

Ser.

4

S 37

2^e ex.

Methoden voor de berekening van immissies op korte afstand van de bron

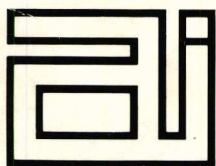
Rapport opgesteld in opdracht van het Directoraat-Generaal van de Arbeid
door de Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie TNO

Nederlands Instituut voor Arbeidsomstandigheden



NIA0020354

Directoraat-Generaal van de Arbeid



S 37

f.c.
gratis

Methoden voor de berekening van immissies op korte afstand van de bron

Rapport opgesteld in opdracht van het Directoraat-Generaal van de Arbeid
door de Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie TNO

Nederlands Instituut voor
Arbeidsomstandigheden NIA
bibliotheek-documentatie-informatie
De Boelelaan 32, Amsterdam-Buitenveldert

stamb.nr. 2^e ex.
plaats Serie 4. 537
datum 12 APR. 1988

Opsteller: W.H.H. van Heugten

november 1987

INHOUDSOPGAVE

SYMBOLENLIJST	3
SAMENVATTING	5
1. INLEIDING	
1.1 PROBLEEMSTELLING EN RANDVOORWAARDEN	6
1.2 LEERWIJZER	
2. DE MODELLEN	7
2.1 Het continue Gaussische model	7
2.1.1 De dispersiefactoren	8
2.2 Het instantane Gaussische model	12
2.2.1 De dispersiefactoren	12
2.2.2 De passagetijd	17
2.3 Dispersie rond gebouwen	17
2.3.1 Continue bron	17
2.3.2 Instantane bron	19
2.4 De keuze voor continue vs. instantane bronnen	20
2.4.1 Criteria voor Gaussische dispersie	20
2.4.2 Criteria bij dispersie rond gebouwen	22
3. DE HANDLEIDING	23
3.1 Inleiding	23
3.2 Toelichting bij het identificatieschema	23
4. ONZEKERHEID IN(EN BETROUWBAARHEID VAN)DE RESULTATEN	26
5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	27
6. LITERATUUR	28

APPENDIX A: Voorbeelden van toepassingen.

SYMBOLENLIJST

a, b, c, d	constanten voor het berekenen van σ	-
A	oppervlak gebouwgevel	m ²
C	concentratie gas in lucht	kg/m ³ of m ³ /m ³ (%v)
C*	gemodificeerde concentratie	l/m ²
C _{Z₀}	correctiefactor	-
C _O	beginconcentratie	kg/m ³ of m ³ /m ³ /(%v)
h	hoogte van de bron	m
H _b	hoogte van een gebouw	m
K	constante	-
L, B, H	lengte, breedte, hoogte	m
L _w	lengte van de wolk	m
m	bronsterkte (instantaan)	kg
ṁ	bronsterkte (continu)	kg/s of m ³ /s
M	massa	kg
R	straal van een bol, radiële coördinaat	m
R _O	beginstraal	
t _{pass}	passagetijd	
t	tijd	
t'	immissie-middelingstijd	s
U _w	windsnelheid	m/s
x _{vx} , x _{vy} , x _{yz}	virtuele bronafstanden	m
x	afstand in de windrichting	m
y	afstand dwars op de windrichting	m
z	verticale plaatscoördinaat	m
Z _O	ruwheidslengte	m

GRIEKSE SYMBOLEN

α	constante in uitdrukking voor σ_R	
σ	spreidingsparameter	m

indices

0,1	aanduiding rangorde
b	aanduiding gebouwparameter
bron	aanduiding bronconditie
d,e	twee verschillende situaties
i	aanduiding wisselende index
max	maximaal
o	aanduiding beginconditie
R	aanduiding radiële richting
rec	aanduiding recirculatiegebied
x, y, z	aanduiding coördinaatrichting
XI, YI, ZI	aanduiding coördinaatrichting instantane σ

SAMENVATTING

Dit rapport beschrijft methoden voor de berekening van immissies in het bijzonder op korte afstand vanaf de bron. Het "Gele boek" [2] behandelt modellen voor de bepaling van de immissie op afstanden groter dan 100 m vanaf de bron. In opdracht van het Directoraat-Generaal van de Arbeid is een handleiding opgesteld met behulp waarvan immissies berekend kunnen worden voor korte afstanden vanaf de bron. Hieraan is ondermeer behoefte in het kader van de regeling inzake de Arbeidsveiligheidsrapportage.

Bij de opzet van de handleiding is gebruik gemaakt van dezelfde uitgangspunten als die welke gebruikt zijn in het "Gele boek" [2]. Dit betekent dat de modellen op elkaar aansluiten en elkaar aanvullen, zodat een breder toepassingsgebied ontstaat. De beschreven modellen zijn geschikt voor continue of instantane gasvormige emissies. De methodiek levert maximale immissieconcentraties als functie van de afstand tot de bron en houdt rekening met de invloed van bebouwing. De modellen worden toegelicht met voorbeelden.

Als handleiding voor de keuze uit de verschillende modellen is een identificatieschema opgenomen. Verder wordt aandacht geschonken aan de onzekerheid in de resultaten. Geconcludeerd wordt dat de thans beschreven modellen voor korte afstanden een zinvolle aanvulling op de bestaande modellen vormen en in veel gevallen een mogelijkheid bieden een betrouwbare schatting van immissies op korte afstand te maken.

1. INLEIDING

1.1 Probleemstelling en randvoorwaarden

In de leidraad voor het samenstellen van een Arbeidsveiligheidsrapport (AVR) van de Arbeidsinspectie [1], wordt gesteld op welke wijze de fysische effecten van de geïdentificeerde ongewenste gebeurtenissen gekwantificeerd dienen te worden. Afhankelijk van de categorie-indeling dient een "schatting", een "globale kwantificering" of "een zo nauwkeurig mogelijke kwantificering" te worden uitgevoerd. Bij het laatste wordt aangegeven dat de kwantificering gebaseerd moet zijn op het "Gele boek" [2].

In praktijksituaties zal het gebruik van het dispersiemodel uit het "Gele boek" in een aantal gevallen problemen opleveren omdat het model daarop niet van toepassing is. De belangrijkste oorzaken daarvoor kunnen zijn:

1. de afstand tussen emissiepunt en de plaats waar de immissie berekend moet worden is kleiner dan 100 m;
2. de aanwezigheid van installaties en gebouwen zorgen voor een zodanige verstoring dat niet gesproken kan worden van een ongestoorde grenslaag (zoals in "open terrein").

In dit rapport wordt een richtlijn gegeven om in deze situaties tot een best mogelijke kwantificering te komen. Bedacht moet echter worden dat het inherent is aan situaties van dispersie over korte afstand en/of rondom gebouwen dat in het algemeen de onzekerheid groter is dan bij dispersie over grotere afstanden.

Er kunnen meer redenen zijn waarom het dispersiemodel uit het "Gele boek" minder goed toepasbaar wordt geacht. Een van die redenen kan zijn dat het uitstromende gas een grotere dichtheid heeft dan lucht, waardoor het verspreidingskarakter anders is dan bij een neutraal gas. Daarnaast kan de inpassing van het effect van de uitstroomcondities (bijvoorbeeld botsende vrijstraal) problemen opleveren.

In verband met de beperkte opdracht voor dit onderzoek blijven dergelijke aspecten buiten beschouwing en zullen daarom alleen de dispersie dichtbij de bron en de invloed van de aanwezigheid van obstakels beschouwd worden.

1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de dispersiemodellen nader geanalyseerd en worden model- en parameterkeuzes voor de te onderscheiden situaties onderbouwd.

In hoofdstuk 3 wordt het identificatieschema beschreven.

Aan de hand daarvan kan voor een gegeven situatie het van toepassing zijnde model worden gevonden.

In hoofdstuk 4 wordt kort aandacht geschonken aan de beperkingen en onzekerheden waarmee rekening moet worden gehouden bij het gebruik van de hier beschreven modellen.

In Appendix A zijn enige voorbeelden van het gebruik van de modellen en het identificatieschema gegeven.

