
Veiligheid in het laboratorium

Iris van 't Leven
Marten van der Steeg

Henny Kramers-Pals

Zevende druk

Syntax Media – Amersfoort

©2026, Uitgeverij Syntax Media, Amersfoort

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. Geen tekst- en datamining.

Voor zover het maken van reprografische verveelvoudigingen uit deze uitgave is toegestaan op grond van Artikel 16h Auteurswet 1912 dient men de daarvoor verschuldigde vergoedingen te voldoen aan Stichting Reprorecht (www.reprorecht.nl). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) kan men zich wenden tot Stichting PRO (www.stichting-pro.nl).

No part of this book may be reproduced in any form by print, photoprint, microfilm or any other means without written permission from the publisher. No text & datamining.

ISBN: 978 94 91764 63 9

Omslagontwerp: AlphaZet prepress, Bodegraven

Ontwerp en opmaak binnenwerk: AlphaZet prepress, Bodegraven

Redactie: Redactie & zo, ir. Caroline van der Meulen

Met behulp van onderstaande unieke activeringscode krijg je **als student** toegang tot de online leeromgeving <https://syntaxmedia.eduhint.nl/login/>. Deze code is persoonlijk en gekoppeld aan de zevende druk van dit boek. Na activering van de code is de online leeromgeving vijf jaar toegankelijk. De code kan tot zes maanden na het verschijnen van een volgende druk van dit boek geactiveerd worden. De code is eenmalig te gebruiken.

Eventuele opmerkingen over deze uitgave kunt u richten aan:

Uitgeverij Syntax Media BV

info@syntaxmedia.nl

www.syntaxmedia.nl

Voorwoord

Veilig werken in het laboratorium is een belangrijk onderdeel van werken als professional en is daarvan ook niet los te denken. Enerzijds is onderwijs in veiligheid noodzakelijk om bij practica ongevallen te voorkomen. Anderzijds moet je tijdens je opleiding de principes van veilig werken leren beheersen. Hierdoor kun je in toekomstige werksituaties risico's onderkennen en zo mogelijk vermijden. Evenals bij vakkennis is het bij veiligheidskennis van belang dat je deze in verschillende situaties kunt toepassen. De kennis moet daartoe goed toegankelijk in je geheugen zijn opgeslagen, zodat je er een beroep op kunt doen als je deze nodig hebt. Een deel van de kennis moet zelfs leiden tot 'ruggenmerg-reflexen': onmiddellijke reactie in noodsituaties.

Om te bereiken dat je de kennis goed beheerst en kunt gebruiken, is het nodig dat deze goed is gestructureerd en aansluit bij je voorkennis. Maar vooral is het van belang dat de kennis in allerlei situaties goed is geoefend. Veel zul je daarbij leren van je eigen ervaring en die van anderen. Ook het actief volgen van onderwijs over veiligheid en een actieve bestudering van dit boek zullen daartoe zeker bijdragen.

Veiligheid in het laboratorium is geschreven voor het laboratoriumonderwijs op mbo-niveau en hbo-niveau. Het boek kan ook voor universitair onderwijs worden ingezet. Het is een leerboek, daarom is aandacht besteed aan een didactisch verantwoorde opzet. Belangrijke elementen zijn hierbij een duidelijke structuur van de aangeboden informatie en mogelijkheden voor actieve verwerking en zelfstudie aan de hand van opdrachten en vragen.

Veilig en milieuverantwoord kunnen werken hoort tot de basisvaardigheden van elk vak. Bij het schrijven van *Veiligheid in het laboratorium* is dit in gedachten gehouden. De relevante wet- en regelgeving krijgt de aandacht en zoveel mogelijk gericht op de praktijk.

Hoofdstuk 1 tot en met 3 gaan in op algemene veiligheidskennis waarover de studenten moeten beschikken voordat ze in het laboratorium gaan werken. Idealiter worden deze hoofdstukken behandeld voorafgaand aan het eerste practicum.

In hoofdstuk 4 tot en met 9 wordt de nadruk gelegd op de mogelijke risico's van diverse werkzaamheden met apparatuur en met stoffen. De te nemen veiligheidsmaatregelen worden hieruit afgeleid. Hoofdstuk 4 en 5 sluiten aan op de eerste eigen ervaringen in het laboratorium. Daarmee zijn deze hoofdstukken geschikt voor een verdieping bijvoorbeeld in het tweede jaar. Hoofdstuk 6 tot en met 9 kunnen los worden behandeld, in aansluiting op de activiteiten van de studenten in het laboratorium.

Hoofdstuk 10 en 11 gaan in op de manier van ingrijpen als, ondanks de genomen veiligheidsvoorzorgen, toch onverhoopt een calamiteit optreedt.

De overige hoofdstukken hebben betrekking op bepaalde meer specifieke werkzaamheden in laboratoria. Ze zijn bedoeld voor de latere studie jaren, tijdens de stage of aan het begin van de beroepspraktijk.

Het boek bevat veel elementen om een actieve bestudering te bevorderen. Bij elk hoofdstuk vind je een Zelftest in de online leeromgeving bij dit boek, waarmee je kunt controleren of je de behandelde stof beheerst. Hoewel de oefening vooral in de werksituatie zal moeten plaatsvinden, zijn soms na een hoofdstuk, als extra oefening, opdrachten in het boek opgenomen.

Ten slotte, dit boek is geen handboek: gedetailleerde veiligheidsgegevens van stoffen zul je er bijvoorbeeld niet in aantreffen. We gaan ervan uit dat je die altijd zelf zult opzoeken. Informatiebronnen hiervoor horen in het laboratorium aanwezig te zijn.

Voorjaar 2026

Iris van 't Leven en Marten van der Steeg

Iris van 't Leven is arbeidshygiënist, toxicoloog en microbioloog en heeft zich gespecialiseerd in veiligheid in het laboratorium. Zij geeft sinds 1993 advies en cursussen in veilig werken in chemische en biologische laboratoria.
www.Iris-Advies.nl

Marten van der Steeg is gecertificeerd arbo-kerndeskundige, veiligheidskundige en arbeidshygiënist en heeft zelf op het laboratorium gewerkt voor hij van veiligheid zijn vak maakte. Hij heeft een achtergrond in de organische synthese.

Dankwoord

We zijn veel dank verschuldigd aan allen die hebben bijgedragen aan het schrijven en herzien van dit boek. Allereerst veel dank aan de grondlegger van dit boek Henny Kramers-Pals, voormalig universitair hoofddocent bij Chemische Technologie van de Universiteit Twente (UT). Zij heeft op vele manieren bijgedragen aan het veiligheidsonderwijs in laboratoria.

