

Strategie in de kennisinfrastructuur voor veilige chemie en energie



Adviesraad Gevaarlijke Stoffen

Strategie in de kennisinfrastructuur voor veilige chemie en energie

KENNIS OVER VEILIGHEID EN GEVAARLIJKE STOFFEN
VOOR HET NEDERLAND VAN 2020

Voorwoord

Als vervolg op het advies ‘Veiligheid vereist kennis’, waarin noodzaak en urgentie werden verwoord om het kennisdomein ‘veiligheid en gevaarlijke stoffen’ te versterken, heeft de AGS zich gericht op het strategisch niveau binnen de kennisinfrastructuur. De relevante kennisgebieden in Nederland zijn in kaart gebracht en de omvang van onderzoek en onderwijs is geïnventariseerd. Een externe commissie van deskundigen vanuit universiteiten ondersteunde daarbij de raads werkgroep kennisinfrastructuur van de AGS. Tevens zijn er gesprekken gevoerd met deskundigen vanuit bedrijfsleven, overheid en kennisinstellingen over trends in maatschappij en techniek en over kennisvragen die daaruit voortkomen.

Met dit advies biedt de AGS zicht op de kennisgebieden die relevant zijn bij het voorkomen van rampen met gevaarlijke stoffen en bij het beperken van gevolgen van een eventuele ramp. De omvang van de chemie en het transport in Nederland, de mate van ruimtelijke verdichting en de verwachte ontwikkelingen onder andere op het gebied van nieuwe energiedragers verdienen een investering in de kennisinfrastructuur op het gebied van veiligheid en gevaarlijke stoffen. De huidige omvang van onderzoek en onderwijs en de versnipperde aandacht voor veiligheid bij universiteiten acht de AGS zorgwekkend.

De AGS beveelt de regering en de Staten-Generaal aan om het initiatief te nemen voor investering in deze kennisinfrastructuur en samen met het bedrijfsleven te zorgen dat de kennisontwikkeling op het gebied van veiligheid niet stil komt te staan, dat afgestudeerden – met name proces-technologen, chemici, stedenbouwkundigen en civiel ingenieurs – doordrongen zijn van veiligheid en dat Nederlandse onderzoeksprogrammering op dit terrein plaatsvindt in internationaal perspectief.

Dit advies is gericht op het strategische niveau in de kennisinfrastructuur. Het kan daarnaast benut worden bij de lopende initiatieven voor het versterken van deze infrastructuur op het operationele en tactische niveau. Deze zijn mede naar aanleiding van het eerdere advies ‘Veiligheid vereist kennis’ in gang gezet.

Bij het tot stand komen van dit advies heeft de AGS velen geraadpleegd, deskundigen uit kennisinstellingen en universiteiten, overheid en bedrijfsleven. De Adviesraad dankt allen voor de betrokkenheid en inspanning. Gezamenlijk zijn we van mening dat de kennisontwikkeling in Nederland op het gebied van veiligheid en gevaarlijke stoffen niet stil mag komen te staan.

De voorzitter,

De algemeen secretaris,

De voorzitter van de raads werkgroep,

Prof. dr ir J.G.M. Kerstens

N.H.W. van Xanten,
apotheker, toxicoloog, MPA

Prof. dr ir H.J. Pasman

Inhoudsopgave

3	Voorwoord
5	Inhoudsopgave
6	Samenvatting
11	Achtergrond en uitdaging
17	Kennispositie van Nederland en trends
17	Beschrijving kennisdomein veiligheid en gevaarlijke stoffen
21	Onderzoek in Nederland en in andere landen 1997 – 2006
30	Huidige en toekomstige strategisch onderzoek in Nederland
32	Aandacht voor veiligheid in de USA en binnen Europa
34	Trends, kennisvragen en opleidingen
38	Schatting huidige en benodigde academische omvang
39	Conclusies
41	Aanbevelingen
41	Waarborgen continuïteit universitaire aandacht voor veiligheid
43	Opnemen veiligheid in lopende publiek/private onderzoeksprogramma's
46	Organisatievorm voor een publiek/privaat regieorgaan
50	Bijlage 1: Samenstelling raads werkgroep en commissie; geïnterviewde personen
53	Bijlage 2: Beschrijving onderzoeksmethode CWTS; omvang van het onderzoek in Nederland en in andere landen in de periode 1997 – 2006
57	Bijlage 3: Overzicht gebruikte woordcombinaties per deeldomein
61	Bijlage 4: Overzicht trends, kansen en bedreigingen met relevantie voor het kennisdomein veiligheid en gevaarlijke stoffen
64	Colofon

Samenvatting

ACHTERGROND ● Kennis heeft een belangrijke rol gespeeld bij de vestiging en groei van de industriële chemie in Nederland. De directe en indirecte bijdrage van de chemie aan het bruto binnenlands product is substantieel en zal nog verder groeien. Tegelijk betreft het activiteiten die risico's met zich meebrengen, niet alleen voor werknemers en op bedrijfsterreinen, maar ook voor de omgeving rond bedrijven en transportassen. Voorwaarden voor het verantwoord omgaan met gevaarlijke stoffen in een steeds verder verdichtende samenleving zijn een voldoende kennisbasis en strategische kennisontwikkeling. Door groei van de chemische industrie en van het vervoer, door de introductie op grote schaal van nieuwe stoffen zoals LNG en waterstof in combinatie met een toename van de bevolkingsdichtheid in de Randstad, zullen de kennisvragen voor Nederland pregnanter worden.

De AGS merkt op dat het kennelijk moeilijk is in de praktijk om de nodige kennis over veiligheid beschikbaar te houden en voortdurend te evalueren. Zo is er de laatste jaren naar aanleiding van zware ongevallen meer bekend geworden over het verschijnsel '*drift*' in grote organisaties. Juist in een tijd dat er weinig ongevallen gebeuren, wordt geleidelijk de marge tot onveiligheid kleiner door efficiëntie verbeterende, kostenverlagende, maar uiteindelijk catastrofaal blijkende, organisatorische en technische aanpassingen. De schade ten gevolge van ongevallen is uiteindelijk veel groter dan de kostenbesparing – waar het om te doen was – opgebracht heeft. Nog tamelijk recent is dit weer eens gebleken bij een explosie in een gerenomeerd bedrijf¹. Incidenten leren ons zo keer op keer dat de aandacht voor veiligheid nooit mag verslappen.

Bij het bedrijfsleven moeten niet alleen management, ontwerper en constructeur veiligheidsbewust zijn, maar ook het operationele personeel dat dagelijks de processen runt. Ook beleid, wet- en regelgeving en toezicht en handhaving moeten zijn gericht op stimuleren en faciliteren van continue aandacht voor veiligheid. Dit komt onder andere tot uiting in planvorming en risico-evaluatie in de ruimtelijke ordening, in de vergunningverlening en bij rampenbestrijding.

¹ The report of the BP U.S. Refineries Independent Safety Review Panel. J.A. Baker III et al., January 2007. Dit rapport is opgesteld naar aanleiding van het ongeval bij de BP raffinaderij in Texas City, USA in maart 2005. Zie verder E. Hollnagel et al. Resilience Engineering, Ashgate Publ. Ltd, ISBN-10: 1-7546-4641-6, waarin het verschijnsel '*drift*' – het schuiven met veiligheidsmarges waardoor de veiligheid in het geding komt – wordt beschreven, dat zich voordoet bij het streven naar efficiëntie en kostenvermindering.

AANLEIDING ADVIES

In 2006 constateerde de AGS dat het hoog nodig is de verbrokkelde kennisinfrastructuur inzake het omgaan met gevaarlijke stoffen te verbeteren ('Veiligheid vereist kennis', december 2006). *Stakeholders* uit bedrijfsleven, overheid en kennisinstellingen ondersteunden de conclusie dat voor een symbiose tussen wonen en werken in een dichtbevolkt gebied als Nederland het nodig is te investeren in de kennisinfrastructuur op het gebied van veiligheid en gevaarlijke stoffen. Het kabinet onderschreef in zijn reactie de conclusies en het advies van de AGS. De AGS kreeg de taak het kennisdomein nader in kaart te brengen en te duiden welke kennisgebieden versterking behoeven op het strategische niveau.

In dit advies beschrijft de AGS de relevante kennisgebieden in het kennisdomein veiligheid en gevaarlijke stoffen en de Nederlandse prestatie op het gebied van het ontwikkelen van nieuwe kennis gedurende het afgelopen decennium in vergelijking met andere landen. Ook worden de trends in chemie en energiedragers en in maatschappij en techniek beschreven. Op basis van deze trends zijn lange termijn kennisvragen geïnventariseerd. Hieruit komt een beeld van de sterktes en zwaktes van het strategische kennisniveau in de huidige kennisinfrastructuur. Dit betreft naast kennisontwikkeling ook opleidingen.

Het vraagstuk welke kennisgebieden in Nederland te versterken en zo de geërodeerde expertise te herstellen, is bestudeerd vanuit de notie dat onderzoek en opleiding op universitair niveau wederzijds bevruchtend werken. De principes van veiligheid verdienen een plaats in de basisopleidingen van onder andere ingenieurs en chemici, waaronder de toekomstige, inhoudelijke beslissers. Daarom vormt ook de aandacht voor veiligheid in het curriculum van deze opleidingen onderdeel van dit advies.

KENNISDOMEIN VEILIGHEID EN GEVAARLIJKE STOFFEN

Een breed palet aan wetenschapsgebieden draagt bij aan het voorkomen van rampen met gevaarlijke stoffen of het beperken van de gevolgen. Daaronder bevinden zich zowel typische bèta- als gammawetenschappen. De Adviesraad heeft het kennisdomein veiligheid en gevaarlijke stoffen inzichtelijk gemaakt. Er kunnen daarin drie deeldomeinen worden onderscheiden: gevaarseigenschappen van stoffen, systeemveiligheid en procesveiligheid. In het advies worden deze deeldomeinen nader geanalyseerd en wordt de relevantie voor risicoanalyse en risicomanagement toegelicht.

AARD EN OMVANG VAN HET NEDERLANDSE ONDERZOEK IN VERGELIJKING MET ANDERE LANDEN

De Nederlandse onderzoeksactiviteit in dit kennisdomein, gemeten op basis van het aantal publicaties, is de afgelopen tien jaar minder dan verwacht mocht worden op grond van de mate van ruimtelijke verdichting in ons land en de omvang van chemie en transport.

Belangrijk is bovendien dat in Nederland de verdeling over de deeldomeinen niet evenwichtig is. Zo is de aandacht voor gevaarseigenschappen van stoffen en voor systeemveiligheid mager. De Verenigde Staten en het Verenigd Koninkrijk zijn toonaangevend in het gehele kennisdomein. Ook is er in deze landen sprake van een evenwichtige verdeling over de verschillende deeldomeinen dankzij jarenlange aandacht voor veiligheid op dit gebied vanuit de overheid en beroepsverenigingen.

Inventarisatie van het nu lopende onderzoek (2007) in Nederland geeft een veront- rustend beeld. Onderzoeksgroepen zijn verdwenen of dreigen te verdwijnen en het onderzoek beperkt zich tot deelgebieden, zonder een integrale benadering. De huidige trend tot projectfinanciering in plaats van structurele financiering van strate- gisch onderzoek zal de reeds bestaande versnippering verergeren. Om deze versnip- pering tegen te gaan is een strategisch plan voor de kennisinfrastructuur van belang.

CONCLUSIES ● De huidige gebrekkige financiering en programmering van het onderzoek in Nederland waarborgen niet de kritische massa die nodig is om bestaande kennis te onderhouden en te kunnen evalueren en verder te ontwikkelen. Ook is er onvol- doende waarborg voor de kwaliteit van de basisopleidingen op dit terrein en voor het vertalen van (internationale) kennis naar nationaal beleid.

Nederland lijkt de aansluiting te gaan missen met Europese ontwikkelingen naar een gezamenlijke onderzoeksprogrammering op dit kennisdomein. Er is een kritische massa van Nederlands strategisch onderzoek nodig om aan te sluiten bij harmoni- satie van methodieken en om deel te nemen aan internationaal onderzoek.

Gezien de Nederlandse ambities van groei in de chemie en in het vervoer, verdere verdichting van de bebouwing, de overschakeling naar andere energiedragers, is verdere ontwikkeling van de kennis over de risico's en hoe die te beheersen onont- beerlijk voor zowel overheid als bedrijfsleven. Bovendien zullen de hang naar meer veiligheid en transparantie, de veranderde inzichten over verantwoordelijkheids- toedeling, over toezicht en handhaving een verdere ontwikkeling van kennis vragen bij zowel overheid als bedrijfsleven. De AGS concludeert dat er een strategisch plan voor dit kennisdomein nodig is om kennisontwikkeling mogelijk te maken, een *road map* op te stellen en *top-down*sturing mogelijk te maken. In de aanbevelingen geeft de AGS hier nadere invulling aan.

AANBEVELINGEN ● De AGS adviseert de regering en de Staten-Generaal om – deels samen met het bedrijfsleven – de strategische top van de kennisinfrastructuur voor veiligheid en gevaarlijke stoffen te versterken, de kritische massa en onafhankelijkheid van kennisontwikkeling te borgen en de aandacht voor het 'vak' veiligheid binnen universitaire opleidingen te waarborgen. De Adviesraad motiveert dit vanuit de meerwaarde voor zowel overheid als bedrijfsleven.

1. De AGS beveelt aan te zorgen voor een kritische massa van onderzoek in Nederland om de universitaire aandacht – onderzoek en onderwijs – voor veiligheid te borgen. Hiervoor is het nodig de basis te versterken op een aantal in het advies genoemde kennisgebieden. Het betreft zowel exacte als mensgerichte wetenschapsgebieden voor fundamentele vraagstukken alsook het verder ontwikkelen van kennis ten behoeve van ontwerp en *engineering*. De AGS schat dat een drievoudige uitbreiding nodig is van het universitaire onderzoek op deze terreinen. Het is nodig onderzoe- kers met breed overzicht over de nationale en internationale ontwikkelingen hierbij te betrekken. Dit is van belang om de gewenste interactie tussen deeldomeinen te bewerkstelligen om de diverse vraagstukken die in dit advies zijn genoemd effectief te kunnen bestuderen.

Deze kritische massa vereist een zeker minimum aan vaste publieke financiering (zogenaamde eerste geldstroom) om de onafhankelijkheid van het onderzoek en de aandacht voor het onderwerp voor langere tijd te waarborgen. De AGS adviseert de regering en Staten-Generaal hierover in gesprek te gaan met de 3TU-Federatie. De AGS heeft de maatschappelijke relevantie met deze federatie besproken. De federatie heeft uitgesproken dat extra financiering aan dit kennisdomein zou moeten worden besteed.

Tevens adviseert de AGS om te stimuleren dat de aandacht voor veiligheid in de curricula van relevante universitaire opleidingen – onder andere voor procestechnologen, chemici, civiel ingenieurs en stedenbouwkundigen – beter wordt geborgd.

2. De Adviesraad beveelt aan om te zorgen dat een vast percentage van het budget binnen lopende publiek/private onderzoeksprogramma's wordt besteed aan veiligheid en gevaarlijke stoffen. Daarbij is het van belang dat er kruisbestuiving tussen de verschillende onderzoeksprogramma's plaatsvindt. Inmiddels heeft de AGS de VNCI bereid gevonden om een deel van de tweede en derde geldstroom voor onderzoek naar veiligheid te oormerken binnen lopende programma's op het gebied van chemie (zoals NWO-ACTS en het innovatieprogramma van de Regiegroep Chemie). De AGS adviseert de regering en Staten-Generaal om deze bereidheid te benutten en bovendien met het tweede geldstroomonderzoek, vanuit departementen VROM, VenW, BZK, SZW, VWS en EZ, hierbij aan te sluiten en zo de kruisbestuiving binnen dit kennisdomein te bevorderen.

Dit voorstel veronderstelt dat de hierboven beschreven kern voor strategische kennisontwikkeling (kritische massa) in Nederland aanwezig is en dat deze is gefinancierd uit de eerste geldstroom – daar anders zelfs geen voorstellen tot onderzoek kunnen worden geformuleerd.

3. De AGS adviseert een publiek/privaat regieorgaan in te stellen dat het beheer heeft over het voor veiligheid geoordeelde percentage van de tweede en derde geldstroom voor lopende onderzoeksprogramma's. Onder de vleugels van NWO zou dit regieorgaan de geschetste taken voor zijn rekening kunnen nemen. NWO heeft zich bereid verklaard dit regieorgaan te faciliteren. De AGS ziet verschillende mogelijkheden om de regiefunctie van dit kennisdomein organisatorisch aan te laten sluiten bij bestaande organen. Daarbij is een eigen ambassadeursfunctie voor dit domein van belang, juist omdat de aandacht voor het onderwerp bij een goede staat van de veiligheid verslapt en zonder aansporing kennelijk niet van de grond komt. De AGS ziet naast de overheid met name een belangrijke rol voor het bedrijfsleven en voor de universiteiten.

Achtergrond en uitdaging

De Nederlandse economie is voor een deel gebaseerd op de chemiesector. Het belang van deze sector dient in balans te zijn en te blijven met andere maatschappelijke belangen. Om huidige en toekomstige uitdagingen aan te kunnen en om de benodigde opleidingen te kunnen verzorgen, is een zekere kennisbasis en strategische kennisontwikkeling nodig. Onderstaand wordt dit nader toegelicht en wordt de vraagstelling in dit advies en de aansluiting op eerdere adviezen beschreven.

Belang goede inbedding van de chemie in Nederland

De chemiesector en de daaraan gerelateerde transportsector van chemicaliën en energiedragers leveren een substantiële bijdrage aan het bruto nationaal product. Het mogelijk maken van industriële activiteit, transport en opslag van stoffen met gevaarlijke eigenschappen in een omgeving waarin ook wonen en recreatie, natuur en landbouw een plaats hebben, noodzaakt tegelijkertijd tot het identificeren en op de juiste wijze inschatten van gevaren. Kennis over veiligheid en gevaarlijke stoffen is nodig om risico's zoveel mogelijk te beheersen en uiteindelijk een afweging te maken tussen kosten en baten van maatregelen om risico's effectief en efficiënt te beheersen. Tot de baten worden veiligheid voor werknemers, burgers en milieu gerekend en continuïteit van bedrijfsprocessen.

De verwachting is dat het volume van productie en transport in de chemiesector verder zal stijgen. Zo groeiden zowel omzet als productievolume in de Nederlandse chemie de laatste jaren fors. In 2007 steeg de omzet naar € 50 miljard, een stijging in omzet ten opzichte van 2006 met 7%. De export (inclusief doorvoer) groeide in 2006 met 11% en in 2007 met 13%. De bijdrage aan het bruto binnenlands product was in 2007 ruim 2,9% (2006: 2,3%)¹. Naast deze prognoses over de groei van de chemie, wordt voorzien dat de bevolkingsdichtheid de komende twintig jaar een relatief sterke toename zal tonen in met name de Randstad². Dit betekent dat de kennisvragen over veiligheid en gevaarlijke stoffen voor Nederland in de toekomst pregnanter zullen worden.

Blijvende aandacht voor veiligheid

Naar aanleiding van zware ongevallen in het buitenland – bijvoorbeeld in de ruimtevaart en de chemie in de Verenigde Staten – is de laatste jaren meer bekend geworden over het verschijnsel 'drift' in grote organisaties. Juist in de tijd dat er weinig ongevallen gebeuren, wordt geleidelijk de marge tot onveiligheid kleiner door efficiëntie

¹ Feiten en cijfers over de chemische industrie in Nederland 2007. VNCI, 2008.

² Regionale bevolking- en huishoudenprognose 2007 – 2025 van het Centraal Bureau voor de Statistiek en het Planbureau voor de Leefomgeving. Zie www.Regionalebevolkingsprognose.nl.

verbeterende, kostenverlagende, maar uiteindelijk catastrofaal blijkende, organisatorische en technische aanpassingen. De schade ten gevolge van ongevallen is uiteindelijk veel groter dan de kostenbesparing – waar het om te doen was – opgebracht heeft.

Aan veiligheid moet voortdurend gewerkt worden en er is een continue vernieuwing en uitbreiding van kennis noodzakelijk ter betere onderkenning van risico's en om het veiligheidsbewustzijn te voeden bij bedrijven en overheid. Zo moeten niet alleen management, ontwerper en constructeur veiligheidsbewust zijn, maar ook het operationele personeel van hoog tot laag dat de processen dagelijks runt.

Daarnaast moeten ook beleid, wet- en regelgeving en het toezicht en de handhaving gericht zijn op het stimuleren en faciliteren van de continue aandacht voor veiligheid in bedrijven en bij vervoer en bijdragen aan een verantwoorde omgang met risico's in de maatschappij. Dit komt tot uiting in planvorming en risico-evaluatie in de ruimtelijke ordening, in de vergunningverlening en bij rampenbestrijding.

Niet alleen het bedrijfsleven, maar ook overheid en burger hebben kennis nodig om verantwoorde besluiten in de juiste context te nemen en juist te handelen. Het goed regelen van veiligheid is van belang voor vertrouwen in overheid en bedrijfsleven, voor imago en voor het investeringsklimaat.

Incidenten leren ons keer op keer dat de aandacht voor veiligheid nooit mag verslappen. Voor het kennisdomein veiligheid en gevaarlijke stoffen moet daarom een goede kennisinfrastructuur bestaan.

Nederland is een dichtbevolkt land waar na de Tweede Wereldoorlog een belangrijke positie in de proceschemie en in het vervoer van gevaarlijke stoffen werd opgebouwd. Deze combinatie maakte het – eerder dan in andere landen – nodig nieuwe inzichten te ontwikkelen om de maatschappelijke en economische belangen te verenigen. Daardoor heeft Nederland in de jaren zeventig en tachtig een forse bijdrage geleverd in het onderzoek naar nieuwe methoden voor risicoanalyse.

De risicobenadering kreeg in de Nederlandse wet- en regelgeving een belangrijke plaats. Dit heeft er toe geleid dat tegenwoordig het bevoegd gezag zich moet verantwoorden tegenover de burger over risico's met betrekking tot externe veiligheid. Daarmee lijkt – bij oppervlakkige beschouwing – alles in kannen en kruiken te zijn.

