



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Stroomuitval bij risicovolle bedrijven: oorzaken, gevolgen en de invloed van de energietransitie

RIVM-rapport 2022-0013

R. Hansler | P. Keijzer | N. Smets



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Stroomuitval bij risicovolle bedrijven: oorzaken, gevolgen en de invloed van de energietransitie

RIVM-rapport 2022-0013

Colofon

© RIVM 2022

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

Het RIVM hecht veel waarde aan toegankelijkheid van zijn producten. Op dit moment is het echter nog niet mogelijk om dit document volledig toegankelijk aan te bieden. Als een onderdeel niet toegankelijk is, wordt dit vermeld. Zie ook www.rivm.nl/toegankelijkheid.

DOI 10.21945/RIVM-2022-0013

R. Hansler (auteur), RIVM
P. Keijzer (auteur), RIVM
N. Smets (auteur), RIVM

Contact:
Rikkert Hansler
Centrum Veiligheid
rikkert.hansler@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid in het kader van het programma BRZO (Externe Veiligheidsgelden).

Dit is een uitgave van:
**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland
www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Stroomuitval bij risicovolle bedrijven: oorzaken, gevolgen en de invloed van de energietransitie

Bedrijven die grote hoeveelheden gevaarlijke stoffen maken, gebruiken of opslaan, noemen we risicovolle bedrijven. Als bij deze bedrijven de stroom uitvalt, kunnen ongevallen ontstaan waarbij gevaarlijke stoffen vrijkomen. Hierdoor kunnen onveilige situaties ontstaan voor werknemers of de omgeving.

Uit onderzoek van het RIVM blijkt dat er elk jaar in Nederland enkele tientallen grote of kleine ongevallen zijn die met stroomuitval te maken hebben. Het precieze aantal is niet bekend, ook niet of dit aantal toe- of afneemt. Verder blijkt dat risicovolle bedrijven niet altijd goed op stroomuitval zijn voorbereid. Daarvoor is extra aandacht nodig, omdat steeds meer processen op elektriciteit werken door de overgang naar duurzame energie. Doordat bedrijven meer elektriciteit nodig hebben, kan zowel de kans op stroomuitval als de impact ervan groter worden.

Het is daarom belangrijk dat deze bedrijven stroomuitval zo veel mogelijk voorkomen en erop voorbereid zijn als de stroom toch uitvalt. Bedrijven moeten daarom de risico's van stroomuitval kennen en maatregelen nemen. Dat kan bijvoorbeeld door inspectie en onderhoud, en door personeel op te leiden. Of door ervoor te zorgen dat er goed functionerende noodstroom is om op terug te vallen.

Een ongeval kan ontstaan doordat de stroom buiten het bedrijf uitvalt. Maar vaker komt het door omstandigheden bij de energievoorziening van het bedrijf zelf, meestal door storingen in de elektrische installaties. In beide gevallen zijn ongevallen na stroomuitval vaak een gevolg van onvoldoende inspectie en onderhoud van de elektrische installatie en het interne elektriciteitsnetwerk. Verder kunnen fouten bij het ontwerp en de aanleg van de elektrische installatie de oorzaak zijn.

Het RIVM heeft onderzocht wat de oorzaken en gevolgen zijn van stroomuitval bij risicovolle bedrijven. Ook is onderzocht of dit verandert door de overgang naar duurzame energie. Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW).

Kernwoorden: stroomuitval, stroomstoring, stroomonderbreking, Brzo, ARIE, energietransitie

Synopsis

Power outages at high-risk companies: causes, consequences, and the impact of the energy transition

Plants that produce, use or store large quantities of hazardous substances are classified as high-risk companies. Power outages at such plants may lead to accidents involving the release of hazardous substances. This may, in turn, create unsafe situations for the workforce or the environment.

RIVM research has shown that there are several dozens of more or less serious accidents related to power outages in the Netherlands each year. The exact number, and whether it has been rising or falling, is unknown. It has also become apparent that high-risk enterprises are not always adequately prepared for power outages. Given that the transition to sustainable energy will lead to more and more processes being powered by electricity, this warrants further attention. The increased demand among companies for electricity will exacerbate the impact of power outages.

It is therefore important that these companies take steps to minimise power outages or made adequate preparations for when they occur. Companies should be aware of the risks of power outages and take action. This may include inspections, maintenance, workforce training and maintaining a functional backup power source.

Although offsite power outages may also lead to accidents, most of them can be traced back to the energy supply of the plant itself, for instance to faults in electrical systems. In both cases, accidents related to power outages are usually a consequence of poor inspection and maintenance with regard to the electrical system and the internal electricity grid. Electrical system design flaws and installation errors can also be a factor.

RIVM has investigated the causes and consequences of power outages at high-risk companies. It has also investigated the role played by the transition to sustainable energy. The investigation was carried out on behalf of the Ministry of Social Affairs and Employment (SZW).

Keywords: power outage, electrical fault, power failure, Major Accidents (Risks) Decree, additional hazard identification and risk assessment, energy transition

Inhoudsopgave

Samenvatting — 9

1 Inleiding — 11

- 1.1 Inleiding — 11
- 1.2 Dit onderzoek — 11
- 1.3 Aanpak — 12
- 1.4 Leeswijzer — 13

2 Oorzaken en gevolgen van stroomuitval bij risicovolle bedrijven — 15

- 2.1 Elektriciteitsvoorziening risicovolle bedrijven — 15
- 2.2 Informatie over incidenten met stroomuitval — 17
- 2.3 Oorzaken van stroomuitval — 18
 - 2.3.1 Externe oorzaken — 19
 - 2.3.2 Interne oorzaken — 20
- 2.4 Gevolgen van stroomuitval — 22

3 De invloed van de energietransitie — 25

- 3.1 Het elektriciteitsnetwerk — 25
- 3.2 Productie en gebruik van elektriciteit — 26

4 Discussie en conclusies — 29

5 Literatuur — 33

Samenvatting

Het ministerie van SZW heeft behoefte aan meer inzicht in de risico's van stroomuitval bij risicovolle bedrijven, in het bijzonder in het licht van de energietransitie. Informatie over de voornaamste kwetsbaarheden en verbetermogelijkheden helpt het ministerie bij het vormgeven en prioriteren van het beleid voor deze bedrijven. Het ministerie heeft daarom het RIVM gevraagd deze risico's nader te onderzoeken.

Het RIVM heeft dit onderzoek uitgevoerd aan de hand van de volgende vragen:

1. Wat zijn de risico's van stroomuitval bij risicovolle bedrijven?
2. Wat is de invloed van de energietransitie hierop?

Het onderzoek is gebaseerd op literatuuronderzoek, historische informatie over incidenten en interviews met experts.

Precieze aantallen zijn niet beschikbaar, maar uit de onderzochte gegevens blijkt dat bij risicovolle bedrijven in Nederland jaarlijks enkele tientallen grote of kleine incidenten met stroomuitval plaatsvinden, waarbij gevaarlijke stoffen vrijkomen. Het is niet duidelijk in hoeverre er in werkelijkheid (veel) meer incidenten of bijna-incidenten zijn. Er zijn geen trends aan te wijzen in het aantal incidenten of de aard van de incidenten.

Stroomuitval bij risicovolle bedrijven kan worden veroorzaakt door externe factoren (verstoring van de externe elektriciteitsvoorziening) en/of interne factoren (verstoring van de productie of distributie van elektriciteit binnen het terrein). De afgelopen jaren zijn er enkele grote incidenten bij risicovolle bedrijven geweest die (mede) werden veroorzaakt door externe stroomuitval. Desondanks is de kans op verstoring van de externe elektriciteitsvoorziening in Nederland klein. Door klimaatverandering neemt de kans op stroomuitval door extreem weer in de toekomst mogelijk toe. De toenemende kans op overstromingen door extreme regenval vormt een risico voor stroomuitval. Ook hitte en droogte vormen een risico. Het merendeel van de incidenten met stroomuitval bij risicovolle bedrijven heeft een interne oorzaak, meestal door storingen in de elektrische installatie. In veel gevallen worden deze problemen veroorzaakt door onvoldoende inspectie en onderhoud van de elektrische installatie en het interne elektriciteitsnetwerk en door fouten bij ontwerp en aanleg van de elektrische installatie.

Of en in welk mate stroomuitval daadwerkelijk kan leiden tot een grootschalig incident, hangt af van verschillende factoren. De reactie op de stroomuitval door het bedrijf bepaalt voor een groot deel het verloop en de omvang van het incident.

Escalatie van een incident vindt vaak plaats doordat, bij externe of interne stroomuitval, de noodstroomvoorziening niet goed functioneert. Andere belangrijke factoren zijn onvoldoende aandacht voor stroomuitval bij de inventarisatie en evaluatie van risico's en

onvoldoende management van risico's, met als gevolg onvoldoende robuustheid bij stroomuitval.