Daarnaast gaat onze dank uit naar onze medelezers. Marc Bergkotte, arbo- en milieudeskundige van de Universiteit Utrecht (UU) heeft meegelezen op het thema milieu, Edwin Hagelen, arbeidshygiënist en biologisch veiligheidsfunctionaris van het UMC Utrecht heeft meegelezen bij het hoofdstuk over biologische agentia. Jos van den Eijnde, veiligheidskundige en auteur van onder andere Praktische Stralingshygiëne, heeft meegelezen op straling en aanverwante onderwerpen.

Dankzij Lodewijk Brakels van de HAN-University of Applied Sciences (HAN) hebben we een recent voorbeeld van actuele laboratoriumregels. En Bertus Dierink en Richard Sanders van de UT hebben ons voorzien van geactualiseerde risico-inventarisatiekaarten.

Daarnaast hebben diverse laboratoria ons hartverwarmend ondersteund bij het maken van foto's, toestemming voor de publicatie van foto's, doneren van foto's en doneren van tekeningen, waardoor we veel meer in beeld hebben kunnen weergeven. Dat is de leesbaarheid zeker ten goede gekomen. Met name willen we noemen:

Wageningen University & Research: Nicole Jacobs, Maarten van den Berg, Daan Jaspers (FB-PFO), Martin Wagemans, Karleen Rijff, Saskia van Laar, Henk Schippers, (DDW), Daniel Forster (student DDW), Greetje Meijer (WFSR), Mariette Helmond (AFSG), Marlies Schimmel (ESG), A. Meijering (PSG).

Diny van Faassen (Biosafety Consult), Sonny van Seeters (docent chemie), Paulien Mulder (Het Waterlaboratorium Haarlem), Mindert Mulder (Enza Zaden), Eugene Timmering (Xiver), Per Staugaard (Biosafety Training & Consultancy).

Toine van Alphen (Prolyse), Ronald van Berkel (3M), Roelof Zantingh (Boom), Anne Topma (Vos Instruments), Peter van Doesum (Denios).

Gerard Stout maakte op ons verzoek op de NHL Stenden een aantal foto's van veiligheidsvoorzieningen.

Inhoud

1	Voorschriften en voorzieningen	17
1.1	Verplichtingen die de Arbowet oplegt aan werkgevers en werknemers	18
1.1.1	Werkgever	18
1.1.2	Werknemer	18
1.2	Risico's verminderen en gevolgen beperken	19
1.2.1	Strategie voor risicobeheersing	20
1.2.2	Beperking gevolgen	21
1.3	Persoonlijke beschermingsmiddelen, persoonlijke hygiëne	22
1.3.1	Bescherming ogen en gelaat	22
1.3.2	Bescherming neus en mond: adembescherming	23
1.3.3	Bescherming lang haar: samenbinden	25
1.3.4	Beschermende kleding	25
1.3.5	Bescherming handen: handschoenen	25
1.3.6	Persoonlijke hygiëne	27
1.4	Andere veiligheidsvoorzieningen	28
1.4.1	Zuurkasten	28
1.4.2	Biologische veiligheidskabinetten	29
1.4.3	Opslag van chemicaliën	30
1.4.4	Transport van chemicaliën	31
1.4.5	Zorgvuldig gebruik	32
1.5	Werkomstandigheden	32
1.5.1	Orde en netheid	32
1.5.2	Inrichting van de werkruimte	32
1.5.3	Verlichting	32
1.5.4	Klimaat	33
1.5.5	Apparatuur	33
1.5.6	Sociale factoren	33
1.5.7	Stress	33
2	Vorbereiding van laboratoriumexperimenten	35
2.1	Risicoanalyse en -beoordeling: weten en wegen	36
2.1.1	Weten	36
2.1.2	Wegen	38
2.2	Risicoanalyse bij het werken met chemische stoffen	39
2.2.1	Etiketten	39
2.2.2	Veiligheidsinformatiebladen	41
2.2.3	Chemiekaarten	43

2.2.4	Veiligheidsinformatiebladen in vele talen	44
2.2.5	Zoeken van veiligheidsinformatiebladen	44
2.2.6	Blootstellingsschatting	44
2.2.7	Risicocommunicatie op de werkplek	44
2.3	Verwijdering van chemisch afval	46
3	Inzameling en afvoer van laboratoriumafval	49
3.1	De lotgevallen van laboratoriumafval	50
3.1.1	Ongewenste lozing via het riool	50
3.1.2	Afvoer via zuurkast en ventilatiesysteem	51
3.1.3	Afvoer samen met gewoon bedrijfsafval	52
3.2	Verwerking laboratoriumafval	53
3.2.1	Intern hergebruik	53
3.2.2	Externe verwerking	53
3.3	Analyse en beoordeling milieurisico's	55
3.3.1	Opbouw ervaring	56
3.3.2	Risicoanalyse (weten)	56
3.3.3	Risicobeoordeling (wegen)	57
3.3.4	Strategie voor risicobeheersing	57
3.3.5	Beperking gevolgen	58
3.4	Scheiden van afvalstromen	59
3.4.1	Gescheiden afvalstromen	59
3.4.2	Vloeibaar chemisch afval	59
3.4.3	Vast chemisch afval	61
3.4.4	Stoffen met verhoogd risico	62
3.4.5	Biologisch afval	63
3.5	Inzameling, opslag en transport van laboratoriumafval	66
3.5.1	Organisatie inzameling laboratoriumafval	66
3.5.2	Opslag van afval	68
3.5.3	Transport van afval	69
4	Risico's met glazen apparatuur	71
4.1	Voor- en nadelen van glas; vervangingsmogelijkheden	72
4.1.1	Bescherming glas	73
4.1.2	Vervanging door ander materialen	73
4.2	Oorzaken van glasbreuk	74
4.2.1	Mechanische oorzaken	74
4.2.2	Breukspanning	74
4.2.3	Thermische oorzaken	75
4.2.4	Belang uitzettingscoëfficiënt	75
4.2.5	Invloed inwendige spanningen	75
4.2.6	Breuk door ontglazing	76
4.2.7	Invloed beschadigingen	76
4.3	Breukrisico bij verschillende glassoorten	77
4.3.1	Samenstelling glas	77
4.3.2	Kwartsglas	78