Veranderende omstandigheden

Echter, omstandigheden veranderen, expertise erodeert, bestaande vraagstukken veranderen – zoals de noodzaak tot betere risicoanalysemethoden voor de steeds sterker verdichte ruimtelijke omgeving – en nieuwe vraagstukken dienen zich aan, bijvoorbeeld over het gebruik van nieuwe energiedragers. De chemiesector ziet mogelijkheden voor groei en heeft de ambitie om de bijdrage aan het bruto binnenlands product in de komende tien jaar te verdubbelen en het verbruik aan fossiele brandstoffen fors te reduceren³. Innovatie is de basis voor een gezonde, duurzame en sterke chemie van morgen, zo stelt de Regiegroep Chemie en dit vereist “een verdere uitbouw van hoogwaardige technologische kennis, sterkere samenwerking tussen kennisinstellingen en bedrijfsleven en toename van de ruimte voor bedrijvigheid”. Het kabinet draagt circa 50 miljoen euro bij aan de plannen, die betrekking hebben op onderzoek en innovatie, maar ook op het bevorderen van de instroom in bètaopleidingen. Veiligheid heeft daarin nog geen prominente plaats.

³ Businessplan Regiegroep Chemie, 2006.

Voorbeeld van veranderende omstandigheden

Waterstof is een energiedrager, die steeds meer zal worden gebruikt naast fossiele brandstoffen als olie en gas. Het Platform Nieuw Gas (onderdeel van de Task Force Energietransitie) verwacht dat rond 2020 ongeveer 25 procent van de bussen in de grote steden op waterstof zal rijden. Tegen die tijd zullen ook de eerste auto's op waterstof in de straat te zien zijn; men verwacht dat in 2050 40 tot 75% van de auto's op waterstof rijdt. Daarnaast kunnen woonhuizen in nieuwbouwwijken geleidelijk aan worden voorzien van brandstofcelleninstallaties met waterstof⁴.

Het gebruik van waterstof ten opzichte van fossiele brandstoffen heeft een aantal voordelen. Het belangrijkste voordeel is dat er bij verbranding geen broeikas effecten en luchtverontreiniging optreden. Maar waterstof heeft ook verraderlijke eigenschappen: gemengd met lucht is het licht ontvlambaar en zeer explosief. Daarenboven heeft het de neiging om metalen aan te tasten, waardoor het niet zonder risico's onbeperkt door aardgasleidingen kan worden getransporteerd.

Voordat waterstof een volwaardige plaats kan innemen naast de traditionele brandstoffen moeten er nog veel onzekerheden worden weggenomen. Weliswaar is er al veel kennis over waterstof, maar dat is veelal kennis die te maken heeft met veiligheid in de industrie. Er is nog weinig onderzoek gedaan naar het gebruik in auto's of woonhuizen. De voorwaarden waaronder waterstof op veilige wijze breed in de maatschappij kan worden ingevoerd moeten in beeld worden gebracht. Op basis daarvan kan de overheid beleid en regelgeving ontwikkelen die bijdragen aan een veilige introductie van een 'waterstofeconomie'.

Dit voorbeeld maakt duidelijk dat het van belang is dat de kennisinfrastructuur het vermogen heeft te reageren op veranderingen die zich gaan voltrekken. De overheid en het bedrijfsleven moeten er terecht kunnen met kennisvragen. Het is om die reden van belang zicht te hebben op de sterktes en zwaktes van de huidige kennisinfrastructuur en te weten welke kennisgebieden voor huidige en toekomstige kennisvragen van belang zijn. In dit advies gaat de AGS hierop in.

Eerdere adviezen

Eerdere adviezen van de AGS over de kennisinfrastructuur zijn:

- Ruimte voor expertise, 2004
- Veiligheid vereist kennis, 2006

Het eerste advies had als aanleiding de Nota Ruimte. Met deze nota werden bevoegdheden op het gebied van ruimtelijke ordening en vergunningverlening sterker dan voorheen aan provincies en gemeenten gedelegeerd. De AGS heeft in het advies aangegeven wat de consequenties voor de kennisbehoefte bij provincies en gemeenten zijn en welke eisen gesteld moeten worden aan besluitvorming en aan het tactische en operationele kennisniveau. Er is op grond daarvan gepleit voor een expertisecentrum gevaarlijke stoffen voor gemeenten en provincies.

Voor het tweede advies organiseerde de Adviesraad op 31 oktober 2006 een bijeenkomst met stakeholders op bestuurlijk niveau uit bedrijfsleven, onderzoek, onderwijs en overheid over de kennisinfrastructuur voor veiligheid en gevaarlijke stoffen. Met hen werd de noodzaak tot betere interactie binnen en tussen alle kennisniveaus besproken. De AGS constateerde in het advies 'Veiligheid vereist kennis' dat het lastig en soms onmogelijk is de benodigde kennis in Nederland op het strategische niveau bij universiteiten en technologische kennisinstellingen te mobiliseren. De

⁴ Waterstof. Brandstof voor transitie. Advies van het Platform Nieuw Gas Werkgroep Waterstof, oktober 2006.

kennis is sterk versnipperd en bovendien ernstig verschaald. Tegelijk signaleren deskundigen verschillende trends die tot complexe kennisvragen leiden.

De urgentie om het kennisniveau op het terrein van veiligheid en gevaarlijke stoffen met name op het strategische niveau – zowel onderzoek als gerelateerde opleidingen – te versterken, werd breed gevoeld. Dit kwam ook tot uiting in het kabinetsstandpunt op het advies.

Het strategisch onderzoek is omschreven als onderzoek dat bijdraagt aan visieontwikkeling en verrijkende doelen kan stellen, dus hoofdzakelijk werk op universitair niveau. Het betreft het onderzoek dat doorgaans op de lange respectievelijk middel-lange termijn tot toepassingen leidt.

Dit advies

De Adviesraad kondigde in 'Veiligheid vereist kennis' een vervolgadvisie aan over de vraag welke kennisgebieden in Nederland ontbreken c.q. versterking behoeven om een veilige omgang met gevaarlijke stoffen te waarborgen. Tevens werd de vraag gesteld hoe deze versterking kan worden bewerkstelligd en georganiseerd. De tijds-horizon daarbij is de komende tien tot vijftien jaar. Na een voorstudie benaderde de Adviesraad in november 2007 opnieuw *stakeholders* uit de rijen van beleidsbepalers uit chemische industrie, brandstoffenbranche, wetenschap en overheid.

In het voorliggende advies heeft de AGS allereerst de stand van zaken in kaart gebracht. Er is een overzicht gemaakt van de relevante kennisgebieden in het kennis-domein veiligheid en gevaarlijke stoffen. Voor een zo objectief mogelijk beeld van de aard en omvang van de strategische kennispositie in Nederland is literatuuranalyse uitgevoerd. Aan de hand van publicaties verschenen in de afgelopen tien jaar zijn de Nederlandse prestaties op het gebied van ontwikkeling van nieuwe kennis in kaart gebracht en vergeleken met andere landen. Bij deze vergelijking zijn tevens de Nederlandse prestaties op enkele verwante vakgebieden betrokken. Ook is de relatie met de omzet van de chemiesector in Nederland en de bevolkingsdichtheid verkend. Daarnaast is aan de hand van interviews en bureaustudie een inventarisatie van het nu lopende strategische onderzoek gemaakt.

Voor een beeld van de toekomstige behoefte aan kennis in Nederland zijn gesprekken over trends en toekomstige kennisvragen gevoerd met deskundigen vanuit overheid, bedrijfsleven en kennisinstellingen.

De toekomstige behoefte aan kennis heeft niet alleen betrekking op kennisontwikkeling, maar ook op opleiding. Binnen dit kennisdomein zijn verschillende basisopleidingen relevant. In het kader van dit advies is de focus gericht op de opleiding voor procestechnologen vanwege hun centrale rol bij ontwerp en beheer van installaties. Daarom is tevens gesproken met vertegenwoordigers van opleidingen voor proces-technologen over de aandacht voor veiligheid in het curriculum van de huidige opleiding.

Tenslotte heeft de AGS een schatting gemaakt van de minimaal benodigde omvang van de academische kennisbasis in dit domein.

Op basis van deze analyse trekt de AGS een aantal conclusies, die vervolgens leiden tot een advies.

Kennisniveaus en kennisstromen

In het advies 'Veiligheid vereist kennis' maakte de AGS onderscheid tussen drie niveaus in de kennisinfrastructuur (strategisch, tactisch en operationeel) en schetste het belang van interactie tussen de niveaus. Horizontaal binnen een niveau is

kennisuitwisseling van belang bijvoorbeeld tussen *communities* en disciplines. Verticale uitwisseling van kennis tussen de verschillende niveaus is van belang om voor de praktijk relevante onderwerpen op de kennisagenda te brengen en tevens om nieuwe inzichten te vertalen naar de praktijk.

Op grond van de adviezen van de AGS zijn vanuit het ministerie van VROM in het afgelopen jaar initiatieven ondernomen om zowel op operationeel als op tactisch niveau kennisuitwisseling te verbeteren. Daarnaast zijn er in het onderwijs op HBO- en MBO-niveau op het gebied van veiligheid ontwikkelingen geweest. De AGS meent dat het voorliggende advies, dat gericht is op het strategisch kennisniveau binnen de kennisinfrastructuur, ook kan worden ingezet om de interactie binnen en tussen de andere niveaus, met andere woorden zowel de horizontale als de verticale kennisstroom, te bevorderen.

Vragen

Bij het uitvoeren van de verkenning en het opstellen van het advies stelde de Adviesraad zich de volgende vragen.

- Wat is de kritische massa aan onderzoek(ers) die nodig is om binnen het kennisdomein veiligheid en gevaarlijke stoffen de benodigde kennis te ontwikkelen en focus te creëren en te behouden en om opleidingen in Nederland op dit terrein te borgen?
- Op welke terreinen is binnen Nederland onderzoek nodig om in staat te zijn het buitenlandse onderzoek te begrijpen en te benutten?
- Wat zouden de speerpunten van het Nederlands onderzoek moeten zijn, enerzijds vanwege de toekomstige kennisvragen, anderzijds om uitruil van kennis met onderzoekers in andere landen mogelijk te maken?
- Hoe kan interactie tussen de kennisgebieden worden bevorderd die nodig is om veiligheid over een hele keten te beschouwen?
- Op welke wijze kan een organisatiestructuur mede de aansluiting bevorderen tussen het strategische niveau waar lange-termijnvragen aan de orde zijn en het tactische niveau waar korte-termijnvragen worden bestudeerd?

Kennispositie van Nederland en trends

Onderstaand wordt het kennisdomein veiligheid en gevaarlijke stoffen afgebakend. Vervolgens worden de resultaten van een uitgebreide literatuuranalyse naar de strategische kennisproductie van Nederland in de afgelopen tien jaar gepresenteerd en wordt een vergelijking met andere landen gemaakt. Ook is het nu lopende onderzoek geïnventariseerd.

Vervolgens wordt de coördinatie in onderzoek en onderwijs in de Verenigde Staten en in Europa behandeld. Daarna worden de belangrijkste trends ten aanzien van de chemie en de relatie met de maatschappij aangeduid. De daaruit voortkomende kennisvragen en de behoefte aan opleidingen worden nader uitgewerkt. Tenslotte is een schatting gemaakt van de huidige en de benodigde academische omvang op dit domein.

BESCHRIJVING KENNISDOMEIN VEILIGHEID EN GEVAARLIJKE STOFFEN

De Adviesraad adviseert – kort samengevat – de regering en de Staten-Generaal over beleid en wetgeving ter voorkoming van rampen met gevaarlijke stoffen en ter beperking van de gevolgen. In het werkkerrein van de Adviesraad ligt de nadruk op de gevolgen van het incidenteel, eenmalig vrijkomen van gevaarlijke stoffen. De inventarisatie richtte zich daarom op kennisgebieden die een bijdrage kunnen leveren aan het voorkomen van dergelijke rampen of het beperken van de gevolgen van eventuele incidenten.

Multidisciplinair en integraal

De inhoudelijke afbakening van het kennisdomein veiligheid en gevaarlijke stoffen is niet eenvoudig. Het domein kent aspecten van vele, breder georiënteerde kennisgebieden zoals chemie en fysica, procestechnologie, risicoanalyse, (acute) toxicologie, veiligheidsonderzoek, (industriële) ontwerp, opslag- en transportveiligheid en onderzoeksgebieden waarbij meer mensgerichte aspecten een rol spelen, zoals mens-machine systemen, organisatiekunde, (veiligheids)cultuur, risicoperceptie, risicocommunicatie, hulpverlening bij rampen en psychologie. Bovendien is veiligheid binnen al deze onderzoeksgebieden een deelaspect, soms behartigd door specialistische kernen binnen een groter geheel, bijvoorbeeld een specialistische kern voor veiligheidscultuur binnen een faculteit psychologie. Mede daardoor heeft de universitaire aandacht voor het kennisdomein 'veiligheid en gevaarlijke stoffen' vele facetten en weinig coherentie.

Voor het verbeteren van prestaties op het gebied van veiligheid is niet alleen ontwikkeling nodig op afzonderlijke kennisgebieden, maar zijn ook interactie en het aanbrengen van samenhang nodig. Dit vereist een netwerk van degenen die actief zijn in de betreffende kennisgebieden.

Veiligheid wordt vaak in één adem genoemd met gezondheid en duurzaamheid (*safety, health and environment/sustainability*). Er bestaan overeenkomsten maar er zijn ook verschillen. Het meest opvallende verschil is wel dat veiligheid meer als kostenpost wordt gezien dan als investering, terwijl bij gezondheid en duurzaamheid kosten een veel geringere rol spelen in de besluitvorming. Het belang wordt blijkbaar eerder gezien.

Daarbij komt dat het moeilijk is om aan te geven wat de consequenties van beslissingen omtrent veiligheid zijn. Het lastige van het meten van veiligheid zit vooral in de kleine kans van optreden van incidenten – bepaald door een veelheid van technische, organisatorische en menselijke factoren – en in de moeilijk voorspelbare en vaak grote omvang van de gevolgen. Het gaat vaak om verschijnselen met een grote dynamiek die zich in zeer korte tijd voordoen en met in potentie desastreuze gevolgen. Dit stelt zowel de bètawetenschappen als de gammawetenschappen binnen dit kennisdomein voor specifieke vragen. Vragen waarbij organisatorische en technische vraagstukken in combinatie moeten worden bestudeerd.

Drie deeldomeinen

In dit kennisdomein kunnen drie deeldomeinen worden onderscheiden. Deze deeldomeinen omvatten verschillende disciplines, kennisgebieden of onderzoeksterreinen, waarbij er bovendien sprake is van een zekere overlap met de andere deeldomeinen. Onderstaand worden de deeldomeinen en de kennisgebieden nader toegelicht.

Gevaarseigenschappen van stoffen

Kennis over de specifieke gevaarseigenschappen van stoffen vormt het startpunt voor een veilig omgaan met die stoffen. Het betreft enerzijds kennis over fysische en chemische eigenschappen van stoffen en het gedrag van stoffen onder extreme condities (druk, temperatuur en reactiviteit). Anderzijds betreft het kennis over effecten bij mensen. Deze kennis kan worden onderverdeeld in kennis van toxicologie, mechanische verwonding of warmtestralingsbelasting/verbranding en psychische schade.

Gevaarseigenschappen van stoffen

- Fysische en chemische eigenschappen – ook onder extreme condities – van (mengsels van) stoffen
- Schade/effecten bij mensen:
 - (acuut) toxische effecten
 - mechanische, warmte- en stralingsbelasting
 - psychische effecten

Systeemveiligheid

Een tweede deeldomein – systeemveiligheid – is de veiligheidsanalyse en conceptuele benadering van een systeem, met inbegrip van het functioneren van de componenten en de bestuurbaarheid van het gehele systeem. Het gaat hier om technische kennis die in meerdere vakgebieden wordt gebruikt – bijvoorbeeld nucleaire techniek en vliegtuigbouw – en betrekking heeft op het langdurig veilig en betrouwbaar laten werken van installaties. Ook betreft het kennis om de betrouwbaarheid van een systeem te kwantificeren en de faalkansen en de onzekerheden daarin te modelleren of te simuleren.

Systeemveiligheid

- Methoden voor veiligheidsanalyse (*failure mode and effect analysis*, foutenbomen)
- *Operability*
- *Controllability*
- Technische *resilience* van systemen
- Betrouwbaarheid en onderhoud van systemen (*reliability and maintenance*)
- Onzekerheidsanalyse (*uncertainty analysis*)

Procesveiligheid

Het derde deeldomein is procesveiligheid. Dit betreft kennis over het veilig ontwerp en veilig bedrijven van chemische en fysische processen in – vaste en transportabele – installaties en over de daarvoor benodigde bedrijfsorganisatie. Daarnaast betreft het kennis over invloed van menselijk gedrag en organisatie met het oog op veiligheid en onderhoud van installaties. Tevens omvat het kennis over het onderzoeken en leren van incidenten en kennis over het beperken van de gevolgen van een ramp.

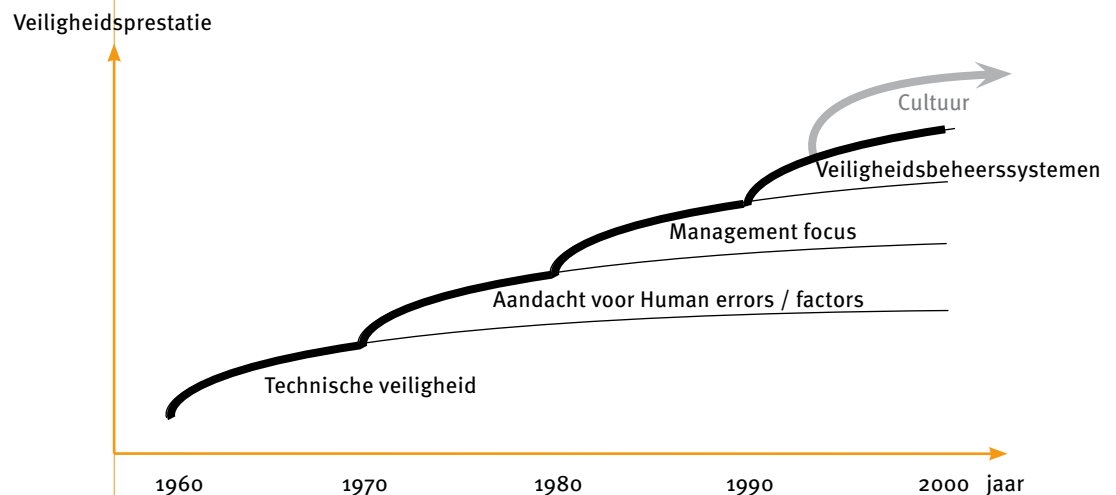
Procesveiligheid

- Veilig ontwerp (*safe design/inherent safety*)
- Procestechnologie en stabiliteit van processen (dosering, warmte-stofoverdrachtsprocessen, beheersbaarheid, integriteit van *containment*, beschermingslagen of *safety integrity systems*, risicobeheersing of risicoreductie (*mitigation*))
- Menselijk gedrag en organisatie, veiligheidsmanagement (veiligheidscultuur, arbeidsveiligheid, *human factor*)
- Incidentanalyse (gevaarsidentificatie, gevolgen, kansen)
- Planning rampenbestrijding (*emergency response*)
- Organisatorische *resilience*

Onderzoek naar procesveiligheid richtte zich in de jaren zestig op technische aspecten. Later ontstonden nieuwe onderzoeksterreinen op het gebied van menselijke fouten en menselijk gedrag. In de jaren tachtig kregen de organisatorische factoren meer aandacht en vanaf de jaren negentig ontstonden er nieuwe inzichten over veiligheidsbeheerssystemen. De laatste jaren is er aanzienlijke aandacht voor de veiligheidscultuur in bedrijven en hoe deze waar nodig te verbeteren. Figuur 1, oorspronkelijk van Visser⁵, geeft een schets van de ontwikkeling in het kennisgebied procesveiligheid in de afgelopen veertig jaar. De AGS heeft in deze figuur de aandacht voor veiligheidscultuur toegevoegd en schat in dat deze aandacht sinds midden jaren negentig voet aan de grond heeft gekregen.

Recentelijk doet het begrip organisatorische *resilience* opgang. Deze term staat voor het vermogen van een organisatie om in te spelen op veranderingen en storingen onder handhaving van de veilige bedrijfsvoering. Organisatorische *resilience* zou het inmiddels onderkende proces van sluipende veiligheidsvervlaking onder druk van efficiëntiemaatregelen en kostenbesparing in een organisatie moeten tegengaan. Organisatorische *resilience* in de procesveiligheid is de mensgerichte tegenhanger van de op de techniek gerichte *resilience* binnen de systeemveiligheid.

5 Visser JP. 'Managing safety in the oil industry - The way ahead', 8th International Symposium Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industry. Antwerp, 1995, 3rd Vol., 169-220.



Figuur 1: Schets van de ontwikkelingen in procesveiligheid in veertig jaar, ontleend aan Visser, waaraan het element 'cultuur' door de AGS is toegevoegd.

De drie hierboven geschetste deeldomeinen zijn in de loop der jaren min of meer los van elkaar ontwikkeld. Voor de toekomst is een betere interactie van belang om verdere ontwikkeling in de veiligheidsprestaties van bedrijven mogelijk te maken ondanks een mogelijk toenemende druk van concurrentie en kostenbesparing. Er is bovendien een extra verschuiving van de aandacht nodig in de richting van veiligheid in ketens en veiligheid in clusters van bedrijven.

Risicoanalyse en risicomanagement

Een deilverzameling van deze drie deeldomeinen wordt gevormd door kennis van risicoanalyse en risicomanagement. Bij het streven naar veiligheid worden afwegingen gemaakt tussen kosten en baten van te treffen maatregelen. Daarom is er behoefte aan instrumentarium voor het bepalen en wegen van risico's en maatregelen. Voor het inschatten van de risico's die de omgang met gevaarlijke stoffen meebrengt, worden zogenoemde kwantitatieve risicoanalysemethoden gehanteerd. Deze maken gebruik van de kennis over procesveiligheid, systeemveiligheid en gevaarseigenschappen van stoffen. Daarnaast is risicoanalyse gebaseerd op specifiek onderzoek op diverse terreinen: gevaarsidentificatie, gevolgen en kansen, scenarioanalyse, risicopresentatie, weging van risico's, risicoperceptie, communicatie, aansprakelijkheid en omgaan met risico's, zowel vanuit bestuurlijk-maatschappelijk als uit bedrijfseconomisch oogpunt.

Kennis over procesveiligheid met name, maar ook kennis over systeemveiligheid en over gevaarseigenschappen van stoffen dragen bij aan de kennis op het gebied van de risicoanalyse. Men zou de risicoanalyse kunnen positioneren in een overlapgebied van deze drie terreinen. Vanwege de bijzondere plaats die risicoanalyse van processen met en transport van gevaarlijke stoffen in Nederland inneemt in verband met ruimtelijke ordening en vergunningverlening, is het onderwerp hier apart genomen.