De energietransitie zorgt voor een toename van het gebruik van elektriciteit als energiebron en voor andere toepassingen van het gebruik van elektriciteit. Op dit moment gebruiken veel bedrijven nog aardgas, maar dit wordt de komende jaren afgeschaald en steeds meer omgezet naar elektriciteit. De vraag naar elektriciteit zal dus toenemen. De netbeheerder anticipeert op veranderingen in vraag en aanbod en zorgt voor de nodige aanpassingen aan de infrastructuur. Elektriciteit zal niet meer alleen centraal worden opgewekt, maar op diverse plekken (daken, windturbines, et cetera). Hierdoor verandert de structuur van het netwerk.

Het groeiend aandeel zon- en windenergie zorgt naar verwachting voor grotere instabiliteit van de energievoorziening. Hierdoor kunnen extra risico's ontstaan voor de toelevering van elektriciteit aan bedrijven. Vanwege fluctuaties in energieprijzen en instabiliteit van de externe energievoorziening zullen meer bedrijven zelfvoorzienend willen zijn en aan eigen elektriciteitsproductie en -opslag gaan doen. Dit brengt nieuwe risico's binnen het eigen terrein, zoals windturbines met faalrisico's, en risico's van energieopslagsystemen met batterijen. Ook de elektrificatie van (industriële) processen zorgt voor nieuwe risico's. Doordat meer processen afhankelijk worden van elektriciteit is de mogelijke impact van een eventuele stroomstoring groter. Door elektrificatie zal er ook meer gewerkt worden met hoogspanning. Dat brengt risico's voor werknemers met zich mee, zoals elektrocutie.

Op basis van het onderzoek zijn lessen te trekken voor het voorkomen van en voorbereid zijn op stroomuitval bij risicovolle bedrijven. Dit betreft vooral de identificatie, beoordeling en beheersing van de risico's van stroomuitval. Dit geldt voor de huidige situatie, waarin nog voornamelijk fossiele energiebronnen worden gebruikt. Daarnaast zal rekening gehouden moeten worden met de hierboven genoemde veranderingen door de energietransitie.

Op basis van het huidige onderzoek is geen uitspraak mogelijk over de mate waarin risicovolle bedrijven in Nederland de bovengenoemde zaken op orde hebben. Vervolgonderzoek of thema-inspecties geven hierover mogelijk meer duidelijkheid.

1 Inleiding

1.1 Inleiding

In Nederland bevinden zich enkele honderden bedrijven die grote hoeveelheden gevaarlijke stoffen produceren, verwerken of opslaan. Daarmee kunnen ze een risico vormen voor werknemers en/of hun omgeving.

Deze risicovolle bedrijven zijn voor de continuïteit van hun bedrijfsvoering onder meer afhankelijk van de elektriciteitsvoorziening. Onderbreking van de elektriciteitsvoorziening kan leiden tot productieverstoring. Maar die kan ook gevolgen hebben op het gebied van veiligheid, bijvoorbeeld doordat de procesbeheersing faalt of doordat veiligheidsvoorzieningen niet meer goed functioneren. De afgelopen jaren deden zich bij risicovolle bedrijven in Nederland verschillende incidenten voor. Deze werden (mede) veroorzaakt door stroomuitval, met potentieel significante gevolgen voor de veiligheid van werknemers en/of de omgeving [1, 2].

De externe elektriciteitsvoorziening van risicovolle bedrijven en de bij deze bedrijven voor industriële processen benodigde energie zijn op dit moment vooral afhankelijk van fossiele brandstoffen. De energietransitie leidt tot een verschuiving van fossiele naar duurzame bronnen. In het klimaatakkoord [3] is afgesproken dat in 2050 de Nederlandse industrie circulair is en vrijwel geen broeikasgas meer uitstoot. Fabrieken draaien dan op elektriciteit uit zon en wind of energie uit aardwarmte, waterstof en biogas. Door de overgang van fossiele brandstoffen naar elektriciteit en door andere toepassingen van het elektriciteitsgebruik, neemt het gebruik van elektriciteit toe. De nieuwe energiebronnen bieden daarnaast mogelijkheden voor de industrie om zelf energie op te gaan wekken en te gaan opslaan. De industrie is dan naast energiegebruiker ook producent en buffer van energie. Al deze factoren zijn mogelijk van invloed op de risico's van stroomuitval bij risicovolle bedrijven.

1.2 Dit onderzoek

Het ministerie van SZW heeft behoefte aan meer inzicht in de risico's van stroomuitval bij risicovolle bedrijven, in het bijzonder in het licht van de energietransitie. Informatie over de voornaamste kwetsbaarheden en verbetermogelijkheden helpt het ministerie bij het vormgeven en prioriteren van zijn beleid voor deze bedrijven. Het ministerie heeft daarom het RIVM gevraagd deze risico's nader te onderzoeken.

Het RIVM heeft dit onderzoek uitgevoerd aan de hand van de volgende vragen:

1. Wat zijn de risico's van stroomuitval bij risicovolle bedrijven?
2. Wat is de invloed van de energietransitie hierop?

Vraag 1 richt zich op de oorzaken en gevolgen van stroomuitval: Wat gaat er mis en hoe vaak? Wat zijn de oorzaken? Wat zijn de gevolgen? Hierbij is aandacht voor zowel externe factoren (de energielevering) als

interne factoren (zoals de energiehuishouding binnen bedrijven en de mate waarin bedrijven zijn voorbereid op stroomuitval). Ook is gezocht naar relevante trends en ontwikkelingen.

Vraag 2 richt zich op de (verwachte) invloed van de energietransitie op deze externe en interne factoren en de daarmee samenhangende risico's.

Het onderzoek richt zich op bedrijven in Nederland die vallen onder de werkingssfeer van het Besluit risico's zware ongevallen (Brzo 2015) [4] of de ARIE-regeling uit de arbeidsomstandighedenwetgeving [5]. Wat de risico's betreft, richt het onderzoek zich vooral op de interne veiligheid, dat wil zeggen de veiligheid van werknemers.

1.3 Aanpak

Voor het onderzoek is informatie verzameld uit de volgende bronnen:

- Literatuuronderzoek:
 - Wetenschappelijke literatuur: zoeken op trefwoorden met Scopus. De volgende zoektermen zijn gebruikt:
 - 'Power supply failure'.
 - 'Power supply failure' en 'chemical incident';
 - 'Blackout' en 'chemical incident'.
 - 'Power interruption' en 'chemical incident'.
 - 'Power outage' en 'chemical incident'.
 - 'Power outage' of 'power failure' en 'major hazard' en 'industry'.
 - 'Power outage' of 'power failure' en 'major hazard' en 'chemical industry'.
 - 'Power outage' en 'SEVESO'.
 - 'Review study' en 'power outage' en 'industry'.
 - Openbare/'grijze' literatuur: onder meer vakbladen, zoeken op trefwoorden met openbare zoekmachines.
- Historische informatie over incidenten:
 - Storybuilder MHC-database. Deze database bevat analyses van incidenten bij Brzo- en ARIE-bedrijven die zijn onderzocht door de Nederlandse Arbeidsinspectie (NLA).
 - Ongewone voorvallen Brzo-bedrijven. De Omgevingsdiensten in Nederland houden gezamenlijk informatie bij over zogenoemde 'ongewone voorvallen'.
 - Informatie van collega-instituten, waaronder het Major Accident Hazards Bureau (MAHB) van de Europese Commissie, DCMR Milieudienst Rijnmond, Nederlandse Arbeidsinspectie, Ineris (Fr).
- Interviews met experts. Er is gesproken met:
 - een expert op het gebied van netontwikkeling, die bij TenneT werkt. Het gesprek had als doel inzicht te krijgen in de organisatie van de elektriciteitsvoorziening in Nederland en in relevante ontwikkelingen door de energietransitie.
 - een verzekeringsexpert, die bij Marsh Risk Consulting werkt. Het gesprek was gericht op de risico's van stroomuitval bij risicovolle bedrijven en relevante veranderingen door de energietransitie.

In dit rapport worden de termen 'stroomuitval', 'stroomstoring', en 'stroomonderbreking' gebruikt. Deze termen zijn in principe uitwisselbaar.

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de organisatie van de elektriciteitsvoorziening aan risicovolle bedrijven in Nederland. Vervolgens worden de oorzaken en gevolgen van stroomuitval bij deze bedrijven beschreven.

Hoofdstuk 3 gaat in op de verwachte invloed van de energietransitie op de elektriciteitsvoorziening en op de energiehuishouding van risicovolle bedrijven, en de daarmee samenhangende risico's.

Hoofdstuk 4 bevat de discussie en conclusies.