4.3.3	Natronkalkglas	78
4.3.4	Boorsilicaatglas	79
4.3.5	Veiligheidsglas	79
4.4	Voorkomen van breuk	80
4.4.1	Val of stoot	80
4.4.2	Aanbrengen/losmaken verbindingen van glas met slangen of rubberstoppen	81
4.4.3	Losmaken vastzittende slijpstukken	82
4.4.4	Bouwen opstelling, juiste vastklemming	84
4.4.5	Voorkomen van snelle temperatuurwisselingen	86
4.5	Gevolgen van breuk beperken	86
4.5.1	Scherven	87
4.5.2	Inhoud kan vrijkomen	87
4.6	Andere risico's bij werken met glas	88
4.6.1	Brandwonden	88
4.6.2	Lekkage of losraken van verbindingen met glas	89

5 Risico's bij verhitten 92

5.1	Verhitten op het lab	93
5.2	Risico's bij gebruik van aardgas als energiebron	93
5.2.1	Aansluiten	93
5.2.2	Aansteken	94
5.2.3	Branden	94
5.3	Risico's bij gebruik van elektriciteit als energiebron	95
5.4	Risico's bij gebruik van een medium	96
5.5	Risico's bij werken met vat met inhoud	98
5.6	Maatregelen vermindering risico's bij verhitting	99
5.6.1	Verhitting met aardgasbrander	99
5.6.2	Elektrische verhitting	100
5.6.3	Gebruik van een medium	100
5.6.4	Verhitting van niet-brandbare vloeistof in reageerbuis	101
5.6.5	Verhitting van niet-brandbare vloeistof in bekglas of conische kolf	102
5.6.6	Voorkomen van kookvertraging en fysische explosie	103

6 Risico's met elektriciteit 106

6.1	Risico's bij elektrische apparatuur	107
6.1.1	Brandgevaar	107
6.1.2	Explosie	108
6.1.3	Aanrakingsgevaar	108
6.2	Voorzorgsmaatregelen bij gebruik van elektriciteit	111
6.3	Ingrijpen bij storingen of calamiteiten	114
6.4	Statische elektriciteit	114
6.4.1	Statische oplading	114

6.4.2	Soortelijke geleiding	115
6.4.3	Statische oplading voorkomen	116
7	Risico's bij werken met hoge en lage druk	118
7.1	Gassen op het lab	119
7.1.1	Aansluiting door getraind personeel	119
7.1.2	Netwerk	119
7.2	De inhoud van gasflessen	120
7.3	Het reduceerventiel	121
7.3.1	Werking reduceerventiel	122
7.3.2	Reduceerventiel en veiligheid	125
7.4	Aansluitingen achter reduceertoestel	127
7.5	Vervoer, plaatsing, opslag en keuring van gasflessen	130
7.6	Cryogene stoffen	133
7.6.1	Risico's	133
7.6.2	Maatregelen	134
7.7	Andere werkzaamheden met hoge druk	136
7.7.1	Risico's	137
7.7.2	Aanvullende maatregelen bij experimenten onder hoge druk	137
7.8	Risico's bij werken met verminderde druk	138
8	Risico's van gevaarlijke stoffen voor het lichaam	141
8.1	Indeling van voor het lichaam gevaarlijke stoffen	142
8.1.1	Indeling gevaarlijke stoffen	142
8.1.2	Classificering van stoffen	142
8.2	Opname van schadelijke stoffen	146
8.2.1	Inademen	146
8.2.2	Inslikken	147
8.2.3	Contact met de huid	147
8.2.4	Contact met de ogen	148
8.2.5	Door het lichaam opgenomen hoeveelheid	149
8.3	Werkingsmechanismen gevaarlijke stoffen	150
8.3.1	Acute en chronisch effecten	150
8.3.2	Lokale en systemische effecten	151
8.3.3	Combinatie van beide indelingen	152
8.3.4	Combinatie van effecten	153
8.3.5	Afbreken of ophopen van stoffen in het lichaam	153
8.4	Grenswaarden	154
8.4.1	Verschillende grenswaarden	154
8.4.2	Voorwaarden grenswaarden	156
8.4.3	Beoordelen of onder de grenswaarde wordt gewerkt	157
8.5	Ruiken, schatten en meten	158
8.5.1	Geurdrempel	159

8.5.2	Schatting van de blootstelling	160
8.5.3	Meten	161
8.6	Maatregelen om risico's bij het werken met voor het lichaam gevaarlijke stoffen te verminderen	162
8.6.1	Algemene maatregelen	163
8.6.2	Verklein de kans op opname	166
8.6.3	Opruimen van gemorste chemicaliën	168
9	Brand- en explosierisico's	171
9.1	Het proces achter brand en explosies	172
9.1.1	Voorwaarden voor brand	172
9.1.2	Chemische explosie	173
9.2	Brandbare stoffen	174
9.3	Oxidator	174
9.4	Mengverhouding brandstof en oxidator	175
9.4.1	Explosiegrenzen	175
9.4.2	Invloed omstandigheden op explosiegrenzen	177
9.4.3	Vlampunt bij vloeistoffen	178
9.5	Ontsteking en zelfontbranding	181
9.5.1	Ontsteking	181
9.5.2	Zelfontbranding	183
9.6	Vorbereidingen experiment	185
9.6.1	Gegevens veiligheidsinformatieblad	185
9.6.2	Ontvlambare stoffen	187
9.6.3	Oxiderende stoffen	190
9.6.4	Ontploffbare (explosieve) stoffen	191
9.6.5	Reactiviteit van stoffen	192
9.7	Oorzaken van brand en explosie in de praktijk	193
9.7.1	Brandbare stof niet onder controle	194
9.7.2	Oxidator niet onder controle	195
9.7.3	Ontstekingsbron niet onder controle	195
9.8	Maatregelen om brand en explosie te voorkomen	197
9.8.1	Brandbare stoffen onder controle houden	197
9.8.2	Oxidatoren onder controle houden	199
9.8.3	Ontstekingsbronnen onder controle houden	200
9.9	Maatregelen om de schade te beperken als er toch iets gebeurt	202
10	Handelen bij ongelukken	206
10.1	Taken van de bedrijfshulpverlening (BHV)	207
10.2	Vorbereid zijn op ongelukken	208
10.3	Ingrijpen bij brandwonden	210
10.4	Ingrijpen bij blootstelling aan gevaarlijke stoffen	211
10.4.1	Spatten op de huid	211
10.4.2	Spatten in het oog	212