Risicoanalyse en risicomanagement

- Gevaarseigenschappen van stoffen, systeemveiligheid, procesveiligheid
- Gevaarsidentificatie, gevolgen en kansen, scenario-analyse
- Risicomanagement (presentatie en weging van risico's, risicoreductie, risicoperceptie, communicatie, aansprakelijkheid), bestuurlijk omgaan met risico's

Bij de ontwikkeling van het onderzoeksgebied risicoanalyse speelden een aantal gebeurtenissen en het daaruit voortkomende beleid een belangrijke rol. Zo lag de risicobenadering die werd gehanteerd bij het ontwerp van de Deltawerken in de jaren '50 en daarna de risicobenadering in de nucleaire industrie in de jaren '70 ten grondslag aan de methodiekontwikkeling voor risicoanalyse in de procesindustrie. Het ongeluk in Seveso (Italië) stimuleerde verder onderzoek op dit terrein. Ervaringen in de offshore-industrie, ontwikkeling van wetgeving voor de offshore in Noorwegen en het ongeluk met de Piper Alpha leidde tot nieuw onderzoek in de jaren tachtig. Dit lag ten grondslag aan een belangrijk deel van de ontwikkeling van de tweede Seveso-richtlijn⁶.

Het Centrum voor Wetenschap- en Technologiestedies (CWTS, Leiden) bracht in opdracht van de Adviesraad de kennisgebieden binnen het kennisdomein veiligheid en gevaarlijke stoffen in kaart. Er werd een bibliometrische analyse verricht aan de hand van artikelen gepubliceerd in *peer reviewed* tijdschriften⁷. De artikelen zijn geselecteerd op basis van zoektermen en tijdschriften. De artikelen zijn taalkundig doorzocht op gebruikte combinaties van zelfstandige naamwoorden en gegroepeerd naar frequent voorkomende woordcombinaties. Vervolgens zijn de groepen op basis van overeenkomstig woordgebruik (mate van associatie) dichtbij of juist verder van elkaar als cirkels op een kaart weergegeven (zie figuur 2). Elk van deze cirkels staat model voor een begrippenkader dat een aspect van veilig omgaan met gevaarlijke stoffen omschrijft. De selectiecriteria en de daarop volgende analyse zijn getoetst door de leden van de AGS-commissie Verkenning veiligheidskennis gevaarlijke stoffen (samenstelling zie bijlage 1). Dit resulteerde in een databestand van circa 8300 artikelen uit de tienjaarsperiode 1997 – 2006. Bijlage 2 geeft een beschrijving van de onderzoeksmethode en van de criteria voor selectie van artikelen. Meer detail over in de artikelen gebruikte begrippen is opgenomen in bijlage 3.

Omdat van elk artikel de herkomst bekend is, kan worden aangegeven wat de relatieve bijdrage van bijvoorbeeld Nederland is aan de totale wetenschappelijke productie op een bepaald vakgebied. Vanzelfsprekend komen uit deze analyse alleen kennisgebieden naar voren waarover in de wetenschappelijke literatuur wordt gepubliceerd. Dit betekent dat gebieden met voornamelijk praktisch toepassingsgericht onderzoek relatief onderbelicht blijven.

De kwantitatieve betekenis van de cirkels op de kaarten in figuur 2 is als volgt

- Grootte van cirkels: maat voor het aantal artikelen waarin de genoemde combinatie van zelfstandige naamwoorden voorkomt
- Plaats/afstand tussen de cirkels: maat voor de verwantschap tussen artikelen
- Profiel per land: getal in de cirkel is de percentuele bijdrage van het land op het totaal van de wereld; de mate van roodkleuring is hier een weerspiegeling van

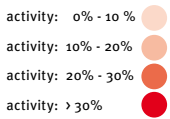
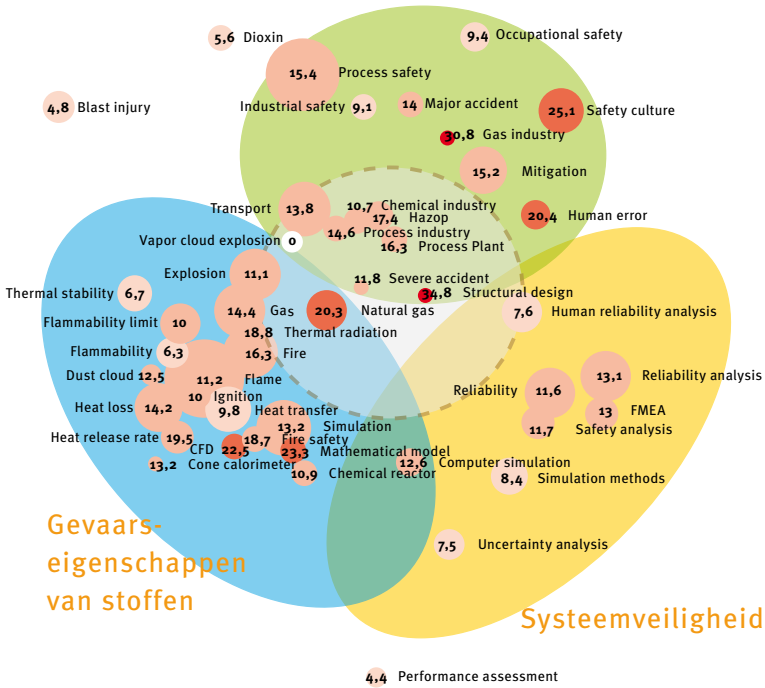
De gebruikte woordcombinaties in de artikelen zijn in de drie genoemde deeldomeinen te verdelen: gevaarseigenschappen van stoffen, systeemveiligheid en procesveiligheid. Deze indeling komt overeen met de beschrijving van het kennisdomein die al op pagina's 17 – 21 is gegeven. In figuur 2 zijn deze deeldomeinen rondom

6 Richtlijn 96/82/EG van de Raad van 9 december 1996 betreffende de beheersing van de gevaren van zware ongevallen waarbij gevaarlijke stoffen zijn betrokken.

7 De artikelen zijn geselecteerd uit het gegevensbestand Web of Science van Thomson Scientific, onderdeel van Thomson Reuters.

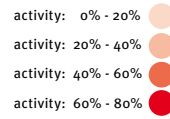
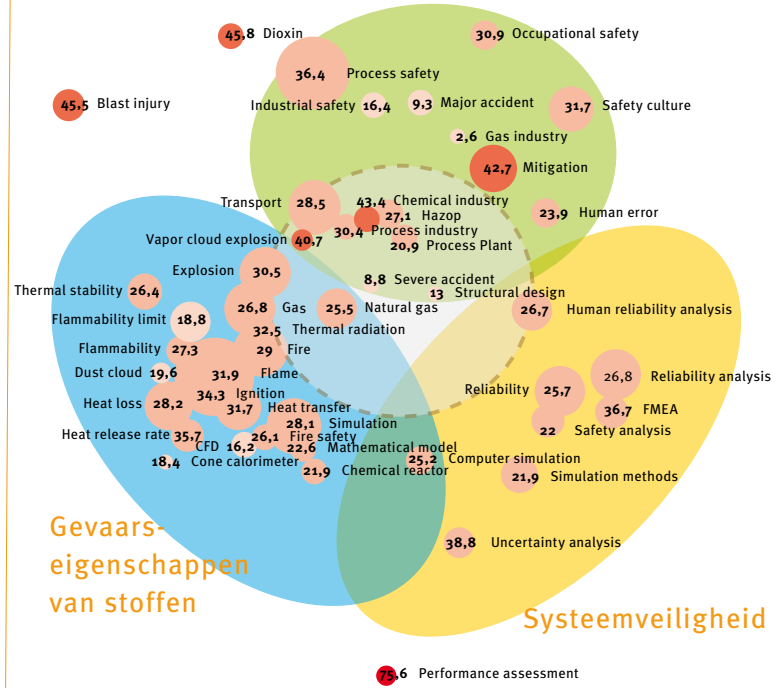
Onderzoekaandacht over de drie deeldomeinen: **Engeland**

Procesveiligheid



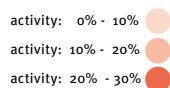
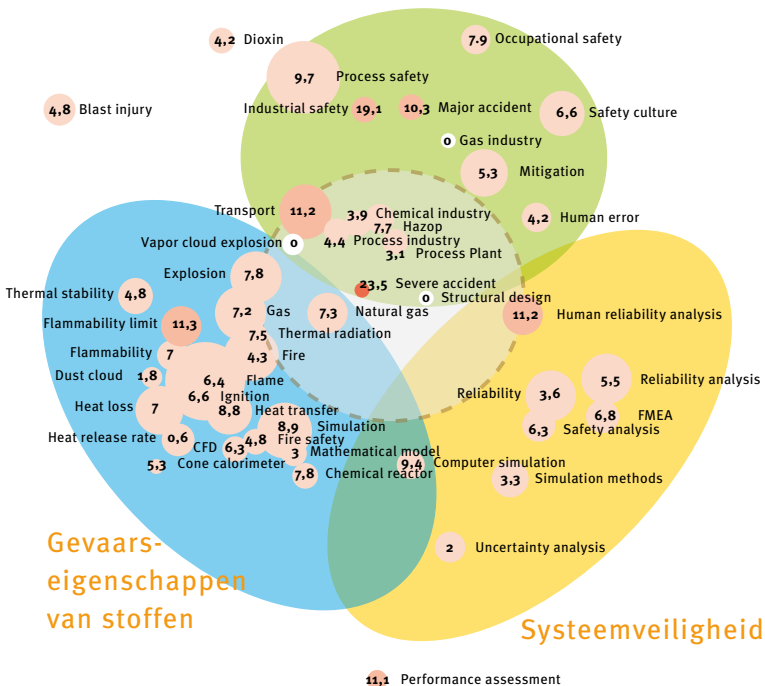
Onderzoekaandacht over de drie deeldomeinen: **Verenigde Staten**

Procesveiligheid



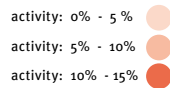
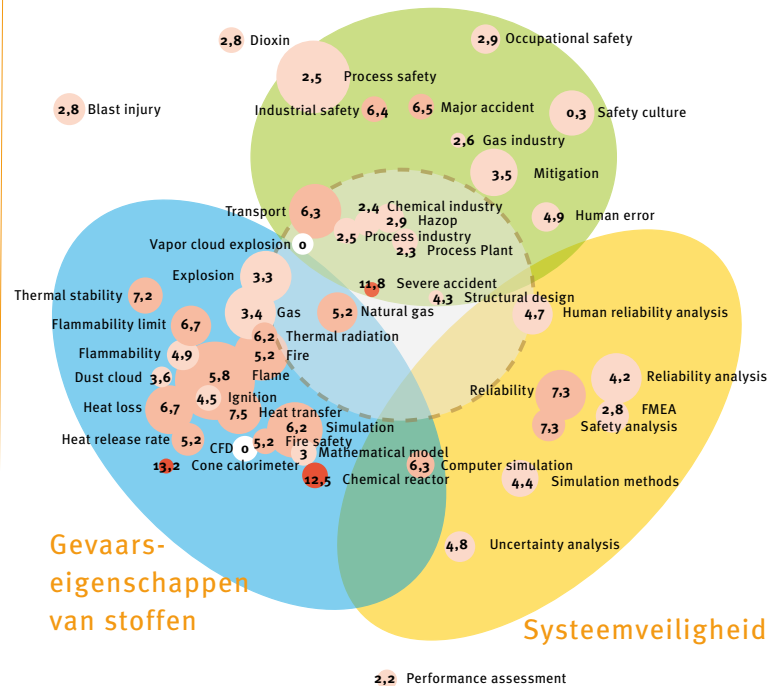
Onderzoekaandacht over de drie deeldomeinen: **Duitsland**

Procesveiligheid

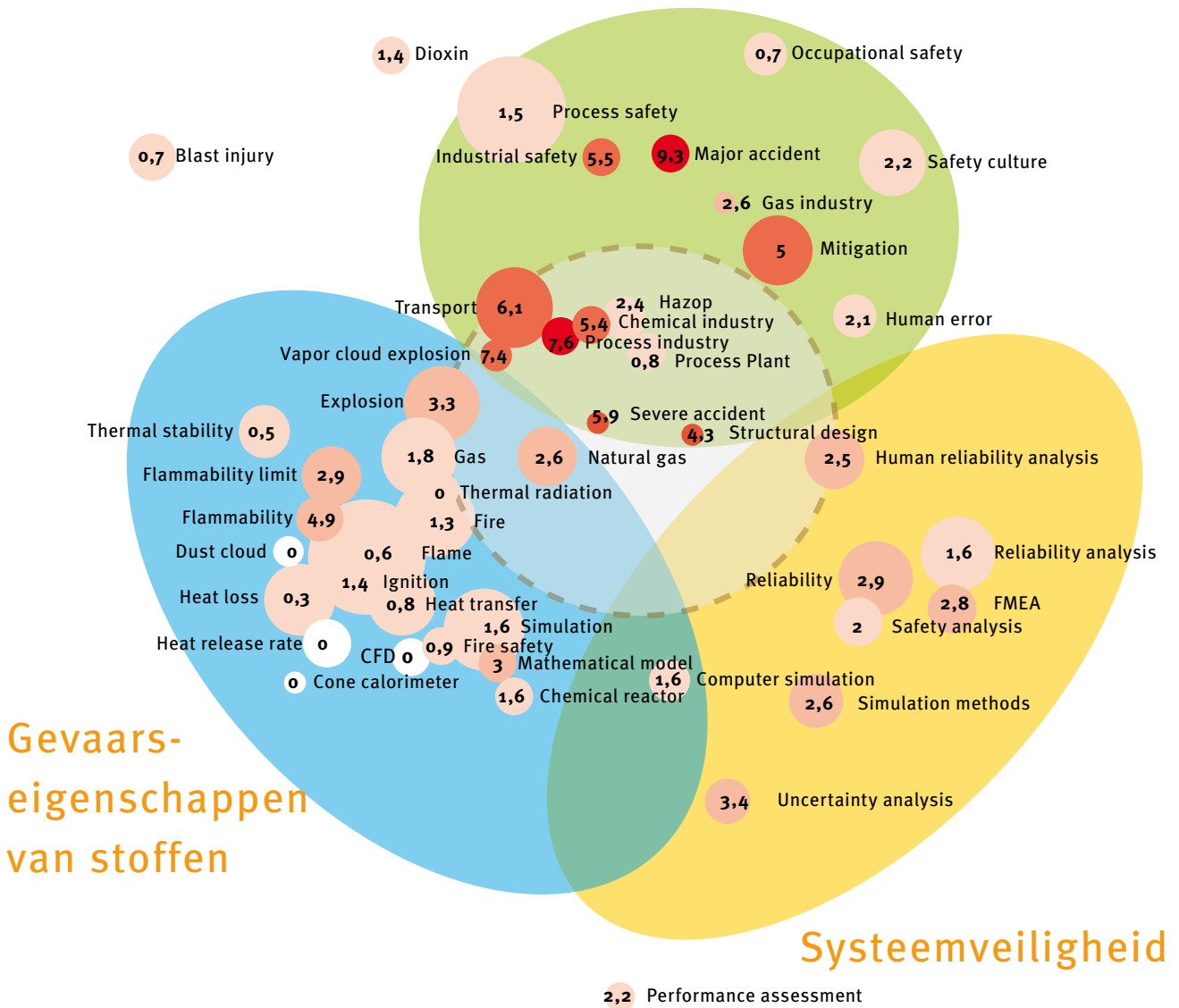


Onderzoekaandacht over de drie deeldomeinen: **Frankrijk**

Procesveiligheid



Procesveiligheid



Figuur 2: De cartografische uitkomst van de bibliometrische analyse uitgevoerd door CWTS op basis van artikelen op het gebied van gevaarlijke stoffen en veiligheid in de laatste tien jaar. Verdeling van de onderzoeksandacht in Nederland, Verenigde Staten, het Verenigd Koninkrijk, Duitsland en Frankrijk over de drie deeldomeinen. De legenda voor de roodkleuring per land is verschillend gekozen om de per land verschillende accenten in het onderzoek inzichtelijk te maken.

de verschillende kennisgebieden aangeduid. Daar waar deze drie deeldomeinen elkaar raken, bevinden zich de onderwerpen die van belang zijn voor risicoanalyse. Voor de volledigheid moet worden vermeld dat een klein aantal cirkels niet binnen de grenzen van de drie deeldomeinen ligt: *blast injury*, *dioxin* en *performance assessment*. Deze ‘uitbijters’ zijn te verklaren. De eerste heeft betrekking op kennis over het effect van onder andere explosie op mensen en betreft een onderzoekswereld die geïsoleerd is van de overige kennisgebieden. De term *dioxin* omvat artikelen gericht op een specifieke groep van stoffen en ook hier gaat het om een wat afgezonderde onderzoekswereld. *Performance assessment* is een term die voornamelijk in Amerikaanse, maar ook in Duitse literatuur wordt gehanteerd. Respectievelijk 75% en 11% van de internationale literatuur is afkomstig uit deze twee landen. Het betreft onderzoek dat zich richt op de meetbare prestaties op het gebied van veiligheid (onder het motto ‘meten is weten’). De wat aparte plaats valt te verklaren uit het feit dat het onderwerp ook op naastgelegen vakgebieden betrekking heeft.

Gevareseigenschappen van stoffen

Dit deeldomein omvat publicaties over gevareseigenschappen van gasmengsels, aerosolen, vloeistoffen en vaste stoffen, zoals brandbaarheid, (stof)explosie-eigenschappen, thermische stabiliteit en ontstekingsgedrag. Het betreft onderzoek dat inzicht geeft in het gedrag van stoffen onder normale maar ook onder extreme condities. Het omvat onderzoek zowel in testopstellingen op laboratoriumschaal als in testfaciliteiten en in het open veld.

Het onderzoek naar de gevareseigenschappen gaat hand in hand met het verder ontwikkelen van de methoden van onderzoek. Voor een belangrijk deel betreft het ook onderzoek naar modellering van het gedrag van reactieve stoffen (mengsels), bijvoorbeeld in installaties, reactorvaten, bij (accidentele) uitstroming en verspreiding in of om gebouwen. Met nieuwe modelleringstechnieken, zoals *Computational Fluid Dynamics* (CFD) wordt gepoogd bestaande modellen te verbeteren.

Onderzoek naar de toxische eigenschappen van stoffen, die bij eenmalig hoge blootstelling relevant zijn, komt nauwelijks in de database van circa 8300 artikelen voor. Onderzoek naar acute effecten bij mensen lijkt zich de afgelopen jaren te hebben beperkt tot de effecten van dioxines en tot *blast injury*, de mechanische effecten van een explosie.

Het huidige onderzoek is onvoldoende toegerust op nog altijd niet goed begrepen vraagstukken over het gedrag van stoffen in extreme condities, bijvoorbeeld hoe thermische ontleding tot heftige explosie c.q. detonatie kan leiden. Dit bemoeilijkt de voorspelbaarheid van gedrag van stoffen en daardoor het opstellen van criteria voor onder andere ontwerp van installaties.

Belangrijke, gewenste ontwikkelingen in het onderzoek, zoals aangegeven door de geraadpleegde deskundigen:

- Vernieuwing uitstroombodellen, met name gasdispersie, om nauwkeurigheid en betrouwbaarheids grenzen scherper te krijgen
- Invloed van omgevingsfactoren op gaswolkexplosiviteit
- Stofexplosie risico's
- Verbeteren probit-functies voor acute toxiciteit en ontwikkelen van methoden voor het modelleren van niet-letale verwonding
- Verbetering methoden voor het karakteriseren van gevareseigenschappen van stoffen

Systeemveiligheid

Met het complexer worden van installaties ontwikkelden zich vraagstukken over de veiligheid van regel- en besturingssystemen, over foutdiagnose, faalkansen en betrouwbaarheid. De publicaties uit het databestand hebben vooral betrekking op onderzoek met behulp van foutenbomen (*fault tree analysis*), Petri-nets, Markov modellen, vage verzamelingen, genetische algoritmes, maar vooral ook Bayesiaanse statistiek, expert meningen, onzekerheidsafgrenzing en beslissingstheorie. In de laatste jaren is het onderzoek verbreed naar veiligheid van complexe netwerken, zoals de veiligheid van elektriciteitsvoorziening of veiligheid in vervoersketens.

Belangrijke, gewenste ontwikkelingen in het onderzoek, zoals aangegeven door de geraadpleegde deskundigen:

- Verbetering nauwkeurigheid en onzekerheidsafgrenzing van de faalkans-waarden van apparaten, vaten, pijpleidingen et cetera, en de invloed hierop van managementeffectiviteit en van belasting door corrosie, trillingen en vermoeiing
- Grotere voorspellende kracht bij bepaling van de betrouwbaarheid van componenten en systemen zoals van drukvaten en software
- Verder ontwikkelen van methoden voor *Risk Based Inspection* en *Reliability Centered Maintenance*
- Verder ontwikkelen van methoden voor *Safety Integrity Level* certificatie van componenten en systemen
- Verder ontwikkelen van kennis over operator-systeem ergonomie en het voorkomen van fouten

Procesveiligheid

Het onderzoek in dit deeldomein richt zich op de veiligheid in procesinstallaties, opslag en transportsystemen. Een deel van het onderzoek heeft betrekking op de technische veiligheid van installaties en *unit operations*, het ontwikkelen van ontwerpeisen en het analyseren van incidenten. Het onderzoek richt zich op de veiligheid van procesoperaties, met name de fysische en chemische factoren: warmte- en stofoverdracht, katalyse en de invloed van contaminaties. Deelgebieden zijn ook *process operability* ofwel de beheersbaarheid, procesregeling, regelkamerinrichting en alarmeringsmanagement. Daarnaast richt een belangrijk deel van het onderzoek zich op de organisatorische aspecten van veiligheid, zoals veiligheidsmanagement, menselijk falen en veiligheidscultuur.

Belangrijke, gewenste ontwikkelingen in het onderzoek, zoals aangegeven door de geraadpleegde deskundigen:

- Inherent veiligere systemen
- Verbetering van veiligheid door procesintensificatie
- Kwantitatieve benadering *resiliency* van installaties
- Beter gebruik van lessen/ ervaringen uit het verleden en van databases
- Betere '*metrics*' – *performance measurement* – over een bereikt veiligheidsniveau inclusief de veiligheidscultuur
- Betere computerondersteunde gevaarsidentificatiemethoden (HAZOP, PLANOP)
- Uitbreiden van LOPA met zelfredding- en hulpverleningsschillen, opnemen van gegevens over effectiviteit van communicatie tussen hulpverleningsteams en met het crisismanagement
- Methodes voor het verbeteren van veiligheidsmanagement en cultuur in organisaties

Risicoanalyse en risicomanagement

De eerder genoemde drie deeldomeinen van onderzoek zijn de bron van informatie en gegevens voor het terrein van de risicoanalyse. De methoden voor kwantitatieve risicoanalyse maken gebruik van input uit de drie deeldomeinen, bijvoorbeeld explosiegrenzen van stoffen of mengsels, faalkansen van systemen of het identificeren van ongevalsscenario's. Het onderzoek naar risicobeoordeling en -analyse is zeer divers en wordt gevoed vanuit verschillende disciplines. De relevante kennisgebieden daarbij zijn: kwantitatieve risicoanalyse, risicocommunicatie, risicoperceptie, methoden voor risicobeoordeling vanuit bestuurlijk-maatschappelijk en bedrijfseconomisch perspectief. Artikelen die betrekking hebben op risicoanalyse bevinden zich rond het midden van de kaart.