2. DE MODELLEN

2.1 Het continue Gaussische model

De dispersie van een neutraal gas wordt behandeld in het "Gele boek". Daarbij wordt onder een neutraal gas een gas verstaan dat zich passief gedraagt, dat wil zeggen het vrijkomende gas heeft dezelfde fysische eigenschappen als het medium waarin het terecht komt. In die gevallen kan voor een continue puntbron op hoogte h , met bronsterkte \dot{m} , de concentratieverdeling $C(x,y,z)$ berekend worden met

$$C(x,y,z) = \frac{\dot{m}}{2\pi U_w \sigma_y(x) \sigma_z(x)} \exp \left\{ \frac{-y^2}{2\sigma_y^2(x)} \right\} \cdot \left\{ \exp \left\{ \frac{-(z-h)^2}{2\sigma_z^2(x)} \right\} + \exp \left\{ \frac{-(z+h)^2}{2\sigma_z^2(x)} \right\} \right\} \quad (1)$$

Wanneer slechts de concentratie op grondniveau berekend hoeft te worden ($z=0$) dan vereenvoudigd (1) tot

$$C(x,y,0) = \frac{\dot{m}}{2\pi U_w \sigma_y(x) \sigma_z(x)} \exp \left\{ \frac{-y^2}{2\sigma_y^2(x)} \right\} \cdot 2 \exp \left\{ \frac{-h^2}{2\sigma_z^2(x)} \right\} \quad (2)$$

Door, in plaats van de concentratie C , een concentratie C^* te definiëren als

$$C^*(x,y,z) = C(x,y,z) \cdot U_w / \dot{m} \quad (3)$$

vereenvoudigen (1) en (2) tot functies die, afgezien van de bronhoogte h , onafhankelijk zijn van de broncondities. De concentratie op grondniveau wordt

$$C^*(x,y,0) = \frac{1}{\pi \sigma_y(x) \sigma_z(x)} \cdot \exp \left\{ \frac{-y^2}{2\sigma_y^2(x)} \right\} \cdot \exp \left\{ \frac{-h^2}{2\sigma_z^2(x)} \right\} \quad (4)$$

De concentratie in een punt is afhankelijk van de heersende windrichting op het moment van de ontsnapping. Indien de windrichting zodanig

is dat de as van de wolk over het waarnemerpunt valt dan is de concentratie maximaal.

Formule (4) wordt dan

$$C^*(x,0,0) = \frac{1}{\pi \sigma_y(x) \sigma_z(x)} \cdot \exp\left\{\frac{-h^2}{2\sigma_z^2(x)}\right\} \quad (5)$$

Voor de dispersie uit een continue bron zal in het vervolg gebruik gemaakt worden van deze formule. Dit impliceert de beperking dat alleen de maximale concentratie op grondniveau als functie van de afstand wordt beschouwd.

2.1.1 De dispersiefactoren.

In de formules die het Gaussische dispersiemodel beschrijven komen de dispersieparameters $\sigma_y(x)$, $\sigma_z(x)$ en, voor een instantane bron, $\sigma_x(x)$ voor. Deze parameters zijn functies van x , de afstand tot de bron. Het verband tussen σ_i en x hangt af van de atmosferische condities en van de immissie-middelingstijd, zoals aangegeven in het "Gele boek" [2]. In feite worden in [2] vereenvoudigde relaties van de vorm $y = a(x)^b$ gebruikt om de verdunning van de pluim bij toenemende afstand tot de bron aan te geven.

De discussie omtrent de nauwkeurigheid van het Gaussische dispersiemodel betreft in hoofdzaak de onzekerheid in het verloop van σ_y en σ_z als functie van x de invloed van de immissie-middelingstijd, en van de oppervlakteruwheid.

σ_y en σ_z als functie van x ($x < 100m$)

Over het verloop van σ_y en σ_z als functie van x bestaat nog vrij veel onzekerheid. In [2] is een uitgebreide beschouwing opgenomen. Een, in het kader van de AVR, belangrijke beperking van het model is de onbruikbaarheid voor $x < 100$ m. Bij de beschouwing van de arbeidsveiligheid op bedrijfsterreinen zal in veel gevallen de relevante afstand kleiner zijn dan 100 m. In [2] wordt voor die

gevallen aanbevolen om voor $x < 100$ m een lineair verband tussen σ en x te kiezen van de vorm

$$\sigma_i = \frac{\sigma_i(x = 100 \text{ m})}{100 \text{ m}} \cdot x \quad (7)$$

In het vervolg zal deze lineaire benadering worden toegepast.

Immissie-middelingstijd

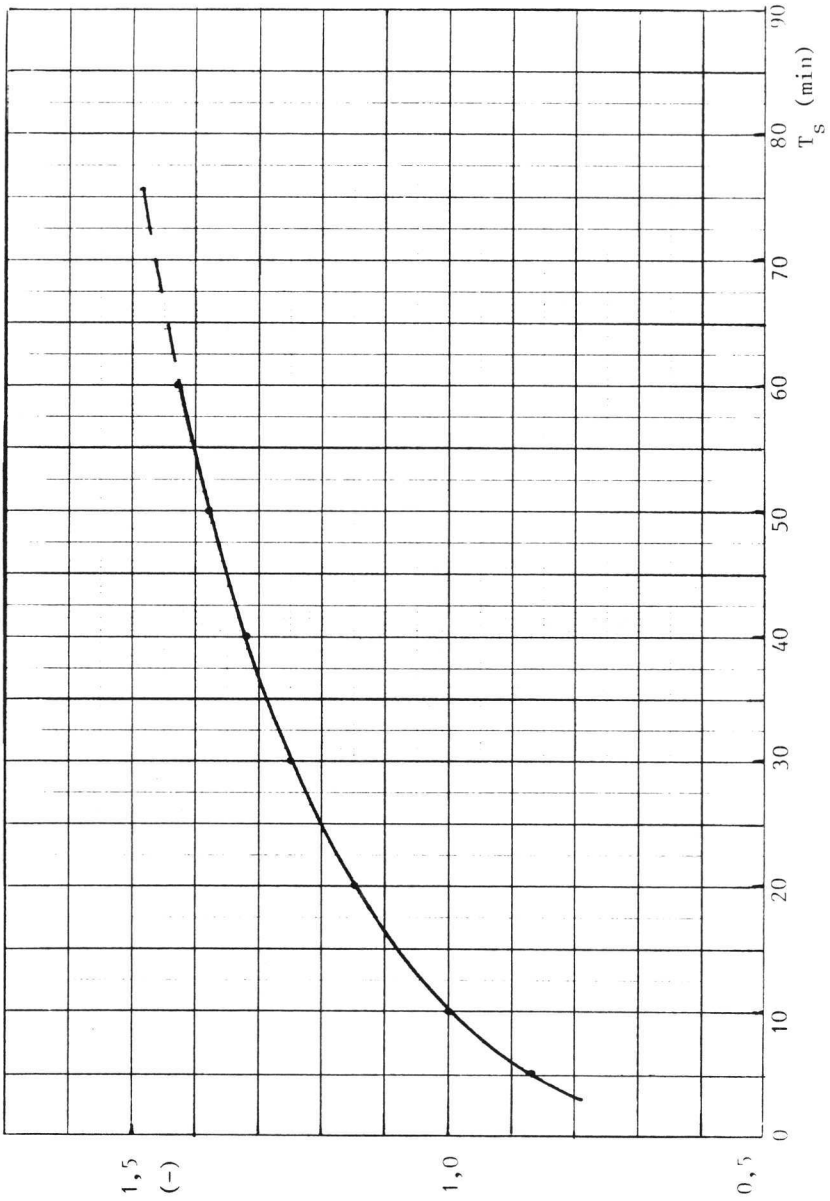
Voor wat betreft de immissie-middelingstijd geldt volgens [2], en ook volgens [3], dat het verloop van σ_y beïnvloed wordt volgens

$$\sigma_{yd} = \left\{ \frac{t'_d}{t'_e} \right\}^{0,2} \cdot \sigma_{ye} \quad (6)$$

voor middelingstijden $3 \text{ min} < t' < 1 \text{ hr}$, waarbij d en e op twee verschillende gevallen slaan. Er wordt uitgegaan van een standaardwaarde voor $t'_e = 10 \text{ min}$. Dit is overeenkomstig de standaardmethode volgens het "Gele boek" [2]. Het verloop van de correctie op σ_y is weergegeven in fig. 1.

Oppervlakteruwheid

De oppervlakteruwheid beïnvloedt het verloop van $\sigma_z(x)$. De oppervlakteruwheid wordt uitgedrukt in de ruweidslengte z_0 . De correctie van σ_z voor de invloed van z_0 kan worden uitgedrukt in de vermenigvuldigingsfactor C_{z_0} , zie ook [2]:



Figuur 1. Verloop van de correctiefactor voor de immissiemiddelingstijd.