10.4.3	Inademen van gassen, dampen of stofdeeltjes	214
10.4.4	Inslikken van chemicaliën	216
10.5	Medische begeleiding en nazorg	217
11	Wat te doen bij brand	219
11.1	Maatregelen bij het ontdekken van brand	220
11.2	Brandbestrijding	220
11.3	Toepassing van brandblusmiddelen	222
11.4	Blussen van een brand	224
11.5	Eerste hulp aan brandslachtoffers	224
11.6	Ontruiming van een gebouw	225
12	Biologische agentia	226
12.1	Ziekmakend vermogen	227
12.2	Ontvankelijkheid van de ontvanger	230
12.3	Besmettingsrisico	231
12.3.1	Wijze van contact	231
12.3.2	Besmettingskans	232
12.3.3	Voorbeelden van besmettelijk materiaal	234
12.4	Maatregelen om risico's te verminderen	236
12.4.1	Inrichting van het laboratorium	237
12.4.2	Voorkomen van besmetting in het werkproces	237
12.4.3	Hygiënische maatregelen	244
12.4.4	Persoonlijke bescherming en hygiëne	247
12.4.5	Gevolgen van eventuele besmetting beperken	249
12.5	Organisatorische maatregelen	250
13	Milieuverantwoordelijk werken	253
13.1	Energiegebruik	254
13.2	Materiaalgebruik	257
13.2.1	Materialenbalans maken	257
13.2.2	Watergebruik in laboratoria	259
13.2.3	Besparen op laboratoriummaterialen	261
13.3	Emissie-eisen milieuschadelijke stoffen	263
13.3.1	Lozing via het riool	263
13.3.2	Emissies naar de lucht	265
13.3.3	Emissies naar de bodem	267
13.4	Brongerichte aanpak nader uitgewerkt	268
13.5	Werken in milieuteams	273
14	Beleid veilig en gezond werken	275
14.1	Arbobeleid	276
14.2	Werknemersbetrokkenheid	278
14.3	Risico-inventarisatie en -evaluatie	279
14.4	Voorlichting en toezicht	281

14.5	Veiligheidsrondgang	282
14.6	Analyse van ongevallen en incidenten	284
14.6.1	Visgraatanalyse	284
14.6.2	Analyse van basisrisicofactoren	285
14.7	Veiligheid bij bouw en inrichting van laboratoria	287

Bijlagen 294

1	Voorbeeld van labregels	295
2	Arbo- en milieuwetgeving	296
	Arbowetgeving	296
	Milieuwetgeving	299
	Aanpassing aan Europese wetgeving	300
3	Informatiekaart	301
4	Etiketten: pictogrammen	302
5a	Chemiekaart van azijnzuur	303
5b	Chemiekaart van azijnzuuranhydride	304

Literatuur 305

	Veiligheid in laboratoria algemeen	305
	Gevaarlijke stoffen	305
	Biologische agentia	306
	Milieu	306
	Beleid veilig en gezond werken	307
	Overig	308
	Wet- en regelgeving	308

Register 311

Illustratieverantwoording 319

Inzameling en afvoer van laboratoriumafval



Bij laboratoriumwerk is het gebruik van chemicaliën en de productie van allerlei afvalstoffen onvermijdelijk. Dit hoofdstuk gaat kort in op mogelijke risico's voor het milieu en de manier waarop die risico's kunnen worden vermindert. De volgende vragen zijn hierbij van belang.

- 1 Hoe kan laboratoriumafval in het milieu terechtkomen en welke gevolgen heeft dit voor het milieu?
- 2 Hoe kun je de milieurisico's van stoffen analyseren en beoordelen?
- 3 Hoe kun je voorkomen dat emissies en afval ontstaan?
- 4 Hoe kun je laboratoriumafval veilig en milieuverantwoord afvoeren?

In hoofdstuk 13 komen de eerste drie vragen weer terug. In dat hoofdstuk wordt ook ingegaan op mogelijkheden om het gebruik van energie en grondstoffen te reduceren. De inzameling, afvoer en verwerking van laboratoriumafval (vraag 4) komt alleen in dit hoofdstuk aan de orde (paragraaf 3.2 en 3.4).

3.1 De lotgevallen van laboratoriumafval

Laboratoriumchemicaliën kunnen via de volgende routes – al dan niet in omgezette vorm – in het milieu terechtkomen:

- via de gootsteen (en het riool);
- via de zuurkast of het ventilatiesysteem van het laboratorium;
- via het bedrijfsafval.

In deze paragraaf bespreken wij wat er gebeurt met de chemicaliën die via het riool en het bedrijfsafval het instituut verlaten en wordt kort ingegaan op emissies via de zuurkast of het ventilatiesysteem. Hoofdstuk 13 gaat verder in op de aan vergunningen gebonden lozing via het riool en op emissies via de zuurkast of het ventilatiesysteem.

3.1.1 Ongewenste lozing via het riool

Als stoffen door de gootsteen worden weggespoeld, komen ze uiteindelijk in een plaatselijk riool terecht. De riolering voert het afval meestal af naar een rioolwaterzuiveringsinstallatie (afb. 3.1); in Nederland wordt slechts incidenteel direct op het oppervlaktewater geloosd. Biologisch afbreekbare stoffen (meestal organische stoffen) worden in deze installatie zonder problemen afgebroken.



Afbeelding 3.1

Het water dat door de gootsteen gaat, komt in een waterzuiveringsinstallatie terecht. Niet-afbreekbare stoffen worden daarna geloosd.

Biologisch niet-afbreekbare stoffen

Biologisch niet-afbreekbare stoffen (sommige organische en de meeste anorganische stoffen) passeren de rioolwaterzuiveringsinstallatie onveranderd. Ze kunnen na de bezin-

5.6.6 Voorkomen van kookvertraging en fysieke explosie

Om **kookvertraging** te **voorkomen**, moet je ervoor zorgen dat er kleine lucht- of gasbelletjes aanwezig zijn als startpunt voor de vorming van dampbellen.