In bestuurskundig onderzoek heeft de laatste jaren het onderwerp *risk governance* aandacht gekregen. In deze bibliometrische analyse is dit onderzoek niet prominent naar voren gekomen, mogelijk omdat dit bestuurskundig onderzoek zich niet specifiek richt op veiligheid en gevaarlijke stoffen maar zich richt op risico's in een veel bredere context.

Belangrijke, gewenste ontwikkelingen in het onderzoek, zoals aangegeven door de geraadpleegde deskundigen:

- Nauwkeuriger bepaling van het risico
- Minder afhankelijkheid van model en analist
- Betere en meer reproduceerbaar te genereren inputgegevens
- Betere afgrenzing van betrouwbaarheid
- Genuanceerder expressie van het risico
- Ontwikkeling van scenarioanalyse voor de hulpverlening met tijd als parameter (zoals het opnemen van tijdsafhankelijkheid in modellen over progressie van een brand en over voorspellen van subletaal letsel en het opnemen van gegevens over zelfreddingsmogelijkheden)

Aandacht voor de verschillende deeldomeinen per land

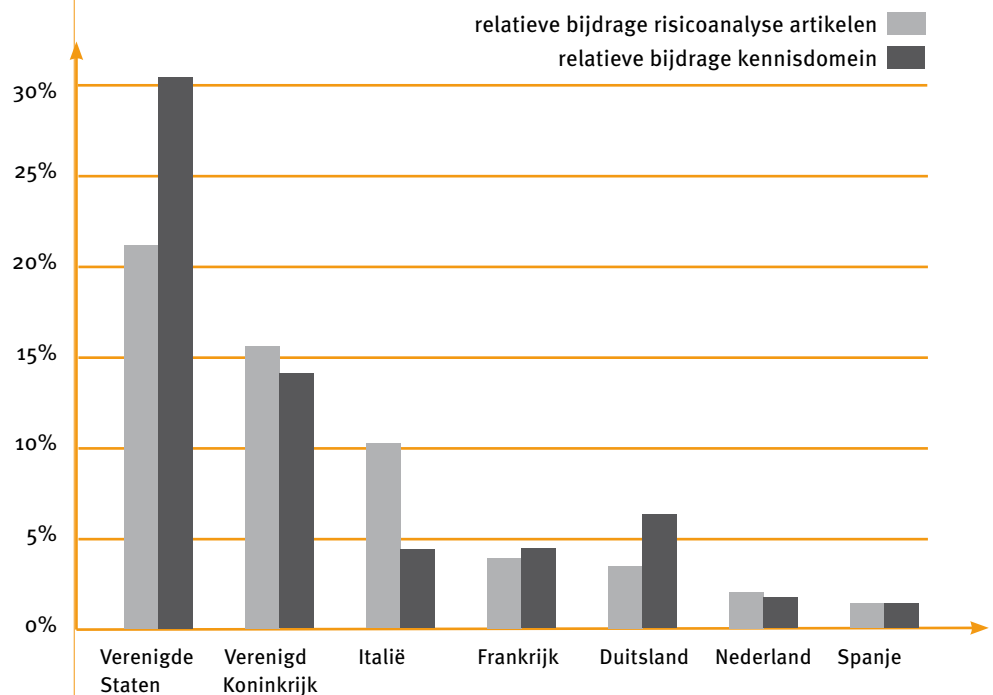
De bijdragen vanuit Nederland (zie figuur 2) hebben betrekking op alle drie de deeldomeinen, maar de aandacht in Nederland concentreert zich op het deeldomein procesveiligheid en in mindere mate op systeemveiligheid. Er is in Nederland relatief weinig aandacht voor het deeldomein gevaarseigenschappen van stoffen.

Het Verenigd Koninkrijk levert verreweg de grootste bijdrage aan het aantal publicaties binnen de EU (33%) en wereldwijd circa 14%. De aandacht blijkt gelijkmatig verdeeld over de drie deeldomeinen. Opvallend is het grote aantal artikelen op het gebied van *safety culture* (de relatieve bijdrage op dit gebied is 25%). Eenzelfde beeld komt naar voren in de onderzoeksactiviteit van de Verenigde Staten in dit kennisdomein. Beide landen hebben een actief beleid om over het gehele gebied actief te zijn. Belangrijke drijvende krachten achter het onderzoek in dit kennisdomein waren de afgelopen jaren de AIChE (American Institute of Chemical Engineers) in de Verenigde Staten en de IChemE (Institution of Chemical Engineers) in het Verenigd Koninkrijk (zie ook pagina's 32 en 33). Bijzonder is de relatief grote bijdrage vanuit de Verenigde Staten op de eerder genoemde, wat geïsoleerde gebieden *blast injury*, *dioxin* en met name *performance assessment*.

De kaart van de publicaties uit Duitsland toont een relatief grote aandacht voor onderzoek naar gevaarseigenschappen van stoffen (met name *flammability limit*). Opvallend is het aantal publicaties vanuit Duitsland over procesveiligheid. Dit vindt vermoedelijk zijn oorzaak in de relatief grote omvang van bedrijven die apparatuur voor de chemische industrie vervaardigen. In Duitsland is net als in de Verenigde Staten relatief veel aandacht voor *performance assessment*. Het Franse onderzoek lijkt zich nog sterker dan het Duitse te concentreren op de gevaarseigenschappen van stoffen en daarnaast op systeemveiligheid.

Aandacht voor risicoanalyse per land

Een nadere analyse van de artikelen die betrekking hebben op risicoanalyse (totaal 775 of 9,2% in de onderzochte periode) resulteerde in de onderstaande figuur. Hierin zijn de zes belangrijke EU-landen opgenomen en daarnaast de Verenigde Staten. De rechterkolom geeft de prestaties per land in het hele kennisdomein (percentage publicaties ten opzichte van de wereldproductie in tien jaar). De linkerkolom geeft de prestaties per land op het gebied van risicoanalyse (percentage publicaties ten opzichte van de wereldproductie aan artikelen over risicoanalyse in het databestand). Drie landen blijken relatief wat meer aandacht te hebben voor risicoanalyse: met name Italië en in mindere mate ook het Verenigd Koninkrijk en Nederland.



Figuur 3: De relatieve bijdrage van de top zes EU-landen en de Verenigde Staten op het gebied van risicoanalyse vergeleken met de relatieve bijdrage van deze landen in het gehele kennisdomein veiligheid en gevaarlijke stoffen.

Bijdrage van organisaties binnen Nederland

Binnen Nederland hebben in totaal 80 organisaties bijgedragen aan 179 publicaties op het gebied van veiligheid en gevaarlijke stoffen. De grootste bijdrage (63%) komt van vijf organisaties: TU Delft, TU Eindhoven, RIVM, Universiteit Utrecht en TNO (Rijswijk). Circa 50% van de totale bijdrage in de onderzochte periode is direct afkomstig van universiteiten. De andere helft van de publicaties betreft toegepast-wetenschappelijk onderzoek, gepubliceerd door vier typen organisaties (GTI's/overige onderzoeksinstituten/overheden, adviesbureaus, bedrijfsleven en overige organisaties).

Vergelijking impactscore met vakgebied chemische wetenschappen

De prestaties van het chemisch onderzoek in Nederland worden periodiek door NWO beoordeeld, niet zozeer op basis van de relatieve bijdrage in aantal ten opzichte van de wereldproductie, maar op basis van de impactscore. Deze wordt uitgedrukt in de verhouding CPP/FCSm ofwel het gemiddeld aantal citaties per publicatie (exclusief zelfcitaties) van een bepaalde onderzoekseenheid ten opzichte van het gemiddeld aantal citaties per publicatie in het betreffende vakgebied in de wereld (Field-based Citation Score mean value).

Voor chemische wetenschappen was deze impactscore 1,55 over de periode 1991 tot 2000, oftewel 55% boven het wereldgemiddelde⁸. Voor het vakgebied chemical engineering lag deze score op 2,26 en voor *process technology* op 1,61. De impactscore voor het kennisdomein veiligheid en gevaarlijke stoffen was in de periode 1996 – 2006 voor heel Nederland 1,2. Deze wat lagere waarde kan behalve met de kwaliteit van het onderzoek ook te maken hebben met het multidisciplinaire karakter van het onderzoek in dit kennisdomein. Multidisciplinair onderzoek heeft in de regel een lagere impactscore.

Bijdrage van Nederland ten opzichte van andere landen

Het aantal artikelen uit Nederland in de afgelopen tien jaar was 179 ofwel ca 2,1% van de wereldwijde productie (zie tabel 1). Dit is lager dan het percentage van 2,5% dat het totale Nederlandse onderzoek scoort⁹. Binnen Europa voert het Verenigd Koninkrijk de lijst aan met 1169 publicaties in de onderzochte periode. Nederland staat op basis van het aantal publicaties op een zesde plaats binnen Europa.

Tabel 1: Top zes landen in Europa op basis van aantal publicaties

	Aantal publicaties	% EU-25	% wereld
Verenigd Koninkrijk	1169	33,2%	14%
Duitsland	547	15,6%	6,5%
Frankrijk	376	10,7%	4,5%
Italië	366	10,4%	4,4%
Spanje	193	5,5%	2,3%
Nederland	179	5,1%	2,1%

Vergelijking met een verwant vakgebied en met de omzet in de chemiesector

Voor de zes genoemde EU-landen is de bijdrage uit tabel 1 in figuur 4 vergeleken met de publicaties in een vergelijkbaar onderzoeksgebied (*chemical engineering*)¹⁰ en

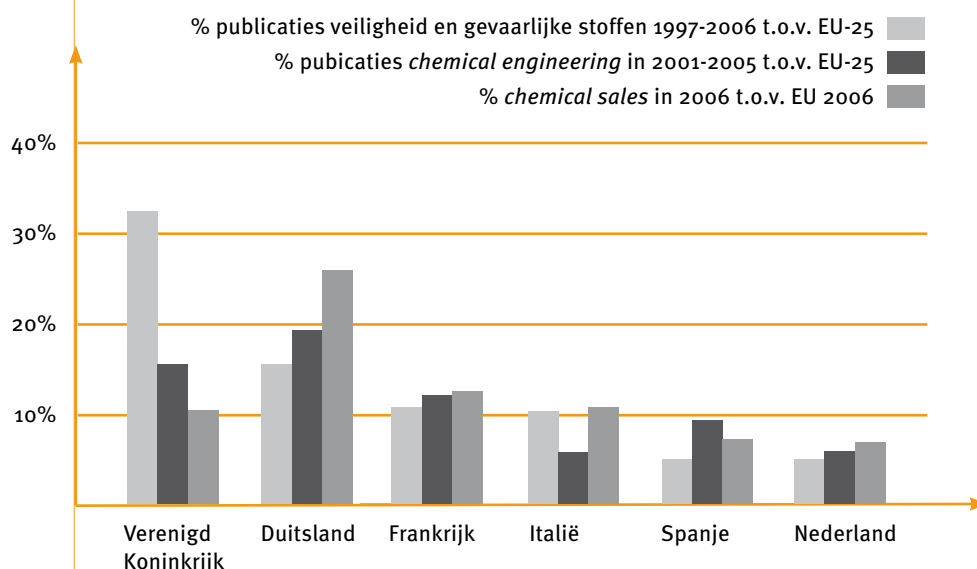
⁸ The third bibliometric study on chemistry research associated with the council for chemical science of the Netherlands Organization for Scientific Research (NWO-CW) 1991-2000. Van Leeuwen TN, et al. CWTS. The Hague, September 2002.

⁹ Wetenschaps- en TechnologiëIndicatoren 2005. Nederlands Observatorium van Wetenschap en Technologie (NOWT). Leiden, 2007.

met de omzet van de chemische industrie¹¹. De omzetcijfers hebben betrekking op de chemische en farmaceutische industrie en omvatten basischemie (petrochemie, rubber en kunststoffen, kunstvezels, anorganische stoffen, industriële gassen, kunstmeststoffen, 42,7%), farmacie (27,9%), *specialty chemicals* (verven en gewasbeschermingsmiddelen, 19,2%) en consumptieartikelen (cosmetica en wasmiddelen, 10,2%).

In onderstaande figuur valt de grote bijdrage vanuit het Verenigd Koninkrijk op, niet alleen ten opzichte van de andere landen, maar ook in verhouding tot de beide genoemde maatstaven.

Deskundigen wijten de sterke Britse aandacht voor dit kennisdomein onder andere aan verankering van de aandacht voor veiligheid in de beroepsvereniging voor chemische ingenieurs (IChemE, zie ook pagina 32).



Figuur 4: Bijdrage van Nederland en vijf andere landen aan het aantal publicaties op het gebied van veiligheid en gevaarlijke stoffen (V&G) in de 25 landen van de EU afgezet tegen de bijdrage in het vakgebied *chemical engineering* en de omzet van de chemiebedrijven in 2006; bronnen zie voetnoten 10 en 11.

Bevolkingsdichtheid

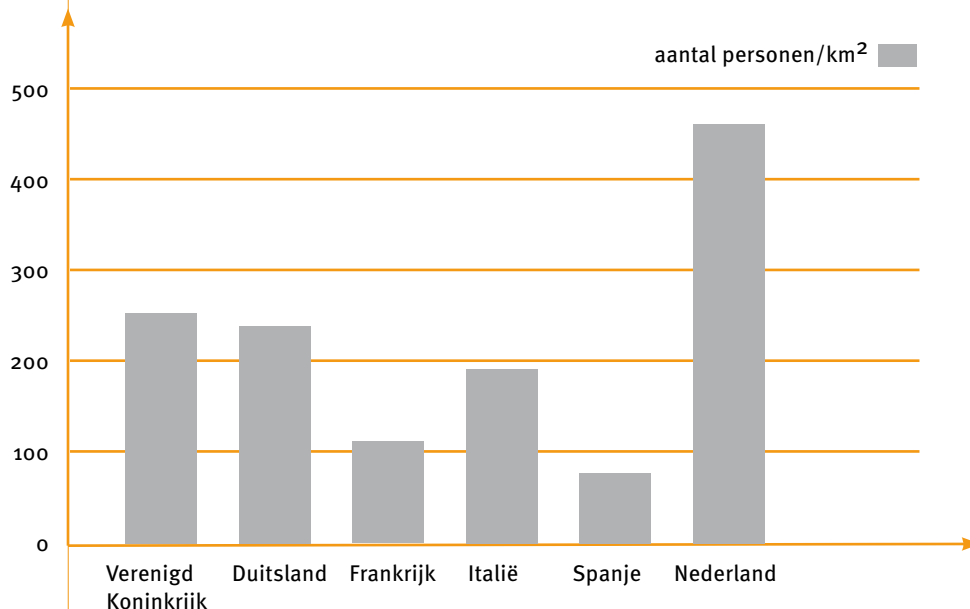
In het verleden heeft de bevolkingsdichtheid in Nederland in combinatie met de omvang van de chemiesector de kennisvragen beïnvloed en de speerpunten in het onderzoek gestuurd. Het was een reden voor de specialisatie van het Nederlandse onderzoek op het gebied van kwantitatieve risicoanalyse.

De bevolkingsdichtheid in Nederland is nu bijna tweemaal zo groot als in Duitsland en het Verenigd Koninkrijk, zie figuur 5. Vergelijking met figuur 3 wijst uit dat er

¹⁰ Op verzoek van de AGS inventariseerde het CWTS het aantal publicaties op het gebied van *chemical engineering* in de periode 2001-2006. Voor afbakening van het kennisgebied *chemical engineering* werd gebruik gemaakt van een eerdere studie van het NWO-CW, The third bibliometric study on chemistry research associated with the council for chemical science of the Netherlands Organization for Scientific Research (NWO-CW) 1991-2000. Van Leeuwen TN, et al. CWTS. The Hague, September 2002.

¹¹ Facts and Figures: The European chemical industry in a worldwide perspective. Geographic breakdown of EU chemical industry sales. Cefic. Brussels, september 2007. De cijfers over *chemical sales* in figuur 4 zijn exclusief farmaceutische industrie.

tegenwoordig geen verband is aan te wijzen tussen de (nog steeds toenemende) verdichting en de Nederlandse productie van wetenschappelijke artikelen over risicoanalyse.



Figuur 5: Bevolkingsdichtheid (aantal personen per km²) in verschillende Europese landen.

**HUIDIGE EN TOEKOMSTIGE
STRATEGISCH ONDERZOEK
IN NEDERLAND**

In de hierboven beschreven inventarisatie komen alleen de kennisgebieden naar voren waarover in de wetenschappelijke literatuur wordt gepubliceerd. Bovendien betreft het de onderzoeksactiviteit over de afgelopen tien jaar. Om deze redenen is deze bibliometrische analyse aangevuld met een onderzoek naar de aard en omvang van het lopende strategische onderzoek en de toekomstverwachtingen dienaangaande. Technopolis BV (te Amsterdam) heeft in opdracht van de Adviesraad de kennis/onderzoeksinstituten, universiteiten en bedrijven benaderd die in de hierboven beschreven bibliometrische analyse naar voren kwamen¹². Via interviews en bureau-studie zijn de aard van de lopende onderzoeksprogramma's en de bijbehorende budgetten geïnventariseerd. Aanvullende informatie is verkregen van NWO en door het raadplegen van de database van de projecten binnen het Zesde Kaderprogramma voor onderzoek en technologische ontwikkeling van de EU. De onderlinge verbanden tussen de actoren zijn door middel van een sociale netwerkanalyse in kaart gebracht.

Uit de reacties van de verschillende geïnterviewden blijkt dat het lopende onderzoek zich beperkt tot deelgebieden¹³. Een integrale benadering van de problematiek wordt gemist. Het Nederlands onderzoek teert nog op vernieuwingen uit de jaren '70-'80. Nieuwe mogelijkheden bijvoorbeeld op het gebied van risicoanalyse worden niet benut. Dit kan betekenen dat Nederland de aansluiting mist met internationale ontwikkelingen.

¹² In bijlage 1 zijn de namen van de geïnterviewden opgenomen.

¹³ Kennisdomein gevaarlijke stoffen: Achtergrondstudie. Technopolis BV, november 2007.

De inventarisatie van het lopend onderzoek (in 2007) bij onderzoeksgroepen geeft een verontrustend beeld¹⁴. Onderzoeksgebieden waar in het verleden nog onderzoek plaatsvond, zijn verdwenen of dreigen te verdwijnen. Geschat wordt dat er bij bedrijven, kennisinstututen en universiteiten in Nederland momenteel tussen de 90 en 140 FTE's werkzaam zijn aan ontwikkeling van strategische kennis op het terrein van veiligheid en gevaarlijke stoffen. Daarvan zijn slechts circa 20 FTE's werkzaam bij – drie verschillende – universiteiten.

Bovendien is de aandacht niet gelijkmatig verdeeld over alle kennisgebieden die de Adviesraad binnen het kennisdomein identificeerde. Zwaartepunten zijn momenteel schade- en effectmodellering, veiligheidsmanagement en -beleid. Minder sterk of vrijwel niet vertegenwoordigd zijn systeemveiligheid, veilige procesttechnologie en ontwerp, (fysische, chemische of toxische) gevaarseigenschappen van stoffen, externe veiligheid in ruimtelijke ordeningsvraagstukken en aandacht voor gevaarlijke stoffen in verband met rampenbestrijding.

Uit de sociale netwerkanalyse blijkt dat TNO en RIVM en TU Delft een centrale rol in de strategische kennis spelen. De TU Delft en de TU Eindhoven leveren de grootste bijdrage aan funderend onderzoek op dit terrein. Het blijkt dat er weinig contacten zijn over de muren rond de verschillende kennisgebieden. Fragmentatie is evident, wat bij de huidige omvang bovendien een gevaar voor de continuïteit inhoudt. Mensen met overzicht over het geheel zijn dun gezaaid.

Op de begroting van de departementen VROM, VenW en BZK is voor enkele programma's op het terrein van veiligheid en gevaarlijke stoffen onderzoeksfinanciering opgenomen. Er is echter nauwelijks sprake van langlopend en strategisch onderzoek. Bovendien blijkt uit de planning dat de financiering de komende jaren zal teruglopen en er is geen overkoepelend overheidsbeleid voor kennisontwikkeling in dit kennisdomein¹⁵.

De afgelopen jaren is er een verschuiving te zien in de financieringsvorm van het onderzoek. Niet alleen in Nederland, maar ook in de andere EU-landen wordt de projectfinanciering van onderzoek steeds belangrijker. Dit zal de geconstateerde versnippering verergeren indien er geen masterplan aan de financiering ten grondslag ligt en alleen *bottom-up* voorstellen worden gedaan.

Voor het kennisdomein veiligheid en gevaarlijke stoffen zou een strategisch plan voor de kennisinfrastructuur ook in Nederland van groot belang zijn, maar dit is niet voorhanden. Regie en bevordering van samenhang zijn daarvoor nodig naast financiering en aantrekken van talent. Er zijn twee voorwaarden aan verbonden. Er dient een toekomstverkenning opgesteld te worden die de basis vormt voor een *road map*. Bovendien dient er *top-down* sturing plaats te vinden, die vergt dat er het nodige overzicht bestaat en dat de nodige inspanning geleverd kan worden.

¹⁴ Idem.

¹⁵ Zie onder andere het advies 'Veiligheid vereist kennis' van de Adviesraad Gevaarlijke Stoffen, het kabinetsstandpunt op dit advies (TK 30373, nr 13) en de begrotingen van de diverse departementen.

In de Verenigde Staten kregen procesveiligheid en veilig omgaan met gevaarlijke stoffen vooral na de ramp in Bhopal (1984) aandacht. Het congres en de senaat hebben het *American Institute of Chemical Engineers* hiervoor een verantwoordelijkheid toegedicht. Dit resulteerde in het periodiek organiseren van *Loss Prevention* symposia en in 1985 in de oprichting van het *Center for Chemical Process Safety*. Dit Center werkt met vertegenwoordigers van bedrijven en overheid aan de bescherming van werknemers, bevolking en het milieu. De werkzaamheden resulteren in Richtlijnen (*Guidelines*). Verder worden er thematische symposia gehouden en opleidingen verzorgd. De *Safety and Chemical Engineering Education* groep¹⁶ behartigt het universiteitsonderricht.

