

Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 1

**Deel 3:**  
**Toxische verbrandingsproducten**

Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties



Ministerie van Verkeer en Waterstaat

<b>Inhoudsopgave</b>		<b>pagina</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>De vorming van toxische verbrandingsproducten</b>	<b>5</b>
2.1	Algemeen	5
2.2	Mogelijke toxische verbrandingsproducten	6
2.3	Testmethoden	9
<b>3</b>	<b>De mate waarin toxische verbrandingsproducten kunnen worden gevormd</b>	<b>11</b>
3.1	Algemeen	11
3.2	Kunststoffen	12
3.3	Bestrijdingsmiddelen	14
3.3.1	Algemeen	14
3.3.2	De verbrandingsproducten	14
3.3.3	De vorming van PCDD's en PCDF's	15
3.4	Kunstmesten	16
3.4.1	Algemeen	16
3.4.2	De verbrandingsproducten	16
3.4.3	Overige koolwaterstoffen	17
<b>4</b>	<b>Evaluatie</b>	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>Berekeningsvoorbeeld</b>	<b>20</b>
<b>6</b>	<b>Literatuur</b>	<b>22</b>
	<b>Bijlage 1: Identificatieschema voor de kwantificering van de vorming van toxische verbrandingsproducten</b>	<b>24</b>

---

**Overzicht van gebruikte afkortingen en formules van chemische verbindingen**

CO	koolmonoxide	NPK	stikstof, fosfor, kalium (kunstmestsamenstelling)
CO <sub>2</sub>	kooldioxide		
Cl <sub>2</sub>	chloor	PCDD	Polychloordibenzodioxinen
CCl <sub>4</sub>	tetrachloorkoolstof	PCDF	Polychloordibenzofuranen
C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub>	perchloorethyleen	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	fosforpentoxide
C <sub>2</sub> Cl <sub>6</sub>	hexachloorethaan	HF	waterstoffluoride
CHCl <sub>3</sub>	chloroform	H <sub>2</sub> O	water
C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub>	trichloorethyleen	H <sub>2</sub> S	waterstofsulfide, zwavelwaterstof
C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub>	pentachloorethaan		
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub>	tetrachloorethaan	NH <sub>3</sub>	ammoniak
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>4</sub>	dichloorethaan	NO <sub>x</sub> ,NO <sub>2</sub>	stikstofoxiden stikstofdioxide
COCl <sub>2</sub>	fosgeen		
COS	carbonylsulfide	PVC	polyvinylchloride
HCl	waterstofchloride	SO <sub>2</sub>	zwaveldioxide
HCN	waterstofcyanide, blauwzuur	TCDD	tetrachloordibenzo-dioxinen

---

## 1 Inleiding

In dit hoofdstuk van het schadeboek wordt nader ingegaan op de mate van vorming van toxische producten in brandsituaties.

Definitie van een toxisch verbrandingsproduct:

Onder een toxisch verbrandingsproduct wordt verstaan een stof die vrijkomt bij de verbranding van stoffen en waarbij schadelijke en/of letale gevolgen voor mens en milieu kunnen ontstaan.

De doelstelling van dit Deel 3 is aan te geven welke gegevens op dit moment beschikbaar zijn omtrent de vorming van toxische verbrandingsproducten, zowel in kwalitatieve als in kwantitatieve zin.

Kennis omtrent de vorming van toxische verbrandingsproducten is van belang om potentiële gevaren van branden bij opslag, transport en verwerking van in dit verband relevante stoffen te onderkennen. Relevante stoffen zijn onder andere kunststoffen, bestrijdingsmiddelen, kunstmesten en dergelijke.

Met uitzondering van de meeste kunstmesten bestaat het merendeel van de relevante stoffen uit organisch materiaal. In principe verbrandt elke organische stof volledig wanneer voldoende zuurstof aanwezig is. Indien de stof bestaat uit koolstof, waterstof en zuurstof worden de relatief ongevaarlijke verbrandingsproducten CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O gevormd. Bevat de stof echter ook hetero-atomen (zoals chloor en zwavel) dan worden ook toxische verbrandingsproducten gevormd. De vorming van een specifiek verbrandingsproduct is niet alleen afhankelijk van het type hetero-atoom maar ook van de chemische structuur. Zo kunnen polychlooraromaten bij onvolledige verbranding chloordioxinen vormen.

Teneinde enige structuur aan te brengen in het grote aantal stoffen die, indien betrokken bij brand, toxische verbrandingsproducten kunnen vormen, wordt de volgende onderverdeling gehanteerd:

- a) kunststoffen
- b) bestrijdingsmiddelen
- c) kunstmesten
- d) andere nog niet eerder genoemde koolwaterstoffen, onderverdeeld in aromatische en alifatische koolwaterstoffen.

In dit deel van PGS 1 wordt achtereenvolgens ingegaan op het mechanisme van vorming van toxische verbrandingsproducten (hoofdstuk 2) en de toxische verbrandingsproducten zelf, de mate waarin de verschillende verbrandingsproducten worden gevormd (hoofdstuk 3) en een evaluatie (hoofdstuk 4) van de inventarisatie. Tenslotte wordt in hoofdstuk 5 aan de hand van een voorbeeld toegelicht hoe de vorming van verschillende verbrandingsproducten kan worden berekend.

---

## 2 De vorming van toxische verbrandingsproducten

### 2.1 Algemeen

Voordat wordt ingegaan op de mogelijke vorming van toxische verbrandingsproducten wordt eerst een korte, kwalitatieve beschrijving gegeven van de met een brand gepaard gaande verschijnselen.

Tijdens een brand vindt een aantal fysische en chemische processen plaats. Fysische processen zijn o.a.:

- verhitten en
- verdampen van de stof.

De chemische processen zijn o.a.:

- verbranding,
- pyrolyse,
- ontleding en
- reacties tussen verbrandingsproducten.

Als gevolg van de warmtebelasting van een stof treedt verdamping op. Afhankelijk van een aantal factoren zoals temperatuur, omvang van de brand, temperatuurverdeling kunnen zich verschillende chemische processen voordoen.

Bij de verbranding van de stof wordt onderscheid gemaakt tussen volledige en onvolledige verbranding.

Bij volledige verbranding is de temperatuur en de zuurstofconcentratie voldoende hoog om de stof volledig te oxideren. Koolstof en waterstof bevattende stoffen verbranden dan tot CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O.

Bij onvolledige verbranding treedt niet-volledige oxidatie op en worden naast CO, CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O ook nog andere producten gevormd. Deze producten worden ook wel secundaire verbrandingsproducten genoemd en zijn opgebouwd uit brokstukken van de oorspronkelijke stof. Een ander verschijnsel van onvolledige verbranding is de vorming van rook.

Pyrolyse treedt op indien de stof wordt verhit zonder toetreding van zuurstof. Bij pyrolyse kunnen tal van verbindingen ontstaan en is niet op voorhand vast te stellen welke verbindingen of type verbindingen kunnen worden gevormd.

Behalve door pyrolyse kan het product ook als gevolg van verbranding ontleden, dat wil zeggen uiteenvallen in eenvoudiger producten dan het uitgangsmateriaal.

Naast de tot nu toe genoemde processen kunnen in een brandhaard en in de omgeving daarvan zich reacties afspelen tussen verschillende verbrandingsproducten onderling. Als gevolg van dit soort reacties kan een hele reeks van andere stoffen worden gevormd bestaande uit kraak- en reactieproducten van de oorspronkelijke stof.