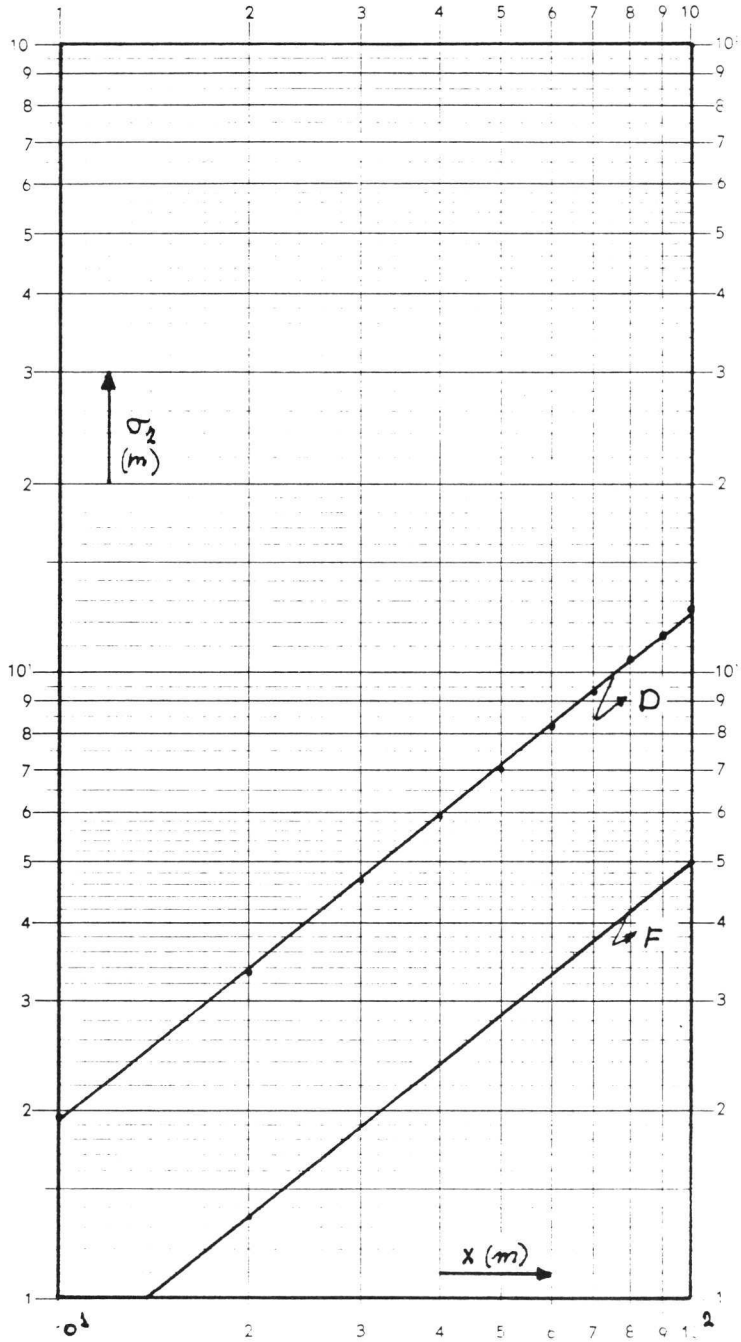
$$C_{z_0} = (10 z_0)^{0,53} x^{-0,22} \quad (8)$$

Voor situaties die beschouwd worden voor een AVR kan worden uitgegaan van "stedelijk gebied" met $z_0 = 3$ m of van "woongebied" met $z_0 = 1$ m. Onder "stedelijk gebied" wordt namelijk ook industriegebied met hoge obstakels verstaan en onder "woongebied" ook industrieterrein met niet te hoge obstakels. Deze typering zal veelal passen bij de beschouwde situatie.

Met bovenstaande gegevens is het mogelijk om onder specifieke atmosferische omstandigheden de vorm van een pluim te berekenen met, voor de korte afstand, aangepaste dispersieparameters. Het verloop van σ_z , rekening houdend met bovenstaande punten, is weergegeven in figuur 2. Het verloop van $\sigma_y(x)$ is overeenkomstig (7), lineair. In tabel 1 zijn de coëfficiënten a en b ($\sigma_y = a(x)^b$) en c en d ($\sigma_z = c(x)^d$) opgenomen voor de twee meest gebruikte weerklassen, nl. neutraal (D) en zeer stabiel (F), en voor $z_0 = 3$ m en $z_0 = 1$ m.

Tabel 1. De coëfficiënten van de dispersieparameters $\sigma_y(x)$ en $\sigma_z(x)$ voor berekeningen met $x < 100$ m.

		$z_0 = 3$ m		$z_0 = 1$ m		
	a	b	c	d	c	d
weerklasse						
D	0,0826	1,0000	0,3042	0,8069	0,1884	0,8635
F	0,0414	1,0000	0,1217	0,8069	0,0748	0,8635



Figuur 2. Het verloop van σ_z voor $0 \text{ m} < x < 100 \text{ m}$.

Met behulp van de coëfficiënten uit tabel 1 en formule (5) kan op eenvoudige wijze het concentratieverloop op grondniveau voor verschillende bronhoogten h worden berekend. In Appendix A is een voorbeeld gegeven van een toepassing van het model (Voorbeeld 1).

2.2 Het instantane Gaussische model

Voor zeer kortdurende bronnen kan het continu dispersiemodel niet van toepassing zijn. De periode waarover in een bepaald punt een grensconcentratie wordt overschreden is in het algemeen kort. Van een middelingstijd, zoals bij het continu Gaussische model, is hier geen sprake. In de volgende paragrafen wordt een eenvoudig model afgeleid gebaseerd op de uitgangspunten van het "Gele boek" [2] en toepasbaar voor instantane (of zeer kort durende) bronnen.

2.2.1 De dispersiefactoren

Bij een kortdurende (gasvormige) ontsnapping (Engels: "puff release") ontstaat een min of meer bolvormige wolk. Door de uitstroming veroorzaakte turbulentie zal er voor zorgen dat een hoeveelheid lucht wordt opgenomen in de initiële wolk zodat de concentratie bij de bron kleiner is dan 100% v. Bij de opzet van instantane Gaussische model wordt verondersteld dat de initiële concentratie C_0 en de omvang van de wolk (straal R_0) bekend zijn. Als het ontsnapte gas homogeen verdeeld wordt over een bol met straal R_0 en beginconcentratie C_0 , dan is

$$\frac{4}{3} \pi R_0^3 \cdot C_0 = m \quad (9)$$

In werkelijkheid zal het gas min of meer een Gaussische concentratieverdeling aannemen met het ontsnappingspunt als centrum:

$$C = C_0 \exp \left\{ - R^2 / 2\sigma_0^2 \right\} \quad (10)$$

Als functie van de tijd (en dus de driftafstand) zal σ toenemen (en vanwege het behoud van massa) C_0 kleiner worden. De waarde van σ_0 kan worden afgeleid uit

$$m = \int_0^{\infty} C \cdot 4\pi R^2 \cdot dR \quad (11)$$

of

$$\frac{4}{3}\pi R_0^3 \cdot C_0 = \int_0^{\infty} C_0 \exp\left\{-R^2/2\sigma_0^2\right\} \cdot 4\pi R^2 dR \quad (12)$$

Hieruit volgt

$$\sigma_0^3 = \frac{2}{3\sqrt{2\pi}} R_0^3 \quad (13a)$$

of

$$\sigma_0 = 0,64 R_0 \quad (13b)$$

Wanneer de hiervoor beschreven initiële wolk gaat drijven door de wind volgens $x = U_w \cdot t$ zal de wolk in omvang toenemen. In het "Gele boek" [2] wordt deze wolkgroei beschreven met de dispersieconstanten σ_{XI} , σ_{YI} en σ_{ZI} . Voor $x \leq 100$ m wordt aangenomen dat de wolk bolvormig uitbreidt en dat de radiële dispersieconstante σ_R voldoet aan

$$\sigma_R^2(x) = \sigma_0^2 + (\sigma_{XI}^2 + \sigma_{YI}^2 + \sigma_{ZI}^2)/3 \quad (14)$$

Voor σ_{XI} , σ_{YI} en σ_{ZI} worden voor $x \leq 100$ m lineaire relaties van de vorm $\sigma_i = a_i x$ afgeleid uit de gegevens in [2]. Formule (14) kan dan worden geschreven als

$$\sigma_R(x) = \sigma_0 \left\{ 1 + \frac{\alpha^2 x^2}{\sigma_0^2} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

$$\text{met } \alpha^2 = (a_{XI}^2 + a_{YI}^2 + a_{ZI}^2)/3. \quad (16)$$

Het concentratieverloop kan berekend worden met behulp van de uitdrukking voor $\sigma_R(x)$ (formule (15)) en

$$C(R;x) = \frac{m}{(2\pi)^{3/2} \sigma_R^3(x)} \cdot \exp\left\{-R^2(x)/2\sigma_R^2(x)\right\} \quad (17)$$

Hierin is x de driftafstand op tijdstip $t = x/U_w$, $R(x)$ is de afstand tot het centrum van de wolk. De maximale concentratie als functie van de afstand tot het ontsnappingspunt wordt gegeven door

$$C_{\max}(x) = \frac{m}{(2\pi)^{3/2} \sigma_R^3(x)} \quad (18a)$$

of

$$\frac{C_{\max}(x)}{C_0} = \left\{ 1 + \left\{ \frac{\alpha x}{.64 R} \right\}^2 \right\}^{-3/2} \quad (18b)$$

waarbij α nog afhangt van de weerklasse. Uitdrukking (18b) kan worden beschouwd als de verdunningsfactor, dat is de reductiefactor voor de maximale concentratie op een afstand x vanaf het ontsnappingspunt ten opzichte van de concentratie bij de bron. In tabel 2 wordt de waarde van α gegeven voor de weerklassen A tot en met F en twee waarden van z_0 , nl. $z_0 = 1$ m en $z_0 = 3$ m.