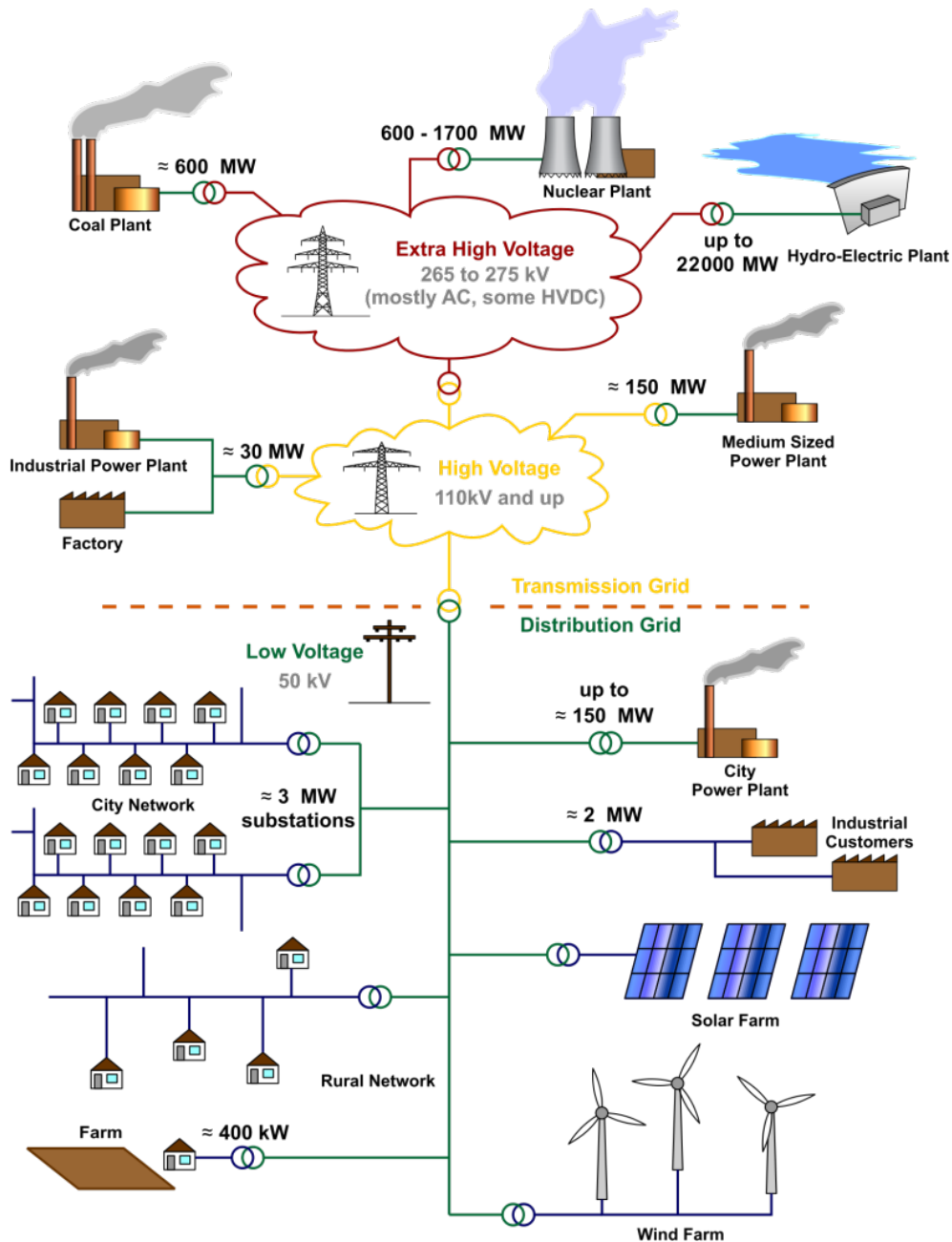
2 Oorzaken en gevolgen van stroomuitval bij risicovolle bedrijven

Stroomuitval bij risicovolle bedrijven kan behalve tot aanzienlijke economische schade ook leiden tot risico's voor werknemers en de omgeving. Dit hoofdstuk beschrijft de voornaamste oorzaken en gevolgen van stroomuitval bij risicovolle bedrijven. Eerst wordt beschreven hoe de externe elektriciteitsvoorziening van risicovolle bedrijven is georganiseerd. Vervolgens wordt aan de hand van analyse van historische data over incidenten nader ingegaan op oorzaken en gevolgen.

2.1 Elektriciteitsvoorziening risicovolle bedrijven

Het elektriciteitsnetwerk in Nederland is opgebouwd uit een hoogspanningsnet (transport van elektriciteit van elektriciteitscentrales naar onderstations, >150 kV), een middenspanningsnet (verdeling en transport van elektriciteit van het hoogspanningsnet naar de eindgebruikers, 10-20 kV) en een laagspanningsnet (transport van elektriciteit van onderstations naar eindgebruikers, 230 V). De algemene opzet van het elektriciteitsnetwerk staat in Figuur 1.

Grote energiegebruikers, waaronder Brzo- en ARIE-bedrijven, zijn op het elektriciteitsnetwerk aangesloten via een eigen aansluiting. Met de netbeheerder wordt een contract afgesloten voor levering van het benodigde vermogen. Daarbij gebruiken grotere bedrijven vaak twee of meer aansluitingen. Om de leveringszekerheid te vergroten, zijn de aansluitingen verdeeld over twee of meer leidingen (zogenoemde 'rails'). Voor enkelvoudige aansluitingen geldt dat de aansluiting overgezet wordt op rail B als een bedrijf met rail A verbonden is en deze rail uitvalt. In dat geval is er sprake van een korte stroomonderbreking. Bedrijven die twee of meer aansluitingen op het elektriciteitsnetwerk hebben, zijn vaak met zowel rail A als met rail B verbonden. Uitval van een rail hoeft dan niet per se te leiden tot uitval van de stroomvoorziening bij het bedrijf (TenneT, persoonlijke communicatie).



Figuur 1 Algemene opzet van een typisch Europees elektriciteitsnetwerk.
Bron: https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_grid.

Voor een nog grotere leveringszekerheid kan een bedrijf ervoor kiezen om een redundante (dubbele) aansluiting te nemen. Afwegingen hierbij zijn kosten, risicoanalyses en de beschikbaarheid van noodstroomvoorzieningen (TenneT, persoonlijke communicatie).

Voor de leveringszekerheid is volgens de Netcode elektriciteit [6] sprake van 'enkelvoudige storingsreserve' (EVSR), ook wel n-1 reserve genoemd. Elk 'station' (waar verschillende hoogspanningslijnen samenkomen) is een 'n-1' veilig punt in het elektriciteitsnetwerk. Dit betekent dat er bij uitval van één station altijd een reserve aanwezig is.

In de praktijk blijkt dat in Nederland sprake is van een leveringszekerheid van ongeveer 99,99 procent [7]. Wanneer een klant door een storing in het elektriciteitsnet langdurig ongemak ondervindt, ontvangt deze van de netbeheerder een compensatievergoeding. Er zijn geen contracten die 100 procent stroomzekerheid garanderen. Als bedrijven deze zekerheid willen, moeten ze dit zelf organiseren. Onzekerheden over leveringszekerheid nemen in de nabije toekomst toe, onder meer door groeiende afhankelijkheid van stroom uit het buitenland [8]. Leveringszekerheid zal dus niet meer louter een nationale aangelegenheid zijn.

De spanning op een aansluiting op het elektriciteitsnet moet voldoen aan de zogenaamde spanningskwaliteit¹. Dat wil zeggen dat afwijkingen van de spanning binnen bepaalde grenzen moeten blijven. Om de spanningskwaliteit effectief te monitoren, voeren netbeheerders metingen uit in de elektriciteitsnetten binnen het project Spanningskwaliteit in Nederland. Een onafhankelijke partij analyseert de metingen en stelt jaarlijks een rapport op dat Netbeheer Nederland uitgeeft. De spanningskwaliteit in de Nederlandse elektriciteitsnetten is hoog [7].

De netbeheerder monitort continu de vraag en aanbod van elektriciteit. Zowel stroomleveranciers als -afnemers moeten dagelijks hun prognoses doorgeven. Per kwartier controleert de netbeheerder of de vraag en aanbod overeenkomen en wordt er zo nodig bij- of afgeschaald. Bij een tekort kan de netbeheerder gebruikmaken van reservevermogen, of eventueel extra stroom uit bijvoorbeeld het buitenland inkopen. Hierover zijn tussen de verschillende energieleveranciers en EU-breed afspraken gemaakt. Bij een grootschalige storing van de elektriciteitsvoorziening kunnen lidstaten elkaar bijstaan, maar een lidstaat moet na vijftien minuten weer op eigen benen kunnen staan. Deze 'frequentiehersteltijd' is voorgeschreven in artikel 127 en bijlage III van EU-verordening 2017/1485 [9].

Om graafschade aan ondergrondse kabels te voorkomen, moeten grondroerders zogenoemde KLIC-meldingen doen².

