



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

## **Toekomstverkenning veiligheid chemiesector**

Inventarisatie van ontwikkelingen  
tussen nu en 2050 die van invloed  
zijn op de (arbeids)veiligheid

RIVM-rapport 2019-0196  
R. Hansler | L. Pompe





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

## **Toekomstverkenning veiligheid chemiesector**

Inventarisatie van ontwikkelingen tussen  
nu en 2050 die van invloed zijn op de  
(arbeids)veiligheid

RIVM-rapport 2019-0196

## Colofon

© RIVM 2020

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.

DOI 10.21945/RIVM-2019-0196

R. Hansler (auteur), RIVM  
L. Pompe (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 Z/110021/19/ SO - Seveso III ondersteuning.

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

## Publiekssamenvatting

### **Toekomstverkenning veiligheid chemiesector**

Inventarisatie van ontwikkelingen tussen nu en 2050 die van invloed zijn op de (arbeids)veiligheid

Het RIVM heeft geïnventariseerd welke politiek-bestuurlijke, economische, sociaal-culturele en technologische ontwikkelingen de komende jaren invloed kunnen hebben op de veiligheid in de chemiesector. Het gaat om bedrijven die grote hoeveelheden gevaarlijke stoffen produceren, verwerken of opslaan. Het RIVM heeft de inventarisatie in opdracht van het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW) uitgevoerd. Kennis over deze ontwikkelingen helpt dit ministerie om beleid over deze bedrijven te vormen.

De belangrijkste ontwikkeling voor de chemiesector is de energietransitie. De komende jaren zal het gebruik van grondstoffen en energiebronnen verschuiven van fossiele brandstoffen naar duurzame energie. Hiermee kunnen de risico's voor werknemers veranderen, zowel in positieve als negatieve zin.

Een ongunstige economische situatie of een verslechterde concurrentiepositie van de Nederlandse chemiesector kan bedrijven aanzetten tot kostenbesparingen. In het algemeen geldt dat kostenbesparingen onveiligere arbeidsomstandigheden kunnen veroorzaken.

Digitalisering en automatisering zullen op steeds grotere schaal in de chemiesector worden ingezet. In het algemeen zal de werkomgeving hierdoor voor werknemers veiliger worden. Dat komt doordat zij de processen steeds meer op afstand kunnen aansturen, bijvoorbeeld met robots. Tegelijkertijd kunnen onveilige situaties ontstaan door de kans op verstoringen in de ICT.

Een steeds groter wordend risico is de veroudering van installaties die al lange tijd meegaan. Dit vraagt om goed beheer en onderhoud van bestaande installaties. Ook kennis en organisaties kunnen verouderen, mede door de snelle digitale ontwikkelingen.

Kernwoorden: chemiesector, Brzo, energietransitie, economische ontwikkelingen, arbeidsveiligheid, digitalisering, robotisering, sensortechnologie, Industrie 4.0, cybercriminaliteit, veroudering



## Synopsis

### **Forecast study of safety in the chemical sector**

Inventory of developments between now and 2050 that affect (occupational) safety

RIVM has carried out an inventory of which political-administrative, economic, sociocultural, and technological developments in the coming years can have an impact on safety in the chemical sector. The forecast involves companies that produce, process, or store large quantities of hazardous substances. RIVM carried out the inventory at the request of the Ministry of Social Affairs and Employment (SZW). Knowledge of these developments will help the ministry to formulate policy with regard to these companies.

The most important development for the chemical sector is the energy transition. In the coming years, there will be a transition in the use of raw materials and energy sources from fossil fuels to sustainable energy. As a result, the risks for workers can change, in a positive as well as negative sense.

An unfavourable economic situation or a deterioration in the competitive position of the Dutch chemical sector could motivate companies to implement cost savings. Generally speaking, cost savings can lead to working conditions becoming less safe.

Digitisation and automation will be implemented in the chemical sector on an increasingly larger scale. Generally speaking, this will result in the working environment becoming safer for workers. That is because they will increasingly be able to manage processes remotely, for example with robots. At the same time, unsafe situations can develop due to the chance of disturbances in ICT.

A steadily growing risk is the ageing of installations that have already been in operation for a long time. This requires effective management and maintenance of existing installations. Knowledge and organisations can also "age", in part due to the rapid pace of digital developments.

Keywords: chemical sector, Brzo (Major Accidents (Risks) Decree), energy transition, economic developments, occupational safety, digitisation, robotisation, sensor technology, Industry 4.0, cybercrime, ageing





## Inhoudsopgave

### **Samenvatting — 9**

#### **1 Inleiding — 11**

- 1.1 Inleiding — 11
- 1.2 Leeswijzer — 12

#### **2 Aanpak — 13**

- 2.1 Inleiding — 13
- 2.2 Verzameling van gegevens — 13
- 2.3 Selectie belangrijke ontwikkelingen — 14
- 2.4 Beschrijving belangrijke ontwikkelingen — 14

#### **3 Economische, politiek-bestuurlijke en sociaal-culturele ontwikkelingen — 15**

- 3.1 Economie — 15
- 3.2 Politiek/bestuurlijk — 16
- 3.3 Demografie en arbeidsmarkt — 17
- 3.4 Sociaal-culturele ontwikkelingen, ecologie en klimaat — 18

#### **4 Technologische ontwikkelingen — 19**

- 4.1 Digitalisering — 19
- 4.2 Sensoren — 20
- 4.3 Controle op afstand — 20
- 4.4 Cyberveiligheid en cybercriminaliteit — 20
- 4.5 Robotisering — 21
- 4.6 Procesintensificatie — 22
- 4.7 Nieuwe materialen: 3D-/4D-printen — 22

#### **5 Energietransitie — 23**

- 5.1 Elektrificatie — 25
- 5.2 Verschuiving gebruik grondstoffen — 25
  - 5.2.1 Afname gebruik fossiele brandstoffen — 25
  - 5.2.2 Biomassa — 26
  - 5.2.3 Waterstof — 26
  - 5.2.4 Ammoniak — 27
  - 5.2.5 Geothermie — 27
- 5.3 Recycling van grondstoffen — 27
  - 5.3.1 Recycling CO<sub>2</sub> in plaats van uitstoot — 27
  - 5.3.2 Materialen — 28
- 5.4 Koppelen van stofstromen (systeemintegratie) — 28

#### **6 Veroudering/vernieuwing — 29**

#### **7 Conclusies — 31**

#### **8 Referenties — 33**



## Samenvatting

Om goed voorbereid te zijn op de toekomst wil het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW) weten welke relevante ontwikkelingen in de toekomst te verwachten zijn. Daarbij wil het ministerie graag weten wat de invloed van deze ontwikkelingen is op de veiligheid bij bedrijven met grote hoeveelheden gevaarlijke stoffen. Hierbij gaat het bij het begrip 'veiligheid' in de eerste plaats over de veiligheid van werknemers. Kennis over deze ontwikkelingen helpt het ministerie van SZW bij de vorming van beleid ten aanzien van deze bedrijven.

Het RIVM heeft een brede toekomstverkenning uitgevoerd om deze ontwikkelingen en de invloed ervan op de veiligheid in kaart te brengen. De focus van het onderzoek ligt op bedrijven waar grote hoeveelheden gevaarlijke stoffen worden geproduceerd, verwerkt of opgeslagen. De verkenning richt zich in de eerste plaats op de periode 2020-2030, maar kijkt ook verder, tot 2050.

Het onderzoek richtte zich op beantwoording van de volgende vragen:

- Welke ontwikkelingen zijn tussen nu en 2030 (2050) te verwachten die van belang zijn voor de chemiesector?
- In welke mate zijn deze ontwikkelingen van invloed op de veiligheid in deze sector?

Voor het onderzoek zijn drie informatiebronnen gebruikt:

- literatuuronderzoek;
- brainstorm-/discussiesessies (binnen en buiten het RIVM);
- interviews met experts.

De voornaamste bevindingen uit het onderzoek zijn:

- De verwachte impact van de energietransitie op de chemiesector is groot. Echt grootschalige gevolgen zullen echter pas na 2030 merkbaar zijn. Veel processen in de industrie zullen worden geëlektrificeerd; hierdoor zullen minder fossiele brandstoffen gebruikt worden. De risico's verschuiven daarmee van brand- en explosiegevaar naar brand- en elektrocutiegevaar. De energietransitie leidt tot versnelde grootschalige toepassing van nieuwe technologieën. Dit kan zowel positieve als negatieve gevolgen hebben voor de veiligheid. De nationale en internationale wetgeving op het gebied van uitstoot van broeikasgassen zal van grote invloed zijn op de energietransitie van de industrie. Voor klimaatverandering is een snelle transitie gewenst. Een te snelle transitie heeft echter mogelijk negatieve gevolgen voor de veiligheid van nieuwe technieken en installaties, wanneer deze te snel in gebruik worden genomen. Doordat tijdelijk meerdere systemen naast elkaar bestaan, gebaseerd op fossiel en hernieuwbaar, is een tijdelijk piek te verwachten in het aantal incidenten.
- Handelsconflicten en politieke onzekerheden remmen de mondiale economie. Daarnaast hebben de maatregelen als gevolg van de COVID-19-uitbraak naar verwachting de komende jaren negatieve gevolgen voor de economie. Ook de groei van de

Nederlandse chemische industrie wordt geremd en de concurrentiepositie wordt verslechterd. Omdat de chemiesector zich bovendien aan het einde van de economische cyclus bevindt, is de komende jaren weinig groei te verwachten. Nederland zal zeker tot 2030 aantrekkelijk blijven voor olieraffinage. De Nederlandse raffinaderijen zijn efficiënt en liggen op een gunstige locatie. De prijzen van olie en gas worden sterk beïnvloed door de economie. Deze prijzen kunnen ook beïnvloed worden door het klimaatbeleid. De politieke druk op bedrijven om uitvoering te geven aan de energietransitie is hoog. Bedrijven komen hierdoor voor hoge kosten te staan. Kostenbesparing kan leiden tot meer onveiligheid.