Tabel 2. De waarde van α voor de verschillende weerklassen en twee waarden van z_0 .

weerklasse	$z_0 = 1$ m	$z_0 = 3$ m
A	0,1708	0,2009
B	0,1383	0,1547
C	0,1138	0,1259
D	0,0975	0,1055
E	0,0858	0,0898
F	0,0793	0,0809

Vanaf $x = 100$ m is de "normale" berekeningswijze uit het "Gele boek" geldig. De koppeling tussen beide modellen komt tot stand door het bepalen van virtuele bronafstanden voor $x = 100$ m, door middel van

$$\sigma_{XI}(x_{vx}) = \sigma_{YI}(x_{vy}) = \sigma_{ZI}(x_{vz}) = \sigma_R(x = 100 \text{ m}) \quad (19)$$

en met gebruikmaking van de constanten uit tabel II (of bijlage I) uit het "Gele boek", hoofdstuk "Dispersie".

2.2.2 De passagetijd

Voor een instantane gasontsnapping is, in het bijzonder voor toxische gassen, de passagetijd van de wolk van belang.

De passagetijd van de wolk is de tijdsduur dat de concentratie in een bepaald punt hoger is dan een te kiezen grenswaarde. Bij een continue bron geldt bij benadering dat de passagetijd gelijk is aan de bronduur.

Als er wordt uitgegaan van een driftsnelheid van de wolk gelijk aan de windsnelheid U_w en de wolk een "lengte" L_w heeft dan is de passagetijd

$$t_{\text{pass}} = L_w / U_w \quad (20)$$

Overeenkomstig [2] wordt als begrenzing van de wolk het oppervlak gekozen waar de concentratie 10% van C_{max} bedraagt. Voor $x \leq 100$ m geldt dan

$$t_{\text{pass}} = \frac{4,3 \sigma_R(x)}{U_w} \quad (21)$$

en voor $x > 100$ m

$$t_{\text{pass}} = \frac{4,3 \sigma_{XI}(x)}{U_w} \quad (22)$$

In Appendix A is een voorbeeld gegeven van een toepassing van het model (Voorbeeld 2).

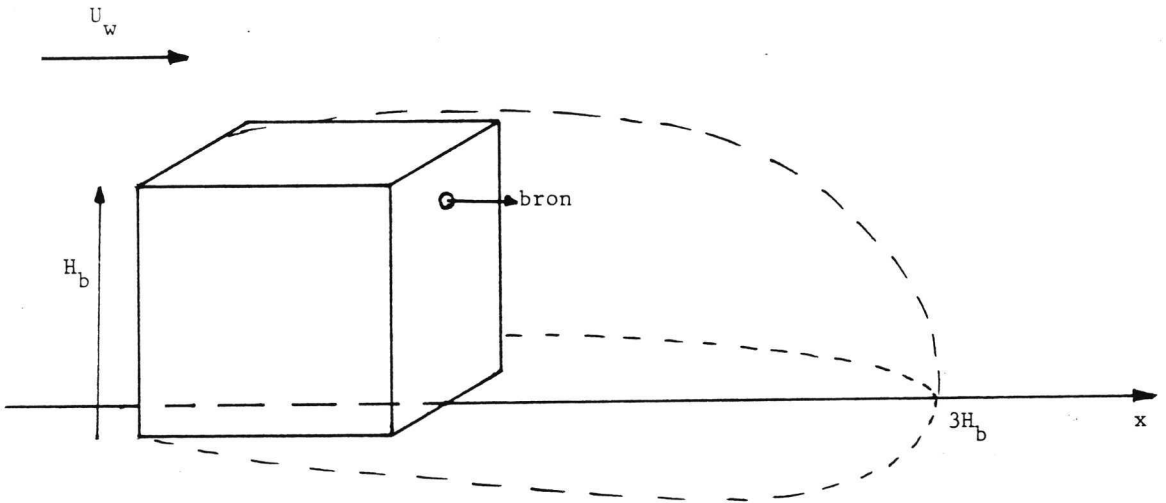
2.3 Dispersie rond gebouwen (referentie [4])

De verspreiding van gassen rond gebouwen is sterk afhankelijk van de geometrie die wordt beschouwd en van de heersende windrichting. Het gebruik van algemene vuistregels, zoals hiervoor zijn afge-

leid, levert ook hier resultaten met een relatief grote onnauwkeurigheid (zie hoofdstuk 4). Bovendien kan worden opgemerkt dat de beschouwde situatie er slechts een is van vele mogelijkheden. In het kader van dit onderzoek is een verdere diversificatie echter niet uitvoerbaar.

2.3.1 Continue bron

Indien (gas-)ontsnappingen plaatsvinden binnen het zogenaamde "recirculatiegebied" aan de luwzijde van gebouwen (zie figuur 3) dan wordt de dispersie sterk beïnvloed door de verstoring van de atmosferische grenslaag door die gebouwen.



Figuur 3. Het recirculatiegebied aan de luwzijde van een gebouw.

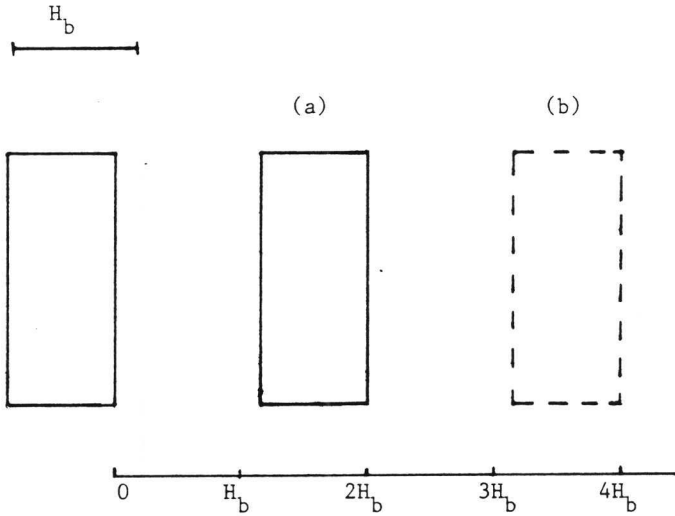
Voor afstanden kleiner dan 3 maal de gebouwhoogte H_b is door diverse onderzoekers voorgesteld om de formule

$$C^* = \frac{1}{KA} \text{ of } C(x,0,0) = \frac{\dot{m}}{U_w} \cdot \frac{1}{KA} \quad (23)$$

te gebruiken met A het gebouwoppervlak loodrecht op de windrich-

ting* en K een factor die in het algemene geval de waarde 1 heeft. Formule 23 geldt voor een bron op het dak of in het recirculatiegebied van één gebouw. Ook voor groepen gebouwen blijft deze formule geldig. Indien gebouwen binnen 3 maal de gebouwhoogte voorkomen dient de concentratie gecorrigeerd te worden met een vermenigvuldigingsfactor gelijk aan $3H_b$ gedeeld door de gebouwafstand x_b (zie figuur 4), zodat

$$C^* = \frac{1}{KA} \cdot \frac{3H_b}{x_b}$$



(a): $C' = \frac{3}{1,2} * C$

(b): géén correctie

Figuur 4. Toepassing van de correctie voor de gebouwafstand.

* Indien de positie van de waarnemer ten opzichte van het gebouw bekend is kan voor A het door de waarnemer zichtbare oppervlak worden gebruikt. In het algemene geval kan voor A het oppervlak van de kleinste gevel worden gekozen.

De correctie voor de aanwezigheid van een gebouw in het recirculatiegebied kan achterwege blijven als de breedte van dat gebouw kleiner is dan de breedte van het gebouw dat het recirculatiegebied veroorzaakt.

In praktische situaties kan de waarde van K variëren van 1,5 tot ca. 0,2, afhankelijk van de windrichting en de vorm van de bebouwing. Voor een schatting van de maximale concentratie wordt aanbevolen om $K = 0,2$ te kiezen.

Voorbeeld 3 (Appendix A) behandelt een toepassing van het model.

2.3.2 Instantane bron

Het voorgaande geldt voor continue emissies. Bij het instantaan vrijkomen van een gevaarlijke stof kan voor een schatting van de maximale concentratie op grondniveau uitgegaan worden van een schatting van het volume van het recirculatiegebied en de veronderstelling dat de vrijkomende hoeveelheid stof homogeen in dat volume verdeeld wordt. Voortbouwend op het model voor continue bronnen volgt voor het volume van het recirculatiegebied

$$\begin{aligned} V_{\text{rec}} &\cong L_{\text{rec}} \cdot B_{\text{rec}} \cdot H_{\text{rec}} \cong \\ &\cong 3H_b \cdot B_{\text{rec}} \cdot H_b \quad (24) \\ &\cong 3H_b \cdot A \end{aligned}$$

zodat

$$C = m/V_{\text{rec}} \cong m / (3H_b \cdot A) \quad (25)$$

Voor gebouwen binnen $3H_b$ dient C te worden gecorrigeerd met een vermenigvuldigingsfactor gelijk aan $3H_b$ gedeeld door de gebouwafstand x_b ,

$$C = \frac{m}{3H_b \cdot A} \cdot \frac{3H_b}{x_b} = \frac{m}{A \cdot x_b}$$

Voor berekeningen voorbij $3H_b$ kan gebruik worden gemaakt van de Gaussische modellen met gebruikmaking van virtuele bronafstanden (zie "Gele boek" [2]). Voor de breedte en de hoogte van de nieuwe (oppervlakte-)bron worden de breedte en de hoogte gebruikt van het gebouw dat het zogebied veroorzaakt.