2.2 Informatie over incidenten met stroomuitval

Er is geen volledige informatie beschikbaar over aantallen incidenten door stroomuitval bij risicovolle bedrijven in Nederland. Uit verschillende bronnen is geprobeerd een beeld te vormen. Enkele incidenten kunnen in meerdere datasets zijn opgenomen.

- Gegevens over ongewone voorvallen bij Brzo-bedrijven. Sinds 2018 verzamelen de omgevingsdiensten informatie over ongewone voorvallen³ bij Brzo-bedrijven in een database. Hierin zijn alle door bedrijven gemelde ongewone voorvallen opgenomen. In deze database is gezocht op de termen

¹ <https://www.netbeheernederland.nl/spanningskwaliteit>.

² <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/bodem-en-ondergrond/graafschade>.

³ Volgens jurisprudentie van de Afdeling bestuursrechtspraak van de Raad van State is een ongewoon voorval 'elke gebeurtenis in een inrichting, ongeacht de oorzaak daarvan, die afwijkt van de normale bedrijfsactiviteiten; dit begrip omvat derhalve zowel storingen in het productieproces en storingen in de voorzieningen van de inrichting als ongelukken en calamiteiten.'

'kortsluiting', 'stroomuitval' en 'stroomstoring'. Dit resulteerde in 100 individuele voorvallen over een periode van drie jaar (2018-2020). Na verdere analyse van deze incidenten bleek dat bij 88 voorvallen de stroomuitval leidde tot een voor dit onderzoek relevant voorval. Het is aannemelijk dat er meer voorvallen gerelateerd aan stroomstoringen zijn geweest in de onderzochte periode. Dit omdat het kan zijn dat niet alle voorvallen daadwerkelijk zijn gemeld en/of dat de oorzaak niet volledig/juist is gerapporteerd. Daarnaast zijn voorvallen zonder milieurelevantie (bijvoorbeeld arbeidsongevallen zonder externe gevolgen) niet opgenomen in deze database. Voor de analyse van de oorzaken en gevolgen van stroomuitval specifiek in Nederland is deze dataset gebruikt, omdat deze binnen Nederland het meest compleet en representatief is.

- Een analyse van incidenten door het Major Accident Hazards Bureau (MAHB) van de Europese Commissie [10]. Voor deze analyse heeft het MAHB 90 stroomuitval-gerelateerde incidenten uit de eMARS-database⁴ sinds 1981 onderzocht. De eMARS-database bevat incidenten uit (voornamelijk) westerse landen wereldwijd.
- Incidentdatabase Storybuilder-MHC [11]. Uit deze database zijn de incidenten geselecteerd die (mede) veroorzaakt zijn door stroomuitval. Dit betreft 4 van de 326 incidenten in de afgelopen 15 jaar [12]. Het is mogelijk dat bij meer dan deze vier incidenten stroomuitval een rol heeft gespeeld, maar dat deze informatie niet als zodanig in de database is opgenomen.
- Een analyse door Ineris (Fr) van incidenten in de ARIA-database. Deze Franse database (ARIA - Analysis, Research and Information on Accidents), die door BARPI (Bureau for Analysis of Industrial Risks and Pollutions) wordt bijgehouden, bevat incidenten die een gevaar hebben gevormd voor de mens, de publieke veiligheid of de omgeving. Hierin staan ook incidenten die plaatsvonden door stroomuitval.

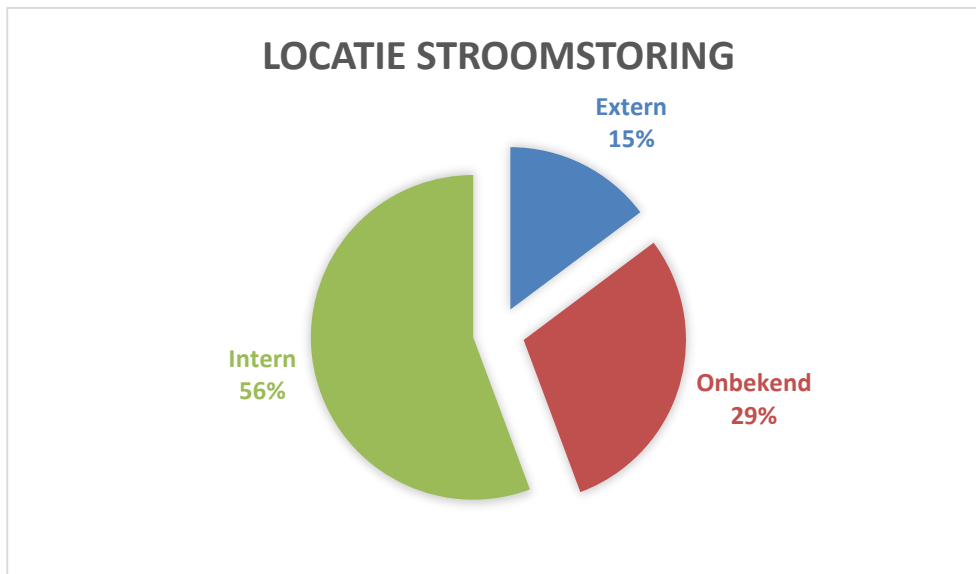
Op basis van de beschikbare gegevens zijn geen duidelijke trends aan te wijzen in het aantal incidenten of de aard van de incidenten door stroomuitval.

De DCMR Milieudienst Rijnmond heeft in 2021 zes stroomstoringsincidenten in de afgelopen tien jaar onderzocht. DCMR heeft geconcludeerd dat er geen duidelijke rode draad te onderscheiden is in de oorzaken van de incidenten (DCMR, persoonlijke communicatie, 1 december 2021).

2.3 Oorzaken van stroomuitval

Stroomuitval bij risicovolle bedrijven kan worden veroorzaakt door externe factoren (verstoring van de externe elektriciteitsvoorziening aan een bedrijf) of interne factoren (verstoring van de productie of distributie van elektriciteit binnen een bedrijfsterrein).

⁴ European Major Accident Reporting System (eMARS). <https://emars.jrc.ec.europa.eu/en/emars/content>.



Figuur 2 Ongewone voorvallen Brzo-bedrijven: verdeling van locatie waar de stroomstoring plaatshad.

Figuur 2 laat voor de ongewone voorvallen bij Brzo-bedrijven zien in hoeveel gevallen de oorzaak van de stroomuitval intern, extern of onbekend was. Van de 88 relevante gerapporteerde ongewone voorvallen bij Brzo-bedrijven tussen 2018 en 2020, waarbij er sprake was van stroomuitval, stroomonderbreking of kortsluiting, werd 15 procent (13 van de 88 voorvallen) veroorzaakt door externe stroomuitval. Bij 56 procent (49 voorvallen) ontstond een probleem binnen de terreingrenzen van het bedrijf en bij 29 procent (26 voorvallen) was onbekend waar de stroomuitval plaatsvond.

2.3.1 Externe oorzaken

De kans op verstoring van de externe elektriciteitsvoorziening is in Nederland klein (zie ook 2.2). Toch zijn er de afgelopen jaren enkele grote incidenten bij risicovolle bedrijven geweest, (mede) veroorzaakt door externe stroomuitval.

Bij de ongewone voorvallen bij Brzo-bedrijven met externe stroomuitval is de precieze aard van de oorzaak meestal niet vermeld. Bij enkele voorvallen werden kabelbreuk en kortsluiting bij een hoogspanningskabel als oorzaak aangewezen.

De ARIA-database bevat ook diverse incidenten met externe oorzaken: storingen aan apparatuur, werk aan stroomkabels of daar in de buurt en schade aan kabels door sneeuw of wind. Een voorbeeld hiervan is een incident in Antwerpen op 2 september 2008 [13], waar de stroom uitviel door onderhoud aan een hoofdleiding. Doordat een raffinaderij bijna geheel zonder stroom zat, is deze stopgezet. Dit had grootschalig affakkelen tot gevolg en het openen van veiligheidskleppen. Hierdoor kwamen er schadelijke gassen vrij (waterstofsulfide en benzeen). De wolk met schadelijke gassen zorgde ervoor dat enkele honderden mensen last hadden van misselijkheid en ademhalingsproblemen. 57 van hen hebben uiteindelijk ook een arts geconsulteerd.

Voorbeeld incident – Externe oorzaak: falen voedingskabels

Een van de twee voedingskabels van 25 kV tussen een substation en het bedrijfsterrein faalde. Hierdoor was de stroomtoevoer aan het terrein afhankelijk van de tweede voedingskabel. Tijdens de reparatie aan de eerste voedingskabel, begaf ook de tweede voedingskabel het. De uninterruptible power supply (UPS) trad in werking. Drie uur later had de noodstroomvoorziening het moeten overnemen, maar dit gebeurde niet. Hierdoor vielen diverse onderdelen op het terrein uit.