Tenslotte is er de *Chemical Safety and Hazard Investigation Board* die ongevallen met gevaarlijke stoffen onderzoekt. Het ongeval in maart 2005 in een raffinaderij van BP in Texas leidde tot een rapport waarin erosieve tendensen in de bedrijfsorganisatie die tot dit en andere ongevallen hebben geleid, bloot zijn gelegd. Dit rapport is een nieuwe stimulans voor kennisontwikkeling in dit domein (zie ook voetnoot 1).

Europese landen

In Europa bestaan er verschillen in aanpak tussen de landen. Zo zijn er – net als in de USA – in Engeland, Duitsland en Frankrijk beroepsverenigingen actief en is er in Italië een aan het opkomen¹⁷. In het Verenigd Koninkrijk bestaat al relatief lang aandacht voor veiligheid en gevaarlijke stoffen. In Frankrijk heeft de ramp in Toulouse de aandacht verhoogd. In de andere landen is de aandacht meer een afgeleide van ontwikkelingen op Europees vlak.

Een toonaangevend land in Europa op het gebied van veiligheid en gevaarlijke stoffen is het Verenigd Koninkrijk. De *Institution of Chemical Engineers* (ICChemE) speelt al vele jaren een belangrijke rol in het stellen van eisen aan chemische ingenieurs en adviseert over sturing van onderzoek. Al sinds het eind van de jaren zestig certificeert de ICChemE opleidingen en organiseert symposia.

Daarnaast was er in de procesindustrie een goede terugkoppeling vanuit incidentonderzoek naar ontwerp van nieuwe processen. Dit creëerde nieuwe kennisvragen. Bovendien kreeg veiligheid jarenlang een plaats op de onderzoeksagenda door de centrale aandacht vanuit de HSE (*Health and Safety Executive*), waardoor de relevante kennisgebieden al vanaf de jaren '70 werden gebundeld.

In de *Roadmap for 21st Century Chemical Engineering*¹⁸ worden lijnen uitgezet voor het onderzoek. Veiligheid krijgt daarin een prominente plaats. Bijzondere aandacht besteedt de ICChemE aan opleiding van chemische ingenieurs, zowel in de programma's voor duurzaamheid als voor veiligheid. Deze beide onderwerpen vereisen een vorm van bewustwording om te komen tot nieuwe technologieën en concepten. Duurzaamheid en veiligheid moeten volgens de ICChemE inherent onderdeel zijn van de basisopleiding van chemische ingenieurs.

In Frankrijk is in 2003 naar aanleiding van de ramp in Toulouse een instituut voor industriële veiligheidscultuur opgericht (*Institut pour une Culture de Sécurité Industrielle*). De activiteiten omvatten interdisciplinair onderzoek gericht op industriële veiligheid, opleiding en training op master-niveau (in nauwe samenwerking

¹⁶ Zie <http://www.sache.org/newsletters/SacheNewsFall2007.pdf>.

¹⁷ In Engeland de *Institution of Chemical Engineers* (ICChemE), in Duitsland het *Verein Deutscher Ingenieure* (VDI), in Frankrijk de *Association Chimie Industrielle et Génie des Procédés* (I'A.C.I.G.P.) en in Italië de *Associazione Italiana di Ingegneria Chimica* (AIDIC).

¹⁸ A Roadmap for 21st Century chemical engineering. ICChemE. Rugby, May 2007.

met de industrie) en het organiseren van bijeenkomsten over risicomanagement en risicoacceptatie. De financiers zijn grote industriële bedrijven, vakbonden, academische onderzoeksinstituten, overheidsorganen en NGO's.

Europa

De European Federation of Chemical Engineering (EFCE) heeft sinds de jaren '70 driejaarlijkse symposia *Loss Prevention* georganiseerd (dus al eerder dan het American Institute for Chemical Engineers) en in de jaren negentig is het *European Process Safety Centre* (EPSC)¹⁹ opgericht.

In de jaren '80 en '90 is centraal vanuit de EU research en methodiekontwikkeling gestimuleerd, gekoppeld aan het ontwikkelen van regelgeving in het kader van de Seveso-richtlijn. Door allerlei oorzaken is de stuwkracht echter weggeëbd.

Enkele jaren geleden hebben het EPSC en Frankrijk (na de ramp in Toulouse) het initiatief genomen tot het oprichten van het *European Technology Platform for Industrial Safety* (ETPIS)²⁰. In het ETPIS bundelen onderzoeksinstituten en bedrijven vanuit diverse EU-landen de krachten voor onderzoek. Dit technologieplatform is een van de platforms die zijn opgericht naar aanleiding van de doelstelling van de EU de meest concurrerende en dynamische kenniseconomie in de wereld te worden, waarbij duurzame economische groei leidt tot meer en betere banen en hechtere sociale samenhang (Europese Raad, Lissabon, maart 2000). In Göteborg heeft de Europese Raad de milieudimensie aan de doelstellingen toegevoegd (juni 2001).

Begin januari 2006 publiceerde ETPIS een eerste proeve van een strategische onderzoeksagenda²¹. Het is de bedoeling van de onderzoekspartijen en verdere belanghebbenden de EU te bewegen gelden voor onderzoek ter beschikking te stellen in het Zevende Kaderprogramma.

ETPIS gebruikt – naast de genoemde Lissabondoelstellingen – het belang van een voor werknemers en burgers veilige industriële productie als argument voor het gemeenschappelijk uitvoeren van een onderzoeksagenda. De Europese industriële en transportnetwerken zijn bovendien in toenemende mate grensoverschrijdend en afhankelijk van elkaar. Een efficiënte en ongestoorde productie is daardoor van gemeenschappelijk belang voor betrouwbare levering van materialen en producten. De nagestreefde doelen worden efficiënter bereikt door Europese samenwerking. Gezamenlijke ontwikkeling en onderbouwing van Europese normen bevorderen harmonisatie van wetgeving en een *level playing field*. Er ontstaat daardoor ook – met name voor bedrijven die in meerdere EU-landen opereren – meer eenduidigheid, hetgeen uiteindelijk leidt tot kostenbesparing.

Het is de bedoeling dat nationale groeperingen het platform voeden. Er zijn inmiddels veertien nationale platforms verbonden aan het ETPIS, onder andere in het Verenigd Koninkrijk, Frankrijk, Duitsland, Italië en Spanje. Deze nationale platforms richten zich op coördinatie van de publieke en private onderzoeksfinanciering, het bevorderen van synergie tussen sectoren en het stimuleren van kennisontwikkeling en innovatie op het gebied van industriële veiligheid. In Nederland ontbreekt tot nu toe een voldoende basis voor het opzetten van een nationaal platform.

¹⁹ De meeste grote Europese chemiebedrijven zijn lid van het EPSC.

²⁰ Dit platform is breder dan alleen procesveiligheid en richt zich ook op bouw en constructie; zo trekken meerdere branches gezamenlijk op om te investeren in kennisontwikkeling op het gebied van veiligheid.

²¹ Safety for Sustainable European Industry Growth: Strategic Research Agenda, Detailed Version, First Edition. ETPIS. Brussels, January 2006.

TRENDS, KENNISVRAGEN
EN OPLEIDINGEN

De onderzoeksagenda van ETPIIS (2006) richt zich op de volgende thema's:

- Ontwikkelen van nieuwe methoden voor risicoschatting en risicomanagement in antwoord op de toenemende complexiteit van industriële systemen
- Verbeteren van methoden en technologieën voor risicoreductie op de werkplek om *major accidents* (grote incidenten) te voorkomen
- Ontwikkelen van methoden en technologieën voor veilig ontwerp en onderhoud van installaties (*structural safety*)
- Ontwikkelen van kennis over de impact van menselijk gedrag en organisaties in risicobeheersing
- Ontwikkelen van kennis over het identificeren en beoordelen van opkomende risico's, verkennen van de consequenties voor wetgeving, normen en standaarden, economische aspecten van risicomanagement, integreren van risicomanagement in de levenscyclus van installaties
- Verbeteren van kennisoverdracht naar de industrie
- Verbeteren van (kennis over) veiligheid van nanotechnologieën en het gebruik van nanomaterialen

In gesprekken met een dertigtal deskundigen vanuit bedrijfsleven, universiteiten en overheid zijn trends in chemie en transport, trends bij de burger, trends bij de overheid en trends bij de kennis(infrastructuur) op gebied van veiligheid en gevaarlijke stoffen verkend²². Aansluitend zijn kennisvragen voor de lange termijn besproken. Tevens zijn de toekomstverkenningen van de Regiegroep Chemie²³ bij deze analyse betrokken.

Trends

Een belangrijke trend is de groei van het transport van gevaarlijke stoffen; de groei in het transport van gevaarlijke stoffen is zelfs groter dan de economische groei. De rol van Nederland als doorvoerland voor deze transportstroom zal belangrijker worden. Daarnaast zullen ook de productie en het gebruik van gevaarlijke stoffen toenemen. Het Nederlandse investeringsklimaat voor de chemische industrie en de concurrentiepositie van Nederland ten opzichte van met name China en andere landen in het Verre Oosten vormen een onzekere factor.

De Regiegroep Chemie voorziet een groei van de chemiesector en formuleert bovendien strenge doelen op het gebied van duurzaamheid, waaronder een drastische reductie van het gebruik van fossiele brandstoffen.

Tevens wijst de Regiegroep Chemie op het belang van de Nederlandse kennisontwikkeling voor de chemiesector, ook al is er – zoals bovenstaand geschetst – steeds meer afstemming en gezamenlijke kennisontwikkeling binnen Europa. De Nederlandse kennis op het gebied van katalyse was jarenlang zeer vooraanstaand. Ook meer in het algemeen hebben de Nederlandse chemische wetenschappen internationaal een goede naam en scoren nog steeds hoge citatie-indices²⁴.

De instroom van studenten, de omvang van het onderzoek en de aansluiting bij

²² In Bijlage 1 is een overzicht opgenomen van de geraadpleegde deskundigen. Bijlage 4 bevat een samenvatting van de resultaten.

²³ Innovatie in, door en van de Nederlandse chemische sector. Uitwerking en uitvoering van het businessplan van de Regiegroep Chemie, 'Sleutelgebied chemie zorgt voor groei'. Regiegroep Chemie. Den Haag, augustus 2007.

²⁴ The third bibliometric study on chemistry research associated with the council for chemical Science of the Netherlands Organisation for Scientific Research (NWO-CW) 1991-2000. Van Leeuwen TN, et al. CWTS. The Hague, September 2002.

vraagstukken vanuit de industrie vormen tegenwoordig echter reden tot zorg, zo constateert ook de Regiegroep Chemie. De Regiegroep wil daarom de instroom stimuleren bij chemieopleidingen. Ook heeft de Regiegroep plannen voor uitgebreide onderzoeksprogramma's en voor herstructurering van de huidige kennisinfrastructuur voor chemie. Overheid en bedrijfsleven financieren gezamenlijk deze plannen. De voorgestelde onderzoeksprogramma's hebben niet specifiek betrekking op veiligheidsvraagstukken. Ook vanuit de lopende onderzoeksprogramma's van NWO Chemische wetenschappen wordt geen onderzoek op het gebied van veiligheid gefinancierd, behalve binnen het programma *Sustainable hydrogen*.

Kennisvragen

Met de geraadpleegde deskundigen zijn – naast de boven beschreven trends – ook de lange termijn kennisvragen gecategoriseerd. Deze kennisvragen kunnen voor een deel binnen één van de drie deeldomeinen (procesveiligheid, systeemveiligheid, gevaarseigenschappen van stoffen) worden ondergebracht (zie tabel 2). In veel gevallen vereisen deze kennisvragen echter onderzoek met een multidisciplinaire aanpak over de deeldomeinen heen. Interactie en samenhang tussen onderzoek vanuit de verschillende disciplines zijn daarbij van belang.

Tabel 2: Voorbeelden van kennisvragen per deeldomein

Gevaarseigenschappen

- Verbeteren van probitfuncties voor toxiciteit en voor ontwikkeling van niet-letale verwonding ten gevolge van brand of explosie
- Verbeteren van methoden voor het karakteriseren van gevaarseigenschappen van stoffen. Tevens ontwikkelen van dergelijke methoden voor een groter bereik van condities vanwege toepassing van stoffen en mengsels onder nieuwe omstandigheden (bijvoorbeeld hogere druk of temperatuur)
- Verbeteren van gasdispersie modellen om nauwkeurigheid en betrouwbaarheids grenzen scherper te krijgen
- Ontwikkelen van modellen over explosiviteit van een gaswolk waarbij rekening gehouden wordt met omgevingsfactoren in bebouwde omgeving
- Verbeteren van het inzicht in het mechanisme van stofexplosies

Systeemveiligheid

- Ontwikkelen van kennis over het analyseren en ontwerpen van systemen (ketens of complexe industriële systemen) rekening houdend met een zeker incasseringsvermogen tegen mogelijk falen (technische *resilience*)
- Onderzoek naar de invloed van onderlinge afhankelijkheid van *plants* op de veiligheid in het licht van verschuiving van *stand-alone* bedrijven naar netwerken van kleinere bedrijven. Daarbij is het onder andere de wens tot besparing van energie die de onderlinge afhankelijkheid van *plants* versterkt

Procesveiligheid

- Verbeteren van methoden voor gevaarsidentificatie ten behoeve van preventieve maatregelen in het ontwerp
- Ontwikkelen van inherent veiligere processen
- Onderzoek naar mogelijke consequenties van procesintensificatie voor de veiligheid van processen
- Verbeteren van prestatie-indicatoren ('*lagging and leading*') over de veiligheid van bedrijfsvoering
- Onderzoek naar organisatorische *resilience*
- Evaluatie en verder ontwikkelen van methoden om het veiligheidsbewustzijn en veiligheidsgedrag van individuen in een organisatie ook op de langere termijn gunstig te beïnvloeden

- Onderzoek ten behoeve van meer effectieve risicocommunicatie
- Kennis over gerichte hulpverlening per doelgroep
- Effectiviteit van trainingmethoden voor *decision makers*
- Onderzoek naar effectiviteit (risicoreductie) van preparatieve maatregelen in het nabije veld
- Uitbreiding van *Layers of protection analysis* (LOPA) met een schil voor de communicatie voor zelfredding en een schil voor de communicatie tussen hulpverleningsteams en crisismanagement
- Onderzoek naar methoden voor incidentenonderzoek en naar het daadwerkelijk leren van incidenten in bedrijven en bij de overheid
- Toepassing van veiligheidskennis in ontwerp van nieuwe meer inherent veilige processen en installaties, in bedrijfsvoering van bestaande installaties en van toezicht en handhaving door de overheid

Kennisvragen over risicoanalyse en risicomanagement zijn in tabel 3 opgenomen. Onderzoek op dit terrein vereist kennis uit de drie eerder genoemde deeldomeinen, waaronder kennis over data die in modellen moeten worden verwerkt.

Tabel 3: Voorbeelden van kennisvragen over risicoanalyse en risicomanagement

- Ontwikkelen van modellen ten behoeve van berekening van risico's die beter aansluiten bij de werkelijkheid (rekening houdend met de bebouwde omgeving en met vervoer, tunnels en overkappingen)
- Ontwikkelen van methoden voor scenarioanalyse waarin tijdsafhankelijkheid en daardoor de progressie van gevaar en het treffen van tegenmaatregelen ingebracht wordt in modellen voor kwantitatieve risicoanalyse
- Ontwikkelen van methoden voor het modelleren van subletale effecten
- Ontwikkelen van methoden voor het voorspellen van subletaal letsel en van zelfreddingsmogelijkheden
- Verbetering van de bruikbaarheid van verspreidings- en effectmodellen in het nabije veld
- Ontwikkelen van risicobeoordelingsmethoden voor beslissingsondersteuning zowel vanuit maatschappelijk bestuurlijk als vanuit bedrijfseconomisch perspectief, waarin naast kwantitatieve schattingen ook kwalitatieve schattingen worden gebruikt
- Verder ontwikkelen van kennis over de consequenties van verantwoordelijkheids-toedeling voor toezicht en handhaving

Opleidingen: aandachtspunten in het curriculum

De opleidingen voor procestechnologen en chemici zijn belangrijke basisopleidingen voor professionals die reeds vanaf het procesontwerp betrokken zijn bij het voorkomen van incidenten en rampen met gevaarlijke stoffen of het beperken en bestrijden van de gevolgen. Zij zijn ook degenen die hun kennis van veiligheid en gevaarlijke stoffen op hun collega's en medewerkers dienen over te brengen. De aandacht voor veiligheid in juist hun opleidingen is daarom van groot belang.

Raadpleging van opleidingsdirecteuren van de vier Nederlandse universitaire opleidingen voor scheikundige technologie wijst uit dat de aandacht voor veiligheid onder-

deel vormt van het curriculum, zowel in de bachelorfase als in de masterfase²⁵. Er zijn echter grote verschillen tussen de opleidingen in omvang en inhoud. De opleiding aan de TU Delft voldoet aan de eisen op het gebied van veiligheid die de Britse *Institution of Chemical Engineers* stelt en heeft een accreditatie van dit genootschap. Niet in alle opleidingen echter komen de belangrijkste kennisgebieden in het domein 'veiligheid en gevaarlijke stoffen' aan de orde. De aandacht voor de belangrijkste kennisgebieden in de curricula zou moeten verbeteren en ook de interactie en samenhang met onderzoek vanuit deze gebieden.

Voor academische opleidingen is de combinatie van onderzoek en opleiding essentieel. Daar waar geen relatie is met onderzoek is er weinig zekerheid over het verwerken van de nieuwste inzichten in het studiemateriaal of het behandelen van onzekerheden over de beschikbare kennis. Bij twee opleidingen wordt het vak veiligheid voor een belangrijk deel verzorgd door gastdocenten uit de praktijk. Slechts bij één opleiding wordt het vak verzorgd door een docent die tegelijk ook is betrokken bij onderzoek op het terrein van veiligheid.

Het verankeren van het onderwerp veiligheid in de basisopleiding van procestechnologen en chemici is ook in het buitenland een actueel onderwerp, zo blijkt onder andere uit het betoog van Reniers over de voordelen van aanpassing van het curriculum²⁶. Al in 2003 adviseerde de OECD veiligheid op te nemen in de basisopleidingen van degenen die in de procesindustrie en bij de met dit onderwerp belaste overheidsinstanties werkzaam zullen zijn²⁷. In het Verenigd Koninkrijk is veiligheid al jaren onderdeel van het curriculum van de chemisch ingenieurs. In andere landen binnen de EU is dat minder duidelijk het geval; een goed overzicht ontbreekt hier echter.

In een survey onder de 180 universiteiten met een opleiding voor chemisch ingenieurs constateerde het *American Institute of Chemical Engineers* dat bij slechts 25% van de opleidingen binnen het curriculum aandacht is voor procesveiligheid. Gezien de uitdagingen die er liggen voor de procesindustrie om de veiligheidsprestaties te verbeteren bepleit het AIChE procesveiligheid als vast onderdeel in het curriculum op te nemen²⁸ (zie ook pagina 32).

In Nederland bestaan vervolgoopleidingen op het terrein van veiligheid – waar veiligheid en gevaarlijke stoffen een onderdeel van is. Deze opleidingen zijn opgezet om een in de praktijk gevoeld gebrek aan deskundige medewerkers op te heffen. De opleidingen voorzien daarmee in een behoefte van bedrijfsleven en overheid. Voorbeelden van dergelijke opleidingen zijn de post-HBO opleidingen voor veiligheidskundigen en technologen (van de Stichting Post Hoger Onderwijs Veiligheidskunde) en post-academische opleidingen (*Management of Safety, Health and Environment* via TopTech van de TU Delft; TopTech verzorgt ook de opleiding tot Master of Public Safety).

²⁵ In Bijlage 1 is een overzicht opgenomen van de geraadpleegde opleidingsdirecteuren.

²⁶ Reniers GLL, Pauwels N, Soudan K. Teaching safety management to commercial engineers: investing in the future. CHISA (Tsjechische afkorting voor Chemical engineering, chemical equipment design and automation), Prague, 2006.

²⁷ Report of the OECD workshop on sharing experience in the training of engineers in risk management. Montreal, Canada, 21-24 October 2003. OECD series on chemical accidents, Number 13, March 2004.

²⁸ Mannan MS and Startz D. Process Safety Curriculum in U.S. Universities. Centerline, Vol. 10, no. 1, Spring 2006.

In zekere zin kunnen de genoemde vervolgopleidingen gezien worden als een aanvulling op de basisopleiding van procestechnologen en chemici, die voor de praktijk ten aanzien van veiligheid tekort schiet. Deze vervolgopleidingen bieden echter onvoldoende waarborg voor veiligheid in de praktijk, wanneer er geen aanvullende eisen gesteld worden voor inbedding van een vak veiligheid in de relevante basisopleidingen.

**SCHATTING HUIDIGE EN BENODIGDE
ACADEMISCHE OMVANG**

De AGS heeft een schatting gemaakt van het aantal FTE's dat werkzaam is bij universiteiten en van de verdeling daarvan over de verschillende deeldomeinen. Tevens is een schatting gemaakt van de orde van grootte van de kritische massa die per deeldomein nodig zou zijn voor onderzoek en onderwijs. Met kritische massa wordt bedoeld een zodanige omvang en samenhang in een onderzoeksgroep dat de inwendige motivatie blijft bestaan en dat de groep zich ook internationaal kan handhaven.

In de onderstaande tabel is dit weergegeven. Ook zijn binnen elk van de drie deeldomeinen de belangrijkste kennisgebieden voor Nederland genoemd. Onderzoek naar risicoanalyse en risicomangement is onderdeel van deze deeldomeinen en is bij de schatting van het benodigde aantal FTE's meegenomen.

Om een kennisgebied in stand te houden (kritische massa) zijn ten minste vijf FTE nodig (leider, theoreticus/analist, experimentator, 2 assistenten). In de onderstaande tabel worden de tien kennisgebieden genoemd, die de AGS nodig acht voor een evenwichtig kennisgebouw voor veiligheid en gevaarlijke stoffen. Enkele kennisgebieden hebben vanwege de complexiteit van de materie en vanwege de benodigde wetenschappelijke vooruitgang en onderwijs een wat zwaardere bezetting nodig dan het minimumtal van vijf personen. Dit betekent dat een minimale omvang van universitair onderzoek in Nederland nodig zou zijn op dit gebied van in totaal circa 60 FTE.