Met het oog op de vorming van toxische verbrandingsproducten is brand een zeer complex verschijnsel. Vele verschillende reacties kunnen zich tegelijkertijd voordoen.

In dit hoofdstuk zal worden aangegeven welke verbrandingsproducten in hoofdzaak verwacht mogen

---

worden.

Door gebrek aan gegevens zal een volledig beeld van te vormen verbrandingsproducten niet kunnen worden gegeven en wordt noodgedwongen gebruik gemaakt van schattingen. Waar gegevens dit mogelijk maken, worden schattingen aangevuld met gegevens uit experimenten.

## 2.2 Mogelijke toxische verbrandingsproducten

De verbrandingsproducten die theoretisch kunnen ontstaan, worden in hoofdzaak bepaald door de chemische samenstelling van de stof. Zo zullen stoffen die alleen koolstof en waterstof bevatten CO, CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O vormen. Zijn naast C en H ook hetero-atomen aanwezig (bijvoorbeeld chloor, zwavel en dergelijke), dan kan naast CO, CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O ook Cl<sub>2</sub>, HCl, COCl<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> en COS ontstaan.

Naast deze zogenaamde primaire verbrandingsproducten worden ook secundaire verbrandingsproducten gevormd. Onder secundaire verbrandingsproducten worden verbindingen verstaan die tijdens het verbrandingsproces worden gevormd door reacties tussen verbrandingsproducten onderling.

In het algemeen geldt dat met betrekking tot de vorming van dit soort producten geen gegevens bekend zijn noch schattingen kunnen worden gemaakt. Eén type verbinding vormt hier op, tot nu toe, een uitzondering.

Bekend is dat bij de verbranding van polygechloreerde aromaten polychloordibenzo-p-dioxinen en polychloordibenzofuranen (respectievelijk PCDD's en PCDF's) kunnen worden gevormd.

Voorbeelden van polygechloreerde aromaten zijn:

- Dichloorbenzeen
- Trichloorfenol
- Fenoprop (bestrijdingsmiddel)
- Dicamba (bestrijdingsmiddel).

Op basis van de chemische samenstelling van de stof kan een aantal te verwachten verbrandingsproducten worden onderscheiden. In Tabel 2-1 zijn deze samengevat.

**Tabel 2-1: Verbrandingsproducten**

Groep	Verbrandingsproduct
Halogeenbevattende stoffen	<u>HCl</u> , Cl <sub>2</sub> , COCl <sub>2</sub> , HF
Stikstofbevattende stoffen	<u>NO<sub>x</sub></u> , HCN
Zwavelbevattende stoffen	<u>SO<sub>2</sub></u> , H <sub>2</sub> S, COS (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )
Cyanidegroep bevattende stoffen (b.v. isocyanaten)	HCN, <u>NO<sub>x</sub></u> , NH <sub>3</sub>
Polychloor aromaten	<u>PCDD's</u> , PCDF's
Polychloor bifenylen	<u>PCDD's</u> , PCDF's

De verbrandingsproducten die zijn onderstreept moeten worden beschouwd als de

verbrandingsproducten die in het algemeen in hoofdzaak zullen worden gevormd.

Bij de verbranding van polychlooraromaten en polychloorbifenylen worden PCDD's en PCDF's gevormd als secundaire reactieproducten door onvolledige verbranding. Op de vorming van deze stoffen wordt later nog teruggekomen.

Als gevolg van een brand kan ook een gedeelte van de stof, als gevolg van verdamping, onverbrand worden geëmitteerd. Alhoewel deze stof strikt genomen niet kan worden beschouwd als een verbrandingsproduct, is het wel een stof die vrijkomt als gevolg van een brand.

De verspreiding van de onverbrande stof is echter alleen van belang bij stoffen met een hoge toxiciteit (bijvoorbeeld bestrijdingsmiddelen).

Recentelijk heeft het RIVM een tweetal literatuurstudies uitgevoerd, namelijk:

- de "Studie naar de gevormde hoeveelheid stikstofoxiden bij brand in opslagen van chemicaliën of bestrijdingsmiddelen [18]; en
- de "Studie naar de verbrandingsproducten van chemicaliën of bestrijdingsmiddelen" [19].

De resultaten van deze studies worden hieronder besproken.

#### Gevormde hoeveelheid stikstofoxiden bij brand in opslagen van chemicaliën of bestrijdingsmiddelen

In de literatuur worden geen omzettingpercentages gegeven onder reële omstandigheden. Gegeven omzettingpercentages betreffen veelal omzettingpercentages die zijn bepaald onder laboratoriumomstandigheden waarbij de omzetting van enkele grammen stof wordt bestudeerd. Deze testen geven meestal geen volledige stikstofbalans. Van de overige verbrandingsproducten worden alleen kwalitatieve gegevens vermeld. Stoffen waarvoor in de onderzochte literatuur omzettingpercentages zijn gevonden, zijn: Methylparathion, Ammoniumnitraat, Dimethoaat, Toluëen-2,4-diisocynaat, Hexamethyleendiamine, Azinphosmethyl, Nylon, 1,2-Ethaandiamine, Aminotriazol, Dichlobenil, 4-Chloornitrobenzoëzuur (CBNA), Chloradizon, Diuron, Glyphosaat, Linuron, Metoxuron, Parathion, Thiram en TMTM.

Er is gekeken naar experimenteel vastgestelde hoeveelheden stikstofoxiden die ontstaan bij het verbranden van chemicaliën of bestrijdingsmiddelen. De hoeveelheid gevormd ammoniak ( $\text{NH}_3$ ), waterstofcyanide (HCN), onverbrand product, de invloed van de temperatuur en de hoeveelheid aanwezige zuurstof zijn in de beschouwing meegenomen. Het blijkt dat voor veel stikstofhoudende chemicaliën en bestrijdingsmiddelen HCN een belangrijk verbrandingsproduct is.

Naast de gevonden omzettingpercentages wordt in de bestudeerde literatuur weinig relevante informatie gegeven die de keuze van een omzettingpercentage van het gebonden stikstof naar stikstofoxiden kan onderbouwen. Wel wordt algemeen gesteld dat de gevonden omzettingpercentages onder de beschreven experimentele condities niet zomaar vertaald kunnen worden naar omzettingpercentages onder reële omstandigheden.

De onzekerheden in de brandsnelheid, branduitbreiding en brandwerendheid van het gebouw zijn niet gekwantificeerd. In Tabel 2-2 wordt een overzicht gegeven van omzettingpercentages stikstof in stikstofoxiden voor enkele stoffen.

---

**Tabel 2-2: Omzettingspercentages stikstof in stikstofoxiden voor verschillende stoffen**

Naam gevaarlijke stof	%N naar NOx
1,2-Ethaandiamine	4
Azinphosmethyl	5
Hexamethyleendiamine	5,5
Nylon	6
Diuron	6,4
Glyphosaat	8,6
Dichlobenil	10
Thiram	12
Tolueen-2,4-diisocyaan	12,5
Dimethoat	14
TMTM	14,5
Methylparathion	20
CBNA	25,5
Ammoniumnitraat	35
Metoxuron	33
Chloridazon	41

In Tabel 2-2 is in de kolom %N naar NOx de hoogste waarde opgenomen voor NOx (NO<sub>2</sub>, NO + HCN zoals gevonden voor die stof (chemicaliën of bestrijdingsmiddelen) waarvoor omzettingspercentages experimenteel bepaald zijn. Deze waarden zijn afhankelijk van temperatuur, ontwikkelingsfase van de brand en zuurstofgehalte. In literatuur [18] en [19] wordt de bijbehorende achtergrond informatie gegeven.

