruimtes. Koeling van de cellen/modules is daarom essentieel.

2. Ventilatie

Ondanks dat een goede ventilatie wordt aangeraden, kan het voorkomen dat deze niet aanwezig is of niet voldoende capaciteit heeft om de zware rook af te voeren. Er wordt aangeraden om in dat geval door middel van onderdruk rookgassen uit een besloten ruimte te verwijderen (afzuigen). Ook wordt in dergelijke situaties wel geadviseerd de ruimte dicht te laten zitten. Monitor bij het ventileren de geventileerde gassen, zodat er geen explosieve atmosfeer buiten het systeem ontstaat.

3. Temperatuur

Toename in temperatuur is een indicatie van een vergroot risico. Als de temperatuur met 0.5°C of meer per minuut stijgt en de batterij een temperatuur van 100 °C bereikt, is koeling noodzakelijk. De temperatuur is te monitoren door middel van een warmtebeeldcamera.

4. Herhaalde ontsteking

Wanneer een cel seconden of minuten na het blussen weer ontbrandt, dan is dit vaak het resultaat van onvoldoende koeling of van kortsluiting die ontstaan is door het koelen.

5. Elektrocutie

Bij batterijbranden schuilt altijd het gevaar van elektrocutie. Er is niet getest of het repressief personeel geëlektrocuteerd kan worden wanneer dit blust en/of koelt met water.

6. Brandbestrijding

Er is getest welke op water gebaseerde methoden van koelen het meest effectief is. Hieruit blijkt dat gewoon water het beste resultaat geeft. Het blijft echter lastig om efficiënt te werk te gaan, aangezien de meeste cellen diep in de batterij geplaatst zijn. Daarnaast is het mogelijk dat door middel van bluswater kortsluiting ontstaat in de cellen die in eerste instantie niet betrokken waren bij de brand. Bij voorkeur moet de falende module geïsoleerd en gericht gekoeld worden. Wanneer het gehele systeem heeft gefaald, is het noodzakelijk in te zetten op bescherming van de omgeving, en eventueel op evacuatie.

Er wordt afgeraden om met schuim te blussen. Schuim legt een deken over de modules heen om op die manier de zuurstof af te sluiten. Hierdoor kan de batterij niet snel genoeg de hitte kwijt en kan deze onvoldoende snel gekoeld worden, waardoor de brand niet gestopt wordt.

Als het interne blussysteem geactiveerd is en de temperatuur in het BESS stabiel blijft, zijn dat indicaties dat de brand geïsoleerd is en zich niet meer uitbreidt. Een verdere, offensieve inzet van de brandweer is dan vaak niet meer noodzakelijk. Echter, koeling van het systeem of een bepaalde module en het ventileren van de ruimte zijn nog wel nodig. Om te voorkomen dat de brand weer aanwakkert, mogen de deuren van het systeem pas geopend worden als de temperatuur in het systeem minimaal 60 minuten stabiel gebleven is. Monitor de temperatuur aan de hand van een warmtebeeldcamera.

Wanneer de brand gestabiliseerd lijkt te zijn, is het aan te raden om periodiek te stoppen met koelen en de temperatuur te monitoren. De temperatuur zal, na het stopzetten van de koeling, enigszins toenemen om zich vervolgens te stabiliseren. Stabiliseert de temperatuur zich niet, dan moet er weer gekoeld worden.

Als de deuren van het BESS dicht zitten, kunnen ze het beste dicht blijven, tenzij openen absoluut noodzakelijk is, bijvoorbeeld om de effecten op de omgeving te beperken of als er een duidelijk aanvalsplan is.

Wees er op bedacht dat batterijbranden veel langer duren dan andere branden van vergelijkbare grootte.

6.4 Samenvatting

Met de toename van hernieuwbare energie in de vorm van elektriciteit en het feit dat deze energie niet altijd beschikbaar is, is de behoefte ontstaan aan mogelijkheden om ze op te slaan in periodes dat er een overschot aan energie geproduceerd wordt. De toepassing van grootschalige energieopslag, zoals in Battery Energy Storage Systems (BESS) is een van de oplossingen. Hierdoor kunnen hulpdiensten in toenemende mate geconfronteerd worden met incidenten met batterijen van verschillende schaalgrootte en in verschillende contexten.

Risico's

Het opslaan van elektriciteit in grootschalige energieopslagsystemen brengt in geval van brand een aantal specifieke risico's met zich mee:

- > elektrocutie
- > vrijkomen van giftige gassen
- > explosie van (geventileerde) verbrandingsgassen
- > thermal runaway.

Risicobeheersing

Voordat een BESS geïnstalleerd wordt, is het van belang dat er aandacht wordt besteed aan de risicobeheersing. Doordat bij een brand toxische gassen kunnen vrijkomen, moet nagedacht worden over de locatie van een batterijsysteem. Vanwege het feit dat batterijbranden lastig te blussen zijn, dient goed nagedacht te worden over de aanwezigheid van voldoende bluswater in de omgeving.