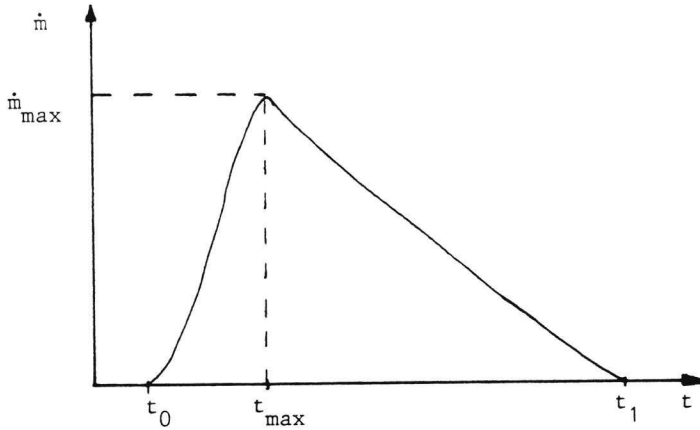
2.4 De keuze voor continue vs. instantane bronnen

Bij de opzet van de modellen is onderscheid gemaakt tussen continue en instantane bronnen. Onder een continue bron wordt een bron verstaan met een constante bronsterkte, die zó lang duurt dat het verspreidingspatroon in de omgeving niet meer wijzigt. Een instantane bron is een bron die in principe oneindig kort duurt.

In werkelijkheid zal een te beschouwen bron ingedeeld moeten worden in één van beide categorieën, terwijl de bron noch continu noch instantaan is. De oorzaken hiervoor kunnen zijn dat de bronduur eindig is en/of dat de bronsterkte niet constant is in de tijd. In deze paragraaf zullen criteria worden afgeleid voor de indeling van willekeurige bronnen voor de behandelde modellen.

2.4.1 Criteria voor Gaussische dispersie

Er wordt van uitgegaan dat het verloop van de bronsterkte, $\dot{m}(t)$, en de totaal vrijkomende hoeveelheid, m , bekend zijn. Een algemeen verloop is geschetst in figuur 5. Daarbij is verondersteld dat op tijdstip t_0 een bron start met een bepaald toenemend debiet, dat er een maximum wordt bereikt op t_{\max} , dat op een gegeven moment de bronsterkte afneemt en eventueel voor $t > t_1$ gelijk is aan 0, zodat $t_{\text{bron}} = t_1 - t_0$.



Figuur 5. Algemeen verloop van de bronsterkte \dot{m} als functie van de tijd t .

De totale bronsterkte m volgt uit

$$m = \int_{t_0}^{t_1} \dot{m}(t) dt \quad (26)$$

Voor zeer langdurige bronnen met praktisch constante bronsterkte geldt

$$m \cong \dot{m}_{\max} t_{\text{bron}} \quad (27)$$

In [2] wordt aanbevolen om voor $x > 18 U_w \cdot t_{\text{bron}}$ te kiezen voor een instantane bron en voor $x < 1,8 U_w \cdot t_{\text{bron}}$ voor een continue bron. Voor het tussenliggende gebied wordt een grafische interpolatie aanbevolen.

Indien de bron geen duidelijk begin- en eindtijdstip heeft kan worden uitgegaan van een benadering waarbij begin- en eindtijdstip

liggen bij 10% van de maximale bronsterkte. Voor een berekening met het instantane model wordt m bepaald met formules (26) of (27). Voor een in de tijd verïerende bronsterkte kan \dot{m} worden benaderd met

$$\dot{m} \cong m/t_{\text{bron}} \quad (28)$$

In voorbeeld 4 (Appendix A) wordt een toepassing behandeld.

2.4.2. Criteria bij dispersie rond gebouwen

Bij een continue uitstoot in het recirculatiegebied van een gebouw wordt het concentratieniveau in dat gebied bepaald door het evenwicht tussen enerzijds bronsterkte en anderzijds de "afvoer" via het omhullende oppervlak van het recirculatiegebied.

Bij evenwicht wordt de massa gas in het recirculatiegebied M_{rec} gegeven door

$$\begin{aligned} M_{\text{rec}} &= V_{\text{rec}} \cdot C = 3H_b \cdot B \cdot H_b \cdot \frac{\dot{m}}{U_w} \cdot \frac{1}{KH_b \cdot B} \\ &= \frac{\dot{m}}{U_w} \cdot \frac{3H_b}{K} \end{aligned} \quad (29)$$

Op tijdstip t kan de massa gas in het zogebied, bij een constante bronsterkte \dot{m} , nooit groter zijn dan $\dot{m} \cdot t$.

Hieruit volgt

$$\dot{m} \cdot t \geq \frac{\dot{m}}{U_w} \cdot \frac{3H_b}{K} \quad (30a)$$

of

$$t \geq \frac{3H_b}{KU_w} = 15 \frac{H_b}{U_w} \quad (30b)$$

Voor bronduren die hieraan voldoen is een berekening voor een continue bron op zijn plaats. In de overige gevallen zal een berekening voor een instantane bron, met als bronsterkte de totale vrijgekomen hoeveelheid, afgezien van lokale concentratiepieken, zeker geen onderschatting vormen. Voorbeeld 5 (Appendix A) behandelt een toepassing.

3. DE HANDLEIDING

3.1 Inleiding

In het voorgaande zijn de benodigde modellen beschreven die nodig zijn om schattingen van de mogelijke concentratie op grondniveau voor afstanden kleiner dan 100 m mogelijk te maken. In dit hoofdstuk zal aan de hand van een logisch schema worden aangegeven welke modellen bij een specifieke situatie van toepassing zijn. De opzet van dit schema is vergelijkbaar met het schema, zoals dat in [2] is opgenomen bij het hoofdstuk "Dispersie".

3.2 Toelichting bij het identificatieschema

In figuur 6 wordt het identificatieschema gegeven voor het uitvoeren van immissieberekeningen voor afstanden vanaf de bron die kleiner zijn dan 100 m. Voor de duidelijkheid wordt hier nog enige toelichting gegeven. De cijfers verwijzen naar punten in het schema.

ad 1 Uitgangspunt voor een berekening vormt de te beschouwen situatie. Van belang zijn de punten die verderop in het schema nog worden behandeld, zoals de afstand tussen ontsnappingspunt en immissiepunt, de aanwezigheid van bebouwing en de bronduur. Daarnaast worden de brongegevens bekend verondersteld. Dit impliceert dat veelal vóór de toepassing van de hier gegeven modellen gebruik is gemaakt van uitstromings- en verdampingsmodellen uit het "Gele boek" [2], die leiden tot het gegeven van de bronsterkte als functie van de tijd voor de dispersieberekening.

ad 2 Indien de afstand tussen ontsnappingspunt en immissiepunt groter is dan 100 m dan zijn de modellen van het "Gele boek" [2] geldig. Voor afstanden kleiner dan 100 m kunnen de in deze richtlijn beschreven modellen gebruikt worden.