Gevormde hoeveelheid HCl, Cl<sub>2</sub>, COCl<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, COS, CS<sub>2</sub> en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> bij brand in opslagen van chemicaliën of bestrijdingsmiddelen

In de literatuur is nagegaan hoe groot het percentage verbrandingsproducten is van halogeen-, fosfor- en zwavelhoudende stoffen. Uit de onderzochte literatuur blijkt dat de omzetting van de meeste stoffen voornamelijk is bepaald door middel van experimenten op microschaal, waarbij enkele grammen stof onder verschillende omstandigheden zijn verbrand. De hoeveelheid onverbrand product, de invloed van de temperatuur en de hoeveelheid aanwezige zuurstof is in beschouwing genomen. De onzekerheden in de brandsnelheid, branduitbreiding en brandwerendheid van het gebouw zijn niet gekwantificeerd. In Tabel 2-3 wordt een overzicht gegeven van de omzettingspercentages. Over de omzetting naar HF en HBr zijn geen gegevens gevonden. Geconcludeerd kan worden dat de omzetting van Cl voornamelijk plaatsvindt naar HCl en in veel mindere mate naar Cl<sub>2</sub> en COCl<sub>2</sub>. De omzetting van S vindt vooral plaats naar SO<sub>2</sub>, in mindere mate naar CS<sub>2</sub> en COS en in geringe mate naar H<sub>2</sub>S. De omzetting van P naar P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> verloopt gemakkelijk.



**Tabel 2-3: Omzettingspercentages chloorhoudende, zwavelhoudende en fosforhoudende chemicaliën en bestrijdingsmiddelen**

Naam gevaarlijke stof	HCl	Cl <sub>2</sub>	COCl <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	COS	CS <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Azinphos-methyl				100				
CBNA	100							
Chloorbenzeen	42							
Chloorfenvinphos	66	<0,004	0,003					
Chloroform	61		1,0					
Dichlobenyl	62-85		0,0001-1,6					
1,2-Dichloorethaan	20-54	0,4	0-0,005					
Dimethoaat				28-100				94
Diuron	51							
2,4 D-ester	83	<0,2	<0,02					
Hexachloorethaan	51		0,8					
Lindaan	0,1-73		2,4					
Linuron	46-87							
MCPA	0,5-99							
Methylparathion				18-100				56-81
Parathion				16-60	0,06			
Pentachloorethaan	48		0,5					
Perchloorethyleen	37		0,9					
PVC-poeder	60-100							
Tetrachloorethaan	53		0,8					
Tetrachloormethaan	56		1,3					
Thiram				54-84		10	16	
TMTM				45-69				
Trichloorethyleen	61		1,4					

Het omzettingspercentage van stikstof naar stikstofdioxiden, van chloor naar zoutzuur en van zwavel naar zwaveldioxide wordt in risico-analyses gebruikt voor het berekenen van het plaatsgebonden risico en het groepsrisico van gevaarlijke inrichtingen. In de Handleiding risico-analyse [20] wordt aangegeven welke waarde voor de omzetting van stikstof naar stikstofdioxiden, van chloor naar zoutzuur en van zwavel naar zwaveldioxide moet worden gebruikt.

## 2.3 Testmethoden

Testen op relatief kleine schaal kunnen de complexe groei en de ontwikkeling tot een volledige brand niet beschrijven [21]. Deze testen kunnen daarom misleidende informatie geven. Als voorwaarde voor het gebruik van resultaten van testen op kleine schaal voor een gevarenanalyse wordt gesteld dat condities van de test gelijk moeten zijn aan de condities die worden gemodelleerd. De methode zoals beschreven in DIN 53 436 is gericht op de relatie tussen experimentele en werkelijke brandcondities en wordt geschikt geacht om verbranding onder verschillende condities te bestuderen. Andere methoden

zoals het gebruik van de cone calorimeter zijn alleen geschikt voor bepaalde brandcondities. In Tabel 2-4 wordt een overzicht gegeven van verschillende brandcondities zoals die in de literatuur zijn weergegeven.

**Tabel 2-4: Kwalificaties voor verschillende brandcondities**

<b>Fire type: Decomposition</b>				
	<b>Oxygen %</b>	<b>Ratio CO<sub>2</sub>/CO</b>	<b>Temperature °C</b>	<b>Irradiance kW.m<sup>-2</sup></b>
a) smouldering (self sustained)	21	-	< 100	-
b) Non-flaming (oxidative)	5 to 21	-	< 500	< 25
c) Non-flaming (pyrolytic)	<5	-	< 1000	-
<b>Fire type: Developing fire (flaming)</b>				
	10 to 15	100-200	400 to 600	20 to 40
<b>Fire type: Fully developed (flaming)</b>				
a) relatively low ventilation	1 to 5	< 10	600 to 900	40 to 70
b) relatively high ventilation	5 to 10	< 100	600 to 1200	50 to 150

### 3 De mate waarin toxische verbrandingsproducten kunnen worden gevormd

#### 3.1 Algemeen

De mate waarin toxische verbrandingsproducten kunnen worden gevormd is afhankelijk van:

- de verdampingssnelheid van de brandende stof,
- het brandoppervlak,
- de mate van omzetting (kwantitatief, niet-kwantitatief),
- de procentuele samenstelling van de stof.

De zogenaamde bronsterktedichtheid (= verdampingssnelheid per oppervlakte-eenheid) is slechts zeer globaal bekend. Zo is voor kunststoffen bekend dat deze waarde kan variëren tussen 0,005 en 0,025 kg/(m<sup>2</sup>s) [1]. Voor vloeistoffen volgt uit [1] een bronsterktedichtheid van maximaal ca. 0,1 kg/(m<sup>2</sup>s). Voor poedervormige bestrijdingsmiddelen zijn geen specifieke waarden bekend. Volgens [2] ligt voor bestrijdingsmiddelen de bronsterktedichtheid in de ordegrrootte van 0,02 kg/(m<sup>2</sup>s).

Op basis van de verdampingsformule uit het gele boek [3] zijn de bovenstaande globale waarden getoetst. De verdampingsformule luidt.

$$m = \frac{10^{-3} * h_c}{C_p * \Delta T + h_v}$$

hierin is:

m =	bronsterktedichtheid	[kg.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> ]
C <sub>p</sub> =	soortelijke warmte	[J/kg.K]
h <sub>c</sub> =	verbrandingswarmte	[J/kg]
h <sub>v</sub> =	verdampingswarmte	[J/kg]
ΔT =	temperatuurstijging van de te verbranden stof tot het kookpunt.	[K]

Substitutie van de voor organische stoffen gemiddelde waarden voor h<sub>c</sub> = 4\*10<sup>7</sup> J/kg, h<sub>v</sub> = 4\*10<sup>5</sup> J/kg, C<sub>p</sub> = 1,6\*10<sup>2</sup> J/(kg.K) en ΔT = 400 K levert voor m een waarde van 4\*10<sup>-2</sup> kg/(m<sup>2</sup>s).

Voor stoffen met een hoog chloorgehalte is de verbrandingswarmte lager; voor hexachloorbenzeen bijvoorbeeld 0,75\*10<sup>7</sup> J/kg. Dit resulteert in een bronsterktedichtheid van 7\*10<sup>-3</sup> kg/(m<sup>2</sup>s). In dit geval bepaalt de variatie van de verbrandingswarmte de verandering van de bronsterkte.