Incidentbestrijding

Voor personen die zich bezig houden met incidentbestrijding is het van belang dat zij bekend zijn met de specifieke gevaren van grootschalige batterijopslag. Allereerst moeten zij rekening houden met elektrocutiegevaar. Daarnaast komen bij batterijbranden meerdere toxische gassen vrij waar men op bedacht moet zijn, ook in verband met evacuatie van omwonenden. Tot slot zijn batterijbranden lastig te blussen. De meeste effectieve blusmethode blijkt water. Aangezien de kern van de batterij erg heet blijft, is de kans op herontsteking groot wanneer niet voldoende water wordt gebruikt bij de bestrijding van de brand.

6.5 Bronnenlijst

In deze lijst is een onderscheid gemaakt tussen de literatuur die verkregen is door middel van de enquête en de literatuur verkregen door middel van een literatuurstudie.

Enquête

- > Hasičský záchranný sbor ČR (2011). *Časopis 112 ROČNÍK X ČÍSLO 5/2011*, van <https://www.hzscr.cz/clanek/casopis-112-rocnik-x-cislo-5-2011.aspx> (Tsjechisch).

Literatuurstudie

- > AIG Energy Industry Group (2018). *Lithium-ion Battery Energy Storage Systems. The risks and how to manage them.*
- > Blum, A.F. en R.T. Long. *Hazard assessment of lithium ion battery energy storage systems.* <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Hazardous-materials/RFFireHazardAssessmentLithiumIonBattery.ashx?la=en>.
- > Blum, A.F., R.T. Long T.J. Bress en R.T. Benjamin (2013). *Best practices for emergency response to incidents involving electric vehicles battery hazards: a report on full-scale testing results.* <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Data-research-and->

tools/Electrical/Emergency-Response-to-Incident-Involving-Electric-Vehicle-Battery-Hazards.

- > Clean energy council (2015). *Energy storage safety. Responsible installation, use and disposal of domestic and small commercial systems.*
<https://www.energymatters.com.au/wp-content/uploads/2015/11/battery-safety-study.pdf>.
- > DNV GL (2017). Considerations for ESS fire safety. Rapportnummer: OAPUS301WIKO (PP151894), Rev. 4. New York.
- > Government of Western Australia (2018). *Battery energy storage systems. A guide for electrical contractors.*
https://www.commerce.wa.gov.au/sites/default/files/atoms/files/battery_energy_storage_systems.pdf.
- > Larsson, F., P. Andersson, P. Blomqvist en B.E. Mellander (2017). *Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires.*
https://www.researchgate.net/publication/319368068_Toxic_fluoride_gas_emissions_from_lithium-ion_battery_fires.
- > Mundahl, E. (2018). *Lithium-ion batteries: crucial for utility-scale solar, but a fire risk for cities.*
<https://www.insidesources.com/lithium-ion-batteries-crucial-for-utility-scale-solar-power-but-a-fire-risk-for-cities/>.
- > NFPA (2016). Battery energy storage systems (BESS) emergencies. Quick reference guide.

7 Duurzaam bouwen

Behalve het toepassen van alternatieve bronnen van energie behelst de energietransitie ook het terugdringen van het huidige energieverbruik. Aangezien een groot deel van het huidige energieverbruik plaatsvindt in en door gebouwen, gaat de energietransitie ook over het verduurzamen van de bestaande bouwvoorraad en het duurzaam construeren van nieuwe gebouwen. De bouwtechnieken en -materialen die hierbij toegepast worden, brengen nieuwe risico's met zich mee. In de onderstaande paragrafen worden deze risico's beschreven, en wordt behandeld welke consequenties duurzaam bouwen heeft voor zowel risicobeheersing als voor incidentbestrijding.

7.1 Risico's

In een Amerikaanse bron wordt een aantal risico's genoemd die verbonden zijn met duurzaam bouwen; hieronder volgt daarvan een bespreking.

Tidwell, J. en J.J. Murphy (2010). *Bridging the Gap – Fire safety and green buildings. A fire and building safety guide to green construction. National Association of State Fire Marshalls, Maitland, Florida.*

Tidwell en Murphy maken in hun onderzoek een onderscheid tussen drie aspecten die relevant zijn voor de realisatie van een duurzaam gebouw, te weten: 1) locatiekeuze en -gebruik; 2) bouwconstructie en -materialen en 3) gebouwinstallaties en alternatieve energiebronnen. Per aspect noemen zij een aantal risico's in relatie tot risicobeheersing en incidentbestrijding.

1. Locatiekeuze en -gebruik

De auteurs noemen een aantal elementen die kunnen leiden tot een verminderde bereikbaarheid bij duurzame ontwikkelingen, waaronder de toepassing van 'groene' (deels onverharde) toegangswegen. Door hun 'groene' karakter zijn deze wegen mogelijk ook moeilijker te onderscheiden van hun omgeving. Daarnaast wordt de toepassing van meer 'groen' gezien als een potentieel risico voor een verminderde bereikbaarheid van een brandweeringang of aansluitpunten voor droge blusleidingen en sprinklerinstallaties. Tot slot wordt de toepassing van meer 'groen' ook gezien als een potentieel risico in relatie tot brandoverslag.