Tussenproducten van de productieprocessen die stil kwamen te liggen, werden afgefakkeld.

Vanwege het niet opstarten van de noodstroomvoorziening was er geen controle en inzicht meer over de niveaus van een aantal tankopslagen. Hierdoor moesten afsluiters handmatig worden bediend en was de toegangslagboom richting het terrein gesloten en niet meer te bedienen (relevant voor onder meer hulpdiensten).

In vergelijking tot internationale cijfers ligt de oorzaak van stroomuitval in Nederland minder vaak extern. In de analyse door MAHB werd 38 procent van de incidenten veroorzaakt door externe stroomuitval. Deze was meestal het gevolg van extreme weersomstandigheden, zoals zware sneeuwval. Deze oorzaken zijn in Nederland op dit moment relatief zeldzaam. Door klimaatverandering komen extreme weersomstandigheden in de toekomst echter mogelijk vaker voor. Vooral de toenemende kans op overstromingen vormt een risico voor stroomuitval bij bedrijven [14]. Daarbij richt het Nederlandse systeem zich vooral op het voorkomen van overstromingen en wordt er minder aandacht besteed aan het beperken van de gevolgen [15]. Ook hitte en droogte vormen een risico, omdat die door de lage waterstand tot een gebrek aan koelwater kunnen leiden [14]. Gebrek aan koelwater kan ook komen doordat de elektriciteitscentrales geen koelwater meer mogen lozen, omdat anders het rivierwater te warm wordt [16]. Dan moet er gekozen worden tussen het beperken van elektriciteitsgebruik of het accepteren van milieuschade.

Voor de regio Voorne-Putten is een verkenning uitgevoerd naar de gevolgen van een grote overstroming voor de elektriciteitsvoorziening [15]. Het risico bestaat vooral uit contact van water met een open kabel, bijvoorbeeld in kastjes of stations in het elektriciteitsnet. De conclusie uit deze verkenning is dat het huidige elektriciteitsnet niet berekend is op grote overstromingen. Het huidige elektriciteitsnetwerk is centraal opgebouwd (hiërarchische opbouw van hoofdstation naar onderstation et cetera). In combinatie met de laaggelegen locatie van het netwerk in de regio zorgt dit ervoor dat het bij dijkdoorbraak kan overstromen. Het kan zelfs zo zijn dat het gebied waar de elektra uitvalt groter is, dan waar de overstroming plaatsvindt. Dit omdat de overstroming binnen een bepaald gebied plaatsvindt (binnen een dijk), maar de stroomvoorziening niet binnen deze barrière blijft [14].

2.3.2 Interne oorzaken

Bij de meerderheid van de incidenten met stroomuitval bij risicovolle bedrijven in Nederland lag de oorzaak intern (56 procent van de ongewone voorvallen bij Brzo-bedrijven). In de analyse van MAHB liggen deze cijfers lager (39 procent van de incidenten; zie ook 2.4).

Stroomuitval werd meestal veroorzaakt door storingen in de elektrische installatie [10, 11, 13, 17]. Veel voorkomende problemen zijn:

- niet functionerende schakelaars;
- niet functionerende transformatoren;
- kortsluiting, bijvoorbeeld door defecte installatieonderdelen of slechte verbindingen;
- defecte bedrading door bijvoorbeeld verkeerde installatie;
- onder- en overspanning.

In veel gevallen werden deze problemen veroorzaakt door:

- Onvoldoende inspectie en onderhoud van de elektrische installatie en het interne elektriciteitsnetwerk, met veroudering van het systeem tot gevolg;
- Fouten bij het ontwerp en de aanleg van de elektrische installatie.

Voorbeeld incident – interne oorzaak: kortsluiting in hoogspanningsinstallatie binnen terrein [2].

Een reeks van ongeveer 50 kortstondige kortsluitingen in een hoogspanningsinstallatie op het terrein leidde tot een brand in een van de centrales. Deze brand en de benodigde handelingen om de centrale weer werkzaam te krijgen, resulteerde in de uitval van elektriciteit voor een deel van het terrein. Een groot aantal installaties werd automatisch afgeschakeld. Andere installaties werden handmatig stilgezet vanwege een voorzienbaar tekort aan voeding. Uiteindelijk kwam de gehele productie stil te liggen en werden tussenproducten uit de productieprocessen opgeslagen of afgefakkeld. Ook de productie van stoom en instrumentlucht van een toeleverancier op hetzelfde terrein viel uit. Door de afwezigheid van stoom die normaal gesproken bij de fakkeltip wordt geïnjecteerd voor het verhogen van de temperatuur en de concentratie zuurstof, was een deel van de verbranding van de tussenproducten onvolledig. Dit leidde onder meer tot meer roetvorming en de uitstoot van giftige gassen. Na enkele uren viel de noodstroomvoorziening uit door uitgeputte batterijen. Hierdoor vielen beveiligings- en besturingssystemen uit en was er geen zicht meer op de veiligheid van een deel van de installaties, en daarmee op de veiligheid van eigen personeel en de aanwezige hulpverleners.

Onderzoek wees uit dat het bedrijf uitgebreide maatregelen voor het voorkomen van stroomuitval had genomen. Ook waren er procedures rond de uitval van een enkele installatie of utility. Maar er werd geen rekening gehouden met de gelijktijdige uitval van meerdere installaties en/of utilities of met het volledig wegvallen van de productiecapaciteit van stoom en instrumentlucht van de toeleverancier op hetzelfde terrein.

Voorbeeld incident – interne oorzaak: kortsluiting stroomkabel binnen installatie [1].

Kortsluiting in een stroomkabel van een compressor zorgde voor een grote verstoring in een powerformerfabriek. Hierdoor vielen alle zes fornuizen van de powerformer uit. De zes fornuizen werden tegelijkertijd kort na de verstoring weer opgestart. Dit gebeurde via een versnelde methode, die mogelijk was omdat de fornuizen nog niet waren afgekoeld. Ondanks dat initieel de opstart goed liep, nam wegens temperatuurafname in de powerformer de druk op een specifieke pomp dusdanig toe dat deze pomp thermisch overbelast raakte en uitviel. Vanwege onderhoud ontbrak tijdelijk een back-up-pomp, die onder normale omstandigheden automatisch zou worden ingeschakeld. Door het uitvallen van de pomp was er bij één fornuis geen vloeistofdoorstroming, raakte de fornuisspiraal van dat fornuis oververhit en barstte deze open. Hierdoor stroomde brandbare vloeistof direct in de vuurhaard van het fornuis. Dit ontbrandde met een grote brand, waarbij het fornuis onherstelbaar beschadigde en grote hoeveelheden roet, toluen en xyleen vrijkwamen.

Onderzoek wees uit dat er te weinig rekening is gehouden met de complexiteit van de snelle methode voor het tegelijkertijd opstarten van alle zes fornuizen en de grote stroom aan alarmen die hierbij kwamen kijken. Ook is bij het opstarten geen rekening gehouden met het ontbreken van de back-up-pomp. Daarnaast was het risico op het uitvallen van de vloeistofstroom in het fornuis onvoldoende onderkend. Ook waren beveiligingen die kritisch waren voor de integriteit van het fornuis (het hebben van goede vloeistofstroming) te makkelijk overbrugbaar.

2.4 Gevolgen van stroomuitval

Of en in welk mate stroomuitval daadwerkelijk tot een grootschalig incident leidt, hangt af van verschillende factoren.

Chemische ongevallen door stroomuitval zijn in het algemeen een combinatie van twee (reeksen van) gebeurtenissen [10]. De eerste gebeurtenis is de stroomuitval zelf, soms ook gevolgd door het uitvallen van back-up-systemen. De tweede gebeurtenis of reeks van gebeurtenissen begint met het vrijkomen van stoffen door de stroomuitval.

De reactie op de stroomuitval door het bedrijf bepaalt voor een groot deel het verloop en de omvang van de tweede gebeurtenis. Veilig herstel van stroomuitval voorkomt de reeks van gebeurtenissen die kan leiden tot het vrijkomen van gevaarlijke stoffen en een grootschalig ongeval.

In het algemeen wordt stroomuitval gevolgd door een van de volgende omstandigheden [10]:

- Ondersteund door een UPS-voorziening (uninterruptible power supply) wordt overgeschakeld naar een noodstroomvoorziening en/of wordt de site gecontroleerd stilgelegd.
- Ondersteund door een UPS-voorziening blijft de site functioneren, maar de noodstroomvoorziening faalt en er wordt een gecontroleerde stillegging voor de site uitgevoerd.

- Zonder UPS-voorziening en/of noodstroomvoorziening ondergaan sommige processen of de gehele locatie een ongecontroleerde stillegging.
- Volgend op de geplande of ongeplande stillegging wordt de site of de specifieke processen weer opgestart (recovery).