Op basis van het bovenstaande en naar analogie van verschillende andere studies, bijvoorbeeld [1] en [4], wordt gesteld dat een bronsterktedichtheid van 0,025 kg/(m<sup>2</sup>s) gezien mag worden als een redelijke schatting (dit is de totale hoeveelheid brandstof die verdampt en waaruit door verbranding tegelijkertijd verschillende verbrandingsgassen worden gevormd; CO<sub>2</sub>, HCl, NO<sub>x</sub> en dergelijke).

Echter, indien van een stof h<sub>v</sub>, h<sub>c</sub>, C<sub>p</sub> en ΔT kan worden vastgesteld, kan de voor de stof geldende bronsterktedichtheid worden geschat op basis van de verdampingsformule.

In het nu volgende wordt, per stofgroep, nader ingegaan op de mate waarin de verschillende

verbrandingsproducten worden gevormd. Daarbij worden steeds waar mogelijk gegevens gebruikt uit experimenten die in de literatuur beschreven zijn.

### 3.2 Kunststoffen

Kunststoffen zijn er in vele soorten waardoor een volledige opsomming niet mogelijk is. Met het oog op de doelstelling van de studie zijn alleen die kunststoffen relevant waarbij hetero-atomen in de chemische samenstelling aanwezig zijn.

Op basis van de aanwezigheid van verschillende hetero-atomen is de kunststoffengroep in een vijftal categorieën verdeeld.

- a) chloorbevattende kunststoffen,
- b) stikstofbevattende kunststoffen,
- c) cyaangroepbevattende kunststoffen,
- d) fluorbevattende kunststoffen,
- e) overige kunststoffen.

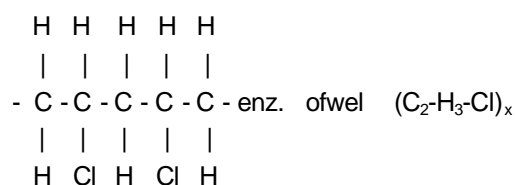
#### ad a) chloorbevattende kunststoffen

Van de chloorhoudende polymeren is het polyvinylchloride een van de meest toegepaste. Van deze stof zijn dan ook relatief veel experimentele gegevens beschikbaar omtrent de vorming van verbrandingsproducten. Bij beschouwing van deze waarden blijkt dat bij verbranding van PVC vrijwel alle chloor wordt omgezet in HCl en deze omzetting dus de shadebepalende factor is. Pas indien de fosgeenvorming groter is dan 3,4% van de totaal aanwezige hoeveelheid chloor, bepaalt deze stof de shade-afstand [1]. Deze grens is vastgesteld op basis van het verschil in toxiciteit van HCl en fosgeen. De mate waarin fosgeen wordt gevormd is niet bekend. In literatuur [19] wordt aangegeven dat bij de verbranding van PVC-poeder voornamelijk HCl wordt gevormd.

De vorming van chloor is in dat geval zodanig dat deze stof niet wezenlijk zal kunnen bijdragen aan de shadevorming.

De berekeningswijze wordt aan de hand van een voorbeeld, verbranding van PVC, toegelicht.

De structuurformule van PVC luidt:



Het molecuulgewicht is 62,5 x.

Bij kwantitatieve omzetting in HCl ontstaat per kg PVC:

$$(1000/62,5) \times 36,5 = 584 \text{ gram HCl}$$

Bovenstaande berekeningswijze kan worden toegepast op alle chloorhoudende kunststoffen omdat steeds wordt verondersteld dat bij verbranding het chloor wordt omgezet in HCl. Een overzicht van producten die gevormd worden bij verbranding van chloorbevattende kunststoffen is in Tabel 31

weergegeven.

**Tabel 3-1: Overzicht van verbrandingsexperimenten met chloorhoudende polymeren**

Tabel 3-1: Overzicht van verbrandingsexperimenten met chloorhoudende polymeren	gram/kg verbrand product			bron
	HCl	Cl <sub>2</sub>	COCl <sub>2</sub>	
PVC (56% Cl)	583	0	0	[6]
idem	535	0	0	[6]
idem	580	0	0	[6]
Gechloreerd polymethyl metacrylaat (27% Cl)	147	0	0,120	[7]
PVC niet gestabiliseerd (57% Cl)	480	0	0,105	[7]
Vinyl- en Vinylideenchloride (copol) (61% Cl)	545	0	0,455 <sup>1)</sup>	[7]
PVC-gestab. (33% Cl)	220	0,011	0,500	[7]
PVC-gestab. (31% Cl)	235	0,011	0,500	[7]

1) Gemiddelde waarde van resultaten bij 3 verbrandingstemperaturen, nl. ca. 300, ca. 600 en ca. 900 °C.

ad b) en ad c) stikstof- en cyaangroepbevattende kunststoffen

Zowel voor wat betreft de stikstof- als cyaangroepbevattende kunststoffen zijn slechts enkele experimenten bekend. Uit experimenten beschreven in [8] en [9] blijkt dat voor beide typen kunststoffen slechts in zeer geringe mate HCN wordt gevormd, namelijk enkele grammen per kg verbrand product. In literatuur [18] wordt vermeld dat bij Nylon 6% wordt omgezet in NO<sub>x</sub>. Aangenomen wordt dat voornamelijk NO<sub>x</sub> (uitgedrukt als NO<sub>2</sub>) zal worden gevormd. Overigens moet worden opgemerkt dat de toxiciteiten van HCN en NO<sub>2</sub> vergelijkbaar zijn, zodat voor wat betreft het effect het niet van doorslaggevende betekenis is of nu NO<sub>2</sub> of HCN wordt gevormd.

ad d) en ad e) fluorbevattende en overige kunststoffen

Voor beide groepen van kunststoffen zijn geen experimentele gegevens bekend. Bij de verbranding van fluorhoudende kunststoffen kan dan ook het best worden uitgegaan van kwantitatieve omzetting waarbij het fluor wordt omgezet in HF. Voor de groep overige kunststoffen wordt uitgegaan van kwantitatieve omzetting van het hetero-atoom in de beschouwde kunststof.

### **3.3 Bestrijdingsmiddelen**

#### **3.3.1 Algemeen**

Bij bestrijdingsmiddelen, ook wel gewasbeschermingsmiddelen of pesticiden genoemd, kunnen tal van specifieke producten worden onderscheiden.

- insecticiden (insectenbestrijdingsmiddelen),
- herbiciden (onkruidbestrijdingsmiddelen),
- fungiciden (schimmelbestrijdingsmiddelen),
- etc.

In dit rapport, waar de specifieke werking van de verschillende producten geen rol speelt, wordt in het vervolg de term bestrijdingsmiddelen gebruikt.

De bestrijdingsmiddelen die in de land- en tuinbouw worden gebruikt, bestaan grotendeels uit organische verbindingen. Zij vormen vanuit chemisch oogpunt gezien een zeer heterogene groep.

In het kader van dit hoofdstuk kunnen als belangrijkste kenmerken van bestrijdingsmiddelen worden genoemd:

- a) de toxiciteit van het product voor mens en dier, en
- b) het hoge percentage producten dat hetero-atomen bevat.

Bij een brand waarbij bestrijdingsmiddelen zijn betrokken, zijn niet alleen de toxische verbrandingsproducten van belang, maar ook de in de omgeving verspreide, onverbrande, zuivere stof. De reden hiervan is dat de bestrijdingsmiddelen zelf vaak ook toxisch zijn.