2. Bouwconstructie en -materialen

> Kunststofschuimisolatie

De toepassing van kunststofschuimisolatie wordt genoemd als potentieel risico. Aandachtspunten bij de toepassing van kunststofschuimisolatie zijn onder andere de eigenschappen van het toegepaste schuim, de richting waarin het schuim wordt toegepast

(horizontaal of verticaal), de dikte van het schuim en de mate waarin het schuim brandvertragend is. De wijze waarop kunststofschuimisolatie moet worden toegepast, wordt primair bepaald door de condities waaronder het schuim getest is op zijn brandeigenschappen. Kunststofschuimisolatie waarvan alleen een horizontale bevestiging is getest, kan zich bij brand bijvoorbeeld heel anders gedragen bij een verticale bevestiging. Daarnaast noemen de auteurs 'hete werkzaamheden' zoals lassen een risico bij nieuw- en verbouwactiviteiten in relatie tot kunststofschuimisolatie.

> Groene daken

Een ander potentieel risico bij duurzaam bouwen is de toepassing van 'groene' daken, ook wel vegetatiedaken genoemd. Hierbij verdient de constructie extra aandacht, omdat de planten op het dak regenwater opnemen en vasthouden, waardoor het gewicht van een vegetatiedak hoger is dan dat van een traditioneel dak. Verder noemen Tidwell en Murphy (2010) de bereikbaarheid van het dak en het brandrisico van de vegetatie zelf als aandachtspunt bij de bouw van een vegetatiedak.

> Hoog rendementsglas

Voor het terugdringen van het huidige energiegebruik wordt, behalve kunststofschuimisolatie, ook hoog rendementsglas toegepast. Dit type glas is moeilijker te breken dan traditioneel glas, waardoor het bij een brandweerinzet moeilijker kan zijn een (extra) doorgang te creëren voor reddings- of ventilatiedoeleinden.

> Vestibule (tochtsluis of -portaal)

Tochtsluizen of -portalen worden gebruikt om het verlies van warme lucht en het binnenstromen van koude (buiten)lucht tegen te gaan. Dergelijke constructies vormen met name een belemmering voor het naar binnen afleggen van brandweerslangen.

> Luifels

Luifels worden toegepast om de opwarming van gebouwen door zonlicht te beperken. Deze luifels kunnen een belemmering vormen voor de brandweer bij het inzetten van ladders.

> Recycling

Tidwell en Murphy noemen recycling van bouwmaterialen of het gebruik van gerecyclede bouwmaterialen als potentieel risico. Zij wijzen erop dat brandeigenschappen kunnen veranderen als gevolg van recycling. Dit kunnen zowel veranderingen zijn in positieve zin (minder brandbaar) als ook veranderingen in negatieve zin (brandbaarder), zoals de toepassing van autobanden en plastics. Belangrijk is dat voldaan wordt aan de eisen van de bouwregelgeving.

> Gebouwontwerp

De auteurs noemen automatisch aangestuurde ramen (gebruikt om energie te besparen) als aandachtspunt voor de brandweer. De sturing van dergelijke ramen moet gekoppeld worden aan de brandmeldinstallatie en moet worden voorzien van handmatige bedieningsmogelijkheden voor de brandweer.

> Dakramen en daglichtbuizen

Het voornaamste aandachtspunt bij de toepassing van dakramen en daglichtbuizen is de potentiële bijdrage aan het risico op branduitbreiding en de verspreiding van rook. Indien deze voorzieningen worden toegepast in brand- of rookwerende scheidingen dienen ze

overeenkomstig de geldende bouwwetgeving en regelgeving uitgevoerd te worden of dienen aanvullende maatregelen te worden getroffen.

> Lichte bouwconstructies

Volgens Tidwell en Murphy (2010) behelst duurzaam bouwen ook de toepassing van lichte bouwconstructies zoals houten bouwmaterialen (in het Engels: lightweight engineered lumber) of lichtgewicht staal- of betonconstructies. De toepassing van lichte bouwconstructies kan volgens de auteurs leiden tot een snellere branduitbreiding en een verminderde constructieve veiligheid bij brand.

3. Gebouwinstallaties en alternatieve energiebronnen

> Fotovoltaïsche zonne-energie systemen (PV)

Het opwekken van elektriciteit met behulp van zonne-energie zal een steeds grotere rol gaan spelen in de energietransitie. Tidwell en Murphy (2010) noemen de mogelijkheden voor het afschakelen van een dergelijke installatie door de brandweer als belangrijk aandachtspunt en gaan in op de meest geschikte locatie voor een dergelijke bedieningsmogelijkheid. Ook behandelen zij de herkenbaarheid van de aanwezigheid van een PV-systeem voor brandweerpersoneel. Dit zou bereikt kunnen worden door een duidelijke markering van gebouwen die gebruikmaken van PV-energiesystemen.