- In de chemische industrie zullen digitalisering en automatisering op grote schaal gaan plaatsvinden. Installaties zullen meer en meer worden uitgerust met sensoren en zij zullen op afstand worden gemonitord en bestuurd. Robotisering zal een steeds grotere rol spelen. Daarnaast zullen processen en stofstromen steeds vaker gekoppeld worden, om de efficiëntie te vergroten, mede onder invloed van de energietransitie. De bijbehorende systemen zullen steeds vaker ook digitaal gekoppeld zijn en worden daarmee gevoeliger voor verstoring en cybercriminaliteit. Gezien de snelle (digitale) ontwikkelingen vormt veroudering van kennis en systemen een risico.
- Veroudering van installaties speelt een groeiende rol; veel chemische installaties bereiken het einde van hun levensduur. Ook veroudering van kennis en organisaties vormt een risico, mede door de steeds snellere digitale ontwikkelingen. Op korte termijn zullen efficiëntieverbetering en procesinnovaties op het gebied van onderhoud en asset management belangrijker zijn dan technologische innovaties. Als gevolg van de energietransitie is het mogelijk dat installaties die zich aan het einde van de levensduur bevinden niet worden ontmanteld (of eventueel herbouwd), maar worden gereviseerd en een andere functie krijgen, met mogelijke gevolgen voor de veiligheid.

# 1 Inleiding

## 1.1 Inleiding

De wereld verandert continu en de veranderingen volgen elkaar snel op. Klimaatverandering dwingt overheden, bedrijven en burgers tot een ingrijpende energietransitie. Macro-economische en politieke verschuivingen zijn van invloed op de wereldeconomie. Snelle technologische ontwikkelingen zorgen voortdurend voor nieuwe mogelijkheden in allerlei toepassingen.

Veel van deze ontwikkelingen zijn direct of indirect van invloed op de veiligheid rond grote chemiebedrijven. Zo zorgt de vervanging van fossiele brandstoffen door andere energiebronnen voor minder risicovolle handelingen met deze stoffen. Steeds geavanceerdere robots kunnen zwaar of gevaarlijk werk overnemen van mensen. Digitale systemen bieden nieuwe mogelijkheden voor procesvoering of voorraadbeheer, maar kunnen gevoelig zijn voor cybercriminaliteit.

Om goed voorbereid te zijn op de toekomst wil het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW) weten welke relevante ontwikkelingen in de toekomst te verwachten zijn. Daarbij wil het ministerie graag weten wat de invloed van deze ontwikkelingen is op de veiligheid bij bedrijven met grote hoeveelheden gevaarlijke stoffen. Kennis over deze ontwikkelingen helpt het ministerie van SZW bij de vorming van haar beleid ten aanzien van deze bedrijven.

Het RIVM heeft een brede toekomstverkenning uitgevoerd om deze ontwikkelingen en de invloed ervan op de veiligheid in kaart te brengen. De focus van het onderzoek ligt op bedrijven waar grote hoeveelheden gevaarlijke stoffen worden geproduceerd, verwerkt of opgeslagen. In dit rapport worden deze bedrijven verder aangeduid met 'de chemiesector'. Veel van deze bedrijven vallen onder het Besluit risico's zware ongevallen 2015<sup>1</sup>. De verkenning richt zich in de eerste plaats op de periode 2020-2030, maar kijkt ook verder, tot 2050.

Het onderzoek richt zich op de beantwoording van de volgende vragen:

- Welke ontwikkelingen zijn tussen nu en 2030 (2050) te verwachten, die van belang zijn voor de chemiesector?
- In welke mate zijn deze ontwikkelingen van invloed op de veiligheid in deze sector?

Hierbij gaat het bij het begrip 'veiligheid' in de eerste plaats over de veiligheid van werknemers. In dit onderzoek is hiervoor *het aantal arbeidsongevallen en/of de ernst van de arbeidsongevallen* als maatstaf gehanteerd.

<sup>1</sup> Het Besluit risico's zware ongevallen 2015 (Brzo 2015) is de Nederlandse invulling van de Europese Seveso III-richtlijn. Het doel van het Brzo 2015 is het voorkomen en beheersen van zware ongevallen met grote hoeveelheden gevaarlijke stoffen. Het Brzo 2015 integreert wetgeving op het gebied van arbeidsveiligheid, externe veiligheid en rampenbestrijding. Of een bedrijf onder het besluit valt wordt bepaald door de aanwezige hoeveelheden gevaarlijke stoffen en mengsels.

Omdat arbeidsveiligheid en externe veiligheid nauw met elkaar verbonden zijn, zeker bij de grotere chemiebedrijven, is in een aantal gevallen ook de invloed op de externe veiligheid beschouwd. Externe veiligheid beschouwt de risico's voor de omgeving rondom productie, gebruik, transport en opslag van gevaarlijke stoffen.

Een beperking van het onderzoek is dat het 'voorspellen' van de toekomst per definitie gekenmerkt wordt door veel onzekerheden. Deze onzekerheden kunnen worden verkleind door gebruik te maken van een aanpak op basis van bijvoorbeeld Delphi-studies of scenariodenken. Voor zo'n aanpak is dit onderzoek te beperkt van omvang. Eventueel vervolgonderzoek kan hier verder invulling aan geven. Hierbij kunnen ook de risico's van combinaties van ontwikkelingen bekeken worden.

## **1.2 Leeswijzer**

In dit rapport zijn de toekomstige ontwikkelingen geïdentificeerd die belangrijk zijn voor de veiligheid in de chemiesector. De ontwikkelingen zijn ingedeeld op hoofdthema's die elk in een apart hoofdstuk aan bod komen. Deze hoofdthema's geven de belangrijkste ontwikkelingen weer.

In hoofdstuk 2 is de aanpak van het onderzoek beschreven. De daarop volgende hoofdstukken beschrijven de hoofdthema's: economische, politiek-bestuurlijke en sociaal-culturele ontwikkelingen (hoofdstuk 3), technologische ontwikkelingen (hoofdstuk 4), energietransitie (hoofdstuk 5) en veroudering/vernieuwing (hoofdstuk 6). In hoofdstuk 7 wordt de conclusie weergegeven, met daarin de belangrijkste ontwikkelingen die naar verwachting de grootste invloed zullen hebben op de veiligheid in de chemiesector. Verder wordt ingegaan op de onderlinge samenhang tussen de hoofdthema's.

## 2 Aanpak

### 2.1 Inleiding

De nadruk van het onderzoek ligt op de breedte en niet zozeer op de diepte: geprobeerd is een zo compleet mogelijk overzicht te genereren van relevante ontwikkelingen, zonder deze ontwikkelingen gedetailleerd te beschrijven. In de rapportage wordt wel onderscheid gemaakt tussen belangrijke en minder belangrijke ontwikkelingen. In eventueel vervolgonderzoek kunnen bepaalde onderwerpen nader worden uitgediept.

Het onderzoek richt zich op beantwoording van de volgende vragen:

- Welke ontwikkelingen zijn tussen nu en 2030 (2050) te verwachten, die van belang zijn voor de chemiesector?
- In welke mate zijn deze ontwikkelingen van invloed op de veiligheid in deze sector?

### 2.2 Verzameling van gegevens

Voor het onderzoek zijn drie informatiebronnen gebruikt:

- literatuuronderzoek;
- brainstorm-/discussiesessies (binnen en buiten het RIVM);
- interviews met experts.

Op basis van een eerste inventarisatie van relevante literatuur is een groslijst opgesteld van mogelijk relevante ontwikkelingen. Hierbij is gebruikgemaakt van openbare (voornamelijk 'grijze') literatuur. Verder is gebruikgemaakt van een aantal aanverwante (lopende en afgeronde) onderzoeksprojecten binnen het RIVM.

De groslijst is gebruikt als basis voor een brainstormsessie in februari 2019, met circa vijftien RIVM-experts op het gebied van arbeids- en externe veiligheid. Het resultaat van deze sessie is gebruikt om de lijst uit te breiden en te verfijnen en om ontwikkelingen te clusteren. Hierbij ontstond een grove tweedeling tussen technologische ontwikkelingen en economische, politieke en sociale ontwikkelingen.