Ingeval van brand zal namelijk een klein gedeelte van de stof onverbrand in de omgeving verspreid worden. De schattingen van de hoeveelheid onverbrande stof lopen uiteen. Zo wordt voor stoffen met een hoog kookpunt geschat dat 1 - 2% onverbrand wordt gedispergeerd. Voor stoffen met een laag kookpunt wordt dit percentage geschat op maximaal ca. 10% [1]. Laag kokende stoffen zijn in dit verband stoffen met een vlammpunt < 100 °C. Deze vuistregel is gebaseerd op het feit dat stoffen met een laag vlammpunt snel verdampen en daardoor onvollediger verbranden dan stoffen met een lage verdampingssnelheid (hoog vlammpunt).

Bij de vaststelling van de hoeveelheid gevormde verbrandingsproducten of de hoeveelheid product die onverbrand wordt gedispergeerd is de samenstelling van belang. Verreweg de meeste producten bevatten slechts een gering percentage aan de werkzame stof, aangevuld met veelal niet toxisch dragermateriaal.

#### **3.3.2 De verbrandingsproducten**

Indien het bestrijdingsmiddel volledig verbrandt, worden in principe dezelfde producten gevormd als vermeld is bij de kunststoffen. In literatuur [19] is voor een aantal bestrijdingsmiddelen vermeld welke verbrandingsproducten bij brand kunnen ontstaan. Tevens is aangegeven welke percentages verbrandingsproducten daarbij ontstaan.

Uit de resultaten blijkt wel dat bij de chloorhoudende stoffen zowel chloor als HCl wordt gevormd.

Opvallend is dat bij de stikstofhoudende verbindingen zowel NH<sub>3</sub> als verbrandingsproduct wordt aangetoond terwijl ook NO of NO<sub>2</sub> wordt aangetroffen. Volgens [1] neemt voor stikstofhoudende

---

verbindingen de kans op vorming van  $\text{NO}_x$  -  $\text{NH}_3$  -  $\text{HCN}$  af in deze volgorde. Volgens [18] en [19] wordt bij sommige gevaarlijke stoffen voornamelijk  $\text{HCN}$  gevormd. De toxiciteit van deze 3 stoffen verschilt echter niet sterk, zodat de eventueel uiteindelijke schadeomvang nagenoeg dezelfde is voor de verschillende stoffen.

### 3.3.3 De vorming van PCDD's en PCDF's

Gechloroerde koolwaterstoffen, en in het bijzonder de gechloroerde aromaten, worden relatief frequent toegepast als actieve stof in bestrijdingsmiddelen. Bekend is dat bij de verbranding van dit soort verbindingen als secundaire verbrandingsproducten polychloordibenzo-p-dioxines (PCDD's) kunnen worden gevormd.

Voor het schatten van de hoeveelheid PCDD welke wordt gevormd tijdens brand worden gegevens gebruikt van verbranding van huisvuil. De verbranding van huisvuil is gekozen omdat veel emissiemetingen tijdens de verbranding van polychlooraromaten bevattend huisvuil is verricht waardoor de mate van PCDD- en PCDF-vorming kon worden geschat.

Vastgesteld is dat bij de verbranding van huisvuil PCDD's worden gevormd, waaronder het meest toxische isomeer: 2,3,7,8-TCDD (het "Sevesodioxine"). Op basis van de beschikbare gegevens [10] en [11] is geschat dat de hoeveelheid gevormde PCDD's ca. 500 mg/kg polychlooraromaten bedraagt. Daarnaast is uit deze gegevens afgeleid dat de hoeveelheid 2,3,7,8-TCDD in PCDD's circa 0,1 - 0,2% bedraagt (= 0,5 - 1 mg.kg<sup>-1</sup> 2,3,7,8 TCDD). De overige PCDD-congeneren die worden gevormd zijn minder toxisch dan 2,3,7,8-TCDD.

Algemeen kan worden gesteld dat de condities tijdens een brand met betrekking tot een bestrijdingsmiddelenopslag nogal zullen afwijken van die in een huisvuilverbrandingsinstallatie.

Uit de literatuur is bekend dat lage temperaturen, zoals het geval is tijdens een smeulproces, de vorming van PCDD's bevorderen (en dus ook de vorming van het 2,3,7,8-isomeer). Uit experimenten waarbij pentachloorfenol werd verbrand bij een relatief lage temperatuur tussen 620 en 760 °C, bleek de vorming van 2,3,7,8-TCDD minder dan 20 mg/kg pentachloorfenol te bedragen [12].

Op basis van bovenstaande gegevens en gezien het feit dat PCDD-isomeren eveneens een hoge toxiciteit bezitten, wordt geschat dat per kg verbrand polychlooraromaat enkele milligrammen 2,3,7,8 TCDD-equivalenten worden gevormd.

Hoewel de onzekerheden relatief groot zijn, wordt op basis van bovenstaande geschat dat de bronsterkte 1 - 10 mg 2,3,7,8-TCDD-equivalenten per kg verbrand product zou kunnen bedragen voor ongecontroleerde branden van gechloroerde aromaten met minimaal 2 chlooratomen.

Wanneer meer bekend is over de samenstelling kan de emissie van PCDD-isomeren volgens de hieronder gegeven methodiek worden omgerekend naar een 2,3,7,8-TCDD equivalente emissie.

Deze omrekening geschiedt op basis van het verschil in toxiciteit van de verschillende isomeren. De toxiciteitsfactor van de verschillende isomeren is als volgt vastgesteld [5]:

**Tabel 3-2: PCDD / PCDF isomeren**

PCDD isomeer	Toxiciteits-factor	PCDF isomeer	Toxiciteits-factor
2,3,7,8 -Tetra CDD	1	2,3,7,8 -Tetra CDF	0,1
1,2,3,7,8 -Penta CDD	0,5	1,2,3,7,8 -Penta CDF	0,05
1,2,3,4,7,8 -Hexa CDD	0,1	2,3,4,7,8 -Penta CDF	0,5
1,2,3,6,7,8 -Hepta CDD	0,1	1,2,3,4,7,8 -Hexa CDF	0,1
1,2,3,7,8,9 -Hexa CDD	0,1	1,2,3,6,7,8 -Hexa CDF	0,1
1,2,3,4,6,7,8 -Hexa CDD	0,01	1,2,3,7,8,9 -Hexa CDF	0,1
1,2,3,4,6,7,8,9 -Octa CDD	0,001	2,3,4,6,7,8 -Hexa CDF	0,1
		1,2,3,4,6,7,8 -Hepta CDF	0,01
		1,2,3,4,7,8,9 -Hepta CDF	0,01
		1,2,3,4,6,7,8,9 -Octa CDF	0,001

Op basis van de emissie van verschillende PCDD- of PCDF-isomeren in een mengsel kan met behulp van bovenstaande toxiciteitsfactor de emissie worden uitgedrukt in een gewichtshoeveelheid 2,3,7,8 TCDD equivalenten.

In hoofdstuk 5 is de berekeningswijze aan de hand van een voorbeeld toegelicht.

### 3.4 Kunstmesten

#### 3.4.1 Algemeen

Kunstmest bestaat veelal uit mengsels van verschillende anorganische producten zoals calcium, fosfor, kalium en anorganisch stikstof in de vorm van bijvoorbeeld ammoniumnitraat.

Bij brand, waarbij kunstmesten zijn betrokken, worden de verbrandingsproducten ook nu bepaald door de samenstelling van de kunstmest.