Ook worden in het artikel als aandachtspunten de brandeigenschappen van de panelen en de bereikbaarheid van daken die bedekt zijn met panelen genoemd. Volgens de auteurs is het reëel te veronderstellen dat de aanwezigheid van panelen effect heeft op de wijze waarop het dak reageert onder brandomstandigheden. Daarnaast moet een dak, ondanks de aanwezigheid van panelen, bereikbaar blijven voor brandweerpersoneel om ventilatieopeningen te kunnen creëren in geval van brand.

Een ander punt van zorg dat de auteurs vermelden is de extra belasting op de dakconstructie ten gevolge van panelen. Tot slot worden het (altijd) spanningsvrij maken van dergelijke systemen en een goede noodplanning als aandachtspunten voor incidentbestrijding genoemd.

> HVAC systemen

HVAC systemen ('Heating Ventilation Air Conditioning') zijn om twee redenen relevant bij het verduurzamen van de bouw, namelijk vanwege hun (relatief hoge) energieverbruik en vanwege het gebruik van koelmiddelen met een ozonafbrekend vermogen of met een aardopwarmingsvermogen. In dit kader wijzen de auteurs op de risico's van alternatieve koelmiddelen zoals ammoniak en de noodzaak om als brandweer de kennis hieromtrent op peil te houden. Daarnaast wordt het gebruik van zuurstofreductiesystemen in bijvoorbeeld koude opslagen genoemd als aandachtspunt en potentieel risico voor de brandweer.

> Ventilatoren

Zogenaamde 'high volume, low speed' (HVLS) ventilatoren worden in Amerika toegepast in grote gebouwen en ruimten om het binnenklimaat te reguleren. Deze ventilatoren kunnen bij brand (koude) rook verspreiden. Daarnaast moet gewezen worden op (mogelijke) negatieve invloeden van dit soort ventilatoren op de prestaties van sprinklersystemen en het (mogelijk) versnellen van de branduitbreiding door de luchtstroom die zij veroorzaken.

7.2 Risicobeheersing

In hetzelfde document dat gebruikt is in de vorige paragraaf, worden verschillende elementen genoemd die te maken hebben met beheersen van de risico's die verbonden zijn aan 'duurzaam bouwen'. Daarvan volgt hieronder een opsomming.

Tidwell, J. en J.J. Murphy (2010). *Bridging the Gap – Fire safety and green buildings. A fire and building safety guide to green construction.* National Association of State Fire Marshalls, Maitland, Florida.

Hoewel sommige van de risico's die omschreven zijn door Tidwell en Murphy meer van toepassing zijn op de Nederlandse situatie dan andere, kan in algemene zin gesteld worden dat de ontwikkeling naar duurzamer bouwen consequenties heeft voor de brandweer. Voor risicobeheersing betekent dit dat zich nieuwe vraagstukken voordoen in relatie tot proactie (ruimtelijke ontwikkeling) en preventie (vergunningverlening en toezicht).

1. Proactie:
 - > Bij de ruimtelijke ontwikkeling van duurzame bouwlocaties zal extra aandacht moeten worden besteed aan mogelijke belemmeringen voor de bereikbaarheid en bluswatervoorziening van de locatie.
 - > Door het gebruik van meer groen op, aan en rondom bouwwerken ontstaan mogelijk nieuwe brand(overslag)risico's.
2. Preventie:
 - > Voor betere energieprestaties zullen beter isolerende bouwmaterialen ingezet gaan worden, waaronder kunststofisolatie. Het is van belang dat deze materialen voldoen aan de vereiste brand- en rookklassen en dat de detaillering voldoet aan de voorwaarden in het bijbehorende attest. Dit geldt ook bij het gebruik van gerecyclede bouwmaterialen.
 - > De toepassing van duurzame bouwmaterialen resulteert mogelijk in lichtere bouwconstructies. Andere ontwikkelingen, zoals 'groene' daken en regenwateropvangsystemen, kunnen juist leiden tot een zwaardere belasting van bouwconstructies.
 - > Het gebruik van meer dakramen en daglichtbuizen voor daglichttoetreding (als energiebesparende maatregel) vormt een zwakke schakel in eventuele brandwerende scheidingsen. De gebruikte materialen dienen aan de vereiste brandwerendheid te voldoen; anders moeten aanvullende maatregelen worden genomen.
 - > Duurzaam bouwen behelst ook het gebruik van nieuwe gebouwinstallaties en alternatieve energiebronnen zoals zonne-energie, windenergie, waterstof of batterijopslagsystemen. Aan deze installaties en bronnen zijn nieuwe brandrisico's verbonden waarvoor al in een preventief stadium passende maatregelen moeten worden getroffen. Daarnaast dient te worden voorzien in mogelijkheden voor incidentbestrijding om installaties op een veilige manier af te schakelen en/of spanningsvrij te kunnen maken.

7.3 Incidentbestrijding

Ook op het gebied van incidentbestrijding biedt het voor bovenstaande paragrafen geraadpleegde artikel de nodige informatie, die hieronder uiteen wordt gezet.