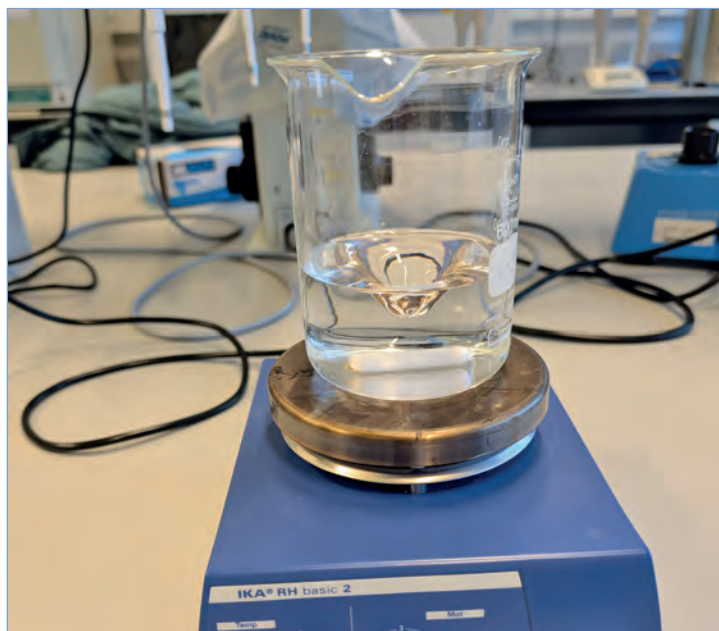
Kooksteentjes

Dat kan door toevoeging van **kooksteentjes** van poreus keramisch materiaal, door glazen **kookstaafjes** of door **glaskralen**. Hieruit kunnen bij verwarming de benodigde kleine luchtbelletjes ontsnappen. Voeg kooksteentjes toe voor je met het verwarmen begint. Bij toevoeging van kooksteentjes tijdens het verwarmen zou de vloeistof door opheffing van de kookvertraging kunnen gaan overschuimen. Bij onderbreking van de verhitting worden kooksteentjes onwerkzaam. De poriën ervan vullen zich bij afkoeling namelijk met vloeistof.

Voeg nieuwe kooksteentjes pas toe na afkoeling! Gebruik bij destillaties bij hoge temperatuur uitsluitend glaskralen, geen kooksteentjes.

Magnetische roering

Magnetische roering is ook een goede manier om kookvertraging te voorkomen (afb. 5.9). Let er daarbij op dat **vonkvrije roerders** worden ingezet als je met explosiegevoelige stoffen werkt.



Afbeelding 5.9

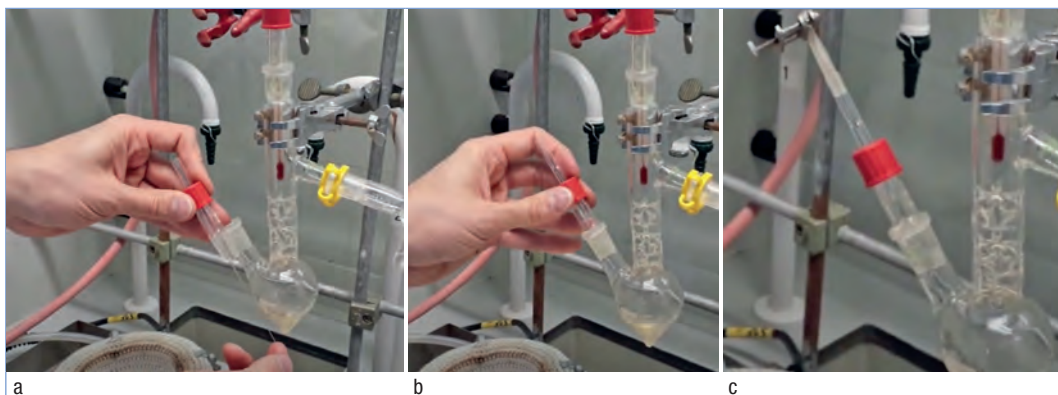
Magneetroerder met roerstaafje.

Roerstaaf

Bij verhitting van niet-brandbare vloeistoffen in een beker-glas is kookvertraging ook al te voorkomen door de oplossing met een glazen **roerstaaf** voortdurend te roeren. Zorg er hierbij wel voor dat je geen krassen op het glas veroorzaakt. Krassen op het glas veroorzaken namelijk spanningsconcentraties, waardoor op die plekken een breuk kan beginnen.

Capillair

Bij een **vacuümdestillatie** wordt om kookvertraging te voorkomen, stikstof door de kokende vloeistof geleid via een **capillair** (afb. 5.10). Er wordt net zoveel stikstof toegevoegd tot er kleine belletjes ontstaan in de vloeistof. Als de toegevoerde lucht droog moet zijn, wordt het capillair voorzien van een calciumchloridebuisje. Als wordt gewerkt met stoffen die niet oxideren, kan ook lucht door het capillair worden gevoerd.



Afbeelding 5.10

Toepassen van een capillair ter voorkoming van kookvertraging.

(a) Afmeten van de lengte van een capillair.

(b) Plaatsen van het capillair in de kolf.

(c) Optioneel: breng een slangetje met klemmetje aan voor het regelen van het vacuüm.

Voor video's met uitleg over vacuümdestillatie, zie literatuurlijst achter in het boek bij 'Voorlichting en instructiemateriaal'.

Drukopbouw in magnetron

Om **fysische explosies** te voorkomen, moet je in een **magnetron**:

- beslist niet afwijken van de voorschriften van leveranciers;
- alleen werken in daarvoor bestemde vaten met daarvoor geschikte afsluitingen (die een breekplaat bevatten als beveiliging);
- als een dergelijke afsluiting er niet is, de vaten niet sluiten;

9.4 Mengverhouding brandstof en oxidator

Een mengsel van brandbaar gas of damp en lucht kan niet in elke willekeurige mengverhouding reageren. De concentratie aan gas kan zowel te hoog als te laag zijn. Alleen tussen bepaalde concentratiegrenzen treedt een zichzelf onderhoudende reactie op. Het concentratiegebied tussen deze grenzen noem je **explosiegebied**. De grenzen van dit gebied zijn de **explosiegrenzen**. De explosiegrenzen hangen samen met de omstandigheden.

9.4.1 Explosiegrenzen

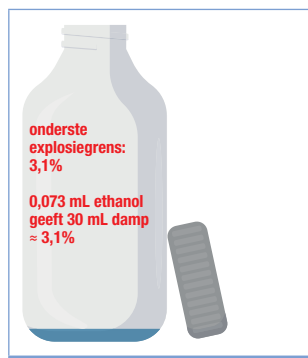
De definitie uit *Toxic Chemiekaarten* (2025) zegt het volgende: “De explosiegrenzen bepalen het gebied waarbinnen een mengsel van lucht met een gas, damp, nevel of poeder bij ontsteking kan ontbranden of exploderen.” Het is goed je te realiseren dat als de explosiegrens wordt overschreden, zich niet per se een explosie hoeft voor te doen. Voor de **onderste explosiegrens** wordt als afkorting vaak **LEL** gebruikt: *lower explosive limit*, voor de **bovenste explosiegrens** **UEL** (*upper explosive limit*).

Tabel 9.1

Explosiegrenzen in lucht van enkele stoffen (Toxic Chemiekaarten, 2025)

stof	onder	boven
	(%) (V/V)	
aardgas	4,7	16,6
ethanol	3,1	27
ether	1,7	39
ethylacetaat	2,0	12
ethyn*	2,3	100
koolstofdissulfide	0,6	60
methanol	5,5	44
pentaan	1,1	8
propanon (aceton)	2,1	13,0
tolueen	1,2	7,1
waterstof	4	77

* Ethyn (acetyleen) kan zonder aanwezigheid van lucht bij ontsteking door een slag of stoot explosief uiteenvallen.