Verreweg de meeste mesten zijn zogenaamde mengmesten- die in hoofdzaak bestaan uit ammoniumnitraat, ammoniumfosfaat en kaliumchloride, maar ook mengmesten met magnesiumoxide, ammoniumsulfaat en  $P_2O_5$  komen voor.

De naamgeving van de mengmesten geschiedt naar het hoofbestanddeel. Zo bevat een NPK-10-15-20 mengmest 10% stikstof, 15% fosfor en 20% kalium.

De in dit hoofdstuk gehanteerde verdampingssnelheid van  $0,025 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{s})$  is wellicht met name voor kunstmesten te hoog. Oorzaak hiervan is het veelal inerte karakter van de samenstellende stoffen. Mengmesten die ammoniumnitraat bevatten, vormen hierop echter weer een uitzondering. Omdat echter relevante gegevens voor kunstmesten ontbreken, wordt toch deze, zij het wellicht pessimistische waarde, ook voor kunstmesten gehanteerd.

#### 3.4.2 De verbrandingsproducten

Bij een kunstmestbrand kunnen, afhankelijk van de samenstelling van de kunstmest, de volgende producten worden gevormd.

Bestanddeel	Verbrandingsproduct
ammoniumnitraat	$NO_2$



ammoniumfosfaat	NO <sub>2</sub> en P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
ammoniumsulfaat	NO <sub>2</sub> en SO <sub>2</sub>
kaliumchloride	HCl

De mate waarin de verschillende verbrandingsproducten worden gevormd, is onder andere afhankelijk van de specifieke samenstelling. Uit de literatuur zijn geen gegevens bekend van verbrandingsexperimenten met kunstmesten.

### 3.4.3 Overige koolwaterstoffen

#### Alifaten

Bij de verbranding van alifaten worden alleen toxische verbrandingsproducten gevormd, indien er sprake is van hetero-atomen.

Bij het vaststellen van de gevormde verbrandingsproducten wordt, tenzij andere gegevens bekend zijn, aangenomen dat volledige verbranding optreedt. De te verwachten verbrandingsproducten zijn dan afhankelijk van het hetero-atoom en gelijk aan die, genoemd in de Tabellen 2-2 en 2-3.

Van een 8-tal stoffen zijn gegevens bekend, ontleend aan verbrandings- en verhittingsexperimenten [13].

In Tabel 3-3 zijn deze resultaten samengevat.

**Tabel 3-3: Verbrandingsproducten koolwaterstoffen**

Stofnaam	Open vlam		Gloeiend houtskool	
	COCl <sub>2</sub> [g/g] <sup>1)</sup>	HCl [g/g] <sup>1)</sup>	COCl <sub>2</sub> [g/g] <sup>1)</sup>	HCl [g/g] <sup>1)</sup>
Tetrachloorkoolstof	0,008 <sup>2)</sup>	0,199 <sup>2)</sup>	0,014	0,525
Chloroform	0,006138	0,238	0,011	0,554
Trichloorethyleen	0,001266	0,266	0,014	0,437
Perchloorethyleen	0,007238	0,238	0,002	0,321
Dichloorethaan	0,0240	0,240	0	0,389
Tetrachloorethaan	0,003326	0,326	0,007	0,442
Pentachloorethaan	0,002332	0,332	0,006	0,400
Hexachloorethaan	niet bepaald	niet bepaald	0,006	0,465

<sup>1)</sup> Gemiddelde waarden uit 2 waarnemingen

<sup>2)</sup> Gemiddelde uit 3 waarnemingen

Uit de experimenten blijkt dat bij verbranding in de open vlam, dat wil zeggen zo volledig mogelijke verbranding, voornamelijk HCl wordt gevormd en slechts een geringe hoeveelheid fosgeen.

Bij verhitting van de stof, dat wil zeggen onvolledige verbranding, wordt eveneens voornamelijk HCl gevormd en in mindere mate fosgeen.

#### Aromaten

Zoals voor alle andere organische stoffen, geldt ook voor de aromaten dat toxische verbrandingsproducten alleen worden gevormd, indien heteroatomen aanwezig zijn.

Uit de literatuur zijn geen gegevens bekend van verbrandingsexperimenten. Een uitzondering hierop vormen de polychlooraromaten.

Bij onvolledige verbranding van polychlooraromaten worden PCDD's gevormd. Deze situatie is analoog aan die, beschreven bij bestrijdingsmiddelen, zowel in kwalitatieve als in kwantitatieve zin. Per kilogram verbrand product ontstaat dus 1 - 10 mg 2,3,7,8 TCDD-equivalenten.

Bij volledige verbranding van polychlooraromaten wordt CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O en/of Cl<sub>2</sub>, HCl, COCl<sub>2</sub> gevormd. De mate waarin de verschillende verbrandingsproducten worden gevormd, is niet bekend. Bij de schatting van de hoeveelheid gevormde producten kunnen de resultaten van de verbranding van de alifaten als uitgangspunt dienen. Ook bij brand van aromatische stoffen kan dan worden uitgegaan van de vorming van fosgeen naast zoutzuur, terwijl ook de vorming van PCDD's in beschouwing kan worden genomen.

Voor de verbrandingsproducten van aromaten met andere hetero-atomen dan chloor wordt verwezen naar de Tabellen 2-2 en 2-3.

---

## 4 Evaluatie

Uit de inventarisatie van op dit moment beschikbare open literatuur omtrent verbrandingsproducten die kunnen worden gevormd, is gebleken dat kennis omtrent de mate van vorming alsmede de verschillende typen verbrandingsproducten schaars is (zie ook [14]). Voor verdere informatie wordt nog verwezen naar [15], [16], [17], [18], [19] en [20].

Slechts van een zeer beperkt aantal stoffen zijn zowel kwalitatieve als kwantitatieve gegevens bekend. Daarom is in deze studie de vorming van verbrandingsproducten geschat op basis van voornamelijk een theoretische benadering. Waar mogelijk is getracht de veronderstellingen met praktijkgegevens te onderbouwen.

De op dit moment beschikbare kennis is gebundeld zodat ze voor specifieke toepassingen als uitgangspunt kan dienen voor emissieschattingen. De genoemde waarden en richtlijnen voor het schatten van de mate waarin verbrandingsproducten kunnen worden gevormd dienen als indicatie en kennen een relatief grote mate van onzekerheid. Bij het toepassen van de verkregen waarden dient deze onzekerheid altijd in beschouwing te worden genomen.

Ter verduidelijking van de gevolgde methode is in Bijlage 1 een identificatieschema gegeven met een korte beschrijving van de onderscheiden stappen.

In Tabel 4-1 wordt op grond van literatuur [19] de bandbreedte weergegeven in de maximale omzettingspercentages die bij de verbranding van chemicaliën en bestrijdingsmiddelen ontstaan. In literatuur [18] wordt voor de omzetting van N in NO<sub>x</sub> (NO<sub>2</sub>, NO + HCN) een maximale omzetting van 35% gevonden.

**Tabel 4-1: Bandbreedte omzettingspercentages**

Verbrandingsproduct	Omzetting [%]
HCl	37-100
Cl <sub>2</sub>	<1
COCl <sub>2</sub>	<2
SO <sub>2</sub>	60-100
H <sub>2</sub> S	<1
COS	2-10
CS <sub>2</sub>	16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	81-94
NO <sub>2</sub>	1-6
NO	2-18
N <sub>2</sub> O	16-31
HCN	3-33
NH <sub>3</sub>	43-94

## 5 Berekeningsvoorbeeld

In dit hoofdstuk worden drie voorbeelden uitgewerkt om duidelijk te maken op welke wijze de vorming van verbrandingsproducten kan worden gekwantificeerd. Twee voorbeelden hebben betrekking op de vorming van PCDD's, waarvan in een geval gegevens bekend zijn omtrent de isomeersamenstelling. Het derde voorbeeld heeft betrekking op de vorming van HCl bij de verbranding van Lindaan.