Voor verdere inventarisatie van de relevante technologische ontwikkelingen zijn op het Nationaal Congres BRZO<sup>2</sup> twee discussiesessies georganiseerd, met circa twintig deelnemers per sessie. De deelnemers waren vrijwel allemaal werkzaam in de Brzo-sector, of bij adviesbureaus actief in deze sector. Bij deze sessies is de focus gericht op de technologische ontwikkelingen, omdat de verwachting was dat de deelnemers hiervan de meeste kennis hadden. De technologische ontwikkelingen werden voor deze sessies geclusterd in hoofdthema's. De deelnemers aan de sessies werd gevraagd aan te geven:

- welke van deze technologische ontwikkelingen de komende tien jaar voor de grootste veranderingen gaan zorgen in de chemiesector;
- welke gevolgen de gekozen ontwikkelingen hebben voor de veiligheid in deze sector, waarbij als indicator voor veiligheid

<sup>2</sup> IIR. Nationaal Congres BRZO. Van der Valk Hotel, Utrecht, 28 mei 2019.

gebruikt is het aantal arbeidsongevallen en/of de ernst van de arbeidsongevallen.

Op de RIVM-netwerkdag Omgevingsveiligheid<sup>3</sup> zijn enkele deelnemers persoonlijk bevroegd aan de hand van dezelfde clustering van technologische ontwikkelingen met de bijbehorende vragen.

Voor verdere verdieping van een aantal onderwerpen is aanvullend literatuuronderzoek uitgevoerd. Verder zijn de volgende experts geïnterviewd:

- een economisch analist;
- een vergunningverlener;
- een risicoanalist uit de verzekeringsbranche.

### **2.3 Selectie belangrijke ontwikkelingen**

Uit de verzamelde gegevens heeft het onderzoeksteam de belangrijkste ontwikkelingen geselecteerd, namelijk die ontwikkelingen die in de literatuur, de sessies en de interviews het meest worden genoemd en waarvan wordt aangegeven dat deze naar verwachting een grote invloed zullen hebben op de veiligheid.

De resultaten van de gesprekken en het literatuuronderzoek zijn niet als zodanig in deze rapportage opgenomen, maar vormen de basis voor de beschrijvingen in de volgende hoofdstukken.

De rapportage beschrijft het beeld zoals dat naar voren komt uit de verzamelde informatie. Er is zo veel mogelijk geprobeerd om uitspraken gedaan tijdens de sessies en interviews te verifiëren aan de hand van literatuur. Het is echter niet uitgesloten dat de informatie in dit rapport soms 'gekleurd' is door bijvoorbeeld het referentiekader van de gesprekspartners.

### **2.4 Beschrijving belangrijke ontwikkelingen**

In de volgende hoofdstukken worden de ontwikkelingen beschreven die uit de literatuur en gesprekken als voornaamste naar voren zijn gekomen. De ontwikkelingen zijn hierbij ingedeeld in vier hoofdthema's:

- economische, politiek-bestuurlijke en sociaal-culturele ontwikkelingen;
- technologische ontwikkelingen;
- energietransitie;
- veroudering/vernieuwing.

Bepaalde ontwikkelingen hangen met elkaar samen. Waar relevant gaat de rapportage in op onderlinge samenhang.

Per hoofdthema wordt beschreven welke specifieke ontwikkelingen naar verwachting zullen plaatsvinden tussen nu en 2030, en eventueel daarna (tot 2050). Vervolgens wordt ingegaan op de verwachte positieve of negatieve gevolgen voor de veiligheid.

<sup>3</sup> Netwerkdag Omgevingsveiligheid, RIVM, 22 mei 2019.



### 3 Economische, politiek-bestuurlijke en sociaal-culturele ontwikkelingen

Dit hoofdstuk beschrijft een aantal economische, politiek-bestuurlijke en sociaal-culturele trends en ontwikkelingen die direct of indirect van invloed kunnen zijn op de veiligheid in de chemiesector. Het betreft de ontwikkelingen die uit de literatuur en gesprekken als voornaamste naar voren zijn gekomen (zie hoofdstuk 2).

#### 3.1 Economie

Veel economische ontwikkelingen zijn direct of indirect van invloed op bedrijven in de chemiesector. Bepaalde ontwikkelingen kunnen gevolgen hebben voor de veiligheid in deze sector.

Voor veel economische ontwikkelingen geldt dat de mogelijke impact op de veiligheid financieel gedreven is: in het algemeen zullen stijgende kosten leiden tot kostenbesparing. Wanneer hierbij wordt bezuinigd op veiligheid (bijvoorbeeld op het gebied van opleidingen of onderhoud), kan dit bijdragen aan meer onveiligheid [1].

De vestigingscondities voor de chemische industrie in Nederland blijven in de nabije toekomst gunstig, onder meer door de goede toegang tot het achterland en de efficiënte havens. Wel wordt de komende jaren slechts matige groei verwacht. Het groeipotentieel van het achterland is niet groot, doordat de bevolkingsgroei in Europa aan het afnemen is. Op de langere termijn zal de bevolking in Europa gaan krimpen, wat ook gevolgen zal hebben voor de aard en omvang van de chemiesector. Een lagere omzet van de bedrijven kan leiden tot kostenbesparingen, wat kan bijdragen aan meer onveiligheid [2] [3].

De toekomst van de wereldeconomie, en dus ook de Nederlandse economie, wordt in belangrijke mate beïnvloed door de energietransitie. Beleidsmatige en politieke keuzes spelen hierbij een rol (zie ook paragraaf 3.2). De komende 10 jaar leidt de energietransitie in de chemiesector naar verwachting nog niet tot een grootschalige omslag in de gebruikte grondstoffen. De komende jaren is vooral sprake van een verbetering in de efficiëntie van bestaande processen. Pas na 2030 zal sprake zijn van een significante vervanging van fossiele door hernieuwbare grondstoffen [4].

De verandering van processen vormt per definitie een veiligheidsissue. Wijzigingen in de procesvoering kunnen leiden tot introductie van nieuwe risico's of tot vergroting van bestaande risico's. Ook bij het opstarten van nieuwe processen vinden vaak incidenten plaats. Tijdens de transitie van fossiel naar hernieuwbaar zullen bovendien enige tijd twee systemen tegelijkertijd bestaan. Er is daarom een tijdelijke piek te verwachten in het aantal incidenten, onder meer doordat er nieuwe processen opgestart worden en er tijdelijk mogelijk een groter aantal installaties in gebruik is [5].

De olieraffinaderijen in Nederland behoren tot de efficiëntste van Europa. Nederland bevindt zich bovendien op een gunstige locatie voor de verwerking van olie; er is sprake van een verplaatsing van de raffinage van het achterland naar de kust. Om deze redenen zal de verwerking van olie in Nederland naar verwachting pas relatief laat stoppen. Biobased fuels spelen voorlopig nog geen grote rol.

De olie- en gasprijs is direct van invloed op de chemische industrie: bij stijgende prijzen wordt produceren duurder. De ontwikkeling van de olie- en gasprijs kan ook beïnvloed worden door een belasting op CO<sub>2</sub>-uitstoot.

In de opslagsector in Nederland is sprake van toenemende concurrentie, doordat de markt bestaat uit een klein aantal grote klanten. Sterke concurrentie kan ten koste gaan van de veiligheid.

Er zal naar verwachting een verdere clustering plaatsvinden van chemische activiteiten, binnen de zes bestaande clusters (Rotterdam-Rijnmond, Chemelot, Delfzijl, Zeeland, Emmen en Amsterdam) [3]. Er komen geen nieuwe locaties bij en er zal geen uitbreiding zijn van bestaande locaties nabij stedelijk gebied, zoals in de haven van Amsterdam. In het Klimaatakkoord [6] is voor de realisatie van de klimaatdoelen een belangrijke rol weggelegd voor de grote industriële clusters.

Als gevolg van economische ontwikkelingen krijgen bedrijfsterreinen een andere functie. Een productielocatie wordt bijvoorbeeld opnieuw ingericht, nu als opslaglocatie. Gevolgen van zulke wijzigingen voor de veiligheid hangen af van de specifieke activiteit.

Veel procesinstallaties in Nederland zijn verouderd. Er komen relatief weinig nieuwe installaties bij. Een gebrek aan vernieuwing kan een bedreiging vormen voor de levensvatbaarheid van de chemiesector. De productiekosten zullen in de (nabije) toekomst hoger zijn dan in andere landen, zoals de VS, ook als gevolg van de stijgende energiekosten [3].

### **3.2 Politiek/bestuurlijk**

Handelsconflicten, met name tussen de VS en China, leiden nu en in de nabije toekomst tot grote onzekerheden. De afnemende begrotingsimpuls in de VS en de structureel lagere Chinese groei remmen de wereldeconomie. In Europa spelen zorgen over de Brexit, de Duitse industrie en de politieke situatie in Italië. De groei van de wereldhandel wordt in 2020, en waarschijnlijk ook daarna, gedrukt door onzekerheid rond het handelsbeleid en de COVID-19-uitbraak [7]. Ook de groei van de Nederlandse industrie wordt hierdoor geremd en de concurrentiepositie wordt verslechterd. De chemiesector bevindt zich bovendien aan het einde van de economische cyclus (na een periode van economische groei volgt in het algemeen een periode van krimp). Om bovenstaande redenen is de komende jaren weinig groei te verwachten [3]. Daarnaast hebben de maatregelen als gevolg van de COVID-19-uitbraak naar verwachting de komende jaren negatieve gevolgen voor de nationale en de mondiale economie [8].