Afbeelding 9.3

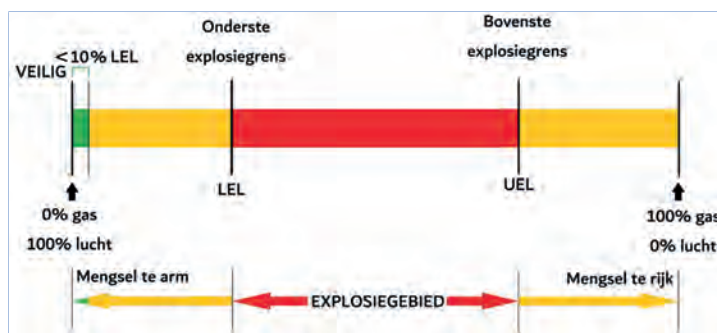
Literfles met ethanol: om de LEL (3,1 V%) te bereiken, is het voldoende om een heel kleine hoeveelheid van 0,073 mL van ethanol te verdampen.

De explosiegrenzen worden voor gassen en dampen uitgedrukt in volumeprocenten brandbare stof in de lucht. Tabel 9.1 geeft de explosiegrenzen van een aantal stoffen. Dit zijn voor gassen bij constante druk ook molprocenten. De onderste explosiegrens kan heel snel worden bereikt. In afbeelding 9.3 is dit visueel gemaakt voor ethanol. Het is belangrijk te beseffen dat de oxidator ook een andere oxidator dan lucht kan zijn. Als dat het geval is, zullen de explosiegrenzen anders uitvallen.

Mengsel te rijk of te arm: geen risico

Als de samenstelling van het mengsel buiten het explosiegebied ligt, is het niet tot ontsteking te brengen. Boven de bovenste explosiegrens is het mengsel te *rijk*: er is dan onvoldoende oxidator aanwezig. Beneden de onderste explosiegrens is het mengsel te *arm*: het bevat dan zo weinig brandbare stof, dat de reactie zichzelf niet meer kan onderhouden (afb. 9.4).

Komt een te rijk mengsel in contact met lucht, dat ongeveer 21% zuurstof bevat, dan kan het mengsel branden bij het contactoppervlak. Als je bijvoorbeeld een dop opendraait van een fles met licht ontvlambare vloeistof en de damp aansteekt, zal de damp branden. Dit gebeurt alleen bij de flesopening waar zuurstof aanwezig is. Ook kan door ventilatie het gas of de damp zo verdunnen, dat de concentratie beneden de UEL in het explosiegebied uitkomt.

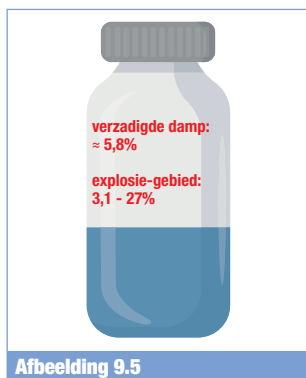


Afbeelding 9.4

Explosiegrenzen schematisch weergegeven. Als grens van mogelijke explosieve atmosfeer kan de vuistregel van < 10% van de LEL-waarde worden gebruikt.

Voorbeeld

In een fles met oplosmiddel is de damp boven de vloeistof verzadigd. Ligt de verzadigde damp in het explosiegebied? Dit kun je met de dampspanning berekenen. In het geval van ethanol is de concentratie van de verzadigde damp 5,8% (afb. 9.5). Deze concentratie ligt in het explosiegebied van 3,1% tot 27% (tabel 9.1).



Afbeelding 9.5

Ethanol: de verzadigde damp boven de vloeistof ligt in het explosiegebied.



Afbeelding 9.6

Verhouding verzadigde dampconcentratie en zuurstof in de lucht in een fles met ethanol: 1 : 3,45.

Molverhouding bepaalt reactiesnelheid

In het explosiegebied verloopt de reactie het snelst bij nagenoeg de juiste molverhouding. De verschijnselen, zoals vlammen of een knal zijn dan ook het hevigst. Het risico op een explosie is het grootst als de brandstof en de zuurstof in de juiste molverhouding aanwezig zijn. De kans is ook groter bij een hogere temperatuur en druk.

Terug naar het voorbeeld met ethanol. De ideale molverhouding ethanol/zuurstof bij volledige verbranding van ethanol is 1 : 3, er zijn 3 zuurstofmoleculen nodig voor de verbranding van 1 ethanolmolecuul.



In een 1 literfles met ethanol is de lucht boven de vloeistof verzadigd. De concentratie bedraagt 5,8% ethanol (afb. 9.6). De zuurstofconcentratie is net iets lager dan 21%, de ethanol damp heeft wat lucht verdrongen. Er is 20% zuurstof over. De verhouding is daarmee 5,8% : 20% = 1 : 3,45. De zuurstofconcentratie is ongeveer 3× zo hoog, wat de ideale molverhouding benadert. In een gesloten fles is de kans op ontsteking klein. Als de fles wordt geopend en er komt een vonkje bij, dan is er kans op ontsteking.

9.4.2 Invloed omstandigheden op explosiegrenzen

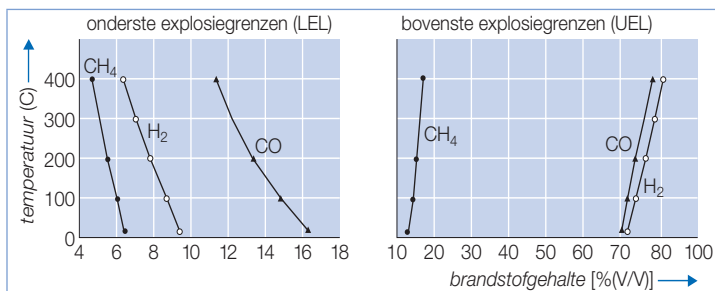
Het is belangrijk je te realiseren dat de explosiegrenzen afhankelijk zijn van de omstandigheden waarbij je een experiment doet. Ga je verwarmen, dan neemt de druk toe. Voeg je zuurstof toe, dan neemt het risico op explosie toe. Er gelden dan andere explosiegrenzen.

Invloed van zuurstofgehalte

Als het zuurstofgehalte in de lucht hoger dan 21 volume-percent is, verschuift de onderste explosiegrens nauwelijks, de bovenste behoorlijk. Het explosiegebied wordt dan ruimer. De verklaring hiervoor is dat de bovenste explosiegrens een gevolg is van zuurstoftekort. Bij een hoger **zuurstofgehalte** treedt dit tekort aan zuurstof pas op bij een hogere concentratie aan brandbare stof.