### Vorming van PCDD's

#### a) PCDD-mengsel niet bekend

Indien de samenstelling van de verbrandingsgassen niet bekend aangenomen dat de bronsterkte 1-10 mg TCDD equivalenten per kilogram verbrand product bedraagt (zie Tabel 3-2).

Verder wordt aanbevolen dat de bronsterktedichtheid bij verbranding van een stof, waarvan deze niet volgens de verdampingsformule (zie paragraaf 3.1) gegeven kan worden berekend (bijvoorbeeld door ontbreken van voldoende gegevens), op 0,025 kg/(m<sup>2</sup>s) wordt geschat. Dit laatste wordt hier aangenomen.

Op grond van het bovenstaande kan de bronsterkte bij brand worden berekend.

Deze varieert per m<sup>2</sup> brandoppervlak tussen

$$1 \cdot 10^{-6} \times 0,025 = 2,5 \cdot 10^{-8} \text{ kg/(m}^2\text{s)} \text{ en}$$

$$10 \cdot 10^{-6} \times 0,025 = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ kg/(m}^2\text{s)}.$$

#### b) PCDD-mengsel is bekend

Verondersteld wordt dat 50 mg/(m<sup>2</sup>s) PCDD-mengsel wordt gevormd. De samenstelling is gegeven in Tabel 5-1.

**Tabel 5-1: Toxiciteitsfactor PCDD-mengsel**

Samenstelling [gew. %]	Isomeer	Toxiciteitsfactor [-]
0,1	2,3,7,8	
20	1,2,3,7,8	0,5
70	1,2,3,7,8,9	0,1
9,9	1,2,3,4,7,8,9	0,01

Op basis van de samenstelling en de toxiciteitsfactor wordt de omrekening naar 2,3,7,8-TCDD equivalenten als volgt:

$$0,001 \cdot 50 \cdot 1 = 0,05$$

$$0,20 \cdot 50 \cdot 0,5 = 5,00$$

$$0,70 \cdot 50 \cdot 0,1 = 3,50$$

$$0,099 \cdot 50 \cdot 0,01 = 0,05$$

-----

$$\text{Totaal} \quad 8,60 \text{ mg/(m}^2\text{s)} \text{ 2,3,7,8-TCDD equivalent.}$$

Het resultaat is dus een bronsterkte van 8,60 mg. mg/(m<sup>2</sup>s) 2,3,7,8 TCDD equivalenten.

**Vorming van HCl**

Voor de kwantificering van de mate van HCl-vorming uit lindaan wordt aangenomen dat het product dat bij de brand betrokken is 10% lindaan bevat. Het brandoppervlak bedraagt 100 m<sup>2</sup>.

De berekening wordt nu als volgt.

Uitgaande van de bronsterktedichtheid bij brand van 0,025 kg/(m<sup>2</sup>s) (zie paragraaf 3.1) kan de vorming van het verbrandingsproduct uit 1 kg verbrand product als volgt worden berekend.

$$M_v = (1/M_1) * n * M_2 * g * 0,025$$

$M_v$ =	bronsterkte dichtheid van het gevormde verbrandingsproduct	[kg/(m <sup>2</sup> s)]
$M_1$ =	molecuulgewicht van de stof betrokken bij de verbranding	[kg/kmol]
$n$ =	aantal hetero-atomen in het molecuul van de stof	[-]
$M_2$ =	molecuulgewicht van het verbrandingsproduct	[kg/kmol]
$g$ =	gewichtspercentage van de stof in het product	[gew.%]

Toegepast op het voorbeeld:

Formule van Lindaan	: C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> Cl <sub>6</sub>
Molecuulgewicht	: 290,8 [kg/kmol]
Aantal Cl-atomen	: 6
Verbrandingsproduct	: HCl
Molecuulgewicht HCl	: 36,5 [kg/kmol]
Gewichtspercentage lindaan	: 10 [%]

$$M_v = (1/290,8) \times 6 \times 36,5 \times 0,10 \times 0,025 \quad [\text{kg}/(\text{m}^2\text{s})] \text{ HCl}$$

$$M_v = 1,88 \cdot 10^{-3} \quad [\text{kg}/(\text{m}^2\text{s})] \text{ HCl}$$

Voor 100 m<sup>2</sup> brandoppervlak wordt gevormd:

$$100 \times 1,88 \cdot 10^{-3} = 0,188 \quad [\text{kg}/\text{s}] \text{ HCl.}$$