Tabel 4: Schatting omvang academisch onderzoek veiligheid en gevaarlijke stoffen

Cluster	Kennisgebieden	Aantal FTE	
		thans	nodig
Gevareigenschappen van stoffen	Gas(wolk)- en stofexplosies Chemische reactiviteit/ <i>runaway</i> Acute toxicologie Effect- / schademodelen <i>Computational Fluid Dynamics</i>	7	25
Systeemveiligheid	Faalkansen/ <i>reliability</i> Onderhoudstrategie Veiligheidsconcepten/ <i>resiliency</i>	0	15
Procesveiligheid en risicoanalyse	Procestechnologie/ontwerp Veiligheidsmanagement/cultuur Risicocommunicatie/risicoperceptie/ bestuurlijk omgaan met risico's/ kwantitatieve risicoanalyse	13	20

Conclusies

De huidige gebrekkige financiering en programmering van het onderzoek naar veiligheid en gevaarlijke stoffen in Nederland waarborgt niet de kritische massa die nodig is om bestaande kennis te onderhouden, te evalueren en verder te ontwikkelen. Ook is er onvoldoende waarborg voor de kwaliteit van de universitaire opleidingen op dit terrein en voor het vertalen van (internationale) kennis naar nationaal beleid.

De Nederlandse onderzoeksactiviteit in dit kennisdomein, gemeten op basis van het aantal publicaties, is de afgelopen tien jaar minder dan verwacht mocht worden op grond van de mate van ruimtelijke verdichting in ons land en de omvang van chemie en transport.

In de komende jaren zal het aantal onderzoekers en docenten binnen dit kennisdomein verder teruglopen, onder andere door pensionering, afname van het aantal bètastudenten en gebrek aan aandacht en financiering.

Op twee van de drie deeldomeinen – gevaarseigenschappen van stoffen en systeemveiligheid – vond in Nederland in 2007 nauwelijks nog onderzoek plaats. Het deeldomein van de procesveiligheid is zwak ten aanzien van technische aspecten van procesveiligheid en consequenties van gevaarlijke stoffen voor rampenbestrijding. Ook ten aanzien van externe veiligheid in ruimtelijke ordeningsvraagstukken is versterking nodig. In kennisinstellingen (TNO, RIVM) is er weliswaar op het gebied van de risicoanalyse op tactisch niveau nog een redelijke omvang, maar de strategische, universitaire component – geconcentreerd bij de TU Delft en de TU Eindhoven – neemt sterk af. Het onderzoek op het gebied van veiligheidscultuur beperkt zich tot de Universiteit van Leiden en de TU Delft.

Ook andere Europese deskundigen voelen de noodzaak en de urgentie om de aandacht voor kennisontwikkeling in dit kennisdomein te versterken, vanwege de belangrijke rol van de chemie voor Europa en de noodzaak van een veilige en niet door uitval gestoorde productie en transport²⁹. De hieruit resulterende Europese samenwerking op dit terrein vindt ook een grond in het feit dat de directe gevolgen van een incident in bepaalde gevallen grensoverschrijdend zijn. Tevens is er het bewustzijn dat van incidenten in andere landen geleerd moet worden. Dit bewustzijn versterkt – naast de in het vorige hoofdstuk genoemde economische drijfveren – het tot stand komen van afspraken op Europees niveau en EU-regelgeving.

²⁹ Safety for Sustainable European Industry Growth: Strategic Research Agenda, Detailed Version, First Edition. ETPI. Brussels, January 2006. A Roadmap for 21st Century chemical engineering. IChemE. Rugby, May 2007.

Nederland lijkt de aansluiting te gaan missen met de Europese ontwikkelingen naar een gezamenlijke onderzoeksprogrammering op dit kennisdomein. De eerdergenoemde kritische massa van het Nederlandse strategische onderzoek is ook daarvoor hard nodig.

Gezien de Nederlandse ambities van groei in de chemie en in het vervoer, verdere verdichting van de bebouwing en overschakeling naar andere energiedragers, is verdere ontwikkeling van de kennis over de risico's en hoe die te beheersen onontbeerlijk voor zowel overheid als bedrijfsleven. Bovendien zullen de hang naar meer veiligheid en transparantie en de veranderde inzichten over verantwoordelijkheids-toedeling, toezicht en handhaving verdere ontwikkeling van kennis vragen bij zowel overheid als bedrijfsleven.

Aanbevelingen

De AGS adviseert de regering en de Staten-Generaal om op grond van de conclusies in dit advies de strategische top van de kennisinfrastructuur voor veiligheid en gevaarlijke stoffen te versterken, de kritische massa en onafhankelijkheid van de kennisontwikkeling te waarborgen en de aandacht voor het 'vak' veiligheid binnen universitaire opleidingen te waarborgen. Het opzetten en onderhouden van de kennisbasis is een taak van de overheid en wordt middels de eerste geldstroom bekostigd. Daarbij hebben de universiteiten de verantwoordelijkheid te zorgen voor besteding van deze gelden op relevante kennisgebieden.

Daarmee kan de wetenschappelijke basis ten aanzien van kennis over veiligheid en gevaarlijke stoffen worden onderhouden, waarop nader onderzoek naar nieuwe stoffen, toepassingen of ontwikkelingen in bedrijfsleven en maatschappij kan voortbouwen. Voor het onderzoek naar meer toegepaste aspecten van veiligheid bestaan soms publieke, soms private en vaak ook gezamenlijke belangen. Dit komt tot uiting in de financiering middels de tweede geldstroom (van de overheid) en de derde geldstroom (vanuit overheid en bedrijfsleven).

De AGS gaat in de onderstaande twee aanbevelingen hierop nader in en bepleit in een derde aanbeveling de vorming van een publiek/privaat regieorgaan.

1. WAARBORGEN CONTINUÏTEIT UNIVERSITAIRE AANDACHT VOOR VEILIGHEID

● **Kritische massa onderzoekspotentieel zeker stellen**

De AGS adviseert de regering – en de Staten-Generaal – in gesprek te gaan met de universiteiten om te zorgen voor een kritische massa van onderzoek voor veiligheid en gevaarlijke stoffen in Nederland. De AGS heeft de maatschappelijke relevantie besproken met de 3TU-federatie. De federatie heeft uitgesproken dat extra financiering aan dit kennisdomein zou moeten worden besteed. Met kritische massa wordt bedoeld een zodanige omvang en samenhang in een onderzoeksgroep dat de inwendige motivatie blijft bestaan en de groep zich ook internationaal kan handhaven.

Een onderzoeksgroep zal op basis van de eerste geldstroom fundamenteel-wetenschappelijk vernieuwend moeten zijn op elk van de drie deeldomeinen (gevaars-eigenschappen van stoffen, systeemveiligheid en procesveiligheid). Daarbij is het van groot belang dat leidende toponderzoekers worden betrokken met overzicht over de nationale en internationale ontwikkelingen binnen tenminste één van de deeldomeinen. Zij dienen in staat te zijn de interactie tussen de deeldomeinen te bewerkstelligen (horizontale verbinding) om de diverse problemen die eerder in dit advies zijn genoemd op het gebied van gevaarsidentificatie, risicoanalyse en risico-beheersing effectief te kunnen bestuderen.

Voorbeelden van fundamenteel onderzoek veiligheid en gevaarlijke stoffen

- Betere methoden voor het identificeren van en anticiperen op gevaren. Deze methoden ondersteunen onder andere het inherent veilig ontwerpen van processen en installaties
- Kwantificeren van technische *resilience* en optimalisatie van installaties
- Meer inzicht in de mogelijkheden tot organisatorische *resilience* (ten behoeve van robuust management control) en vermijding van ‘drift’ naar onveiligheid
- Verbeteren van de betrouwbaarheid en afgrenzen van onzekerheid in het bepalen van risico’s onder toepassing van geavanceerde risico-identificatie en statistische methoden

De huidige omvang van het strategisch onderzoek bij de universiteiten is geschat op 20 FTE, waarbij onderzoek op het gebied van gevaarseigenschappen van stoffen en op het gebied van systeemveiligheid nu het minst aan bod komen. De AGS schat op grond van de analyse in dit advies dat er een verdrievoudiging nodig is van het universitaire onderzoek tot 60 FTE. Deze onderzoeksgroepen kunnen dan tevens het universitaire onderwijs op het gebied van veiligheid en gevaarlijke stoffen verzorgen.

Kennis implementeren in de universitaire basisopleidingen

In diverse nabij gelegen landen – zoals het Verenigd Koninkrijk, België en Frankrijk – wordt reeds onderkend dat verankering van het onderwerp veiligheid in universitaire curricula nodig is³⁰. Dit geldt in het bijzonder voor de opleiding van procestechnologen, die veelal werkzaam zijn bij ontwerp of toetsing van procesinstallaties of bij de bedrijfsvoering ervan.

De AGS adviseert de regering en de Staten-Generaal te stimuleren dat binnen de curricula van relevante studies – om te beginnen de opleidingen voor procestechnologen – de aandacht voor veiligheid beter wordt geborgd. Zo kunnen er afspraken worden gemaakt over gewenste diepte en breedte van de behandeling van het onderwerp veiligheid en het verwerken van actuele inzichten. De overheid en het bedrijfsleven zouden de universiteiten hierover kunnen benaderen, samen met de beroepsverenigingen KIVI en KNCV en het samenwerkingsverband van Nederlandse Procestechnologen (NPT). Indien de bovengenoemde versterking van de onderzoeksgroepen plaatsvindt, kunnen deze het benodigde onderwijs verzorgen. Tevens adviseert de AGS om voor andere relevante basisopleidingen – bijvoorbeeld voor civiel ingenieurs of stedenbouwkundigen – een vergelijkbare aanpassing in het curriculum te overwegen. Dit zal een breder belang dienen.

Tevens adviseert de AGS om te onderzoeken of er binnen Nederland ruimte is voor een afstudeerrichting voor hen die werkzaam willen zijn in specifieke aspecten van veiligheid in de proceschemie, externe veiligheid en rampenbestrijding. Hieruit komen ook opleiders voort.

Daarnaast zal er de behoefte blijven bestaan aan post-academische opleidingen³¹ zoals *Management of Safety, Health and Environment of Master of Public Safety* via TopTech in Delft voor hen die leidinggevende functies zullen bekleden in de interne bedrijfsveiligheid en in externe, publieke veiligheid (ruimtelijke ordening, vergunningverlening).

³⁰ Presentaties CHISA 2006, Praag: session Teaching safety to chemical engineers. Perrin L, Laurent A. An overview of safety and loss prevention teaching in French chemical engineering education. Reniers GLL, Pauwels N, Soudan K. Teaching safety management to commercial engineers: investing in the future.

³¹ Op HBO-niveau geldt hetzelfde voor de bestaande vervolgoopleidingen via de Stichting Post Hoger Onderwijs Veiligheidskunde.

2. OPNEMEN VEILIGHEID IN
LOPENDE PUBLIEK/PRIVATE
ONDERZOEKSPROGRAMMA'S

Voor dit advies signaleerde de AGS samen met bedrijfsleven, universiteiten, kennisinstituten en overheden trends en formuleerde van daaruit onderwerpen of thema's waarvoor kennisontwikkeling de komende jaren in het bijzonder relevant is. Al bij het opstellen van het advies 'Veiligheid vereist kennis' (december 2006) bleek dat het gevoel van urgentie wordt gedeeld door deze *stakeholders*. Ook is er behoefte aan regie en samenhang bij initiatieven tot verbetering. Publiek/private financiering van een onderzoeksprogramma ligt voor de hand vanwege gezamenlijke belangen van overheid en bedrijfsleven inzake veiligheid.

De AGS adviseert de regering en de Staten-Generaal om het aspect veiligheid in de vraagstelling en de financiering van strategisch onderzoek – tweede c.q. derde geldstroom – van de zijde van de overheid gezamenlijk te behartigen – vanuit de departementen VROM, VenW, BZK, SZW en mogelijk ook VWS – en af te stemmen met het bedrijfsleven. De AGS heeft het bedrijfsleven bij monde van de VNCI bereid gevonden een percentage van de budgetten van al lopende onderzoeksprogramma's te oormerken voor onderzoek naar veiligheid en gevaarlijke stoffen. Voorbeelden van dergelijke publiek/privaat gefinancierde onderzoeksprogramma's zijn: *Nanotechnology network in the Netherlands* (NANONED), *Dutch Separation Technology Institute* (DSTI), *Dutch Polymer Institute* (DPI) en *Advanced Chemical Technologies for Sustainability* (ACTS)³², zie ook figuur 6.

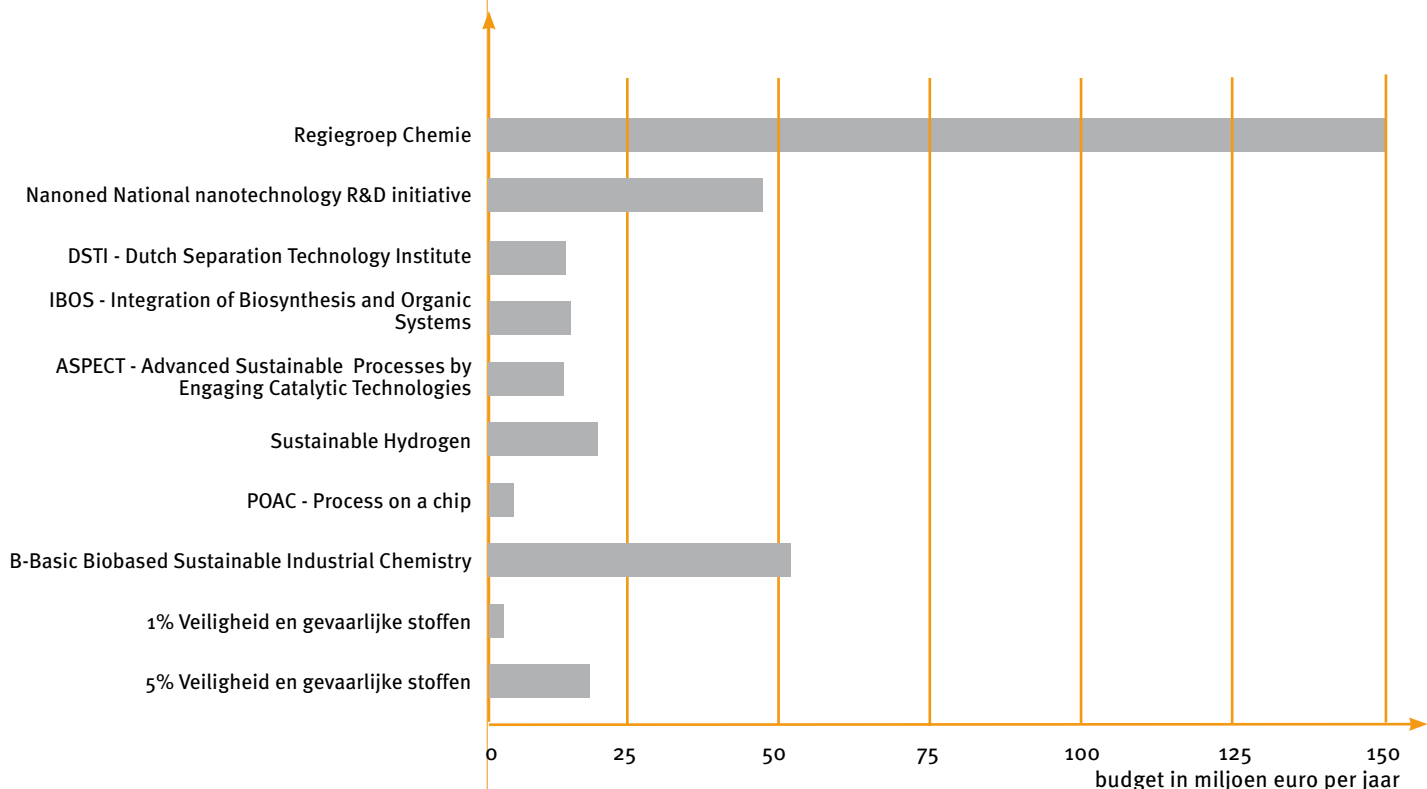
De Regiegroep Chemie heeft in haar businessplan voor het Sleutelgebied Chemie de doelstellingen aangegeven voor innovatie middels onderzoeksprogramma's en verbetering van de kennisinfrastructuur, met publieke en private financiering. Dit betreft zowel lopende onderzoeksprogramma's in de chemie als aanvullende programma's onder andere op het gebied van polymeerinnovatie, biotechnologie, katalyse, waterstof en procesintensificatie. Door publiek/private regie kan ook hier op het terrein van veiligheid kruisbestuiving worden gestimuleerd.

Kennis ontwikkelen op thema's: nationale keuzes binnen internationale context
Gebleken is dat het bedrijfsleven en de overheid kennisvragen hebben, onder andere over het verder verbeteren van veiligheidsprestaties bij bedrijven en over een meer transparante afweging van risico's in een steeds verder verdichtend Nederland. Deze vragen verdienen een multidisciplinaire aanpak, waarbij meerdere kennisgebieden worden betrokken.

De Adviesraad beveelt aan om strategische keuzes te maken voor bepaalde kennisvragen en voor versterking van specifieke kennisgebieden (genoemd in de tabellen 2 en 3), omdat focus het mogelijk maakt op de betreffende terreinen in Nederland te excelleren, toponderzoekers aan te trekken en tot betere uitwisseling van kennis te komen met andere landen. Voor deze uitwisseling van kennis adviseert de AGS in elk geval aansluiting te zoeken met bestaande internationale fora, zoals *ETPIS* (*European Technology Platform on Industrial Safety*), *EPSC* (*European Process Safety Centre*), *EU-JRC* (*Joint Research Centre*), *WHO* (*World Health Organisation*), *OECD* (*Organisation for Economic Co-operation and Development*) en *WADEM* (*World Association for Disaster Medicine*).

³² ACTS omvat verschillende programma's zoals: Advanced sustainable processes by engaging catalytic technologies (ASPECTS), Biobased sustainable industrial chemistry (B-Basic), Integration of biosynthesis and organic systems (IBOS), Process on a chip (POAC) en Sustainable hydrogen.

Tevens adviseert de AGS het onderzoek op het gebied van veiligheid en gevaarlijke stoffen niet te isoleren, maar te koppelen aan lopende onderzoeksprogramma's zoals hierboven genoemd. Op deze manier worden kennisvragen over veiligheid direct gekoppeld aan lopende kennisontwikkeling op een bepaald terrein. Onderzoek naar veiligheid wordt zo niet geïsoleerd van de *main stream*. In figuur 6 is het budget weergegeven van verschillende lopende onderzoeksprogramma's met publiek/private financiering. De Adviesraad beveelt aan binnen deze programma's een reservering – van bijvoorbeeld 1 à 5% – te maken voor onderzoek op het gebied van veiligheid en gevaarlijke stoffen. Dit voorstel veronderstelt dat de eerder beschreven kern (kritische massa) in Nederland aanwezig is en dat deze is gefinancierd uit de eerste geldstroom – daar anders zelfs geen voorstellen tot onderzoek kunnen worden geformuleerd.



Figuur 6: Lopende onderzoekprogramma's (budget in miljoen euro per jaar, de looptijd varieert van 4 tot 8 jaar) waarin een reservering te maken is voor het aspect veiligheid en gevaarlijke stoffen³³.

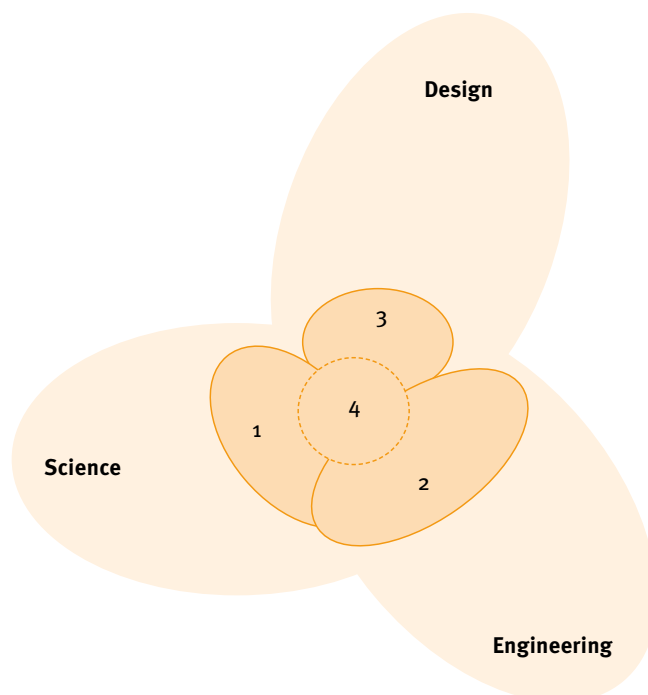
³³ Regiegroep Chemie: budget geschat op basis van *Polymer innovation programme*, augustus 2007 en 'Innovatie in, door en van de Nederlandse chemische sector', augustus 2007; de geschatte beschikbare middelen voor de Regiegroep Chemie betreffen nieuwe projecten aanvullend op reeds lopende projecten. Overige onderzoeksprogramma's: budget geschat op basis van informatie verkregen van NWO.

Kruisbestuiving stimuleren tussen bedrijfsleven, universiteiten, kennisinstellingen en overheid

Samenwerking en interactie tussen bedrijfsleven, overheid, universiteiten en kennisinstellingen is een voorwaarde om er voor te zorgen dat voor de praktijk relevante onderwerpen op de kennisagenda komen en dat ontwikkelde kennis kan worden vertaald naar de praktijk (*fit-for-purpose*).

Tevens kan kruisbestuiving tijdens het articuleren van de kennisvragen, het ontwikkelen van kennis en het vertalen van onderzoeksresultaten naar de praktijk stimuleren dat in de toekomst door de afzonderlijke *communities* meer gezamenlijke terminologie en methodologie – leidend tot eenheid in begrip en aanpak – wordt ontwikkeld. Regie kan zorgen voor meerwaarde, door het leggen van verbanden tussen onderzoek en te zorgen dat onderzoekers van elkaars werk op de hoogte blijven.

De universiteiten zouden in de aanpak van fundamentele vraagstukken een voortrekkersrol moeten vervullen omdat die van belang zijn voor innovaties in ontwerp en *engineering*. Dit wordt geïllustreerd in figuur 7. Wetenschap en kennis monden via *engineering* uit in concrete processen en producten. Veiligheid dient reeds een intrinsiek onderdeel van het ontwerpproces te zijn, maar met name in de *engineering* dienen veiligheidsaspecten continu aandacht te krijgen. Vanwege de nauwe verbinding met het toepassingsgebied acht de Adviesraad samenwerking tussen universiteiten, kennisinstellingen (GTI's), bedrijven en overheid in dit kennisdomein essentieel.



Figuur 7: De drie deeldomeinen binnen veiligheid en gevaarlijke stoffen – gevaars-eigenschappen (1), systeemveiligheid (2), procesveiligheid (3). Deze maken deel uit van de bredere velden wetenschap (*science*), ontwerp (*design*) en *engineering*. Tevens is de plaats van de risicoanalyse en risicomanagement (4) aangegeven.