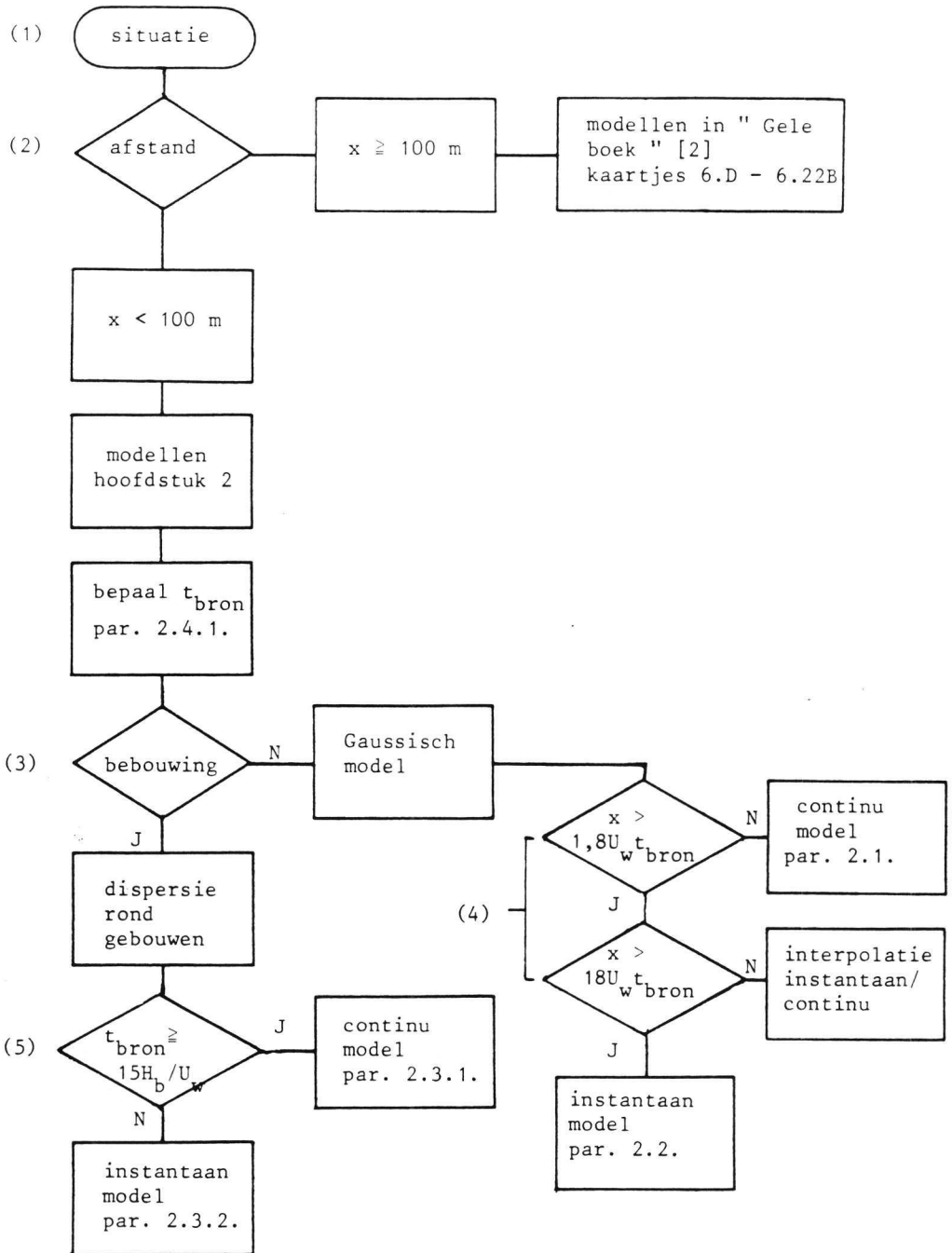
ad 3 Als zodanige bebouwing in de omgeving van het ontsnappingspunt voorkomt dat het ontsnappende gas terecht komt in het recirculatiegebied van de bebouwing dan is het Gaussische dispersiemodel slechts geldig buiten het recirculatiegebied (lengte is

driemaal de gebouwhoogte). Het gebruik van het Gaussisch model buiten het zoggebied is mogelijk door gebruikmaking van virtuele bronafstanden.

ad 4 Overeenkomstig [2] is de keuze tussen het instantane of het continu Gaussische model (of een interpolatie tussen beide modellen) afhankelijk van de afstand tot het ontsnappingspunt, de windsnelheid en de bronduur.

ad 5 Ook voor dispersie rond gebouwen is een criterium afgeleid voor de keuze van het continue of het instantane model.

In figuur 6 wordt al in het begin nagegaan of $x < 100$ m. Voor de dispersie rond gebouwen is het echter logischer om ook voor $x > 100$ m steeds de bronafmetingen aan de rand van het zoggebied en de bijbehorende concentratie te bepalen en gebruik te maken van virtuele bronafstanden voor $x > 3H_b$. In voorbeeld 6 (Appendix A) wordt een toepassing behandeld waarbij deze werkwijze wordt gevolgd.



Figuur 6. Identificatieschema voor het uitvoeren van immissieberekeningen voor korte afstanden vanaf de bron.

4. ONZEKERHEID IN (EN BETROUWBAARHEID VAN) DE RESULTATEN

In hoofdstuk 2 worden modellen gegeven die het mogelijk maken berekeningen uit te voeren voor de bepaling van de immissieconcentratie in het bijzonder voor afstanden kleiner dan 100 m vanaf de bron. Het is van belang om naast een berekende getalswaarde voor de immissie een indruk te hebben omtrent de overeenkomst tussen de berekende getalswaarde en de werkelijke immissie.

De verspreiding van een stof in de atmosfeer kan worden beschouwd als een stochastisch proces. Deze min of meer toevallige processen worden veroorzaakt door het feit dat de atmosferische grenslaag turbulent is. Dit is de reden dat de modellen gemiddelde waarden berekenen (ensemble-gemiddelden of "verwachtingswaarden"). Voor continue modellen is daarom de tijdgemiddelde concentratie geïntroduceerd. In dat geval komt de berekende concentratie overeen met de, over een gekozen tijdperiode, gemiddelde concentratie en dus niet met de momentane waarde. In het algemeen kan gesteld worden dat de bij een calamiteit optredende immissies aanzienlijk kunnen afwijken van de berekende ensemble-gemiddelde of tijdgemiddeldewaarden. Voor een deel wordt dit veroorzaakt door onvolkomenheden (c.q. noodzakelijke vereenvoudigingen) in de modellen, maar de afwijking wordt voor een waarschijnlijk nog groter deel veroorzaakt door het stochastische karakter van de fysische processen die een rol spelen bij het verspreidingsproces. Uit het voorgaande volgt dat de onzekerheid in de momentane concentratie altijd groter is dan de onzekerheid in de tijdgemiddelde concentratie. Bij de toepassing van dispersiemodellen moet altijd in gedachte worden gehouden dat, in het bijzonder voor complexe situaties, de afwijkingen zo groot kunnen worden dat de berekeningsresultaten beschouwd moeten worden als een orde-grootte schatting van de werkelijk optredende concentratie.

Voor wat betreft de onzekerheid in berekende concentraties voor situaties die in dit rapport worden beschouwd ($x < 100$ m) en die in berekende concentraties volgens de "Gele boek"-modellen kan in zijn algemeenheid het volgende worden gesteld: De onzekerheid in de berekende concentraties neemt toe naarmate de beschouwde afstand en/of tijd kleiner is. Dit komt voort uit het feit dat middelingseffecten voor grotere afstanden van meer invloed worden (oppervlakteruwheid, turbulentie), waardoor gradiënten in concentratieprofielen kleiner worden.

5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Het hier beschreven onderzoek heeft geleid tot richtlijnen voor het uitvoeren van immissieberekeningen voor situaties waarbij de afstand tussen immissiepunt en observatiepunt minder is dan 100 m. Bovendien is aandacht besteed aan de verspreiding van gassen rond gebouwen. Een en ander is verwerkt tot een handleiding in de vorm van een identificatieschema. Aan de hand daarvan kan in voorkomende situaties worden bepaald welk model het beste kan worden gebruikt.

Uit de beschouwing omtrent onzekerheid en betrouwbaarheid van de resultaten kan worden geconcludeerd dat de modellen veelal slechts zullen resulteren in ordegrutte schattingen van het concentratieniveau in een bepaald punt. Deze onzekerheid is inherent aan het fysische proces dat wordt beschouwd, zodat een verdere verfijning van de modellen naar verwachting niet veel zal opleveren.

Indien voor een te beschouwen situatie een meer gedetailleerd beeld van het verspreidingsgedrag van een gaswolk wenselijk wordt geacht, kan worden overwogen deze situatie in een windtunnel (op schaal) te simuleren. Op die manier kan, zelfs voor situaties waarbij zich diverse obstakels in het verspreidingsgebied bevinden, een betrouwbaar beeld van het verspreidingsgedrag worden verkregen.

6. LITERATUUR

- [1] Directoraat-Generaal van de Arbeid.
Leidraad voor het samenstellen van een arbeidsveiligheids-
rapport,
Concept publikatie nr. 3 van de Arbeidsinspectie, (1982).

- [2] Directoraat-Generaal van de Arbeid,
Methoden voor het berekenen van de fysische effecten van het
incidenteel vrijkomen van gevaarlijke stoffen (vloeistoffen
en gassen),
Rapport van de Commissie Preventie van Rampen door Gevaarlijke
Stoffen, (1979).

- [3] Hanna, S.R., G.A. Briggs, R.P. Hosker, Jr.,
Handbook on atmospheric diffusion,
U.S. Dep. of Energy, (1982).

- [4] Bultjes, P.J.H.,
Dispersion around buildings,
Published by Elsevier Scientific Publishing Co., (1980).

APPENDIX A

Berekeningsvoorbeelden

Voorbeeld 1

Gegeven: Een continue uitstoot van een gas-luchtmengsel (door opmenging bij de bron bedraagt de beginconcentratie 5%v) met verwaarloosbare uitstroomsnelheid. Bronsterkte: $20 \text{ m}^3/\text{hr}$. De emissiehoogte is 8 m en $z_0 = 3 \text{ m}$.

Gevraagd: De immissie gas op 80 m afstand op grondniveau van de bron, bij een middelingstijd van 1 hr, voor twee weerklassen:
neutraal (D) met $U_w = 5 \text{ m/s}$,
zeer stabiel (F) met $U_w = 2 \text{ m/s}$.