Uit de verschillende incidentanalyses komt een aantal factoren naar voren die hebben bijgedragen aan escalatie van een incident na stroomuitval [10, 13, 17]:

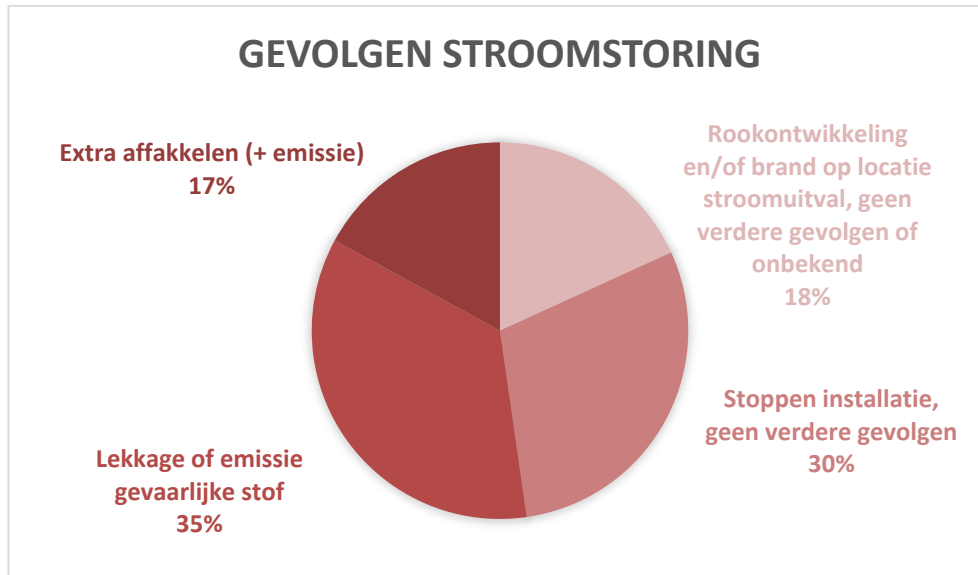
- Falende noodstroomvoorziening. Uit de analyse door MAHB blijkt dat in 37 procent van de onderzochte gevallen een noodvoorziening aanwezig was, maar dat deze niet goed functioneerde. Dit kwam meestal doordat generatoren niet functioneerden, maar ook door falen van de omschakeling naar de noodstroomvoorziening, door falen van de UPS-voorziening of door een andere oorzaak, zoals kortsluiting bij de noodstroomvoorziening. Ook zijn er voorbeelden dat de noodstroomvoorziening wel functioneerde, maar dat de capaciteit/duur hiervan ontoereikend was om de reguliere stroomvoorziening te herstellen. Uit analyse van de ongevallen door stroomuitval in de Storybuilder MHC-database volgt dat in drie van de vier gevallen het niet lukte om een extern veroorzaakte stroomuitval intern op te vangen [12]. Ook bij enkele van de ongewone voorvallen bij Brzo-bedrijven was er sprake van een niet goed functionerende noodstroomvoorziening.
- Onvoldoende aandacht voor de mogelijkheid en de impact van stroomuitval bij de inventarisatie en evaluatie van risico's. Het wegvallen van individuele installaties was bijvoorbeeld wel erkend, maar de impact van het tegelijkertijd wegvallen van meerdere installaties was niet in kaart gebracht.
- Onvoldoende management van risico's, met als gevolg onvoldoende robuustheid bij stroomuitval. Personeel was bijvoorbeeld onvoldoende getraind/voorbereid op stroomuitval of meer algemeen onvoldoende getraind in herkenning van/anticiperen op gevaren. Dit resulteerde in 'ad hoc' oplossingen in onveilige situaties.

Voorbeelden van de gevolgen van stroomuitval bij risicovolle bedrijven zijn [10, 11, 13, 17]:

- Uitval van (onderdelen van) procesinstallaties, zoals pompen, aansturing van kleppen, instrumentatie.
- Uitval van noodzakelijke processtromen, zoals koeling/verwarming, stoom en instrumentatielucht.
- Uitval van procesbeheersing, detectie, monitoring en alarmering.
- Uitval van noodvoorzieningen, zoals overvulbeveiliging en automatische brandbestrijding.
- Uitval van ondersteunende functies, zoals ICT en communicatie.

Dit kan uiteindelijk leiden tot het vrijkomen van gevaarlijke stoffen ('loss of containment'). In Figuur 3 is een verdeling van de gevolgen van de ongewone voorvallen bij Brzo-bedrijven te zien. In 17 procent (15 van de 88 voorvallen) was sprake van extra fakkelen. En in 35 procent (31 voorvallen) was sprake van emissie/lekkage van een gevaarlijke stof. Verder was bij 18 procent (16 voorvallen) sprake van rookontwikkeling

en/of brand ter plaatse van de kortsluiting of stroomuitval, maar waarbij geen verdere gevolgen optraden, of waarbij dit onbekend is. Bij 30 procent (26 voorvallen) waren geen verdere gevolgen. Bij geen van de voorvallen werden doden of gewonden gemeld. Daarbij moet wel worden opgemerkt dat de focus van de database op milieu-gerelateerde incidenten ligt.



Figuur 3 Ongewone voorvallen Brzo-bedrijven: verdeling van gevolgen van een stroomstoring.

De analyse door MAHB [10] vermeldt bij de 90 onderzochte incidenten in totaal 21 dodelijke slachtoffers en 9500 gewonden⁵, door blootstelling aan gevaarlijke stoffen, maar ook door bijvoorbeeld elektrocutie. Verder is de economische schade vaak aanzienlijk. Ook bij een gecontroleerde stillegging kan dit het geval zijn, bijvoorbeeld doordat een site enige tijd uit bedrijf is of doordat grote hoeveelheden product worden afgefakkeld.

⁵ Het grootste deel van deze gewonden (ruim 9000) was het gevolg van één incident in Sakai, Japan (1981).

3 De invloed van de energietransitie

De energietransitie is op verschillende manieren van invloed op de elektriciteitsvoorziening en -huishouding van risicovolle bedrijven. Dit heeft mogelijk gevolgen voor de risico's van stroomuitval.

3.1 Het elektriciteitsnetwerk

Op Europees niveau wordt de toekomstige leveringszekerheid van het elektriciteitsnet gemonitord door ENTSO, het Europese netwerk van transmissiesysteembeheerders voor elektriciteit. De tweejaarlijkse 'adequacy forecast' van ENTSO beschrijft welke eventuele knelpunten de komende tien jaar worden voorzien, onder meer voor de energietransitie.

Rond de energietransitie is de rol van de netbeheerder TenneT vooral om te monitoren en signaleren. Zo zijn er aanpassingen nodig aan de infrastructuur, bijvoorbeeld vanwege de komst van offshore windparken, waarbij deze energie naar de afnemers moet worden verplaatst. Ook zijn er faciliteiten nodig om overschotten aan energie in op te slaan of om te zetten. De netbeheerder is betrokken bij het bepalen van de locatie van deze faciliteiten.

De netbeheerder houdt zich verder bezig met systeemdiensten, zoals de inkoop van noodstroom en het aanbieden van flexdiensten, waarbij snel kan worden op- of afgeschaald bij een onbalans tussen vraag en aanbod.

De Nederlandse netbeheerder sprak in 2021 met alle industrieclusters over relevante ontwikkelingen voor de langere termijn (tien jaar). Hierbij is gesproken over de verwachte energiebehoeftes en de plannen voor uitbreiding van het elektriciteitsnet om aan de prognoses te kunnen blijven voldoen. Een voorbeeld is het cluster Chemelot, waar de vraag naar elektriciteit sterk stijgt. Om aan deze vraag te kunnen blijven voldoen, is een uitbreiding op het 380 kV-net nodig, waar tot nu toe 150 kV voldeed (TenneT, persoonlijke communicatie).

In de regio Voorne-Putten is gekeken naar het koppelen van opwekking van hernieuwbare energie aan waterveiligheid [15]. Bij aanpassingen aan het elektriciteitsnet vanwege de energietransitie, kan ook het aspect waterveiligheid worden meegenomen. Decentrale opwekking zou bij stroomuitval een eilandbedrijf kunnen blijven voeden.

Uit de analyse volgt dat de volgende maatregelen nodig zijn vanwege de energietransitie:

- Verzwaring van het netwerk: dit maakt meer decentraal aanbod mogelijk via bijvoorbeeld zonnepanelen of windturbines.
- Slim energiemanagement voor het afstemmen van vraag en aanbod.
- Energieopslag: door weersafhankelijkheid moet energie kunnen worden opgeslagen. Dit voorkomt piek -en dalmomenten in de energievoorziening.