Beleidsmatige en politieke keuzes spelen bij de energietransitie een grote rol. De politieke druk op bedrijven om uitvoering te geven aan deze transitie is hoog. Bedrijven komen hierdoor voor hoge kosten te staan, waardoor veiligheid mogelijk minder aandacht zal krijgen. Een zogenaamde vlakke heffing op de uitstoot van broeikasgassen (dat wil zeggen een vaste heffing op elke ton broeikasgas die een bedrijf uitstoot) zal leiden tot hogere kosten voor de chemiesector dan alleen een heffing op overschrijding van opgelegde reductiedoelen. Ook het beleid rond de uitstoot van stikstof heeft potentieel grote gevolgen voor de sector, mogelijk al op korte termijn. Al verleende vergunningen voor bouwprojecten moeten mogelijk opnieuw worden doorgelicht. Dit zorgt voor vertraging en kan leiden tot een lagere investeringsbereidheid.

Wanneer het nationale beleid afwijkt van dat in omliggende landen en andere delen van de wereld, kan dit een belemmerend effect hebben op de economie. Op dit moment is er onzekerheid over het toekomstige klimaatbeleid. Zo wordt waarschijnlijk de heffing op CO<sub>2</sub> uitgesteld, vanwege COVID-19 (mei 2020). Deze onzekerheid kan eraan bijdragen dat de chemiesector momenteel een afwachtende houding vertoont. De afgelopen periode is er weinig geïnvesteerd. Zolang investeringen uitblijven, zal gebruik blijven worden gemaakt van de bestaande installaties. Daarnaast zal door de onzekerheid in het klimaatbeleid de overgang naar nieuwere, duurzamere installaties nog niet gemaakt worden. Deze ontwikkelingen kunnen daardoor leiden tot meer onveiligheid. De verwachting is dat de investeringen zullen toenemen als de omstandigheden het toelaten.

### **3.3 Demografie en arbeidsmarkt**

Nederland heeft een gunstige concurrentiepositie, mede dankzij de relatief hoogopgeleide beroepsbevolking. Human capital wordt steeds vaker gezien als een belangrijke productiefactor die van grote waarde is voor de Nederlandse economie [9].

De vergrijzing in Nederland vormt een risico, doordat deze (mede) zorgt voor een krimpende beroepsbevolking [9]. Voor de lange termijn verwacht men in Nederland een tekort aan arbeidskrachten in de IT- en zorgsector en in technische beroepen. Dit gebrek aan geschoold personeel heeft naar verwachting negatieve gevolgen voor de veiligheid [9] (zie ook hoofdstuk 6). Dit geldt niet alleen voor de bedrijven zelf, maar ook voor vergunningverleners, inspecteurs en handhavers.

Een toenemend aantal migranten als gevolg van verdere globalisering kan tot meer onveiligheid leiden bij onvoldoende aandacht voor taalbarrières en cultuurverschillen.

De toenemende flexibilisering van arbeid kan leiden tot verhoogde arbeidsparticipatie, maar kan ook de kans op stress vergroten doordat de grenzen tussen werk en privé vervagen [9], [10]. Hetzelfde geldt voor nachtwerk. Dit heeft een negatief effect op de gezondheid en veiligheid van werknemers. Ook de veranderende werkomstandigheden als gevolg van COVID-19, ook op langere termijn, zouden hieraan kunnen bijdragen.

### **3.4 Sociaal-culturele ontwikkelingen, ecologie en klimaat**

Consumentengedrag kan een factor zijn in de verduurzaming en de energietransitie, doordat consumenten bijvoorbeeld bereid zijn om extra te betalen voor duurzame producten, om zonnepanelen aan te schaffen of minder te vliegen [11]. Sociaal-culturele factoren hebben ook invloed op de politiek bij het stimuleren van de energietransitie. De belangrijkste technologieën om de energietransitie tot stand te brengen worden beschreven in hoofdstuk 5.

Een snelle transitie naar andere producten kan druk leggen op bedrijven en processen. Wanneer nieuwe processen en producten niet uitgebreid worden getest, kunnen deze een risico vormen voor de veiligheid. Wanneer een machine, die gebruikt wordt in een proces, bijvoorbeeld niet goed is getest of afgesteld, kan deze een risico vormen voor de werknemer [11], [12], [13].

Burgers zijn steeds beter geïnformeerd doordat informatie op internet makkelijk te verkrijgen is. Daarnaast worden burgers steeds mondiger, onder andere via sociale media. Dit heeft soms gevolgen voor de maatschappelijke acceptatie van risico's.

Criminaliteit verschuift deels van de fysieke wereld naar de virtuele wereld. De risico's van cybercriminaliteit worden beschreven in paragraaf 4.4.

Extreem weer als gevolg van klimaatverandering zou van invloed kunnen zijn op de veiligheid. Zo kan verdroging leiden tot bodemverzakkingen, waardoor installaties en leidingen kunnen beschadigen. Ook door overstromingen of grote stormen kunnen installaties beschadigd raken.

## 4 Technologische ontwikkelingen

Technologische ontwikkelingen leiden tot steeds weer nieuwe mogelijkheden op allerlei gebied. Ook in de chemiesector zorgen technologische innovaties voor grote veranderingen in bijvoorbeeld de uitvoering en aansturing van processen. Deze veranderingen kunnen de veiligheid positief, maar ook negatief beïnvloeden.

### 4.1 Digitalisering

De hele maatschappij is sterk gedigitaliseerd, en de trend naar steeds verdere digitalisering zal zich de komende jaren voortzetten. Digitalisering in de industrie wordt vaak aangeduid met de 'vierde industriële revolutie', ook wel *Industrie 4.0* of *smart industry* genoemd. Deze kenmerkt zich door het vervagen van de grenzen tussen de fysieke en de digitale wereld [11].

De essentie van Industrie 4.0 is een steeds verdere automatisering van (productie)processen, gebaseerd op uitwisseling van gegevens. Hierbij spelen verschillende technologische concepten een rol, zoals 'cyber-physical systems' (CPS), 'internet of things' (IoT), 'augmented reality', 'big data', 'cloud computing' en 'artificial intelligence' (AI) [11]. In 'slimme fabrieken' ('smart factories') monitoren CPS-systemen de fysieke processen, creëren ze hier een virtuele kopie van en nemen ze zelfstandig beslissingen. De CPS-systemen kunnen (draadloos) via het 'internet of things' communiceren en samenwerken met elkaar en met mensen.

Nederland behoort tot de landen die goed gepositioneerd zijn om te kunnen profiteren van Industrie 4.0 [14]. Nederlandse bedrijven zijn echter vooralsnog terughoudend in het benutten van de kansen. Het merendeel van de bedrijven ziet zichzelf als een 'digitale beginner' [15]. Maar er zijn wel ambities: volgens de 'Smart Industry Implementatieagenda 2018-2021' [14] moet Nederland in 2021 het meest flexibele en het beste digitaal verbonden productienetwerk van Europa hebben.

Digitalisering zal de komende 10 jaar waarschijnlijk zorgen voor grote veranderingen in de aard en de organisatie van werk [12]. Dit kan leiden tot grotere productiviteit, maar ook tot een verschuiving in de arbeidsmarkt, als gevolg van een afnemende behoefte aan lager opgeleid personeel.

Gezien de snelheid van de digitale ontwikkelingen en de toenemende complexiteit van de systemen en processen, vormt veroudering van kennis bij Industrie 4.0 een belangrijk risico [12], [16]. De kennis die nodig is om de systemen te bedienen en onderhouden is complex.

Traditionele opleidingen en instructies kunnen de snelle technologische ontwikkelingen moeilijk bijbenen. Maar de digitale technologie biedt ook kansen op het gebied van opleiding en training. Met behulp van 'augmented reality' kan bijvoorbeeld informatie op een meer 'hands on',

realistische manier worden aangeboden. Hetzelfde geldt voor de reguliere werksituatie.

De toenemende afhankelijkheid van steeds complexere digitale systemen maakt de potentiële impact van verstoringen van deze systemen groter, ook op het gebied van veiligheid in de fysieke werkomgeving.

Anderzijds bieden ook hier de digitale ontwikkelingen kansen voor verbetering van de veiligheid. De actuele status van machines, processen en locaties kan steeds beter worden gemonitord. Dit geeft bedrijven meer mogelijkheden potentiële veiligheidsissues tijdig te voorspellen en erop te reageren. Op de persoon gedragen sensoren kunnen de persoonlijke veiligheid van werknemers verbeteren. Dit kan doordat deze sensoren voortdurend plaatselijke omgevingskenmerken monitoren, zoals concentraties gevaarlijke stoffen, of doordat ze op de persoon toegesneden informatie leveren, bijvoorbeeld over de gezondheid van een werknemer of wanneer een werknemer pauze moet nemen.

Cybercriminaliteit vormt echter een toenemend risico voor verstoring van digitale systemen (zie ook paragraaf 4.4).

## **4.2 Sensoren**

Sensoren worden en zullen op veel verschillende manieren en plekken worden ingezet. Met behulp van sensoren kunnen (chemische) processen worden gemonitord, waardoor controle op afstand mogelijk wordt.