Tidwell, J. en J.J. Murphy (2010). *Bridging the Gap – Fire safety and green buildings. A fire and building safety guide to green construction. National Association of State Fire Marshalls, Maitland, Florida.*

De brandweer zal zich ook in het kader van incidentbestrijding (repressie) geconfronteerd zien met een aantal nieuwe kwesties:

- > Verminderde bereikbaarheid van (het dak van) duurzame gebouwen door 'groene' daken en luifels. Daarnaast zijn tochtluizen en -portalen een belemmering voor het opbouwen van bluswatersystemen in een gebouw.
- > Beter geïsoleerde gebouwen kunnen leiden tot meer zuurstofbeheerste branden. Deze branden brengen voor repressief brandweerpersoneel andere risico's met zich mee dan 'gewone' branden, bijvoorbeeld het risico op een 'backdraft'. Daarnaast wordt het creëren van een (extra) doorgang voor reddings- of ventilatiedoeleinden moeilijker in beter geïsoleerde gebouwen.
- > Lichtere bouwconstructies kunnen leiden tot een groter instortingsgevaar bij brand.
- > Net als voor risicobeheersing leidt het gebruik van nieuwe gebouwinstallaties en alternatieve energiebronnen ook tot nieuwe risico's voor repressief brandweerpersoneel.

7.4 Samenvatting

Een groot deel van het huidige energieverbruik vindt plaats in en door gebouwen, waardoor de energietransitie ook te maken heeft met het verduurzamen van de bestaande gebouwvoorraad en het duurzaam construeren van nieuwe gebouwen. De bouwtechnieken en -materialen die hierbij toegepast worden, brengen nieuwe risico's met zich mee.

Risico's

Wat betreft de risico's speelt de materiaalkeuze een belangrijke rol. Bepaalde isolatiematerialen (zoals kunststofschuim) zijn vatbaarder voor brand dan andere materialen. Ook kan de toepassing van lichte bouwconstructies leiden tot een snellere branduitbreiding en verminderde constructieve veiligheid bij brand. Daarnaast kunnen duurzame gebouwen uitgerust worden met waterstofcellen, zonnepanelen, warmtepompen en alle andere duurzame energiebronnen die in dit document nader uiteengezet zijn. Voor de risico's van die installaties (en de bijbehorende risicobeheersings- en incidentbestrijdingsaspecten) wordt verwezen naar de betreffende eerdere hoofdstukken.

Risicobeheersing

Vanuit risicobeheersingsoptiek zal er vanuit de brandweer (naast de eerder genoemde zaken in de voorgaande hoofdstukken) met name aandacht moeten zijn voor de

brandveiligheid van het nieuwe materiaalgebruik. De brandweer zal daar bij nieuwe duurzame gebouwen extra alert op moeten zijn.

Incidentbestrijding

Het repressief personeel kan te maken krijgen met branden die zeer moeilijk te blussen zijn vanwege het toegepaste brandbare isolatiemateriaal. Ook kan er sprake zijn van verminderde bereikbaarheid en/of toegankelijkheid van gebouwen, bijvoorbeeld vanwege toegepaste sluisconstructies.

7.5 Bronnenlijst

- > Barber, D. (2017). *Fire safety of mass timber buildings with CLT in USA*. <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/2662/2509>.
- > Buchanan, A.H., A. Dunn, J. O'Neil, en D. Pau (2017). *Fire safety of CLT buildings in New Zealand and Australia*. <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/2674/2510>.
- > Gerard, R., D. Barber en A. Wolski (2013). *Fire safety challenges of tall wood buildings*. https://sustainable-fire-engineering.sustainable-design.ie/wp-content/uploads/2015/08/NFPA-FPRF_Tall-Wood-Buildings-Fire-Safety-Challenges_2013.pdf.
- > Östman, B. et al. (2017). *Fire design of CLT in Europe*. <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/2650/2508>.
- > Robbins, A.P. (2012). *Building sustainability and fire-safety design interactions*. https://www.branz.co.nz/cms_show_download.php?id=716733515027fe4626188881f674635d51e3cfb0.
- > Su, J.Z. (2018). *Fire safety of CLT buildings in Canada*. <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/2712/2511>.
- > Tidwell, J. en J.J. Murphy (2010). *Bridging the Gap – Fire safety and green buildings. A fire and building safety guide to green construction*. National Association of State Fire Marshalls, Maitland, Florida.
- > Zelinka, S.L. et al. (2018). *Compartment fire testing of a two-story mass timber building*. <https://buildtallbuildsafe.com/sites/default/files/2018-04/TWB-Final-Report.pdf>.

8 Conclusie

Mondiaal is een transitie ingezet om over te schakelen van fossiele brandstoffen naar hernieuwbare energiebronnen om zodoende de CO₂-uitstoot drastisch te verminderen. Ook is er aandacht voor duurzaam bouwen om energie te besparen. De nieuwe vormen van winning, opslag, distributie en transport van energie brengen veiligheidsrisico's voor de fysieke leefomgeving met zich mee, net als de toepassing van nieuwe materialen en energiebronnen in gebouwen.