Oplissing: Bij een bronsterkte van $20 \text{ m}^3/\text{hr}$ gasmengsel met 5%v gas ont-snapt 1 m^3 gas per uur, dit is $2,5 \text{ kg/hr}$.
Met behulp van formule (5) en de gegevens in tabel 1 volgt

$$C^* = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-2}, \text{ dus}$$

$$C(x=80 \text{ m}, 0, 0) = \frac{C^* \cdot \dot{m}}{U_w} \cong 49 \cdot 10^{-7} \text{ kg/m}^3 \cong 0,5 \text{ mg/m}^3$$

bij weerklasse D, en

$$C^* = 3,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-2}, \text{ zodat}$$

$$C(x=80 \text{ m}, 0, 0) = \frac{C^* \cdot \dot{m}}{U_w} \cong 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ kg/m}^3 \cong 1,3 \text{ mg/m}^3$$

bij weerklasse F.

Uit figuur 1 volgt dat voor een middelingstijd van één uur een correctiefactor van 1,43 geldt. Aangezien σ_y voorkomt in de noemer van formule (5) moeten de bovenstaande concentraties gedeeld worden door deze factor.

Het resultaat is:

$$C(x=80 \text{ m}, 0, 0) = 0,35 \text{ mg/m}^3 \text{ voor weerklasse D, en}$$

$$C(x=80 \text{ m}, 0, 0) = 0,9 \text{ mg/m}^3 \text{ voor weerklasse F.}$$

Voorbeeld 2

Gegeven: Een instantane uitstoot van chloor in een gebied met hoge obstakels.

Bronsterkte 10 kg. Door verdunning bij de bron bedraagt de begin-concentratie 5‰.

Gevraagd: Wat is de maximale concentratie chloor op afstanden $x = 80$ m en $x = 200$ m, bij de weerklassen neutraal (D) en zeer stabiel (F)?

Wat zijn de bijbehorende passagetijden bij $U_w = 2$ m/s en zeer stabiel weer (F)?

Oplossing: De gewichtconcentratie chloor bij de bron

$$C_o = 0,05 * \frac{M_{Cl}}{M_{lucht}} * 1,29 \text{ kg/m}^3 = 158 \text{ g/m}^3$$

De straal van de initiële wolk

$$R_o = \frac{4}{3} \pi \frac{m}{C_o}^{1/3} \cong 2,5 \text{ m} \quad (\text{formule (9)})$$

zodat $\sigma_o = 1,6$ m

Voor het beschouwde gebied wordt gekozen voor $z_o = 3$ m, zodat $\alpha = 0,1055$ (D) respectievelijk $\alpha = 0,0809$ (F) (Zie tabel 2).

$x = 80$ m $\rightarrow x/R_o = 32$. Met formule (18b):

$$D: \quad C_{\max}/C_o = 6,5 \cdot 10^{-3} \rightarrow C_{\max} = 1000 \text{ mg/m}^3$$

$$F: \quad C_{\max}/C_o = 1,4 \cdot 10^{-2} \rightarrow C_{\max} = 2200 \text{ mg/m}^3$$

De maximale concentratie op 80 m afstand bedraagt dus 1000 mg/m³ onder neutrale weersomstandigheden en 2200 mg/m³ bij zeer stabiel weer.

Voor $x = 200$ m dient eerst σ_R ($x = 100$ m) bepaald te worden.

x = 100 m:

$$\begin{aligned}
 \text{D: } \sigma_R &= 1,6 \left\{ 1 + \left\{ \frac{0,1055 \cdot 100}{1,6} \right\}^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \text{ m} = 10,7 \text{ m} \\
 \sigma_{XI}(x_{vX}) &= 0,13 x_{vX} = \sigma_R \rightarrow x_{vX} = 82 \text{ m} \\
 \sigma_{YI}(x_{vY}) &= 0,064 (x_{vY})^{0,905} = \sigma_R \rightarrow x_{vY} = 286 \text{ m} \\
 \sigma_{ZI}(x_{vZ}) &= 0,548 (x_{vZ})^{0,673} = \sigma_R \rightarrow x_{vZ} = 83 \text{ m} \\
 \\
 \text{F: } \sigma_R &= 8,3 \text{ m} \\
 \sigma_{XI}(x_{vX}) &= 0,13 x_{vX} = \sigma_R \rightarrow x_{vX} = 64 \text{ m} \\
 \sigma_{YI}(x_{vY}) &= 0,0325 (x_{vY})^{0,902} = \sigma_R \rightarrow x_{vY} = 466 \text{ m} \\
 \sigma_{ZI}(x_{vZ}) &= 0,327 (x_{vZ})^{0,583} = \sigma_R \rightarrow x_{vZ} = 257 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Uit deze virtuele bronafstanden kunnen de σ -waarden voor x = 200 m bepaald worden uit

$$\sigma(x = 200 \text{ m}) \stackrel{\Delta}{=} \sigma(200 \text{ m} - 100 \text{ m} + x_v)$$

$$\text{D: } \left. \begin{aligned}
 \sigma_{XI}(182 \text{ m}) &= 23,7 \text{ m} \\
 \sigma_{YI}(386 \text{ m}) &= 14,0 \text{ m} \\
 \sigma_{ZI}(183 \text{ m}) &= 18,3 \text{ m}
 \end{aligned} \right\} C_{\max}(x = 200 \text{ m}) = \frac{m}{(2\pi)^{3/2} \sigma_{XI} \cdot \sigma_{YI} \cdot \sigma_{ZI}} = 105 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{F: } \left. \begin{aligned}
 \sigma_{XI}(164 \text{ m}) &= 21,3 \text{ m} \\
 \sigma_{YI}(566 \text{ m}) &= 9,9 \text{ m} \\
 \sigma_{ZI}(357 \text{ m}) &= 10,1 \text{ m}
 \end{aligned} \right\} C_{\max}(x = 200 \text{ m}) = 298 \text{ mg/m}^3$$

Onder neutrale weercondities bedraagt de maximale concentratie op x = 200 m ongeveer 100 mg/m³. Onder zeer stabiele condities 400 mg/m³.

De passagetijden volgen via

$$\sigma_R(80 \text{ m}) = \sigma_o \left\{ 1 + \left\{ \frac{\alpha \cdot 80 \text{ m}}{\sigma_o} \right\}^2 \right\}^{\frac{1}{2}} = 6,7 \text{ m}$$

$$t_{\text{pass}}(80 \text{ m}) = \frac{4,3 \cdot \sigma_R(80 \text{ m})}{2 \text{ m/s}} = 14 \text{ s}$$

$$\sigma_{\text{XI}}(200 \text{ m}) = 21,3 \text{ m}$$

$$t_{\text{pass}} = \frac{4,3 \cdot \sigma_{\text{XI}}(200 \text{ m})}{2 \text{ m/s}} = 46 \text{ s}$$

Voorbeeld 3

Gegeven: Een afblaasopening bevindt zich op het dak van een procesgebouw met afmeting $L \times B \times H = 30 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 15 \text{ m}$. Soortgelijke gebouwen (qua hoogte) bevinden zich op 70 m afstand. De emissie bedraagt 20 kg/hr en de minimale windsnelheid is 1 m/s.

Gevraagd: a) Hoeveel bedraagt de maximale grondconcentratie?
b) Wat is de maximale grondconcentratie bij een instantane emissie van 1 kg?

Oplossing: a) Met formule 23):

$$C = \frac{\dot{m}}{U_w} \cdot \frac{1}{KA} = \frac{20 \text{ kg/hr}}{3600 \text{ s} \cdot 1 \text{ m/s}} \cdot \frac{1}{0,2 \times 10 \text{ m} \times 15 \text{ m}} =$$
$$= 185 \text{ mg/m}^3$$

De gebouwfstand (70 m) is groter dan $3H_b$, zodat geen correctie hoeft worden uitgevoerd.

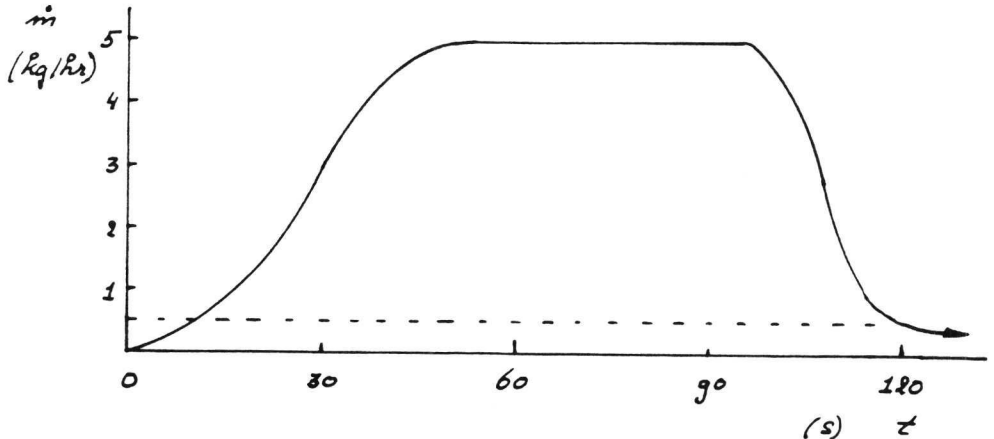
b) Met formule 25):

$$C = m / (3H_b \cdot A) = 1 \text{ kg} / (3 \cdot 15 \text{ m} \cdot 10 \text{ m} \cdot 15 \text{ m})$$
$$= 150 \text{ mg/m}^3$$

In de formules is voor A gekozen voor het kleinste geveloppervlak ($10 \times 15 \text{ m}^2$), omdat dit resulteert in de grootste waarde voor C.