Ook werknemers kunnen worden uitgerust met sensoren. Sensoren kunnen bijvoorbeeld de blootstelling aan gevaarlijke stoffen en fijnstof meten. Hierdoor kan een werknemer tijdig gewaarschuwd worden wanneer de blootstelling te hoog wordt en zal het veiliger worden voor de werknemer. Met sensoren kunnen ook de conditie en gezondheid van de werknemer gevolgd worden. Het meten van de gezondheid van de werknemer kan echter ook inbreuk maken op de privacy van de werknemer [17], [9].

## **4.3 Controle op afstand**

Door de ontwikkelingen op het gebied van digitalisering en sensortechnologie (zie paragraaf 4.1 en 4.2) zijn er steeds meer mogelijkheden voor monitoring van processen op afstand, dat wil zeggen dat de controlekamer zich op een andere locatie bevindt dan de daadwerkelijke productie. Dit heeft enerzijds een positieve invloed op de veiligheid, doordat proces en werknemer meer gescheiden zijn. Anderzijds zijn dergelijke systemen gevoeliger voor verstoring [18]. Veroudering van kennis van de werknemer kan een risico vormen wanneer deze onvoldoende kennis heeft van het fysieke of digitale systeem om adequaat te kunnen ingrijpen.

## **4.4 Cyberveiligheid en cybercriminaliteit**

Met het toenemende gebruik van digitale technologie (zie paragraaf 4.1) ontstaan ook nieuwe kwetsbaarheden. De chemiesector kan worden getroffen door (al dan niet moedwillige) verstoringen, doordat controlesystemen voor bijvoorbeeld productie en opslag kunnen worden verstoord of doordat veiligheidsvoorzieningen niet meer functioneren.

Cybercriminaliteit vormt een groeiend probleem in alle sectoren, dus ook in de chemiesector. Moedwillige inbreuk op digitale systemen kan grote economische schade en maatschappelijke verstoring veroorzaken, zoals in de Rotterdamse haven bij de aanval met NotPetya-malware in 2016 [19].

Voor de omgang met incidenten in de fysieke wereld bestaan een uitgebreide crisisorganisatie en allerlei voorzieningen en wettelijke regels. Deze ontbreken grotendeels voor incidenten in de digitale wereld. De infrastructuur is onvoldoende beveiligd tegen digitale dreigingen en er is geen helder perspectief hoe te handelen als het misgaat. Online criminaliteit groeit sterk ten opzichte van offline criminaliteit, maar opsporing en handhaving blijven achter door een gebrek aan middelen, mensen en kennis [18], [20].

Veel bedrijven in de chemiesector werken nog met verouderde software vanwege de aansluiting op de software voor de procesvoering (ICS<sup>4</sup>). Hierdoor zijn de systemen gevoeliger voor cybercriminaliteit.

Bij de omgang met cybercriminaliteit zijn de volgende uitdagingen relevant [18]:

- de sterke verwevenheid van het fysieke en het digitale domein;
- de kwetsbaarheid voor nieuwe typen verstoring, vanwege instabiele en vaak slecht beveiligde software en hardware, en de complexe en grensoverschrijdende toeleverings- en productieketens;
- de afhankelijkheid voor publieke voorzieningen van private partijen, die in veel gevallen vanuit het buitenland opereren;
- het grensoverschrijdende karakter.

#### 4.5 Robotisering

De robotindustrie maakt een snelle ontwikkeling door [21]. De robots die momenteel nog op grote schaal worden gebruikt in de industrie staan over het algemeen in een gecontroleerde omgeving, voeren repetitieve en voorgeprogrammeerde taken uit, hebben geen directe interactie met personen en kunnen zich nog niet zelf aanpassen aan nieuwe situaties. In de (nabije) toekomst zullen robots steeds vaker menselijke arbeid gaan overnemen en/of ondersteunen. Ook wordt de programmering van industriële robots steeds complexer en gaan robots steeds meer en complexere taken autonoom uitvoeren. Deze robots kunnen met sensoren hun omgeving 'waarnemen' en daarop anticiperen en reageren (zie ook paragraaf 4.1). Ze zijn zelflerend en kunnen zich zelfstandig bewegen in de ruimte. Onder meer Automatisch Geleide Voertuigen (AGV's) opereren steeds meer autonoom.

Robotisering zorgt enerzijds voor meer veiligheid, doordat robots gevaarlijk, zwaar of saai werk kunnen overnemen. Anderzijds kunnen nieuwe risico's ontstaan. Het gebruik van collaboratieve robots ('cobots'), die niet meer beperkt zijn tot een vaste locatie of een kooi maar die de arbeidsvloer met hun menselijke collega's delen, is op dit moment nog

<sup>4</sup> Industriële controlesystemen zijn meet- en regelsystemen, bijvoorbeeld voor de aansturing van industriële processen of gebouwbeheersystemen. ICS verzamelen en verwerken meet- en regelsignalen van sensoren in fysieke systemen en regelen de aansturing van de bijbehorende machines of apparaten.

bepikt. De verwachting is dat dit gebruik in de nabije toekomst zal toenemen, onder meer in de (interne) logistiek [21]. Van oudsher zijn weinig ongevallen bekend tussen robots en personen [22]. Met de komst van cobots wordt het risico op letsel als direct gevolg van een botsing tussen mens en robot groter. Ook indirecte arbeidsveiligheidsrisico's kunnen toenemen, doordat robots apparatuur meedragen die gevaarlijk is voor medewerkers in hun omgeving. Voorbeelden hiervan zijn lasers, stralingsbronnen, laselektroden en mechanische apparatuur [22]. Ook kan er risico op letsel ontstaan als cobots/robots zich bewegen in omgevingen met grote hoeveelheden gevaarlijke stoffen.

Om deze gevaren te voorkomen zullen cobots zich bewust moeten zijn van zichzelf, van de omgeving en van de mensen (en hun gedrag) in de omgeving. Dit bewustzijn zorgt ervoor dat de cobot zichzelf kan managen en evalueren, en op die manier met verrassende en nieuwe situaties kan omgaan. Cobots moeten daarnaast gezamenlijke doelen kunnen stellen, werkafspraken kunnen maken en uitleg kunnen geven. De rol van mensen zal hierdoor ook veranderen; ze moeten cobots kunnen voorzien van taken, doelen, werkafspraken en restricties [23].

#### **4.6 Procesintensificatie**

Procesintensificatie is het toepassen van nieuwe benaderingswijzen in het proces- en installatieontwerp met het doel om efficiënter om te gaan met (fossiele) energiedragers, grondstoffen en materialen. Naast deze primair bedrijfsmatige voordelen kan procesintensificatie ook een manier zijn om industriële processen met gevaarlijke stoffen aan de voorkant inherent veiliger te maken. Een efficiënter en veiliger proces- of installatieontwerp draagt in potentie bij aan het verminderen van de veiligheidsrisico's, zowel door de effecten van ongevalsscenario's met gevaarlijke stoffen te beperken als door de kans van optreden van deze ongevalsscenario's te verkleinen. Omdat procesintensificatie ook kan leiden tot in omvang kleinere chemische installaties in vergelijking tot conventionele installaties, biedt de nieuwe procesintensificatie-technologie de flexibiliteit om kleinere productie-eenheden te realiseren in de directe nabijheid van de afnemer van de producten. Een dergelijke ontwikkeling vermindert het transport van gevaarlijke stoffen en de risico's die daarmee samenhangen.

Procesintensificatie kan de veiligheid ook negatief beïnvloeden. Zo kan het leiden tot een meer complexe procesvoering [24].

#### **4.7 Nieuwe materialen: 3D-/4D-printen**

Steeds meer voorwerpen kunnen gemaakt worden met een 3D-printer. Het voordeel hiervan is dat onderdelen ter plekke gemaakt kunnen worden. Ze hoeven niet meer besteld en getransporteerd te worden. De eigenschappen van de materialen en de daarmee gemaakte voorwerpen zijn wellicht niet altijd bekend. Dit kan betekenen dat de kwaliteit van de geprinte onderdelen onvoldoende is voor de toepassing, indien deze niet goed getest is.