Afgezien van de energietransitie is een relevante actuele ontwikkeling zogenoemde 'verkabeling'. Daarbij worden bovengrondse

hoogspanningsleidingen vervangen door ondergrondse kabels, bijvoorbeeld vanuit oogpunt van ruimtelijke ordening of vanwege esthetische overwegingen en angst voor elektromagnetische velden. Verkabeling kan andere risico's geven, omdat beheersing van de spanning over de ondergrondse kabels moeilijker is en reparatie van de kabels en snel reageren op storingen lastiger is dan bij bovengrondse leidingen (TenneT, persoonlijke communicatie). Aan de andere kant is er geen kans op draadbreek door bijvoorbeeld ijzel of vliegtuigen.

3.2 Productie en gebruik van elektriciteit

De energietransitie zorgt voor een toename van het gebruik van elektriciteit als energiebron en voor andere toepassingen van het gebruik van elektriciteit. Op dit moment gebruiken veel chemiebedrijven nog aardgas, maar dit wordt de komende jaren afgeschaald en steeds meer omgezet naar elektriciteit. De vraag naar elektriciteit zal dus toenemen [18].

Door de energietransitie zal elektriciteit niet meer alleen centraal worden opgewekt, maar op diverse plekken (daken, windturbines, et cetera). Hierdoor verandert de structuur van het netwerk. Het groeiend aandeel zon- en windenergie zorgt naar verwachting voor grotere instabiliteit van de energievoorziening. Hierdoor ontstaan extra risico's voor de elektriciteitstoelevering aan bedrijven. Bij bewolkt en windstil weer valt de energieopwekking voor een groot deel weg. Als dit voor langere tijd aanhoudt, levert dat grote problemen op. Het verwachte rendement van windparken wordt op dit moment bij lange na niet gehaald, ook niet op zee. Daarnaast zijn deze windparken niet betrouwbaar genoeg om de instabiliteit op te vangen. Ook kan het voorkomen dat energiebedrijven windturbines bij veel wind om veiligheidsredenen stilleggen [19]. Bij toename van de afhankelijkheid van zon- en windenergie neemt dit risico op instabiliteit steeds verder toe.

Om deze risico's te beperken, zijn er verschillende scenario's beschikbaar die mogelijk ingrijpende gevolgen hebben. Bij een tekort moet er bijvoorbeeld uit andere landen elektriciteit worden ingekocht. Of bij piekmomenten in stroomopwekking kan bedrijven worden gevraagd veel stroom te gebruiken [19]. In Nederland zelf is er relatief weinig groene energie beschikbaar als back-up bij piekvraag. Hierdoor bestaat de kans dat er toch weer meer wordt teruggevallen op fossiele brandstoffen, zoals steenkool.

Bedrijven zullen daarnaast te maken krijgen met fluctuaties in energieprijzen. In combinatie met de instabiliteit van de externe energievoorziening kan dit ertoe leiden dat bedrijven meer zelfvoorzienend willen zijn en aan eigen elektriciteitsproductie en -opslag zullen gaan doen.

Het zelf produceren en opslaan van elektriciteit brengt nieuwe risico's binnen het eigen terrein. Een voorbeeld is een windturbine op het terrein die kan falen (omvallen mast/afbreken blad/gondel), waardoor bijvoorbeeld een nabijgelegen opslagtank met gevaarlijke stoffen kan worden getroffen. Wanneer bedrijven zelf energie gaan opslaan, bijvoorbeeld met een energieopslagsysteem (EOS) op basis van lithium-batterijen, zijn hieraan verschillende risico's verbonden [20-23]. Zo

moet de energiehuishouding bij bedrijven anders worden georganiseerd, met alle risico's van dien. Maar ook het EOS zelf (inmiddels tot een vermogen van 2 MW) vormt een risico voor onder meer werknemers. Bij een zogenoemde 'thermal runaway-reactie' in een batterijsysteem kunnen grote hoeveelheden giftige en corrosieve stoffen vrijkomen, waaronder waterstoffluoride en koolmonoxide [24]. Op dit moment maken in Nederland nog weinig bedrijven gebruik van een EOS, maar wanneer energieschommelingen vaker voorkomen, zal een EOS voor veel bedrijven een interessante keuzemogelijkheid zijn. Er zijn op dit moment voor bedrijven geen andere opties voor het opvangen van een dip in de elektriciteitsvoorziening.

Ook de elektrificatie van (industriële) processen zorgt voor andere risico's. Veel processen die nu nog fossiele brandstoffen gebruiken (bijvoorbeeld verbranding van aardgas voor verwarming van processen) zullen moeten omschakelen naar gebruik van elektriciteit. Hierdoor is de mogelijke impact van een eventuele stroomstoring groter, omdat meer installaties afhankelijk zijn van elektriciteit.

Door elektrificatie zal er ook meer gewerkt worden met hoogspanning. Dat brengt risico's voor werknemers met zich mee, zoals elektrocutie [21].

Cyberveiligheid vormt een groeiend aandachtspunt voor de energiesector en de chemische industrie, vanwege het toenemende gebruik van digitale technologie, instabiele en vaak slecht beveiligde software en hardware en het grensoverschrijdende karakter [21, 25].

Er zijn nu al problemen met het aansluiten van nieuwe projecten op het net, en die nemen voorlopig alleen maar toe. Een voorbeeld is dat steeds meer boeren hun land zullen verkopen of verhuren voor zonneparken als gevolg van de strengere stikstofeisen. Daarnaast komen daken van bedrijfspanden steeds vaker vol te liggen met zonnepanelen. De opgewekte energie kan vaak niet volledig zelf opgebruikt worden, wat verduurzaming belemmert als deze energie niet terug naar het net kan. Daarnaast hindert het toenemen van het risico op verhoogde instabiliteit van het net de verdere opkomst van zon- en windenergie.

4 Discussie en conclusies

Het in dit rapport beschreven onderzoek richtte zich op beantwoording van de volgende vragen:

1. Wat zijn de risico's van stroomuitval bij risicovolle bedrijven?
2. Wat is de invloed van de energietransitie hierop?

Uit de beschikbare gegevens blijkt dat jaarlijks enkele tientallen grote of kleine incidenten met stroomuitval plaatsvinden bij risicovolle bedrijven in Nederland. Het is niet duidelijk in hoeverre er in werkelijkheid (veel) meer incidenten of bijna-incidenten zijn. Er zijn geen trends aan te wijzen in het aantal incidenten of de aard van de incidenten. Betere registratie is een eerste stap om dit beter te kunnen monitoren. Voorbeelden van de gevolgen van stroomuitval bij risicovolle bedrijven zijn [10, 11, 13, 17]:

- Uitval van (onderdelen van) procesinstallaties, zoals pompen, aansturing van kleppen, instrumentatie.
- Uitval van noodzakelijke processtromen, zoals koeling/verwarming, stoom en instrumentatielucht.
- Uitval van procesbeheersing, detectie, monitoring en alarmering.
- Uitval van noodvoorzieningen, zoals overvulbeveiliging en automatische brandbestrijding.
- Uitval van ondersteunende functies, zoals ICT en communicatie.

Dit kan leiden tot het vrijkomen van gevaarlijke stoffen, maar ook tot extra fakkelen, rookontwikkeling en/of brand, elektrocutie, mogelijk met gewonden of dodelijke slachtoffers.

Stroomuitval bij risicovolle bedrijven wordt soms veroorzaakt door verstoring van de externe elektriciteitsvoorziening, maar vaker door interne factoren. Risicovolle bedrijven zijn niet altijd goed op stroomuitval voorbereid.

De risico's van stroomuitval kunnen veranderen door de energietransitie. In het veranderende energielandschap gaan naar verwachting meer bedrijven aan eigen elektriciteitsproductie en -opslag doen. Dit brengt nieuwe risico's binnen het eigen terrein. Door de elektrificatie van processen wordt de kans op stroomuitval en de mogelijke impact ervan groter. Door elektrificatie zal er ook meer gewerkt worden met hoogspanning. Dat brengt risico's voor werknemers met zich mee, zoals elektrocutie.

Op basis van het onderzoek zijn lessen te trekken voor het voorkomen van en voorbereid zijn op stroomuitval bij risicovolle bedrijven. Het gaat hierbij om lessen op het gebied van identificatie, beoordeling en beheersing van risico's, die hierna worden beschreven.

Dit geldt voor de huidige situatie, waarin nog voornamelijk fossiele energiebronnen worden gebruikt, maar ook voor de genoemde veranderingen door de energietransitie.

Zowel Brzo- als ARIE-bedrijven zijn verplicht een Veiligheidsbeheerssysteem (VBS) te hebben. Een aantal van de onderstaande lessen sluit aan bij de elementen van het VBS, zoals de

identificatie en beoordeling van de gevaren van zware ongevallen (element ii), de controle op de exploitatie (element iii) en de planning voor noodsituaties (element v).