Voorbeeld 4

Gegeven: Een uitstoot van een gevaarlijke stof verloopt volgens onderstaande figuur, vanaf grondniveau.



Gevraagd: Welke berekening is van toepassing voor de schatting van de concentratie op $x = 40$ m en $U_w = 1$ m/s, en wat is de bronsterkte? Wat is de maximale concentratie in dat punt bij zeer stabiel weer en $U_w = 1$ m/s?

Oplossing: $\dot{m}_{\max} = 5$ kg/hr. De grenswaarde voor de bronduur is dus 0,5 kg/hr. Uit de figuur volgt dat $t_{\text{bron}} = 120\text{s} - 10\text{s} = 110\text{s}$. De vrijgekomen hoeveelheid in die periode bedraagt ca. 105 g, zodat $\dot{m} \cong 1$ g/s.

$U_w \cdot t_{\text{bron}} = 110$ m; bij $x = 40$ m geldt $x < 1,8 U_w \cdot t_{\text{bron}}$, zodat de berekening met het continue model van toepassing is. Met formule (5) en tabel 1 volgt

$$C^* = 8 \cdot 10^{-2} \text{ m}^{-2} \text{ en } C = \frac{\dot{m}}{U_w} C^* = 80 \text{ mg/m}^3. \text{ Dit is het}$$

10 minuten-gemiddelde. Aangezien de bron slechts 2 min. duurt kan via interpolatie in figuur 2 geschat worden dat ten aanzien van de immissie-middelingstijd een correctiefactor van 0,7 van toepassing is, zodat de berekende concentratie op 40 m afstand van de bron ca. 60 mg/m^3 bedraagt.

Voorbeeld 5

Gegeven: In het recirculatiegebied van een alleenstaand gebouw met afmetingen $L \times B \times H = 30 \times 10 \times 15 \text{ m}^3$ vindt een lozing plaats met 50 kg/hr gedurende 10 minuten bij een windsnelheid van 1 m/s.

Gevraagd: a) Welke berekeningsmethode is van toepassing?
b) Wat is de maximale grondconcentratie?

Oplossing: a) Met formule (30 b) volgt

$$t_{\text{bron}} = 10 \text{ min} \stackrel{?}{\cong} 15H_b/U_w = 225 \text{ s}$$

zodat een berekening voor een continue bron van toepassing is.

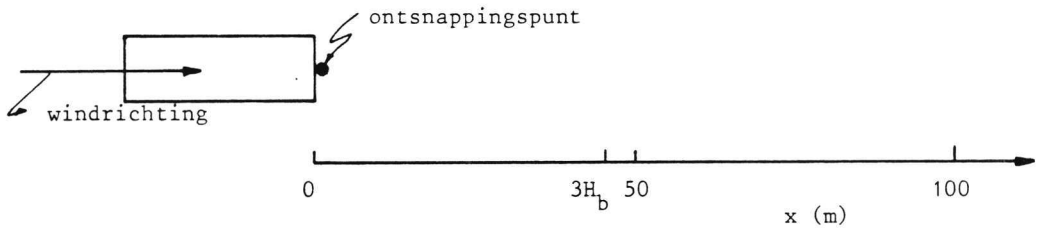
b) Met formule (23) volgt

$$C = \frac{\dot{m}}{U_w} \cdot \frac{1}{K \cdot A} = \frac{50 \text{ kg/hr}}{3600 \text{ s} \cdot 1 \text{ m/s}} \cdot \frac{1}{0,2 \cdot 250 \text{ m}^2} =$$
$$\cong 300 \text{ mg/m}^3$$

Deze schatting is geldig tot $3 \cdot H_b \cong 50 \text{ m}$ vanaf het gebouw.

Voorbeeld 6

Gegeven: In de hieronder geschetste situatie ontsnapt 2 kg/s van een toxisch gas gedurende 3 minuten tijdens zeer stabiele weerscondities en een windsnelheid van 2 m/s in een gebied met $z_0 = 3$ m.



Bovenaanzicht van de beschouwde situatie. Gebouwfmetingen $L \times B \times H_b = 30 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 15 \text{ m}$.

Gevraagd: Het maximale concentratieverloop voor $0 \text{ m} \leq x \leq 300 \text{ m}$.

Oplossing: De eerste keuzemogelijkheid in figuur 6 geeft aan dat zowel het "Gele boek" als de in deze richtlijn beschreven modellen van toepassing zijn. Er kunnen 3 gebieden worden onderscheiden:

- Gebied I $0 \text{ m} < x < 3H_b$ - dispersie rond gebouwen,
- Gebied II $3H_b < x < 100 \text{ m}$ - Gaussische dispersie volgens deze richtlijn,
- Gebied III $100 \text{ m} \leq x \leq 300 \text{ m}$ - Gaussische dispersie volgens "Gele boek" [2].

Gebied I : $0 \text{ m} < x < 45 \text{ m}$ geldt het continue model, omdat

$$t_{\text{bron}} = 180 \text{ s} > 15H_b/U_w = 112,5 \text{ s}.$$

Dus geldt

$$C = \frac{\dot{m}}{U_w} \cdot \frac{1}{KA} = \frac{2 \text{ kg/s}}{2 \text{ m/s}} \cdot \frac{1}{0,2 \cdot 10 \text{ m} \cdot 15 \text{ m}} =$$

= 33 g/m³. Dit is de maximale concentratie in het recirculatiegebied.

Gebied II : Voor 45 m < x < 100 m geldt x < 1,8 U_w · t_{bron} = 650 m, zodat het continue Gaussische model van toepassing is. De bronafmetingen op x = 45 m zijn

$$L_y = \frac{1}{2}B = 5 \text{ m}$$

$$L_z = H_b = 15 \text{ m}$$

Met formules (8), (9) en (10) uit [2] volgt (met gebruikmaking van tabel 1):

$$x_{vy} = 97 \text{ m}$$

$$x_{vz} = 296 \text{ m}$$

Voor h = 0 m is formule (5) gelijk aan

$$C = \frac{\dot{m}}{U_w} \cdot \frac{1}{\pi \sigma_y(x') \sigma_z(x')}$$

$$\text{met } x'_i = x - 45 \text{ m} + x_{vi} \quad i = y, z$$

x (m)	x' _y (m)	x' _z (m)	C (g/m ³)
45	97	296	6,6
60	112	311	5,5
75	127	326	4,7
100	152	351	3,7

Gebied III: Voor 100 m < x < 300 m geldt ook x < 1,8 U_w · t_{bron}, zodat ook hier het continu Gaussische model nog geldig is. De nieuwe virtuele bronafstanden volgen uit σ_y en σ_z op x = 100 m, met coëfficiënten uit [2].

$$\sigma_y(x = 100 \text{ m}) = a(x'_y)^b = 0,0414(x'_y)^1 = 6,3 \text{ m}$$

$$\sigma_z(x = 100 \text{ m}) = C(x'_z)^d = 0,1217(x'_z)^{0,8069} = 13,8 \text{ m}$$

$x_{vy} = (\sigma_y/a)^{1/b}$ en $x_{vz} = (\sigma_z/c)^{1/d}$ met de coëfficiënten a t/m d uit [2] (bijlage 1, $z_0 = 3 \text{ m}$ voor σ_z).

Daaruit volgt

$$x_{vy} = 159 \text{ m} \quad \text{en} \quad x_{vz} = 614 \text{ m}.$$

Ook hier geldt formule (5) met

$$x'_i = x - 100 \text{ m} + x_{vi} \quad i = y, z$$

x (m)	x'_y (m)	x'_z (m)	C (g/m ³)
100	159	614	3,7
150	209	664	2,7
200	259	714	2,2
250	309	764	1,8
300	359	814	1,5

De discontinuïteit in het concentratieverloop bij $x = 45 \text{ m}$ wordt veroorzaakt doordat voor $x < 45 \text{ m}$ gebruik is gemaakt van $K = 0,2$ in plaats van $K = 1$. De berekende concentratie voor het zogebied is de maximale waarde ongeacht de tijdsduur van dat concentratieniveau. De waarden voor $x > 45 \text{ m}$ betreffen in principe tijdgemiddelde concentraties over 10 minuten. Aangezien de bronduur slechts 3 minuten is dienen de berekende waarden nog vermenigvuldigd te worden met een factor $(10/3)^{0,2} \cong 1,3$.