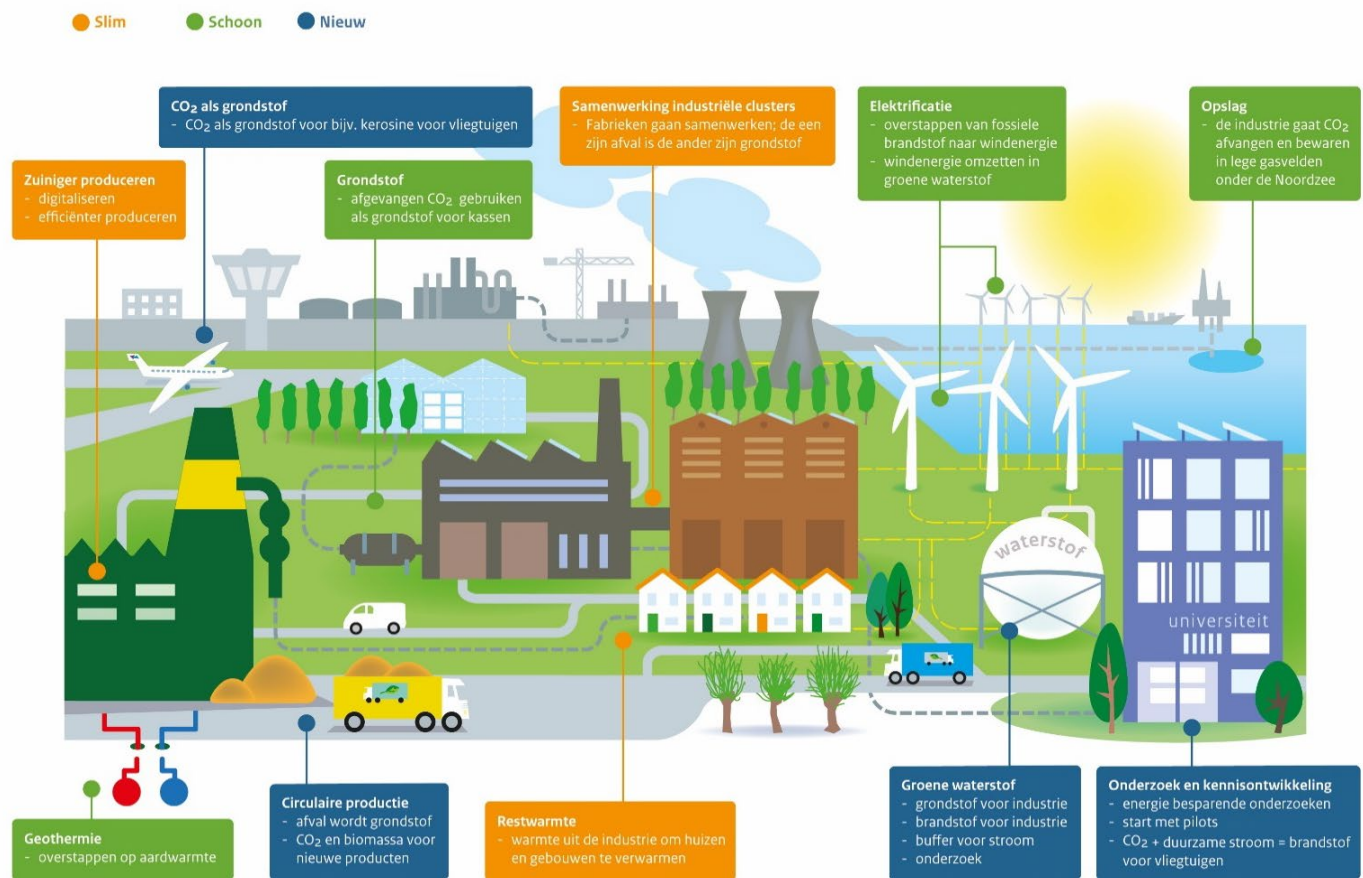
## 5 Energietransitie

De energietransitie speelt op elk vlak in de samenleving een rol. Op alle vlakken zullen minder broeikasgassen moeten worden uitgestoten, zoals afgesproken in het Klimaatakkoord [6] en in de Europese klimaatwetgeving [25]. Aan de Klimaattafel Industrie zijn afspraken gemaakt over hoe de industrie de transitie kan maken naar het gebruik van duurzame energie en grondstoffen.

In Figuur 1 worden de belangrijkste ontwikkelingen weergegeven op het gebied van de energietransitie voor de industrie. Deze ontwikkelingen zijn daarom relevant voor de chemiesector. De belangrijkste ontwikkelingen die zullen plaatsvinden door de energietransitie zijn:

- elektrificatie;
- verschuiving van het gebruik van grondstoffen;
- recycling van CO<sub>2</sub> en materialen;
- koppelen van stofstromen (systeemintegratie).

In dit hoofdstuk worden deze ontwikkelingen verder toegelicht en wordt beschreven wat deze ontwikkelingen betekenen voor de veiligheid.



**INDUSTRIE** 

Figuur 1 Visuele weergave van de energietransitie voor de industrie  
(bron: <https://www.klimaatakkoord.nl/industrie>)

## 5.1 Elektrificatie

Om het gebruik van fossiele energiebronnen terug te kunnen dringen zullen onder andere meer processen moeten worden geëlektrificeerd. Daarbij moet deze elektriciteit groen worden opgewekt door middel van bijvoorbeeld zon en wind. Veel processen, zoals verwarming van processen, gebeurt op dit moment door verbranding van aardgas. Deze processen zullen gebruik moeten gaan maken van elektriciteit. Hierdoor zal meer gewerkt worden met hoogspanning. De elektrische energie zal wellicht ook opgeslagen worden in grote batterijen. Het werken met hoogspanning brengt risico's met zich mee, zoals elektrocutie. Ook het werken met batterijen kan voor onveiligheid zorgen. Bij een lekkage of brand van een batterijsysteem kunnen bijvoorbeeld giftige stoffen vrijkomen. De batterijenindustrie verandert snel; er komen regelmatig nieuwe typen batterijen op de markt met specifieke eigenschappen en gevaren.

Bij het gebruik van elektrische energie zullen er ook meer (en sterkere) elektromagnetische velden aanwezig zijn, wat gevolgen kan hebben voor de gezondheid van werknemers. Warmte wordt nu veelal opgewekt door middel van verbranding van fossiele brandstoffen. Warmte zal steeds meer worden opgewekt met behulp van elektriciteit, maar kan ook uit andere bronnen komen, zoals geothermie (zie paragraaf 5.2.5).

Zonnepanelen kunnen elektrische gevaren veroorzaken en kunnen betrokken raken bij brand door externe oorzaak (brand in/aan het gebouw) of door een interne oorzaak (vlamboog). Dit laatste wordt in de meeste gevallen veroorzaakt door installatie-, productie- of ontwerpfouten. Bij een brand met zonnepanelen kunnen giftige stoffen vrijkomen [26].

Behalve de industrie zullen ook particuliere huishoudens steeds meer gebruikmaken van elektriciteit, voor onder meer verwarming en het opladen van elektrische auto's. Deze toename kan leiden tot overbelasting van het elektriciteitsnetwerk, wat kan leiden tot uitval. Deze uitval zal naar verwachting vaker gaan plaatsvinden wanneer het netwerk niet is aangepast op deze toename [5]. Daarnaast zullen ook veel systemen digitaal worden aangestuurd, wat de systemen gevoeliger maakt voor verstoring (zie paragraaf 4.1). Het uitvallen van de elektriciteitsvoorziening zorgt voor risico's, zeker wanneer geen noodvoorzieningen aanwezig zijn.

Door elektrificatie zullen fossiele brandstoffen in de processen minder gebruikt worden voor het opwekken van energie en warmte. Hierdoor verdwijnen er ook risico's, zoals beschreven in de volgende paragraaf.

## 5.2 Verschuiving gebruik grondstoffen

### 5.2.1 *Afname gebruik fossiele brandstoffen*

Het gebruik van aardolie als brandstof (opwekking van energie) zal afnemen. Het energiegebruik zal grotendeels elektrisch worden, opgewekt door middel van zon en wind [4]. Ook kerncentrales (gebaseerd op uranium of thorium) zouden kunnen worden gebruikt voor het CO<sub>2</sub>-vrij opwekken van elektriciteit. De verwachting is dat reactoren op basis van thorium de komende decennia geen rol van

betekenis zullen spelen, omdat de kennis er nog niet is om de reactoren te ontwerpen en te bouwen.

Aardolie zal waarschijnlijk wel in gebruik blijven voor de productie van chemicaliën. De risico's rondom fossiele producten zullen dus waarschijnlijk blijven bestaan, maar zullen, door de schaalvermindering, op de lange termijn sterk afnemen. De verwachting is dat voorlopig (de komende 10 à 20 jaar) de raffinage en het gebruik van aardolie(producten) nog niet sterk zullen afnemen. Raffinage van aardolie zal naar verwachting nog enige tijd in Nederland plaatsvinden door onder andere de gunstige ligging van de raffinaderijen, zoals ook beschreven in paragraaf 3.1.

Een verminderd gebruik van fossiele brandstoffen als aardolie(producten) en aardgas zal zorgen voor een veiligere werkomgeving [27]. Voor deze stoffen komen echter andere stoffen en energiebronnen in de plaats. Deze zullen andere en nieuwe risico's met zich meebrengen. Deze risico's worden besproken in de volgende paragrafen.

#### 5.2.2 *Biomassa*

In het klimaatakkoord [6] wordt biomassa genoemd als hernieuwbare energiebron en als mogelijke vervanger van grondstoffen die nu uit aardolie en aardgas worden gemaakt. De uitstoot van onder meer CO<sub>2</sub> door biomassacentrales kan hoger zijn dan door kolengestookte centrales [28].

Een toename van de toepassing van biovergistingsinstallaties in de agrarische sector en andere sectoren kan leiden tot meer onveiligheid voor werknemers en voor de omgeving, in de vorm van brand, (stof)explosie en het vrijkomen van giftige stoffen, zoals H<sub>2</sub>S [26], [29].