Om van andere landen te leren over fysieke veiligheidsaspecten van de energietransitie is een verkennend onderzoek uitgevoerd. Het gaat daarbij om een verkennende studie, waarbij een eerste beeld is verkregen van welke risico's buiten Nederland gezien worden en aan welke maatregelen gedacht wordt op het gebied van risicobeheersing en incidentbestrijding. In elk hoofdstuk is in de laatste paragraaf een korte inhoudelijke samenvatting gepresenteerd over de risico's en maatregelen op het gebied van risicobeheersing en incidentbestrijding die internationaal de aandacht hebben gekregen.

Het geheel overziend, kunnen aanvullend daarop de volgende zaken worden vastgesteld:

1. Over zonnepanelen is de meeste informatie beschikbaar. Over geothermie en duurzaam bouwen is nauwelijks informatie beschikbaar in het buitenland, noch in de literatuur, noch in de antwoorden van de respondenten op de vragen van de enquête.
2. Over het algemeen levert de gevonden informatie weinig nieuwe inzichten op over risicobeheersing ten opzichte van hetgeen er reeds te vinden is in het Informatieblad Energietransitie (IFV, 2018).
3. Ten aanzien van incidentbestrijding blijken er soms wat tegenstrijdigheden te bestaan. Veel terugkerende onderwerpen bij de incidentbestrijding zijn 'situational awareness' ('kent men de gevaren' en is bij de hulpdiensten bekend wie (bedrijfs)deskundigheid heeft met de relatief nieuwe systemen van de energietransitie). Daarnaast is er in de procedures veel aandacht voor de persoonlijke beschermingsmiddelen van de hulpdiensten.

Als toevoeging op het bovenstaande en op de samenvattingen bij elk hoofdstuk, worden hieronder per besproken element van de energietransitie nog enkele nieuw verkregen inzichten genoemd:

> **Geothermie:**

Activiteiten of projecten op het gebied van geothermie moeten gezien worden als industriële activiteiten, met een bijbehorende risicobeheersing en incidentbestrijdingspraktijk.

> **Windenergie:**

Er kan circa 750 liter olie in de gondel van een windturbine aanwezig zijn, hetgeen een substantieel brandrisico kan inhouden.

> Biomassa:

De gevaren bij een storing of brand van de bio-installatie (stofexplosie) vragen om extra aandacht.

> Zonnepanelen:

Er moet speciale aandacht zijn voor de zware metalen die vrijkomen en de veelvuldig terugkerende risico's van de vlamboog voor hulpverleners.

> Waterstof:

Er zijn geen nieuwe inzichten verkregen.

> Energieopslagsystemen:

Milieuverontreiniging vormt een (extra) aandachtspunt.

> Duurzaam bouwen:

Er zijn geen nieuwe inzichten verkregen.

9 Discussie

Deze studie is een verkenning voor onszelf (IFV) om een eerste inzicht te krijgen in de kennis die er beschikbaar is buiten Nederland op het gebied van de energietransitie en veiligheid. Met die kennis zijn wij weer in staat om betere en breder onderbouwde producten te maken voor de veiligheidsregio's. Dit onderzoek heeft echter te maken gehad met een aantal beperkingen, met name door het beschikbare budget: twee tot drie dagen onderzoekstijd per hernieuwbare energiebron is (te) gering om vergaande conclusies over de internationale stand van zaken aangaande veiligheid in relatie tot de energietransitie te kunnen trekken. De (praktische) afbakening door het gebruik van alleen Engels- en Duitstalige publicaties is erg beperkend: in landen als Japan, Frankrijk, Zweden, Noorwegen en Zuid-Korea (en China) wordt immers ook aandacht besteed aan de energietransitie. Daarnaast heeft de focus op toegepaste (in plaats van wetenschappelijke) documenten tot gevolg dat mogelijk relevante peer-reviewed artikelen buiten beschouwing zijn gebleven.

Het rapporteren van deze verkenning was lastig; de vraag was vooral, welk ordeningsprincipe gehanteerd zou worden. Veelvuldig kwamen we in de verleiding om te analyseren en vervolgens te ordenen. Echter, met slechts enkele dagen per verschijningsvorm van de energietransitie hebben we gemeend ons zeer dicht bij de inhoud en structuren van gevonden documenten te moeten houden. Het enige ordeningsprincipe dat we gehanteerd hebben, is dat van een onderverdeling in risico, risicobeheersing en incidentbestrijding. Daarbinnen hebben we per gevonden document gerapporteerd, zonder verbanden te leggen, analyses uit te voeren of nog nader te clusteren/ordenen. Dit betekent dat dit de leesbaarheid niet altijd ten goede is gekomen: soms is er sprake van overlap met andere bronnen, en soms van (kleine) tegenstrijdigheden. Voor ons zelf is dat voldoende, maar mogelijk voor derden wat onbevredigend. Een uitgebreidere vorm van een 'echte' internationale verkenning per verschijningsvorm van de energietransitie zou dan ook op zijn plaats zijn.