3. ORGANISATIEVORM VOOR EEN PUBLIEK/PRIVAAT REGIEORGAAN

De AGS beveelt aan een publiek/privaat regieorgaan op te richten voor veilig omgaan met gevaarlijke stoffen waarbij overheid, bedrijfsleven, kennisinstellingen en universiteiten zijn betrokken en waarin het voor veiligheid geormerkte deel van de tweede en derde geldstroom worden ondergebracht. Dit regieorgaan kan focus en strategische keuzes bij onderzoeksprogrammering binnen een internationale context bevorderen, alsmede kruisbestuiving tussen wetenschap, ontwerp en engineering, tussen onderzoek en de praktijk en tussen verschillende kennisgebieden.

Het publiek/private regieorgaan kan onder de vleugels van NWO de geschetste taken voor zijn rekening nemen. NWO heeft hiervoor de mogelijkheden en is hiertoe bereid.

Voor een goede balans is het gewenst dat een vertegenwoordiger van het bedrijfsleven leiding geeft aan een dergelijk regieorgaan, daarbij gesteund door een vertegenwoordiger van een kennisinstituut en van de overheid. Het bedrijfsleven dient leidend te zijn, omdat daar immers de directe verantwoordelijkheid in de praktijk ligt en daarmee de belangrijkste drijfveer voor veiligheid en voor het verwerven van kennis op dit terrein. Het bedrijfsleven ziet de lange-termijntrends in de industrie en de richting van de te verwachten toepassing. De universiteit heeft zicht op de ontwikkeling van de fundamenteen. De overheid is er bij betrokken om de maatschappelijke kaderstelling voor veiligheid in de chemische industrie en in het transport te borgen.

De AGS ziet verschillende mogelijkheden om de regiefunctie voor dit kennisdomein organisatorisch aan te laten sluiten bij bestaande organen. Daarbij is een eigen ambassadeursfunctie voor dit domein van belang, juist omdat de aandacht voor het onderwerp zonder aansporing kennelijk niet van de grond komt.

De organisatievorm zou vergelijkbaar kunnen zijn met die van het programma *Advanced Chemical Technologies for Sustainability*, dat ondergebracht is bij NWO. De betrokkenheid van de *stakeholders* en ook hun bijdrage in de financiering kan per programma verschillen.

Bijlagen

BIJLAGE 1 • Samenstelling raads werkgroep en commissie; geïnterviewde personen

Leden van de raads werkgroep kennisinfrastructuur

Prof. dr ir H.J. Pasman, voorzitter
P. van der Torn, arts-MMK, D. Env.
Prof. dr A.J. van der Wal

Secretaris:

Mevr. ir Y.M. Oostendorp

Leden van de commissie Verkenning veiligheidskennis gevaarlijke stoffen

Prof dr ir H.E.A. van den Akker (TU Delft)
Prof dr B.J.M Ale (TU Delft)
Prof dr P.T.W Hudson (Universiteit Leiden)
Prof dr J. Meulenbelt (Universiteit Utrecht)
Prof dr ir W.P.M. van Swaaij (TU Twente)
Mevr. dr T. Kulkens (NWO Chemische Wetenschappen)

Over trends en kennisvragen geïnterviewde personen

Individuele gesprekken

Prof. dr B.J.M. Ale (TU Delft), 12 oktober 2005
Dr B.J. Blaauboer (Institute for Risk Assessment Sciences), 27 september 2007
Prof. dr ir K. van Breugel (TU Delft), 28 september 2007
Prof. dr ir A.C. Brombacher (TU Eindhoven), 12 september 2007
Dhr. R. Dirven (AON risicomangement, employee benefits en verzekeringen),
27 augustus 2007
Ir M. Furth (Jacobs Engineering), 7 september 2007
Prof. dr B.P.R. Gersons (Impact en Centrum '45), 7 september 2007
Dr J. Gutteling (Universiteit Twente), 6 september 2007
Prof. dr A.R. Hale (emeritus hoogleraar TU Delft), 6 oktober 2005
Prof. dr I. Helsloot (Vrije Universiteit Amsterdam), 19 oktober 2007
Dr W. Hesselink (Shell Global Solutions), 26 september 2007
Ir R.E.W. Husmann (voorheen Binnenlandse Zaken, Directie Brandweer),
21 september 2007
Ir L.W. Jansse (AKZO Nobel Technology and Engineering), 1 oktober 2007
Dr ir F. Koornneef (TU Delft), 18 oktober 2005
Dr S. M. Lemkowitz (TU Delft), 3 oktober 2007
Drs F.H. von Meijenfeldt (Ministerie van Economische Zaken), 25 juli 2007
Ir J. van der Schaaf (Save Oranjewoud), 26 september 2007
Dr T.W. van de Schaaf (LUMC Leiden en TU Eindhoven), 6 oktober 2005
Prof. dr ir J.A.A.M. Stoop (TU Delft), 19 september 2007
Prof. dr R.J. in 't Veld (Raad voor Ruimtelijk, Milieu- en Natuuronderzoek),
6 november 2007
Dhr N.T. Verbree (Koninklijke Vopak NV), 25 september 2007
Prof. dr C.A.J. Vlek (emeritus hoogleraar Rijksuniversiteit Groningen),
14 september 2007
Prof. ir A.C.W.M. Vrouwenfelder (TU Delft/TNO Bouw en ondergrond),
18 september 2007

Groepsinterviews

RIVM (ir K. van Luyk, dr M.T.M. van Raaij, ir J. Kliest, dr G. de Hollander),
28 september 2007

TNO (ir W. Buijtenhek, ir N. Verschoor, ir A. Hollander), 19 september 2007

DCMR (ir J. van Steen, ir. W. Kooijman, dhr. S. Post, dr ir L. Vijgen), 4 oktober 2007

Deelnemers bijeenkomst prioritering trends, 9 oktober 2007

Prof. dr ir K. van Breugel (TU Delft)

Ir M. Furth (Jacobs Engineering)

Dr S. M. Lemkowitz (TU Delft)

Drs F.H. von Meijenfeldt (Ministerie van Economische Zaken)

Prof. dr ir J.A.A.M. Stoop (TU Delft)

Ir J. Wessels (TNO Bouw en ondergrond, vervanger Prof ir A.C.W.M. Vrouwenfelder,
TU Delft/TNO Bouw en ondergrond)

Ir J. Meulenbrugge (TNO, vervanger ir W. Buijtenhek)

Drs B. de Wit (RMNO, toehoorder)

Prof. dr ir H.J. Pasman (voorzitter raads werkgroep Kennisinfrastructuur)

Deelnemers stakeholdersbijeenkomst, 30 november 2007

Drs A. Deelen (DCMR, lid directieteam en hoofd expertisecentrum)

ir C.L. van Deelen (TNO, tevens directeur stichting Kennis voor Klimaat)

Dr ir C. van Gulijk (vervanger Prof. dr B. Ale,
onderzoeker bij TU Delft Safety sciences)

Dhr P. Hoogewoning, RE, RA (vervanger Prof. dr R. in 't Veld, RMNO)

Ir W.P. Kooijman (DCMR, hoofd bureau veiligheid)

Prof. dr ir H. Pasman (voorzitter raads werkgroep Kennisinfrastructuur)

Mevrouw ir A. van der Rest (Shell Nederland, hoofd Veiligheid en Milieu)

Drs J. van Staalduine (VROM/SVS)

Dr L.B.J. Vertegaal (NWO, directeur Chemische Wetenschappen,
directeur Exacte Wetenschappen, directeur ACTS)

Dr ir K. Visser (lid Onderzoeksraad voor Veiligheid)

Ir R. Willems (voorzitter Regiegroep Chemie)

N.H.W. van Xanten, apotheker, toxicoloog, MPA (algemeen secretaris AGS)

Ing. E. Zuidema (adviseur logistieke veiligheid van de directie en
Raad van Bestuur DSM)

Lijst benaderde onderzoeksinstituten, universiteiten en bedrijven voor lopend strategisch onderzoek

Prof. dr ir H.E.A. van den Akker (TU Delft)

Prof. dr B.J.M. Ale (TU Delft)

Prof. dr M. van den Berg (Universiteit Utrecht/Institute for
Risk Assessment Sciences)

Dhr H.J. Brill (SABIC Europe)

Prof. dr ir A.C. Brombacher (TU Eindhoven)

Ir H.S. Buijtenhek (TNO)

Ir. H.J. Edelijn (AKZO Deventer)

Dr W. Hesselink (Shell Global Solutions)

Drs R.T.A. Holdert (Railion Nederland NV)

Dr ir A. Hollander (TNO)

Ing. A.R. Jonkers (DCMR)

Ir F.J.C.M. Kempnaers (DOW Chemical)

Prof. dr R.J. Kleber (Universiteit Utrecht/Instituut voor Psychotrauma)
Dr G.R. Kuik (Gasunie)
Mevrouw dr T. Kulkens (NWO Chemische Wetenschappen)
Dr J. Lembrechts (RIVM)
Ir M.J.M.P. de Lepper (DSM)
Prof. mr dr E.R. Muller (COT)
Prof. dr ir H.J. Pasman (TU Delft)
Dhr G.H.B. Schreurs, BC, MSHE (NIFV/NIBRA)
Prof. Dipl. Ing. J.N.J.A. Vambersky (TU Delft)
Dr P.G. van der Velden (Instituut voor Psychotrauma)
Dr T.W. van der Schaaf (TU Eindhoven, Universiteit Leiden)
Ir H.A Versloot (TNO)
Prof. ir A.C.W.M. Vrouwenvelder (TU Delft/TNO Bouw en ondergrond)

Interviews met opleidingsdirecteuren

Dr P.J. Hamersma
Opleidingsdirecteur van de bacheloropleiding Molecular Science & Technology en de masteropleiding Chemical Engineering, TU Delft en Universiteit Leiden

Dr B.H.L. Betlem
Opleidingsdirecteur technische natuurwetenschappen, scheikundige technologie, Universiteit Twente

Prof ir M.W.M. Boesten
Hoogleraar Process Safety, Instituut voor technologie, engineering en management, Rijksuniversiteit Groningen

Prof dr A.M. van Herk
Opleidingsdirecteur onderwijsinstituut scheikundige technologie, TU Eindhoven

BIJLAGE 2 ● Beschrijving onderzoeksmethode CWTS; omvang van het onderzoek in Nederland en in andere landen in de periode 1997 – 2006

Het CWTS (Centrum voor Wetenschaps- en technologie studies in Leiden) verrichtte een bibliometrische studie van het kennisdomein veiligheid en gevaarlijke stoffen. Het doel van deze studie was dit kennisdomein te karakteriseren aan de hand van de literatuur en bovendien de bijdrage vanuit Nederland te vergelijken met die uit andere landen. De methode die daarbij is gehanteerd is beschreven door het CWTS³⁴. Het resultaat is een interactieve kaart waarin het databestand met artikelen kan worden benaderd³⁵.

Afbakening kennisdomein en inventarisatie literatuur

De bibliometrische studie betreft alle kennisgebieden die een bijdrage kunnen leveren aan het voorkomen van rampen met gevaarlijke stoffen of het beperken van de gevolgen. Dit kennisdomein omvat verschillende vakgebieden en disciplines, die zich echter niet uitsluitend binnen dit kennisdomein profileren. Daarom is de relevante literatuur niet simpelweg aan de hand van een lijst tijdschriften of een lijst auteurs af te bakenen. Het databestand met relevante artikelen is gegenereerd uit het *Web of Science* van *Thomson Scientific* en geselecteerd, deels aan de hand van een lijst van tijdschriften en deels aan de hand van zoektermen (in titel en abstract). Bij het beoordelen van de selectiviteit en de volledigheid van het databestand zijn experts uit het veld nauw betrokken geweest. Het resultaat is een databestand van circa 8300 artikelen uit de periode 1997 – 2006.

Data-analyse en kaart configuratie

De circa 8300 artikelen kunnen worden gekarakteriseerd door een verzameling sleuteltermen die de inhoud beschrijven. Een analyse van deze sleuteltermen resulteert in cirkels op een kaart die aansluiten bij afzonderlijke kennisgebieden en waarmee het kennisdomein kan worden gekarakteriseerd. Het resultaat van de analyse is afgebeeld op een kaart. De uitgevoerde selectie en clustering van sleuteltermen heeft invloed op de mate van detail en de dekking van de kaart.

Selectie van sleuteltermen

De sleuteltermen – uit titels en abstract – zijn in eerste aanleg op basis van statistische overwegingen en linguïstische eigenschappen gekozen. Deze sleuteltermen zijn de zelfstandig naamwoordgroepen die in de database van 8300 artikelen het meest voorkomen en die ook het onderzoek in het kennisdomein het best karakteriseren. Experts beoordeelden of de analyse een goede weergave is van de structuur van de onderliggende gegevens (de artikelen). Bovendien beoordeelden ze of de weergave van de artikelen op de kaart aansluit bij het beeld dat ze hebben van hun vakgebied. Een aantal analyses is daarom successievelijk voorgelegd aan een groep van experts. Dit proces leverde uiteindelijk een keuze van sleuteltermen maar ook een structuur van geclusterde termen of kennisgebieden, die als cirkels in relatie tot elkaar worden afgebeeld op een kaart.

Selectie van aantal cirkels (geclusterde sleuteltermen)

Het aantal cirkels dat gebruikt is om het kennisdomein op de kaart af te beelden, is bepaald op basis van een aantal statistische principes: stabiliteit van de structuur bij verandering van niveau van detaillering (keuze aantal cirkels en clustering van sleuteltermen). Dit is een lokaal optimum omdat de analyse meerdere lokale optima kent. Het uiteindelijke gebruiksdoel van de kaart bepaalt in welk gebied het optimum

34 Noyons E. *Bibliometric mapping as a science policy and research management tool*. Leiden. DWXO Press, 1999.

35 Het databestand is via een website te benaderen. Deze kan in overleg met de Adviesraad Gevaarlijke Stoffen toegankelijk worden gemaakt.

gevonden zal worden. In de meeste studies waarbij een kaart moet worden gemaakt, is het doel van de kaart een bevatbaar overzicht van de structuur van het kennisdomein. Teveel detail schaadt dat overzicht, dus in de meeste gevallen zal het aantal cirkels (kennisgebieden) de 60 niet overstijgen. In de huidige studie bleek er gedurende de interactie met experts dat gewenste diversiteit van de onderwerpen om in de kaart af te beelden minimaal een dertigtal cirkels vereiste. Zodoende werd het lokale optimum op 47 vastgesteld. De spreiding van de cirkels (kennisgebieden) wordt bepaald door de onderlinge relaties (associaties tussen gebruikte sleuteltermen in de artikelen). In de resulterende kaart bleken de cirkels (kennisgebieden) te vallen binnen niet meer dan drie clusters van kennisgebieden.

De keuze van sleuteltermen en van het aantal cirkels bepalen uiteraard in hoge mate hoe de kaart eruit ziet, maar uiteindelijk hebben veel van de mogelijke aanpassingen weinig invloed op de basisstructuur ervan. Dit betekent dat de structuur robuust is.

Keuze van labels

In de kaart worden 47 grotere en kleinere clusters van sleuteltermen (cirkels) afgebeeld. Deze cirkels krijgen een label dat in eerste instantie door de meest prominente sleuteltermen is gevormd. Maar aangezien de deeldomeinen uiteindelijk publicaties vertegenwoordigen die vergelijkbaar onderzoek en daarmee een kennisgebied representeren, is het in bepaalde gevallen beter om ze door een label te vervangen dat door de expert als meer informatief wordt beschouwd³⁶. De achterliggende woordcombinaties zijn in Bijlage 3 weergegeven.

Veldafbakening: criteria voor selectie van artikelen

Alle publicaties (1997-2006) in de volgende internationale (peer-reviewed) tijdschriften:

- Journal of loss prevention in the process industries
- Process Safety Progress
- Process Safety and Environmental Protection
- Reliability Engineering & System Safety
- Journal of Fire Sciences
- Fire Safety Journal

Verder alle publicaties in de Web of Science die verzameld zijn met een van de volgende zoekcommando's (toegepast bij titels, abstracts en keywords). In de zoekcommando's worden de speciale tekens als volgt gebruikt:

- * Rechter truncatie. In plaats van dit teken kan iedere reeks van characters staan;
- [ab] Een van letters tussen de rechte haken moet op deze positie voorkomen;
- ? Op deze positie staat een of geen letter.

Zoekcommando's:

- 1 industrial safety
- 2 process safety
- 3 (safety or incident? or accident? or security) and ("hazardous material*" or hazardous good*" or "hazardous substance*" or dangerous material* or "dangerous good*" or "dangerous substance*")

³⁶ Na de bijeenkomst met stakeholders op 30 november 2007 is de analyse op de woordcombinaties nog verder gepreciseerd en verfijnd en zijn enkele labels gewijzigd.

4 (incident? or accident?) and (“chemical safety” or “external safety”)

6 (“hazardous installation*” or “major industrial hazard?” or “hazardous site*” or “hazardous plant?” or “hazardous industry”) and (“land use planning” or “probabilistic design” or “probabilistic safety analys[ie]s” or “operations research” or “system analys[ie]s” or “risk optimi[sz]ation” or “inherent safety” or “precautionary principle” or “public safety” or “risk assessment”)

10 Toxic and industrial and (accident? or incident?)

12 chemical agent? and (acute or emergency or fire?)

13 blast injur*

14 burn injur* and “chemical burn*”

15 damage model* and (toxic or fire or blast)

16 (Liability or “public safety” or law or legislation or regulation) and industr* and (accident? or incident?)

21 (nbc or nbrc) and terrorism

22 ammonia and hazard* NOT (pig or animal or manure or urine or feed* or fertili*)

23 organic peroxide*

24 ((hazard* or safety) and (“ammonium nitrate” or “natural gas” or phosgene or lpg))

25 (“ploughing back” or “organisational learning” or “organizational learning” or “lessons learnt” or “root cause*” or “knowledge transfer*” or “underl* cause*”) and chemical and (“major hazard*” or industrial or dangerous or “proces* safety”)

26 (“major hazard*” or industrial or dangerous or “proces* safety”) and (“risk analysis” or “risk analyses” or “scenario analysis” or “scenario analyses” or qra)

27 (Industrial and (accident* or incident* or safety)) and (“human error*” or “safety culture*” or “behavior based safety” or “behaviour based safety” or “human factor*” or ergonomic* or “safety management system*”)

28 lopa and layer* and protection

29 (“gas cloud*” or “toxic cloud*” or “vapour cloud*” or “vapor cloud*”) and (dispersion or toxi*) NOT (star* or stell* or gala*)

30 mitigation and safety

31 emergency venting or “explosion index” or “minimum ignition” or “explosion limit*”

32 (autoignition or “auto ignition”) and (safety or explosion or hazard*)

33 tunnel safety

34 water spray curtain*

35 (fire and (simulation or cfd)) NOT (wild* or wood* or eco* or tree* or forest*)

36 safety culture* or “safety climate*”

37 ((hazard* or safety) and chlorine) NOT (microbio* or water or salmonel* or food or “e coli”)

38 (“Disaster? medicine” or “Disaster? respons?” or “Disaster? management” or “Disaster preparedness” or “Emergency respons?” or “Disaster relief”) and “Industr*”

39 human reliability and (industr* or plant*)

40 Flixborough or seveso or “piper alpha”

41 (enschede and (accident* or incident* or disaster*))

42 (toulouse and (accident or accidents or disaster* or industry or industries)

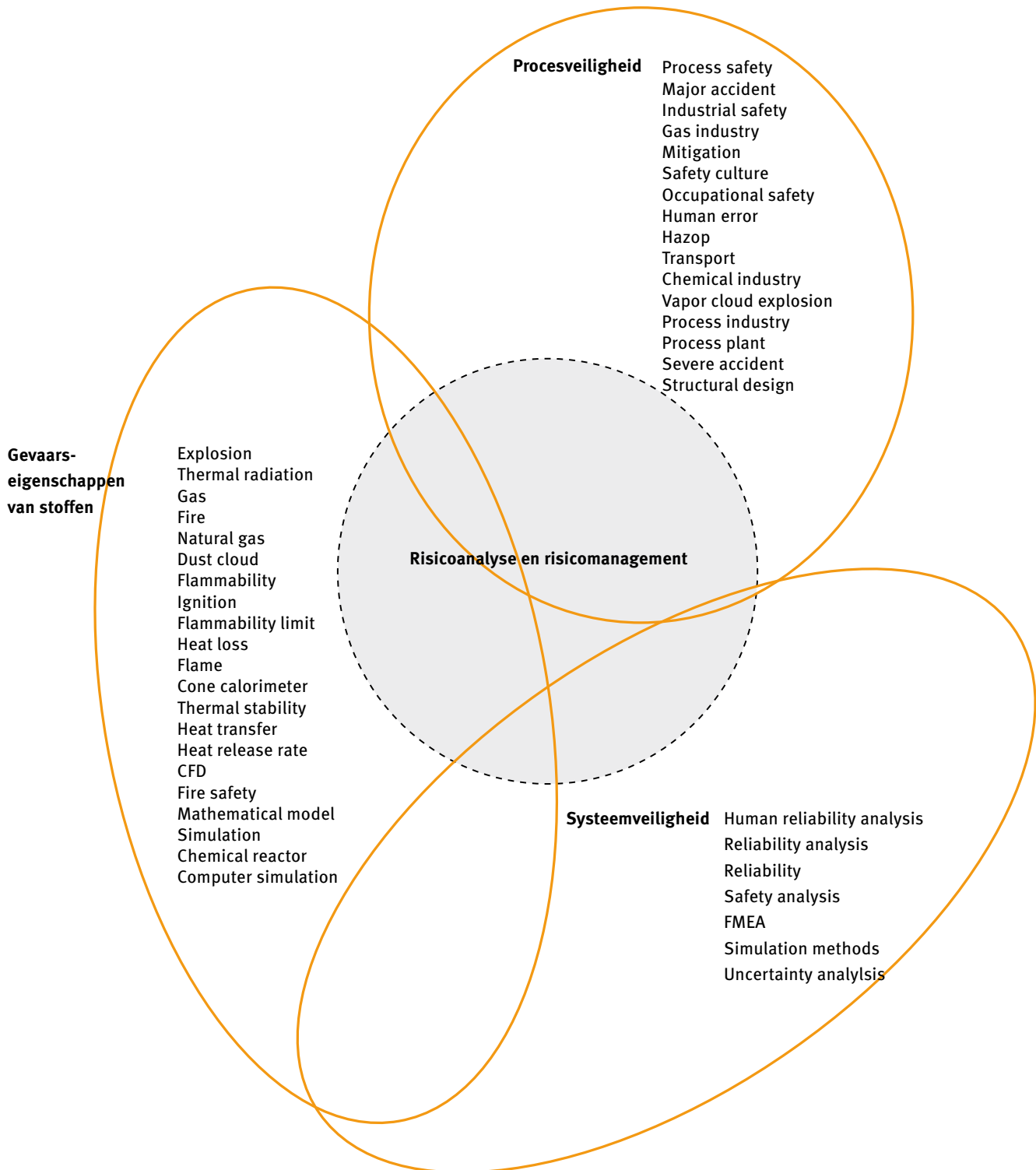
43 bhopal and isocyanate*

44 deflagration not (star* or astro* or stell* or gala* or supernov*)