#### 5.2.3 *Waterstof*

Waterstof zal waarschijnlijk een belangrijke energiedrager worden. Waterstof kan schoon worden geproduceerd door middel van elektrolyse uit water. Dit zal echter pas over langere tijd op grote schaal gebeuren. De komende jaren zal waterstof nog voornamelijk uit aardgas geproduceerd worden. De CO<sub>2</sub> die hierbij wordt geproduceerd kan eventueel worden opgeslagen of hergebruikt voor de productie van chemicaliën. Toenemend gebruik van waterstof als brandstof voor auto's en andere voertuigen zal zorgen voor een toename van waterstoftankstations. Totdat alle voertuigen gebruikmaken van een duurzame energiebron, zullen er ook veel tankstations zijn die verschillende soorten brandstoffen (benzine, diesel, LPG, CNG, H<sub>2</sub>) aanbieden. De risico's van het naast elkaar aanbieden en opslaan van deze brandstoffen zijn grotendeels onbekend. Er lopen initiatieven om deze risico's beter in kaart te brengen.

Waterstof kan, bijvoorbeeld met CO<sub>2</sub>, ook gebruikt worden voor de productie van chemicaliën. Daarnaast kan waterstof gebruikt worden voor het verwarmen van processen, bijvoorbeeld in plaats van aardgas.

De voornaamste (arbeids)risico's bij het vrijkomen van waterstof zijn brand, explosie en verstikking bij onvoldoende ventilatie. Een risico bij het gebruik van cryogeen waterstof is dat bij contact met de stof of de

leiding vrieswonden kunnen ontstaan. Deze risico's zijn ook aanwezig bij het gebruik van cryogeen ammoniak en CO<sub>2</sub>. Waterstof kan in contact met ongeschikte materialen (bijvoorbeeld koolstofstaal, rubber, plastics) verbrossing van deze materialen veroorzaken, waardoor (delen van) installaties kunnen falen [30].

#### 5.2.4 *Ammoniak*

Het gebruik van waterstof zal, zoals eerder beschreven, toenemen. De opslag van waterstof vergt hoge drukken om het gas te kunnen comprimeren tot vloeistof. Een alternatief voor de opslag van puur waterstof is de opslag in de vorm van ammoniak. Ammoniak wordt ook gebruikt als koudemiddel. Met de verdere uitfasering van synthetische koudemiddelen zal het gebruik van ammoniak voor koeling toenemen. Ammoniak is een toxische stof die bij vrijkomen schadelijke effecten kan hebben op werknemers en mensen in de omgeving [31].

#### 5.2.5 *Geothermie*

Geothermie gebruikt aardwarmte voor het opwekken van energie of voor verwarming/koeling. Risico's verbonden aan geothermie-systemen zijn het vrijkomen van heet water onder druk, het vrijkomen van gevaarlijke gassen die met het hete water meekomen (met name H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S en CO<sub>2</sub>) of die vrijkomen onder hoge druk tijdens boorwerkzaamheden ('blow out'). Het opgepompte water kan onzuiverheden bevatten (silicium, boor), die schadelijk kunnen zijn voor het milieu en de gezondheid.

Om koudere geothermische bronnen te benutten, kan worden gebruikgemaakt van een zogenaamde 'binary cycle'-installatie. In dit type installatie wordt in een warmtewisselaar een vloeistof met een laag kookpunt verdampt. Hiermee wordt vervolgens een turbine aangedreven, waarmee elektriciteit wordt opgewekt. In deze installaties worden daarom vaak grote hoeveelheden brandbare stoffen opgeslagen, zoals pentaan [26].

### 5.3 **Recycling van grondstoffen**

#### 5.3.1 *Recycling CO<sub>2</sub> in plaats van uitstoot*

In het klimaatakkoord is circulaire economie een belangrijke factor om de uitstoot van koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) voldoende terug te dringen [6]. De uitstoot van CO<sub>2</sub> zal de komende jaren moeten worden verminderd. Deels zal dit gebeuren door verminderd gebruik van fossiele brandstoffen. Om de uitstoot van CO<sub>2</sub> te verminderen kan het ook worden opgeslagen of worden hergebruikt. CO<sub>2</sub> zal waarschijnlijk ondergronds worden opgeslagen, waardoor het transport van CO<sub>2</sub> toeneemt. CO<sub>2</sub> kan ook worden opgevangen en worden gebruikt (recycling) in combinatie met waterstof, en voor de productie van andere chemicaliën, zoals methaan, methanol en alkanen en alkenen (gebruik voor onder andere benzine/kerosine en plastics). Daarnaast wordt CO<sub>2</sub> in toenemende mate gebruikt als koelmiddel, ter vervanging van synthetische middelen. Deze toepassing van CO<sub>2</sub> brengt nieuwe risico's met zich mee voor de industriële gebruiker, vanwege de toxische en kleur-/geurloze eigenschappen.

### 5.3.2 *Materialen*

Materialen en producten zullen in 2050 zo veel mogelijk moeten worden hergebruikt [6]. De economie zal circulair moeten worden. Hierbij valt te denken aan de recycling van Li-ion batterijen en zonnecellen. In een recent rapport van het RIVM is beschreven dat veel van deze producten zeer zorgwekkende stoffen (ZZS) kunnen bevatten. Bij verwerking van producten tot nieuwe producten en grondstoffen kunnen werknemers worden blootgesteld aan deze ZZS [32].

Recycling van bijvoorbeeld Li-ionbatterijen of zonnecellen vindt nu vaak op kleine schaal plaats. De bedrijven die deze producten en materialen verwerken vallen daarom vaak niet onder de Brzo-wetgeving. In de toekomst vindt waarschijnlijk schaalvergroting van deze recyclingprocessen plaats. Hiermee komen deze bedrijven in de toekomst wellicht wel onder de Brzo- of andere wetgeving te vallen.

## 5.4 **Koppelen van stofstromen (systeemintegratie)**

Een stofstroom kan voor het ene bedrijf een afvalstroom zijn, waar het andere bedrijf de grondstof goed kan gebruiken. Voor chemische bedrijven geldt dit laatste: dit zijn bijvoorbeeld waterstof en CO<sub>2</sub>. Het transporteren van stofstromen gebeurt al voor bijvoorbeeld waterstof (leiding Yara) en CO<sub>2</sub>. CO<sub>2</sub> en warmte die geproduceerd worden door bedrijven worden bijvoorbeeld gebruikt in de glastuinbouw. Het koppelen van dit soort systemen en stofstromen zal zeer waarschijnlijk verder toenemen en is ook beschreven in het klimaatakkoord [6]. Het transport van (gevaarlijke) stoffen neemt hierdoor toe of komt in de plaats van het transport van bijvoorbeeld aardgas. Dit transport zal vaak door buisleidingen plaatsvinden, en is relatief veilig. Wellicht neemt het transport van de betreffende stof over bijvoorbeeld weg, water of spoor af. Het delen van stofstromen kan ook de productie of opslag van de betreffende stof op de ontvangstlocatie verminderen. Hierdoor lopen werknemers minder risico doordat minder grote hoeveelheden aanwezig zijn.

Het vergroten van afhankelijkheden brengt ook risico's met zich mee. De systemen zullen niet alleen fysiek met elkaar verbonden zijn, maar ook digitaal. Deze digitale koppeling maakt de systemen kwetsbaarder voor (ver)storingen in het netwerk.

## 6 Veroudering/vernieuwing

Ongeveer 30 procent van de grootschalige incidenten met gevaarlijke stoffen bij Brzo-bedrijven wordt (mede) veroorzaakt door verouderde installaties [33], [34]. Dit percentage kan in de nabije toekomst stijgen, doordat veel installaties richting het einde van hun levensduur gaan.

Dit zorgt onder meer voor een groeiende aandacht voor geavanceerd onderhoud. Hoewel technologische innovaties over het algemeen meer aandacht krijgen, zijn procesinnovaties in de chemiesector de komende jaren belangrijker [35]. Voorbeelden zijn:

- condition-based maintenance/risk-based maintenance;
- degradatiemodellen voor het bepalen van de resterende levensduur van installaties;
- asset portfolio management: het managen van de huidige en verwachte kosten en prestaties van installaties.

Cultuur-/gedragsverandering en kennismanagement worden beschouwd als belangrijke randvoorwaarden voor succesvolle innovaties op het gebied van onderhoud. Innovatie van onderhoud is daarom afhankelijk van innovaties op andere gebieden zoals ICT, 'finance' en HRM [35].

Als gevolg van de energietransitie is het mogelijk dat installaties die zich aan het einde van de levensduur bevinden niet worden ontmanteld en eventueel herbouwd, maar worden gereviseerd en een andere functie krijgen. Bij hergebruik van deze installaties zal de veiligheid moeten worden gewaarborgd.





## 7 Conclusies

Het RIVM heeft in opdracht van het ministerie van SZW geïnventariseerd welke politiek-bestuurlijke, economische, sociaal-culturele en technologische ontwikkelingen de komende jaren invloed kunnen hebben op de veiligheid in de chemiesector. Het in dit rapport beschreven onderzoek richtte zich op beantwoording van de volgende vragen:

- Welke ontwikkelingen zijn tussen nu en 2030 (2050) te verwachten, die van belang zijn voor de chemiesector?
- In welke mate zijn deze ontwikkelingen van invloed op de veiligheid in deze sector?

Het onderzoek is uitgevoerd door middel van literatuuronderzoek, discussiesessies en interviews. Dit heeft geresulteerd in een overzicht van relevante ontwikkelingen op technologisch, economisch, politiek-bestuurlijk en sociaal-cultureel gebied.