Wat betreft de stand van zaken in Nederland met betrekking tot de energietransitie in relatie tot veiligheid, is de eerste indruk dat ons land op de goede weg is. Zo zijn er aandachtskaarten voor de repressieve dienst, participatie in normcommissies, onze eigen 'communities of practise' (battery packs, waterstof en zonnepanelen) en het zich steeds verder ontwikkelende netwerk waarin de veiligheidsregio's en het IFV participeren. Verder baseren we deze indruk op de 'Exchange of Experts 'Green Vehicles'' die in mei 2019 is georganiseerd. Ook hieruit is gebleken dat Nederland al behoorlijk wat kennis heeft en dat brandweerorganisaties van participerende landen dankbaar gebruikmaken van de producten die zijn ontwikkeld voor de veiligheidsregio's.

Aangezien de energietransitie zich in hoog tempo zal blijven ontwikkelen, zullen er echter steeds nieuwe veranderingen zijn die een grote invloed zullen hebben op de veiligheidsrisico's. Het zicht krijgen op deze ontwikkelen en het begrijpen van de hiermee gepaard gaande veiligheidsrisico's is cruciaal als veiligheidsregio's met onderbouwde veiligheidsadviezen willen blijven komen en afgestemde incidentbestrijdingstactieken willen ontwikkelen. Met hun adviezen kunnen de veiligheidsregio's bijdragen aan de

energietransitie door incidenten te voorkomen dan wel adequaat te bestrijden. De veiligheidsregio's creëren mede hierdoor draagvlak voor de energietransitie. Draagvlak voor de energietransitie vraagt van het Rijk, het bedrijfsleven en de veiligheidsregio's een continue investering in aandacht, tijd en geld om onderzoeken uit te voeren, concepten aan te scherpen, pilots uit te voeren en de energietransitie in al haar facetten te realiseren, waaronder dus zeker ook het facet veiligheid.

Literatuurlijst

AIG Energy Industry Group (2018). *Lithium-ion Battery Energy Storage Systems. The risks and how to manage them*. Geraadpleegd op 2 januari 2019 van: <https://www.aig.co.uk/content/dam/aig/emea/united-kingdom/documents/Insights/battery-storage-systems-energy.pdf>.

Block, S.N. (5 juli 2017). *Biomass power plants: what fire hazards are hidden within the fuel*. The Moran Group, Northbrook, Illinois.

BPVA (2011). *Photovoltaics and fire*.

Buildings (14 juli 2011). *Geothermal Energy Dangers*. Geraadpleegd op 22 februari 2019 van: <https://www.buildings.com/article-details/articleid/12556/title/geothermal-energy-dangers->

CanSIA (2015). *Solar electricity safety handbook for firefighters*.

Casey, C., en P.E. Grant (mei 2010). *Fire fighter safety and emergency response for solar power systems*. NFPA, Quincy, Massachusetts, USA.

CFPA (2012). *Wind turbines fire protection guideline*. CFPA-E Guideline No 22: 2012 F. http://www.cfpa-e.eu/wp-content/uploads/files/guidelines/CFPA_E_Guideline_No_22_2012_F.pdf.

Chisholm, O.F.M. (2016). *Hazards of geothermal drilling*, Ontario.

DFV (Berlijn 2010). *Einsatz an photovoltaikanlagen. Informationen für Einsatzkräfte von Feuerwehren und technischen Hilfsdiensten*. Deutscher Feuerwehrverband, Berlijn.

DNV GL (2017). *Considerations for ESS fire safety*. Rapportnummer: OAPUS301WIKO (PP151894), Rev. 4. New York.

Eckerle, T. en T. Jones (2015). *Hydrogen station permitting Guidebook. Best practices for planning, permitting and opening a hydrogen fuelling station*. BKI, California.

Ferraro (2015). *Wind turbine safety – top 5 hazards*. <https://blog.creativesafetysupply.com/wind-turbine-safety-top-5-hazards/>.

Galassi, T. en P.J. Kapust (2017), *Interim Enforcement Guidance for the Respirable Crystalline Silica in Construction Standard*, 29 CFR 1926.1153, 19 Oktober 2017.

Hochwimmer, A. en S. Kretser (2015). *Safety by design processes for the engineering of geothermal facilities*. Auckland, New Zealand.

IEA, Bio-energy (2013). *Health and safety aspects of solid biomass storage, transportation and feeding*. IEA Bioenergy, Task 32.

Infoblad energietransitie (2018). <https://www.ifv.nl/kennisplein/Documents/20181024-IFV-BRNL-IOV-Infoblad-Energietransitie-ten-bate-van-veiligheidsregios.pdf>.

Innocentrum (2019), <https://www.innocentrum.eu/windenergie>.

IRENA (z.j.). *Hydrogen from renewable power: Technology outlook for the energy transition*. Geraadpleegd op 19 februari 2019 van: <https://www.irena.org/publications/2018/Sep/Hydrogen-from-renewable-power> .

Koppejan (2011). *Safety aspects in small scale biomass combustion*. SP Technical Research Institute of Sweden.

Liander (23 november 2017). *Buren slaan lokale zonnestroom op in buurtbatterij*. Geraadpleegd op 2 januari 2019 van: <https://www.liander.nl/nieuws/2017/11/23/buren-slaan-lokale-zonnestroom-op-buurtbatterij>.