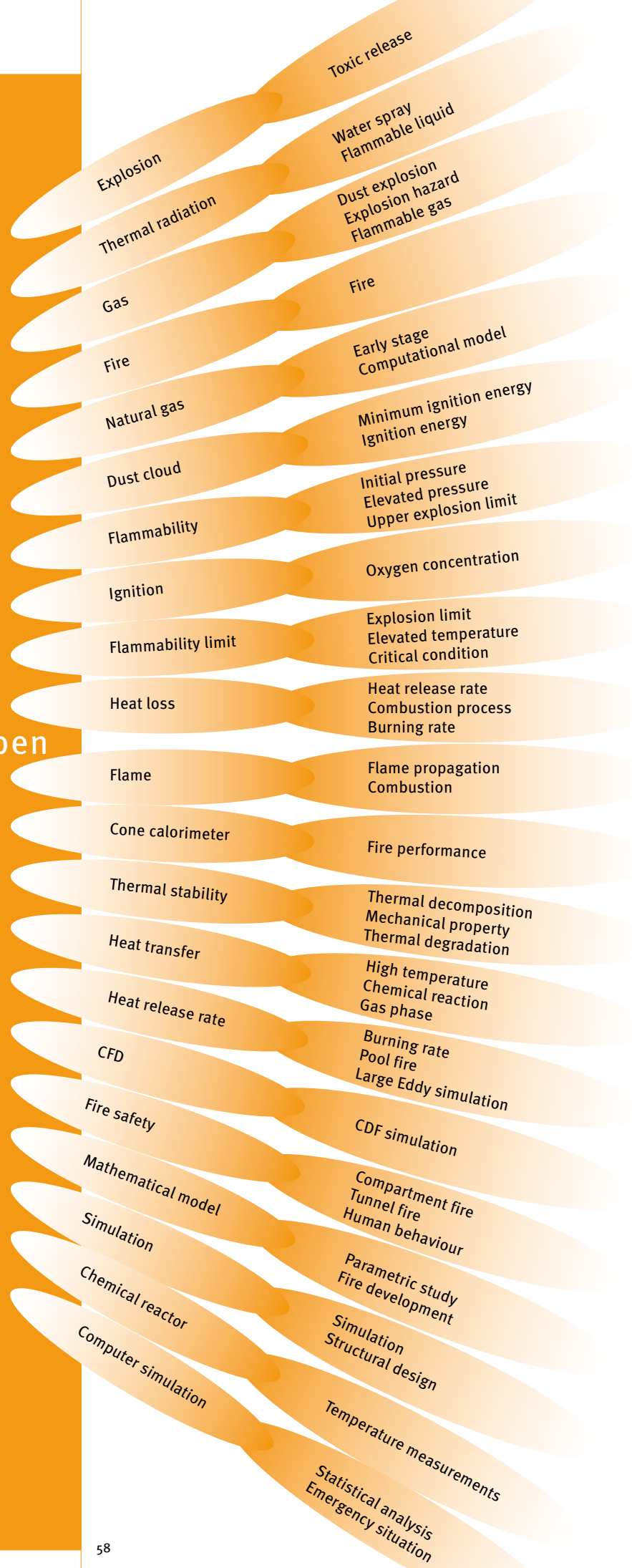
45 Flame propagation not (star* or astro* or stell* or gala* or supernov*)

46 BLEVE or “Boiling liquid expanding vapour explosion**”
 47 Fault Tree
 48 fmea
 49 hazop
 50 runaway or (storage and “thermal explosion”) or (storage and “thermal stability”)
 51 “safe design” and (“fire endurance” or “risk reduction” or spring)
 52 “tank rupture” not transformer
 53 “pipe failure” not water
 54 “loss of containment” not (leg* or hip)
 55 “nuclear safety” and (model? or instrument or “management system” or “risk informed regulation” or “uncertainty analys[ie]s” or scenario)
 56 “chemical accident**”
 57 “disaster medicine” not (terroris* or earthquake)
 58 “emergency services” and (disaster or chemical) not earthquake
 59 “hazardous release”
 60 “chemical release”
 61 (“post traumatic” or posttraumatic) and chemical and (disaster* or industrial or hazard* or incident*)
 62 “intercrystalline corrosion”
 63 “sulfur dioxide” and (hazard*) not (chronic or climate)
 64 transport* and (rail* or road*) and chemical and (safety or incident* or accident* or spill* or loss) not water
 65 (Risk perception or risk communication or ((risk* or hazard*) and (communicati* or warn*))) and ((chem* and industr*) or disaster or hazard or calam*) AND NOT (“patient safety” or inundation or tsunami* or landslide* or interstell* or stell* or volcan* or forest* or flood* or drought* or erupt* or seism* or earthquake* or animal* or avelanch*)

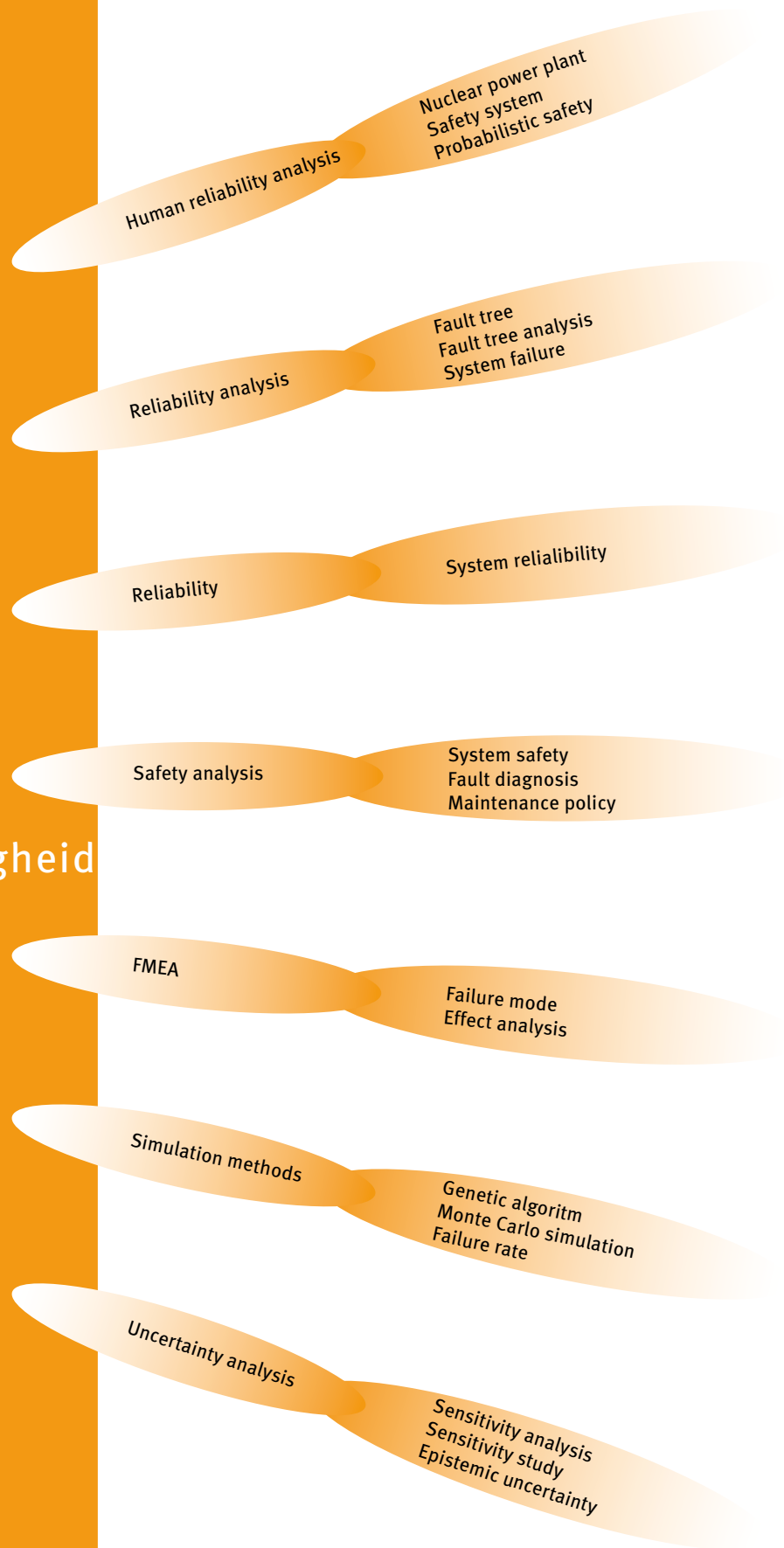
BIJLAGE 3 ● Overzicht gebruikte woordcombinaties per deeldomein



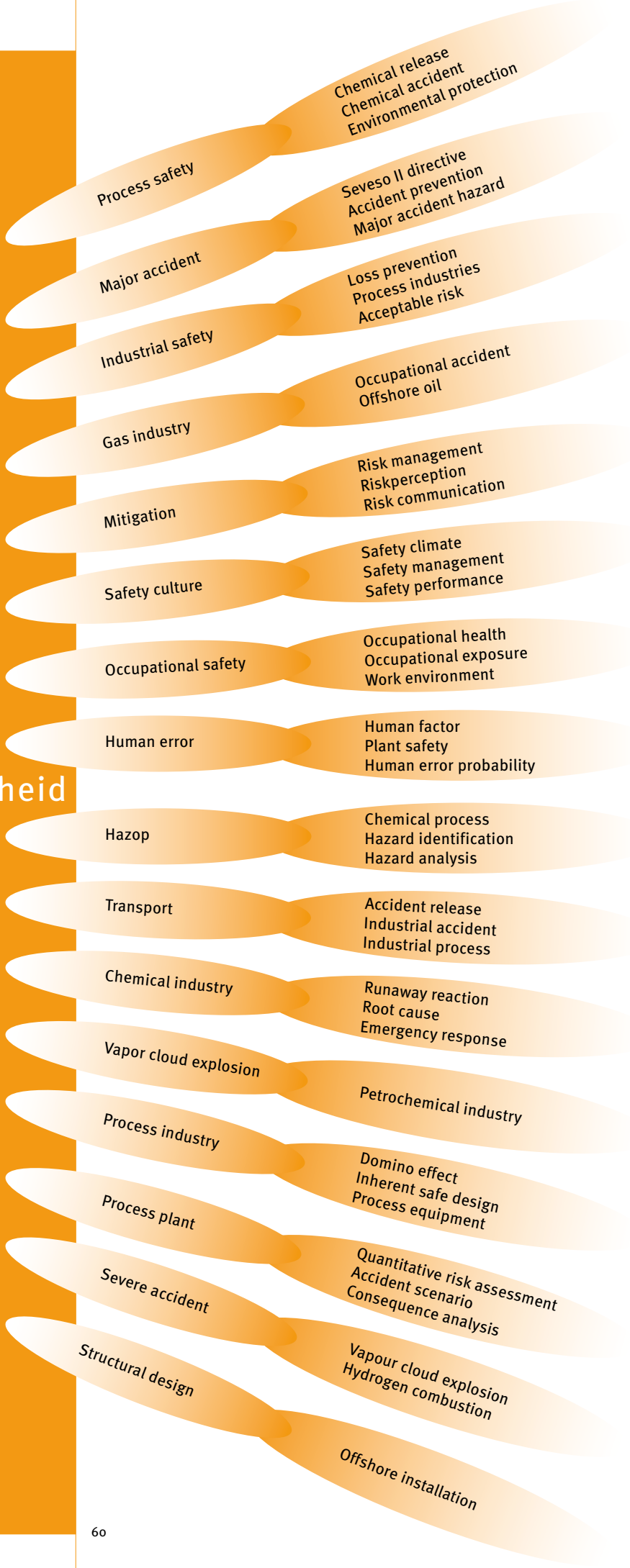
Gevaars- eigenschappen van stoffen



Systemveiligheid



Procesveiligheid



BIJLAGE 4 ● Overzicht trends, kansen en bedreigingen met relevantie voor het kennisdomein veiligheid en gevaarlijke stoffen

In gesprekken met een dertigtal deskundigen vanuit bedrijfsleven, overheid en universiteiten zijn trends in chemie en transport, trends bij de burger, trends bij de overheid en trends bij de kennis(infrastructuur) op gebied van veiligheid en gevaarlijke stoffen verkend³⁷. Aansluitend zijn de lange termijn kennisvragen besproken, die in tabel 2 en 3 op resp. pagina 35 en 36 worden genoemd. De belangrijkste trends zijn hieronder kort samengevat.

Trends in chemie en transport

- Bulkchemie groeit gestaag (met de economie). Deze groei wordt voor een belangrijk deel gerealiseerd door intensivering en schaalvergroting in bestaande installaties
- Transport van gevaarlijke stoffen groeit sterker dan de economie onder andere door toename van de import/doorvoer van bulk en halffabrikaten
- Globalisering heeft invloed op ontwikkelingen in chemie en transport waardoor rentabiliteit daalt, concurrentie en kostendruk toenemen en kennis meer internationaal verspreid wordt
- Complexere ketens – het opsplitsen van bedrijven in kleinere onderdelen en diversificatie – geven aanleiding tot suboptimalisatie van de veiligheid in de (afzonderlijke onderdelen van de) keten
- Toenemend gebruik van nieuwe stoffen als energiedrager (biobrandstoffen, LNG, waterstof) leidt ook tot nieuwe spelers met minder kennis over veiligheid en gevaarlijke stoffen en tot nieuwe risico's
- Ruimtelijke verdichting en oprukkende bebouwing beïnvloeden uitbreidingsmogelijkheden van industrie en transport of zetten bestaande met geaccepteerd risico onder druk
- Er is de komende 5 tot 10 jaar een *brain drain* te verwachten bij de bedrijven door uittreding en pensionering op het gebied van kennis over veiligheid en gevaarlijke stoffen. Instroom van in Nederland, of zelfs in Europa opgeleide personen, is een groot probleem
- Aandacht voor veiligheid neemt toe vanuit het inzicht dat een ongeval veel geld kost en vooral imagooverlies oplevert; ook groeit de aandacht voor veiligheid omdat een storingsvrije productie dikwijls niet alleen veiliger maar ook goedkoper is
- Naarmate een langere tijd sinds een ramp verstreken is, is onderhoud van de kennis over veiligheid lastiger

De Regiegroep Chemie, waarin vertegenwoordigers van industrie, VNCI en NWO samenwerken, stelt in het businessplan voor de chemische sector in Nederland een aantal ambities: verdubbeling van de bijdrage van chemie in het BBP in 10 jaar, halvering van het gebruik van fossiele brandstoffen in 25 jaar, uitbouwen van de aanwezige technologische competenties op het gebied van industriële biotechnologie, katalyse, materialen en procestechnologie³⁸. Het voorstel van de regiegroep – met 1 miljard euro aan projecten onder andere voor kennisontwikkeling – omvat ook plannen om de aanwas van gemotiveerd (en opgeleid) personeel te vergroten, het imago van de sector te verbeteren en de regelgeving te stroomlijnen. Kennisontwikkeling over veiligheid krijgt nog geen expliciete aandacht in de plannen.

³⁷ Zie Bijlage 1.

³⁸ Innovatie in, door en van de Nederlandse chemische sector. Uitwerking en uitvoering van het businessplan van de Regiegroep Chemie, "Sleutelgebied chemie zorgt voor groei". Regiegroep Chemie. Den Haag, augustus 2007.

Risicobeheersing zou echter een speerpunt moeten zijn, onder andere omdat de veiligheid van deze sector mede bepalend is voor het imago. Door toepassen van meer inherent veilige procesvoering en procesintensificatie zal de kernprocesveiligheid wellicht toenemen. Deze ontwikkeling gaat echter gepaard met een grotere doorzet van stoffen, waardoor de opslag en transportsystemen – met hun risicopotentie – groeien. Vanwege de groei van de woonkernen in de omgeving van bedrijven blijft bovendien de druk op risicobeheersing bij de bedrijven toenemen.

Ook de WRR duidt in de achtergrondstudie over gevaarlijke stoffen en fysieke veiligheid een aantal kennisvragen op het gebied van gevaarlijke stoffen³⁹. Zo onderschrijft de WRR de inbreng van de AGS voor de WRR studie dat zou moeten worden bezien of het huidige onderscheid tussen interne en externe (publieke)veiligheid op termijn nog steeds functioneel blijft. Tevens gaat de WRR – zoals eerder door de AGS geagendeerd⁴⁰ – in op de mogelijkheden om het huidige criterium voor het groepsrisico (GR) te verbreden, zodat in een maatschappelijke afweging van het risico zowel de kosten als de baten kunnen worden betrokken.

Trends bij de burger

- Individualisering verandert de risicoperceptie van burgers (gevoeliger; risicointolerantie); ook wordt de burger kritischer over bijvoorbeeld wat de overheid doet om incidenten te bestrijden
- Door verminderde interesse voor bètakennis, teruglopende instroom in technische (bèta) opleidingen en vergrijzing, neemt bij de burger de onwetendheid over gevaren en risico's toe
- Juridische aansprakelijkheid gaat een grotere rol spelen in externe veiligheid
- Radicalisering, afnemend burgerschap, dreiging van terrorisme kan de kans op het intentioneel verkeerd gebruik van gevaarlijke stoffen vergroten
- Gebrek aan informatie en kennis maakt dat van sommige risico's veel meer dreiging uitgaat dan eigenlijk nodig is. Gebrek aan kennis kan leiden tot onnodig uitbannen van overigens waardevolle activiteiten en dus tot verlamming, of althans tot ondoelmatige investeringen. Kennis geeft vertrouwen
- Kennis is vergankelijk en moet als investering over een beperkte periode (3-5 jaren) worden afgeschreven door veroudering en verloop van kenniswerkers

Trends bij de overheid

Europa/Internationaal

- Globalisering stimuleert ontwikkeling en gebruik van internationale standaarden over veiligheid en gevaarlijke stoffen
- Invloed vanuit Europa wordt sterker en leidt tot meer harmonisatie van wetgeving op dit gebied
- Uitbreiding van de EU geeft grotere verschillen in kennis over veiligheid en gevaarlijke stoffen
- Uitbreiding van de EU geeft een grotere markt voor NL als transportland en ook ontwikkelingen als import/doorvoerland van gevaarlijke stoffen

Nationaal

- Verdere ontwikkeling binnen beleidsorganen van het op centraal niveau sturen op proces en het op afstand plaatsen van kennis (in kennisinstituten) met gelijktijdig

³⁹ Gevaarlijke stoffen. Case studie ten behoeve van het project veiligheid. Webpublicatie 36. WRR. Den Haag, oktober 2007.

⁴⁰ Beleidsplan 2004. Adviesraad Gevaarlijke Stoffen. Den Haag, 2004.

een brain drain (zie ook Trends bij de kennis)

- De algemene trend bij de overheid om meer nadruk te leggen op de verantwoordelijkheid van burger en bedrijven (met gelijktijdige verschuiving van middel naar doel) zal ook consequenties hebben voor beleidsterreinen op het gebied van veiligheid en gevaarlijke stoffen
- De overheid wil niet worden afgerekend op rampen. Verrassingen mogen niet voorkomen, onvoorziene risico's betekenen zwakte van de voorbereiding

Lokaal (gemeenten en provincies)

- Decentraliseren stelt niet alleen eisen aan instrumenten maar ook aan professionalisering
- Toenemende interesse voor *risk governance*
- Toenemende rol van de rampenbestrijding – met name brandweer en geneeskundige hulp bij ongevallen – bij preventie (planvorming en proactie) leidt tot kennisvragen

Trends bij de kennis

- Door verminderde interesse voor bètakennis, teruglopende instroom in technische (bèta-) opleidingen en vergrijzing (en uittreding) is er bij de universiteiten en overheden een braindrain gaande
- Bij universiteiten verdwijnen onderzoeksgroepen die relevant zijn voor het kennisdomein veiligheid en gevaarlijke stoffen
- Prestatiemetingen voor wetenschappelijk onderzoek, zoals citatie index score, beperken de interesse voor toegepast onderzoek en vergroten de kloof tussen universiteiten en praktijk. Bedrijven kunnen met kennisvragen steeds minder terecht bij universiteiten
- Toename van complexiteit van vraagstukken over veiligheid en gevaarlijke stoffen (installaties, ketens etc.) vereist ook een verandering van type kennis enerzijds bij de beleidsformulerende en anderzijds bij de handhavende overheid. De huidige opsplitsing van proces en inhoud is onvoldoende antwoord hierop. Bij de beleidsformulerende overheid is overzicht nodig over deze complexe vraagstukken op een hoger niveau
- Het is de vraag of het de overheid voldoende zal lukken om capabele mensen aan zich te binden op gebied van veiligheidstoezicht en inspectie. De trend bij de overheid is om functies op gebied van inspectie en toezicht te bundelen. Daarbij is het van belang de benodigde specifieke kennis van de fundamentele gevaarsmechanismen te behouden. Bovendien is bij veiligheid de 'devil' vaak in het belangrijke 'detail'

Kennis over veiligheid en gevaarlijke stoffen is zowel bij bedrijven als bij overheid een factor van belang om te blijven zorgen voor veilige installaties en veilig vervoer, veilige bedrijfsvoering, effectieve rampenbestrijding. Tevens is kennis op dit gebied van belang om de besluitvorming over de ruimtelijke context rond installaties en vervoersassen beter te kunnen onderbouwen.

COLOFON ● ISBN/EAN: 978-90-77710-15-9

Strategie in de kennisinfrastructuur voor veilige chemie en energie,
kennis over veiligheid en gevaarlijke stoffen voor het Nederland van 2020

Tekst: © Adviesraad Gevaarlijke Stoffen. Den Haag, 2009.

Aan de inhoud van dit advies kunnen geen rechten worden ontleend.
Uit dit document mag worden geciteerd, mits met bronvermelding.

Ontwerp: Taluut, Utrecht.

Adviesraad Gevaarlijke Stoffen

Oranjevuitensingel 6
Postbus 20951 - IPC 770
2500 EZ Den Haag
www.adviesraadgevaarlijkestoffen.nl