Hieronder wordt ingegaan op de belangrijkste ontwikkelingen, namelijk die in de literatuur en in de gesprekken het vaakst worden genoemd en die naar verwachting een grote invloed zullen hebben op de veiligheid.

- De verwachte impact van de **energietransitie** op de chemiesector is groot. Echt grootschalige gevolgen zullen echter pas na 2030 merkbaar zijn. Veel processen in de industrie zullen worden **geëlektrificeerd**; hierdoor zullen **minder fossiele brandstoffen** gebruikt worden. De risico's verschuiven daarmee van brand- en explosiegevaar naar brand- en elektrocutiegevaar. De energietransitie leidt tot **versnelde grootschalige toepassing van nieuwe technologieën**. Dit kan zowel positieve als negatieve gevolgen hebben voor de veiligheid. De nationale en internationale **wetgeving op het gebied van uitstoot van broeikasgassen** zal van grote invloed zijn op de energietransitie van de industrie. Voor klimaatverandering is een snelle transitie gewenst. Een te snelle transitie heeft echter mogelijk negatieve gevolgen voor de veiligheid van nieuwe technieken en installaties, wanneer deze te snel in gebruik worden genomen. Doordat **tijdelijk meerdere systemen naast elkaar** bestaan, gebaseerd op fossiel en hernieuwbaar, is een tijdelijk piek te verwachten in het aantal incidenten.
- **Handelsconflicten en politieke onzekerheden** remmen de mondiale economie. Daarnaast hebben de maatregelen als gevolg van de **COVID-19**-uitbraak naar verwachting de komende jaren negatieve gevolgen voor de economie. Ook de groei van de Nederlandse chemische industrie wordt geremd en de concurrentiepositie wordt verslechterd. Omdat de chemiesector zich bovendien aan het einde van de economische cyclus bevindt, is de komende jaren **weinig groei** te verwachten. Nederland zal zeker tot 2030 **aantrekkelijk blijven voor olieraffinage**. De Nederlandse raffinaderijen zijn efficiënt en liggen op een gunstige locatie. De prijzen van olie en gas worden sterk beïnvloed door de economie. Deze prijzen kunnen ook beïnvloed worden door het **klimaatbeleid**. De politieke druk op bedrijven om uitvoering te geven aan de **energietransitie** is hoog. Bedrijven komen

hierdoor voor hoge kosten te staan. **Kostenbesparing** kan leiden tot meer onveiligheid.

- **Digitalisering** en **automatisering** zullen in de chemische industrie op grote schaal gaan plaatsvinden. Installaties zullen meer en meer worden uitgerust met **sensoren** en zullen **op afstand** gemonitord en bestuurd worden. **Robotisering** zal een steeds grotere rol spelen. Daarnaast zullen processen en stofstromen steeds vaker gekoppeld worden, om de efficiëntie te vergroten, mede onder invloed van de **energietransitie**. De bijbehorende systemen zullen steeds vaker ook **digitaal gekoppeld** zijn en worden daarmee gevoeliger voor **verstoring** en **cybercriminaliteit**. Gezien de snelle (digitale) ontwikkelingen vormt **veroudering van kennis en systemen** een risico.
- **Veroudering van installaties** speelt een groeiende rol; veel chemische installaties bereiken het einde van hun levensduur. Ook veroudering van kennis en organisaties vormt een risico, mede door de steeds snellere digitale ontwikkelingen. Op korte termijn zullen **efficiëntieverbetering** en **procesinnovaties** op het gebied van **onderhoud** en **asset management** belangrijker zijn dan technologische innovaties. Als gevolg van de **energietransitie** is het mogelijk dat installaties die zich aan het einde van de levensduur bevinden niet worden ontmanteld en eventueel herbouwd, maar worden gereviseerd en een andere functie krijgen, met mogelijk gevolgen voor de veiligheid.

## 8 Referenties

- [1] J. Reason, 'Managing the Risks of Organizational Accidents', Ashgate, 1997.
- [2] PWC, 'Chemicals trends 2019', 2019.
- [3] A. Hardonk, 'Een voorwaardelijke toekomst. De chemie in Nederland', Rabobank, 2014.
- [4] 'Delphi study report: The European Chemical Industry in a 2050 perspective. Study on the development of key areas within Economy, Geopolitics, Society, Technology and Environment', Copenhagen Institute for Futures Studies, 2018.
- [5] Analistennetwerk Nationale Veiligheid, 'Verkenning risico's van de energietransitie', 2019.
- [6] 'Klimaatakkoord', [Online]. Available: <https://www.klimaatakkoord.nl/>
- [7] Centraal Planbureau, 'Macro Economische Verkenning (MEV) 2020 (Septemberraming)', 2019.
- [8] CPB, 'Scenario's economische gevolgen coronacrisis', 2020.
- [9] S. den Hartog, 'Vooruitkijken naar 2050 - Trends die de toekomst van Nederlandse economie beïnvloeden', Stichting Toekomstbeeld der Techniek, 2018.
- [10] Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid, 'Voor de zekerheid. De toekomst van flexibel werkenden en de moderne organisatie van arbeid', 2017.
- [11] S. Den Hartog, 'Bioprinters, grondstof-rotondes en brainternet? Hoe wij produceren, consumeren en herverdelen in 2050,' Stichting Toekomstbeeld der Techniek', 2018.
- [12] European Agency for Safety and Health at Work, 'Foresight on new and emerging occupational safety and health risks associated with digitalisation by 2025', 2018.
- [13] Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 'Overview CHEMIE', 2016.
- [14] Smart Industry, 'Smart Industry Implementatieagenda 2018-2021', 2018.
- [15] PwC, 'Global Digital Operations Study 2018; Digital champions; How industry leaders build integrated operations ecosystems to deliver end-to-end customer solutions', PwC, 2018.
- [16] OECD, 'The Next Production Revolution: Implications for Governments and Business', 2017.
- [17] 'Meten op maat - Gezonder werken met slimme systemen', NVVK info, nr. 1, 2019.
- [18] Wetenschappelijke raad voor het Regeringsbeleid, 'Voorbereiden op digitale ontworpen', 2019.
- [19] IFV, 'Lessen uit crises en mini-crisis 2017; Casus 6: Cyberaanval op Maersk', 2018.
- [20] Nationaal Coördinator Terrorismedebestrijding en Veiligheid, 'Cybersecuritybeeld Nederland; CSBN 2019', 2019.
- [21] A. Jansen, D. van der Beek, A. Cremers, M. Neerinx en J. van Middelaar, 'Opkomende risico's voor arbeidsveiligheid; werken in dezelfde ruimte als een cobot', TNO, 2018.

- [22] W. Steijn, E. Luijff en D. van der Beek, 'Opkomend risico voor arbeidsveiligheid door inzet van robots op de werkvloer', TNO, 2016.
- [23] P. Werkhoven, M. Neerinx en L. Kester, 'Telling autonomous systems what to do', *Proceedings of the 36th European Conference on Cognitive Ergonomics*, pp. 1-8, 2018.
- [24] M. van de Ven en E. Geus, 'Invloed van procesintensificatie op omgevingsveiligheid', RIVM, 2020.
- [25] 'Europese Commissie - Langetermijnstrategie voor 2050', [Online]. Available: [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050\\_nl](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_nl)
- [26] H. Baijense, N. Oberijé, T. Reijers en I. Trijssenaar, 'Een internationale verkenning naar fysieke veiligheidsaspecten van de energietransitie', IFV, 2020.
- [27] J. van de Ree, E. Honig, P. Uijt De Haag, G. Kelfkens en M. van de Ven, 'Klimaatakkoord: effecten op veiligheid, gezondheid en natuur', RIVM, 2019.
- [28] J. Middelkamp en W. de Kleuver, 'Hogere uitstoot CO2 door biomassacentrales dan kolencentrales', DNV GL, 2019.
- [29] J. Heitink en B. S. van Holten, 'Interne veiligheidsanalyse biogasinstallaties', AVIV, 2014.
- [30] J. Heitink en B. S. van Holten, 'Interne veiligheidsanalyse waterstof', AVIV, 2016.
- [31] J. Heitink en B. S. van Holten, 'Interne veiligheidsanalyse ammoniak koelinstallaties', AVIV, 2014.
- [32] M. A. van Kuppevelt en A. Klingenberg, 'Zeer Zorgwekkende Stoffen in de circulaire maakindustrie', RIVM, 2019.
- [33] E. C. J. Geus en K. K. Kieskamp, 'De invloed van veroudering van installaties ('ageing') op de oorzaak van ongevallen met gevaarlijke stoffen', RIVM, 2018.
- [34] Health and Safety Executive, 'Plant Ageing Study, Phase 1 Report, Research Report RR823', 2010.
- [35] H. Akkermans, L. Besselink, L. van Dongen en R. Schouten, 'Smart Moves for Smart Maintenance; Findings from a Delphi study on 'Maintenance Innovation Priorities' for the Netherlands', World Class Maintenance, 2016.
- [36] S. den Hartog-de Wilde, 'Bioprinters, grondstof-rotondes en brainternet? - Hoe wij produceren, consumeren en herverdelen in 2050', Stichting Toekomstbeeld der Techniek, 2019.



**RIVM**

*De zorg voor morgen begint vandaag*