---

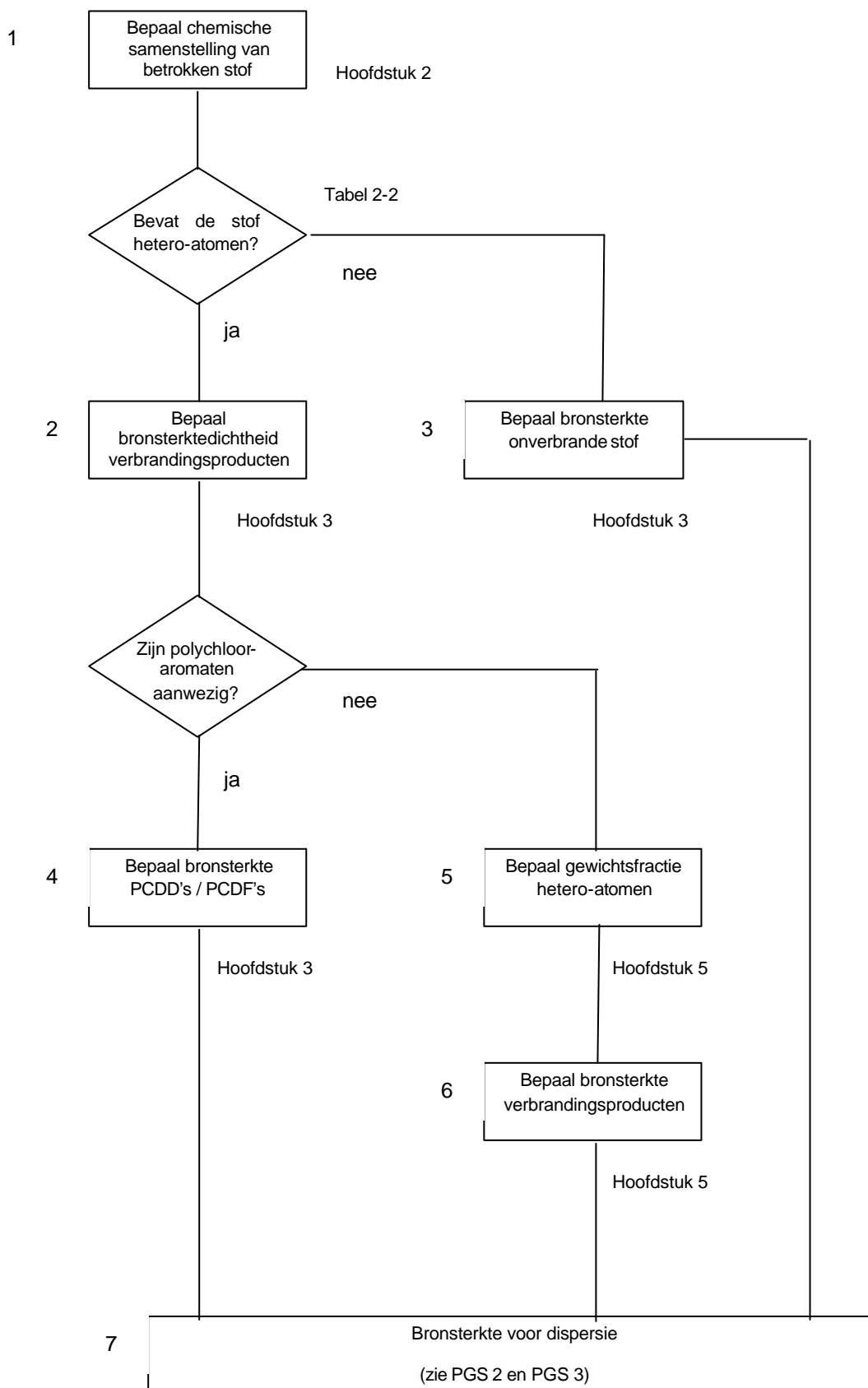
## 6 Literatuur

- [1] Onderzoek naar de gevaren van de opslag van bestrijdingsmiddelen, BIV-TNO, dossiernr. 8713-3534, mei 1980.
  - [2] Jonge de, S.L.,  
Brandveiligheid van de opslag voor gewasbeschermingsmiddelen. rapportnr. 279-8100 VM 01, februari 1979.
  - [3] Methoden voor het berekenen van de fysische effecten van het vrijkomen van gevaarlijke stoffen (vloeistoffen en gassen).  
Directoraat Generaal van de Arbeid, 1979.
  - [4] Duiser, J.A.; Hoftijzer G.W.,  
Onderzoek naar de mogelijke gevaren van de opslag van bestrijdingsmiddelen bij Aagrunol. MT-TNO, ref.nr. 80-0285, mei 1980.
  - [5] Voorstel tot een methode voor de beoordeling van de toxiciteit van mengsels van gehalogeneerde dibenzo-p-dioxines en dibenzofuranen.  
Werkgroep toxiciteitsequivalentie, maart 1988.
  - [6] Nass, Leonard, I.; ed.  
Encyclopedia of PVC, Vol. 3  
Marcel Dekker Inc.
  - [7] Coleman E.H., Thomas C.H.,  
The products of combustion of chlorinated plastics,  
Journal of applied chemistry, 4 July 1954.
  - [8] De vorming van al dan niet voor de gezondheid schadelijke ontledingsproducten door brandende of smeulende kunststoffen,  
Verzameling bouwstudies nr. 14,  
Uitgave Bouwcentrum Weena 700, Rotterdam, juni 1966.
  - [9] Dr. Rennoch Detlef,  
Physikalisch-chemische analyse sowie toxische Beurteilung der beim thermischen Zerfall organisch-chemischer Baustoffe entstehenden Brandgasse,  
Literaturstudie (Teil I und II),  
Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM),  
Berlin, 1978/1979.
  - [10] Ir. Kiers A, Ir. Bartelds H., Ing. Brem G.,  
Verbranding van fracties huishoudelijk afval in een wervelbedvuurhaard,  
MT-TNO, dossiernr. 8727-50081, april 1985.
  - [11] Meinema Dr. H.A.,
-

Polychloordibenzo-p-dioxines en polychloordibenzofuranen in verbrandingsproducten van huisvuilverbrandingsinstallaties,  
december 1979.

- [12] Janssen B. and Sundstrom G.,  
Formation of polychlorinated dibenzo-p-dioxins during combustion of chlorophenol formulations,  
The science of the total environment. 10(1978) 209-217
- [13] Sjoberg, B.,  
Thermal decomposition of chlorinated hydrocarbons,  
Svensk Kemisk Tidskrift vol. 64, pp. 63-79, 1952.
- [14] Finnecey, E.E., Krol, A.A.;  
Hazardous combustion products.  
Environmental Safety Centre Harwell Laboratory,  
United Kingdom Atomic Energy Authority,  
Health and Safety Executive.  
June 1988. HSE/SRD/047/WP3 AERE - R12817.
- [15] Klimisch, H.J. e.a.  
Bioassay procedures for fire effluents: basic principles, criteria and methodology.  
Journal of fire sciences, vol. 5, March/April 1987.
- [16] Draft for development: code of practice for the assessment of toxic hazards in fire buildings and transport.  
BSI standards. Document 88/43550. September 1988.
- [17] Doe, J.E.  
The combustion toxicology of polyvinylchloride revisited.  
Journal of fire sciences vol. 5, July/August 1987.
- [18] Studie naar de gevormde hoeveelheid stikstofoxiden bij brand in opslagen van chemicaliën of bestrijdingsmiddelen,  
RIVM rapportnr. 610066003, G. Laheij, december 1995.
- [19] Studie naar de verbrandingsproducten van chemicaliën of bestrijdingsmiddelen,  
RIVM rapportnr. 610066009, A.J.C.M. Matthijsen, oktober 1997.
- [20] Richtlijn voor kwantitatieve risicoanalyse, Deel 1: Inrichtingen ("Paarse boek"), PGS 4 (Voorheen CPR 18, eerste druk 2000)
- [21] Toxic combustion products from pesticide fires, report 2: Review of small scale pesticide combustion test methods;  
TNO-report 91-145, 1989.
-

### Bijlage 1: Identificatieschema voor de kwantificering van de vorming van toxische verbrandingsproducten





### **Toelichting bij het identificatieschema**

ad 1) De samenstelling van de chemische stof bepaalt de verbrandingsproducten die kunnen worden gevormd. Zie hoofdstuk 2 voor een nadere beschrijving.

ad 2) De bronsterktedichtheid geeft de totale hoeveelheid gevormde verbrandingsgassen (dus inclusief bijvoorbeeld CO<sub>2</sub> en andere toxische en niet toxische producten). Dit gegeven dient als uitgangspunt voor de berekening van de mate waarin toxische verbrandingsproducten kunnen worden gevormd. Zie hoofdstuk 3 voor een gedetailleerde beschrijving.

ad 3) Op grond van de hoogte van het kookpunt wordt een zekere mate van emissie van het onverbrande product verondersteld. Dit is met name van belang voor stoffen met een hoge toxiciteit. Zie hoofdstuk 3 voor een nadere beschrijving.

ad 4) Bij de verbranding van chlooraromaten (met tenminste 2 Cl-atomen in het molecuul) kunnen dioxinen en furanen worden gevormd. In hoofdstuk 5 is aangegeven op welke wijze de mate van vorming van zogenaamde 2, 3, 7, 8 TCDD-equivalenten wordt vastgesteld.

ad 5) Op grond van de gewichtsfractie van het hetero-atoom of -atomen in het molecuul en de (kwantitatieve) omzetting daarvan in het verbrandingsproduct kan, mede op basis van de

ad 6) bronsterktedichtheid (zie ad 2), de grootte van de emissie van het verbrandingsproduct worden bepaald. Aan de hand van een voorbeeld (hoofdstuk 5) wordt de berekening van de grootte van de emissie toegelicht.

ad 7) Nadat de grootte van de emissie van verbrandingsproducten is bepaald kan de concentratie in de omgeving worden berekend met geschikte dispersiemodellen. In de Handleiding risico-analyse staat vermeld welke percentages verbrandingsproducten in risico-analyses worden gebruikt.