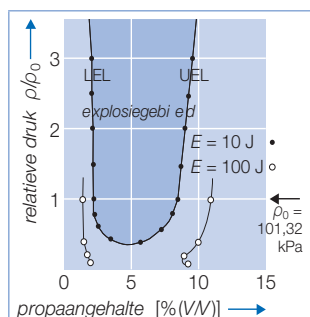
Invloed van temperatuur

De explosiegrenzen zijn afhankelijk van de **temperatuur**. Als de temperatuur stijgt, wordt het explosiegebied ruimer. De kans op explosie neemt toe. Dit wordt in afbeelding 9.7 weergegeven voor methaan (CH_4), waterstof (H_2) en koolmonoxide (CO). Let erop dat de schaal van de horizontale as in de linkergrafiek afwijkt van die in de rechtergrafiek.



Afbeelding 9.7

Invloed van de temperatuur op de explosiegrenzen van CH₄, H₂ en CO.



Afbeelding 9.8

Invloed van de druk op de explosiegrenzen van propaan bij twee ontstekingsenergieën (10 en 100 J). De relatieve druk is de druk p ten opzichte van de atmosferische druk p_0 . Bepaald bij een vast volume van 7 liter.

Invloed van druk en andere factoren

De explosiegrenzen zijn ook afhankelijk van de **druk**. Dit is voor propaan te zien in afbeelding 9.8. In deze afbeelding is te zien dat de explosiegrenzen ook afhangen van de **ontstekingsenergie** (paragraaf 9.5). Tevens blijkt de grootte van het vat van invloed te zijn.

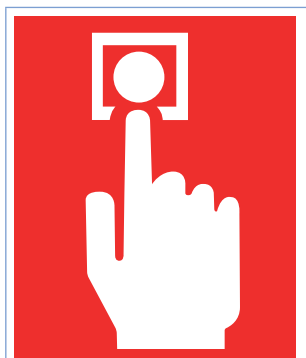
Explosiegrenzen omstandigheden nazoeken

Uit het voorgaande blijkt dat explosiegrenzen geen fysische constanten zijn, zoals kook- en smeltpunt. De waarden zijn sterk afhankelijk van de meetmethode, -apparatuur en -omstandigheden. In veiligheidsinformatiebladen worden meestal waarden opgegeven voor explosiegrenzen in lucht, bij 293 K en 101,32 kPa, bij ontsteking door een elektrische vonk met een energie van (ongeveer) 10 J. Als je de explosiegrenzen bij afwijkende experimentele omstandigheden (bepaalde druk, temperatuur, zuurstofconcentratie, mogelijke ontstekingsbronnen) wilt weten, moet je de explosiegrenzen onder die omstandigheden nazoeken.

9.4.3 Vlampunt bij vloeistoffen

Bij gassen is elke willekeurige mengverhouding met lucht mogelijk. Bij vloeistoffen werkt dat anders: er moet eerst vloeistofdamp ontstaan voordat een ontvlambare situatie mogelijk is. Die vloeistofdamp kan maar tot een bepaalde hoeveelheid in de lucht aanwezig zijn. Zodra dat maximum is bereikt, noem je dat **verzadiging**. Deze maximumconcentratie is hoger als de temperatuur toeneemt. De minimum- en de maximumtemperatuur waarbij volgens onderstaande definitie een ontvlambare damp ontstaat, noem je het **onderste vlampunt** en **bovenste vlampunt**.

Het (onderste) vlampunt wordt experimenteel bepaald onder specifieke omstandigheden: "Het vlampunt is de laagste



Afbeelding 11.1

Brandmelder.



Afbeelding 11.2

Brandslang en brandblusser.

11.1 Maatregelen bij het ontdekken van brand

De maatregelen die na het uitbreken van brand moeten worden genomen, hangen samen met de grootte van de brand. Een beginnende brand kun je mogelijk zelf blussen. Maar schakel altijd eerst de BHV in (afb. 1.1). Die beoordeelt of snelle **ontruiming** nodig is en de bestrijding door deskundigen moet worden gedaan.

Bij kleine beginnende branden waarbij blussen nog mogelijk is, moet het volgende gebeuren (let daarbij altijd op je eigen veiligheid!):

- Meld de brand aan het alarmnummer (wat, hoeveel, waar, slachtoffers):
 - waarschuw altijd de docent (of chef) en de bedrijfs-hulpverlening;
 - waarschuw je naaste collega's.
- Help eventuele slachtoffers alleen als dat veilig kan! Breng hen uit de gevarezone;
- Beperk de brand als dat mogelijk is:
 - sluit zo mogelijk de zuurstoftoevoer af (bijvoorbeeld deksel op brandend oliebad of afvallemmer);
 - verwijder brandbare stoffen uit de directe omgeving;
 - sluit deuren en ramen om de trek te verminderen;
 - zet bij brand in de zuurkast, als dat kan, de zuurkast-ventilatie af om de trek te verminderen;
 - draai de gaskranen dicht (hoofdafsluiter!);
 - schakel elektrische apparaten uit (hoofdschakelaar!).
- Gebruik een **brandblusmiddel**. Doe dit alleen als (afb. 11.2):
 - de brand relatief klein is;
 - je bekend bent met het type blusmiddel dat moet worden gebruikt.
- Volg bij ontruiming van het gebouw de instructies van de BHV op. Zorg dat je de ontruimingsinstructies en de verzamelplaats kent (paragraaf 11.6).

Doe zoveel mogelijk zonder zelf gevaar te lopen. Als je een beginnende brand niet kunt blussen, verlaat dan direct de ruimte.

11.2 Brandbestrijding

Brandbestrijding komt neer op het wegnemen van voorwaarden voor brand (paragraaf 9.1):

- Verwijderen van de brandbare stof door bijvoorbeeld het dichtdraaien van kranen of het afdekken van open vaten;

- Verhinderen dat zuurstof bij de brandbare stof kan komen (zuurstofverdringing). Dit kan door afdekken met een bepaald brandblusmiddel dat de zuurstof verdringt of bijvoorbeeld met een deksel;
- Wegnemen van energiebronnen: bijvoorbeeld door afkoeling tot onder het onderste vlampunt of door afsluiten van de elektrische apparaten.