NFPA (2010). *Fire fighter safety and emergency response for solar power systems*. Geraadpleegd op 2 januari 2019 van: <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Data-research-and-tools/ARCHIVED/Research-reports/For-emergency-responders/Fire-Fighter-Safety-and-Response-for-Solar-Power-Systems>.

NFPA (2016). *Battery energy storage systems (BESS) emergencies. Quick reference guide*. Geraadpleegd op 2 januari 2019 van: <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Resources/Emergency-Responders/High-risk-hazards/Energy-Storage-Systems>.

Ontario Ministry of Labour en Ontario Fire Service Section 21 Advisory Committee (augustus 2015). *Fire fighters guidance note # 6-35*. <http://www.oafc.on.ca/system/files/privateattachments/page/218/GN-6-35%20Wind%20Turbines%20FINAL%20August%202015.pdf>.

OSHA (2019), *Green job hazards*. Geraadpleegd op 7 mei 2019 van: <https://www.osha.gov/dep/greenjobs/geothermal.html>.

Potter, G. (2011) . *Response to emergencies in wind turbines*. <https://www.wind-watch.org/documents/response-to-emergencies-in-wind-turbines/>.

Pritchard, D.K., M. Royle, M. en D. Willoughby (2009). *Installation permitting guidance for hydrogen and fuel cell stationary applications: UK version*. Health and safety laboratory, Buxton, Derbyshire.

Tidwell, J. en J.J. Murphy (2010). *Bridging the Gap – Fire safety and green buildings. A fire and building safety guide to green construction*. National Association of State Fire Marshalls, Maitland, Florida.

TÜV (2015). *Bewertung des Brandrisikos in Photovoltaik-Anlagen und Erstellung von Sicherheitskonzepten zur Risikominimierung*. TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH, Keulen.

U.S. Department of Energy (2017). *Hydrogen safety tips for first responders*.

VDP (z.j.). *Wat is een vlamboog?* Geraadpleegd op 7 januari 2019 van: <https://www.vdp.com/resources/154/212.pdf>.

White, B.R. (2013). *A brief review of geothermal health and safety regulations following the 'pike river inquiry'*.

Bijlage 1

Zoektermen

| Nederlands | Engels | Duits |
|-------------------------|--|--|
| Duurzaamheid | Sustainability | Nachhaltigkeit |
| Energietransitie | Energy transition | Energiewende |
| Duurzame energiebronnen | Sustainable energy resources | Erneuerbare Energien |
| Risicobeheersing | Risk mitigation, risk reduction, risk analysis | Risikomanagement, Gefährdungsbeurteilung |
| Incidentbestrijding | Emergency response | Gefahrenabwehr |
| Effecten | Effects | Effekte |
| Risicobeleid | Risk policy | Risikopolitik |
| Risicomanagement | Risk management | Risikomanagement |
| Brandweer | Fire brigade, fire service, fire and rescue service, FRS | Feuerwehr |
| Overheid | Government | Regierung |
| Fysieke veiligheid | Safety | Sicherheit |
| Windenergie | Wind energy | Windenergie |
| Zonne energie | Solar energy | Solarenergie |
| Zonnepanelen | Solar panels | Solaranlage |
| Zonnepanelen | Photo voltaic cells, PVC | Photovoltaikanlage |
| Geothermie | Geothermics | Geothermie |
| Waterstof | Hydrogen | Wasserstoff |
| Biomassa | Biomass | Biomasse |
| Kooldioxide | Carbondioxide | Kohlendioxid |
| Accu's | Battery packs | Akkus, Speicher |

| | | |
|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Lithium ion batterijen | Lithium ion batteries | Lithium-Ionen-Batterien |
| Brand | Fire | Brand |
| Brandstofcellen | Fuel cells | Brennstoffzellen |
| Preventie | Prevention | Prävention |
| Brandveiligheid | Fire safety | Brandschutz |
| Veiligheidsmaatregelen | Safety measures | Sicherheitsmaßnahmen |
| Lines of defence | Lines of defence | Schutzwälle |
| Blussen | Extinguish | Löschen |
| Vrijkomen van gevaarlijke stoffen | Hazardous substances emission | Gefahrstoffemission |
| Impact op omgeving | Environmental impact | Umweltauswirkung |
| Brandbestrijdingstactiek | Fire fighting tactics | Brandbekämpfungstaktik |

Bijlage 2

Vragenlijsten

Nederlands

1. Kent u contactpersonen in het buitenland die we zouden kunnen benaderen om kennis uit te wisselen over CO₂, LNG, waterstof, windturbines, zonne-energie, biomassa, elektriciteitsopslag/battery packs, geothermie of duurzaam bouwen?
2. Heeft u interessante (internationale) websites voor ons?
3. Wanneer we u mogen benaderen voor een nadere toelichting, dan kunt u hieronder uw e-mailadres invullen.

Engels

1. Please write down the web addresses (URL's) of any websites of interest below.
2. Could you provide us with any contacts on these topics in your country that we may approach for any further information? Please write down the names and email addresses of these contacts below.
3. If you would like to be informed on the results of this research project please fill in your email address below.