Verder geeft PGS 6 'Aanwijzingen voor de implementatie van het Brzo 2015' [26] in paragraaf 5.1.2 'Opbouw en uitgangspunten van het veiligheidsrapport (VR)' aan:

"Van de aanwezige *utilities* dient, voor zover relevant voor risico's zware ongevallen, een korte beschrijving gegeven te worden van de functie, de risico's bij uitvallen en hoe daarmee rekening is gehouden." Onder 'utilities' wordt onder meer elektriciteit verstaan, zo blijkt uit tabel 5.C.

Identificatie en beoordeling van risico's

Het is belangrijk dat de kans op en de gevolgen van stroomuitval worden meegenomen bij het in kaart brengen en beoordelen van risico's. Hierbij moet ook rekening worden gehouden met de veranderende energiehuishouding door de energietransitie. Er worden verschillende methodes en tools gebruikt om de gevoeligheden van een eventuele stroomstoring inzichtelijk te maken. In een gevarenstudie (bijvoorbeeld een HAZOP) en het veiligheidsrapport (VR) zouden in ieder geval de volgende scenario's voor stroomuitval meegenomen moeten worden [26, 27]:

1. uitval van de externe elektriciteitsvoorziening;
2. uitval van het interne elektriciteitsnetwerk;
3. uitval van de interne elektriciteitsproductie.

Voor alle scenario's rondom stroomuitval moeten voorzorgsmaatregelen ontwikkeld worden [27]. Eerst moeten de veiligheidsdoelen van de processen worden geïdentificeerd (gevaarlijke stoffen kunnen gecontroleerd vrijkomen of opgeslagen worden). Daarnaast moet bepaald worden of de (gehele) procesvoering kan doorgaan of dat deze helemaal uitgeschakeld moet worden. Deze twee keuzes moeten in lijn zijn met elkaar. Vervolgens kan bepaald worden welke maatregelen nodig zijn en wat daarvoor nodig is. Een maatregel kan bijvoorbeeld noodstroom nodig hebben.

Voor het duiden van zwakke plekken in het interne elektriciteitsnetwerk kunnen ook simulaties gedraaid worden. Een voorbeeld hiervan is een simulatiemodel met een optimalisatiemodel [28], waarbij het elektriciteitsnetwerk wordt gemodelleerd. Hiermee worden kritieke scenario's gesimuleerd waaruit stroomuitval voort kan komen. Vervolgens wordt bepaald welke individuele delen van het elektriciteitsnetwerk kritiek zijn en welke combinaties zorgen voor kritiek falen van het stroomnetwerk.

Behalve het in kaart brengen van de directe gevolgen van stroomuitval, moeten bij het opstellen van de risicoanalyse ook bijkomende effecten meegenomen worden [27]. Voorbeelden zijn: het uitvallen van meerdere voorzieningen tegelijkertijd, het optreden van piekstroom, onder-/overspanning en de gevolgen van langdurige stroomuitval of meerdere korte uitvallen na elkaar. Kunnen processen doorgaan, gedeeltelijk doorgaan of vindt er een volledige stopzetting plaats? Wat zijn de gevolgen voor de beschikbaarheid van noodvoorzieningen zoals detectie, en alarmering en van ondersteunende functies zoals communicatielijnen en ICT-systemen?

Beheersing van risico's

Het is belangrijk dat de geïdentificeerde risico's van stroomuitval adequaat worden beheerst; dit moet tot uiting komen in het VBS. Vergelijkbaar met de 'chemische risico's' moet hierbij onder meer aandacht zijn voor:

- Inspectie en onderhoud: de elektrische installatie moet worden geïnspecteerd en onderhouden. Ook een eventueel aanwezige noodstroomvoorziening moet worden geïnspecteerd en onderhouden. Het functioneren van de noodstroomvoorziening moet ook regelmatig worden getest. Dit kan voor een deel digitaal, maar ook praktijktesten moeten worden uitgevoerd.
- Opleiding, training en oefening van personeel op het gebied van de risico's van stroomuitval en het reageren op noodsituaties.
- Management of change: veranderingen aan de elektrische installatie en aan relevante onderdelen van procesinstallaties moeten adequaat worden beheerst.

Het verbeteren van de veiligheid is maatwerk, waarbij bedrijven zelf moeten analyseren welke maatregelen voor hun situatie effectief kunnen zijn [11].

Op basis van het huidige onderzoek kan geen uitspraak worden gedaan over de mate waarin risicovolle bedrijven in Nederland de bovengenoemde zaken op orde hebben. Vervolgonderzoek of thema-inspecties kunnen hierover mogelijk meer duidelijkheid geven.

5 Literatuur

1. De Onderzoeksraad voor Veiligheid, *Brand bij Esso, 21 augustus 2017*. 2019.
2. De Onderzoeksraad voor Veiligheid, *Stroomuitval door brand, Shell Pernis 2017*. 2021.
3. *Klimaatakkoord*. 2019: Den Haag.
4. *Besluit risico's zware ongevallen*. 2015 [cited 2022 23 mei]; Available from: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0036791/2015-07-08>.
5. *Arbeidsomstandighedenbesluit*. 2019 [cited 2022 23 mei]; Available from: https://wetten.overheid.nl/BWBR0008498/2019-01-01/#Hoofdstuk2_Afdeling2.
6. *Netcode elektriciteit*. 2022 [cited 2022 23 mei]; Available from: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0037940/2022-05-18>.
7. Netbeheer Nederland, *Spanningskwaliteit in Nederland. Versie: 1.0. Kenmerk: C24-DBO-KA-2100011*. 2021.
8. Grol, C., *Tennet: maak afspraken met buitenland over levering stroom (13-1-2022)*, in *Financieel Dagblad*. 2022.
9. *Commission Regulation (EU) 2017/1485 of 2 August 2017 establishing a guideline on electricity transmission system operation (Text with EEA relevance.)*. 2017. p. 1-120.
10. MAHB bulletin, *Chemical accident prevention and preparedness: learning from incidents involving power supply failures, in Lessons learned bulletin*. 2021.
11. Kooi, E.S., H.J. Manuel, and M. Mud, *Vijftien jaar incidentanalyse Oorzaken, gevolgen en andere kenmerken van incidenten met gevaarlijke stoffen bij majeure risicobedrijven in de periode 2004-2018*. RIVM Rapport 2019-0042. 2019, RIVM.
12. RIVM, *MHC-Ongevallen door stroomuitval, Memo*. 14 december 2020.
13. *ARIA Analysis, Research and Information on Accidents*. [cited 2022 2 June]; Available from: <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/?lang=en>.
14. Pompe, C.E., H. Pijnenburg, and P.A.M. Uijt de Haag, *Voorbereiding van Brzo bedrijven op klimaatverandering. RIVM-briefrapport 2021-0050*. 2021, RIVM.
15. Defacto Stedenbouw and Generation.energy, *Benutten energietransitie voor vergroten waterveiligheid*. 2019.
16. de Vries, G. *Stroomnood door hittegolf*. 2006; Available from: <https://www.nemokennislink.nl/publicaties/stroomnood-door-hittegolf/>.
17. Landelijke TZ4 Werkgroep, *Ongewone voorvallen BRZO bedrijven*. 2022.
18. van de Weijer, B., *Chemische industrie zonder olie, kan dat? In Delft wordt gewerkt aan de groene toekomst van Pernis*, in *Volkskrant*. 2022.
19. Kooistra, M., *Windmolens stilzetten en bedrijven manen tot extra actie: dat moet het Utrechtse stroomnet ontlasten (15-6-2022)*, in *Algemeen Dagblad*. 2022.
20. Analistennetwerk Nationale Veiligheid, *Verkenning risico's van de energietransitie voor de nationale veiligheid*. 2019.

21. Hansler, R. and C.E. Pompe, *Toekomstverkenning chemiesector. RIVM-rapport 2019-0196*. 2019, RIVM.
22. van der Ree, J., et al., *Klimaatakkoord: effecten op veiligheid, gezondheid en natuur. RIVM Rapport 2019-0076*. 2019.
23. Kooistra, M., *Een groot bedrijfsdak vol zonnepanelen even geen optie? De superbatterij biedt hulp (2-6-2022)*, in *Algemeen Dagblad*. 2022.
24. Qingsong Wang, et al., *Thermal runaway caused fire and explosion of lithium ion battery*. *Journal of Power Sources*, 2012. **208**: p. 210-224.
25. DNV, *The cyber priority. The state of cyber security in the energy sector*. 2022.
26. PGS 6 Publicatiereeks gevaarlijke stoffen, *Aanwijzingen voor de implementatie van het Brzo 2015*. 2016.
27. Ogle, R.A. and T. Morrison, *Hazards of unplanned power outages: Implementing appropriate safeguards*. AIChE Annual Meeting, Conference Proceedings, 2010.
28. Gjorgiev, B. and G. Sansavini, *Identifying and assessing power system vulnerabilities to transmission asset outages via cascading failure analysis*. *Reliability Engineering and System Safety*, 2022. **217**.

RIVM

De zorg voor morgen begint vandaag