De werking van veel **blusmiddelen** is gebaseerd op afkoeling of afdekking en zuurstofverdringing. De keuze van het juiste blusmiddel is belangrijk. Gebruik van een verkeerd blusmiddel kan ervoor zorgen dat een brand juist toeneemt. Op blusapparaten staat vermeld voor welke **brandklassen** het blusmiddel geschikt is (tabel 11.1). In laboratoria is in de meeste gevallen sproeischuim (AB-klasse) geschikt. Let wel op uitzonderingen zoals in paragraaf 11.3 zijn beschreven.

Tabel 11.1

Brandklassen met bijbehorende symbolen, brandstof en blusmiddel

<i>brandklasse</i>	<i>symbool</i>	<i>brandstof</i>	<i>voorbeelden</i>	<i>blusmiddel</i>
A		vaste, niet-smeltende stoffen	papier, hout, textiel, verpakkingsmateriaal	water, schuim, ABF-schuim, ABC-poeder
B		vloeistoffen en smeltende vaste stoffen	oplosmiddelen, olie, benzine en was, kunststoffen, lithium-ionbatterijen	schuim, ABF-schuim, BC-poeder, ABC-poeder, CO ₂
C		gassen en gassen die ontstaan bij inwerking van water op stoffen	aardgas, butaan, propaan en carbiden, fosfiden	BC-poeder, ABC-poeder
D		metalen	magnesium, natrium, kalium, aluminium	D-poeder
F		vetten	grote oliebaden, frituurvet, plantaardige en dierlijke vetten	schuim-vetbrand-blussers

11.3 Toepassing van brandblusmiddelen

In laboratoria zijn de meestgebruikte **brandblusmiddelen** water, koolstofdioxide, schuimblussers, zand, de blusdeken en de nooddouche.

Bij grote branden wordt altijd water ingezet, omdat er daarvan altijd genoeg is. Dit wordt dan gedaan door de brandweer of door specifiek opgeleide BHV'ers.

Bij kleine branden kan soms een uitbreiding ervan worden voorkomen als er snel wordt gereageerd. In het navolgende enkele aandachtspunten die hierbij belangrijk zijn.

Dure apparatuur

In laboratoria staat veel dure apparatuur waarop je zuinig moet zijn. Als met water wordt geblust, gaat deze apparatuur kapot. Dat is ook zo bij blussen met zand, poederblussers en andere blussers die restmateriaal achterlaten. Het is daarom belangrijk dat in de buurt van dure apparatuur een geschikt blusmiddel is. Dit zijn bijvoorbeeld **koolzuurblussers**, het gasvormige koolzuur blijft namelijk niet achter.

Soms wordt ook een **gasblusinstallatie** aangebracht. Bij brand wordt dan in de hele ruimte een zuurstofverdringend gas geblazen (bijvoorbeeld stikstof of argon). Er gaat dan een alarm af en het is belangrijk snel de ruimte te verlaten vanwege verstikkingsgevaar. Vraag de labbeheerder om de geldende veiligheidsvoorschriften.

Elektriciteit

Bij blussen met water ontstaat er **kortsluiting** in elektronische circuits en ontstaan natuurlijk ook lekstromen. Is er een brand in een elektrische installatie, blus dan liever niet met water. Hiervoor worden **koolzuurblussers** en **schuimblussers** gebruikt (afb. 11.3).

Oliën en vetten, brandklasse B en F

Brand van oliën en vetten kan ook in laboratoria voorkomen. Denk bijvoorbeeld aan verhitte **oliebaden**. Oliën en vetten drijven op water en worden daardoor zelfs verspreid. Branden van oliën en vetten kunnen daardoor dus niet met water worden geblust. In dit geval zorg je ervoor dat zuurstof wordt weggenomen, zodat de brand stopt. Dit kan bijvoorbeeld door gebruik van een deksel of branddeken om een brandend oliebad af te dekken. Of door gebruik van geschikte blusmiddelen. **Schuimblussers** verstikken en koelen de brand. **Poederblussers** hebben een negatief katalytische werking en remmen de brand. **Koolzuurblussers** verdringen



Afbeelding 11.3

Schuimblusser.

de zuurstof. Als je met oliebaden of verhitte oliën en vetten gaat werken, ga dan vooraf na of geschikte blusmaterialen op locatie aanwezig zijn. Of een blusser geschikt is kun je zien aan de symbolen (B en F) die erop staan (tabel 11.1). Als deze blussers er niet zijn, vraag dit dan aan de labbeheerder.

Uitstromende gassen en klasse C

Bij een brand met uitstromende gassen is het afsluiten van de **gaskraan** erg belangrijk. Anders is er een vrij uitstromend gas op het moment dat je blust, met daarbij verstikkingsgevaar en explosiegevaar. Zorg dat je weet waar de verschillende **afsluiters** zitten. Is blussen nodig, dan kan dit met voor C-branden geschikte blussers (tabel 11.1).

Stoffen die sterk met water reageren

Blussen met water is ongeschikt voor stoffen die sterk met water reageren. Zorg dat deze stoffen altijd in een brandveiligheidskast staan. Als er dan brand uitbreekt, zijn ze goed afgeschermd van bluswater. Het is belangrijk dat er een waternetvrij blusmiddel is. Kijk in het veiligheidsinformatieblad welke blusmiddelen geschikt zijn. Ga na of deze aanwezig zijn. Als dit niet zo is, meld het dan bij de labbeheerder.

Metaalbranden klasse D

Als er risico op **metaalbranden** bestaat, moeten er klasse D-blussers zijn. Metaalbranden ontstaan bijvoorbeeld door reactieve gemakkelijk oxideerbare metalen, zoals natrium, magnesium, lithium of kalium. Een metaalbrand ontstaat bijvoorbeeld ook als pure zuurstof wordt geleid langs met olie gesmeerde metalen onderdelen. Dit komt niet vaak voor.

Een persoon staat in brand

Bij in brand geraakte personen wordt de **nooddouche** gebruikt om snel brandende kleding te blussen (afb. 11.4). Ook de **blusdeken** kan worden gebruikt. Deze bestaat uit niet-brandbaar materiaal waar de persoon wordt ingerold. Hiervoor is een specifieke techniek nodig. De deken moet eerst bij de nek worden afgesloten, waarna het slachtoffer liggend in de deken wordt gerold. Zo wordt het slachtoffer van de lucht afgesloten. Bovendien wordt de ‘schoorsteenwerking’ tegengegaan, waardoor de vlammen doven. Als je hier geen ervaring mee hebt, gebruik dan liever de nooddouche. Als dit niet kan, gebruik dan in geval van nood de sproeischuimblusser. Koolzuurblussers zijn vanwege de zeer lage temperatuur niet geschikt.



Afbeelding 11.4

Nooddouche.