

# **Diffuse emissies en emissies bij op- en overslag Handboek emissiefactoren**

Rapportagereeks *MilieuMonitor*  
Nummer 14, maart 2004

Samenstelling en redactie  
Ir. R.J.K. van der Auweraert (Tebodin)  
Ir. N.Y. Schuttinga (Tebodin)

Rapporten uit deze reeks zijn te bestellen bij:  
RIVM/MNP  
Postbus 1  
3720 BA Bilthoven  
E-mail: [emissieregistratie@rivm.nl](mailto:emissieregistratie@rivm.nl)



## VOORWOORD

Op voorstel van de stuurgroep VOS heeft de Coördinatiecommissie Doelgroepmonitoring (CCDM) besloten om de methoden voor de vaststelling van lekverliezen van apparaten en verliezen bij op- en overslag bij de raffinaderijen, de chemische industrie en de op- en overslagbedrijven te herzien. Het doel is te komen tot een eenduidige en transparante bepalingwijze. De methoden zijn herzien en uitgewerkt in een overleg tussen vertegenwoordigers van de betrokken overheden (ministerie, bevoegd gezag en doelgroepmonitoring) en vertegenwoordigers van de betrokken industrieën (VNCI, VNPI en VOTOB).

In onderhavig handboek worden de berekeningsmethoden beschreven voor het bepalen van de lekverliezen van vluchtige koolwaterstoffen die optreden in procesinstallaties en verliezen die ontstaan bij het verladen en opslaan. Tevens worden berekeningsmethoden voor de emissies van vluchtige koolwaterstoffen in afvalwaterbehandelinginstallaties, koelwatersystemen en fakkels gegeven.

Aanvullend op de beschrijving van de berekeningsmethoden is er een meetprotocol voor lekverliezen opgesteld. Daarin zijn belangrijke zaken voor vergelijkbare resultaten uitgewerkt, zoals de te meten apparaten en de meetfrequentie.



**INHOUD**

<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>7</b>
1.1	Achtergrond	7
1.2	Afbakening en doel	7
1.3	Aanpak	7
<b>2</b>	<b>LEKVERLIEZEN VAN APPARATEN</b>	<b>9</b>
2.1	Afbakening en methoden	9
2.2	Vaste emissiefactor	9
2.3	Metten en berekenen	10
<b>3</b>	<b>VERLIEZEN BIJ VERLADEN</b>	<b>11</b>
3.1	Dampbehandeling	11
3.2	Algemene methode	11
3.3	Benzine en ruwe aardolie in schepen	12
<b>4</b>	<b>VERLIEZEN BIJ OPSLAGTANKS</b>	<b>15</b>
4.1	Algemene toelichting bij opslagtanks	15
4.2	Opslagtank met vast dak zonder ademventiel	16
4.3	Opslagtank met vast dak en ademventiel	18
4.4	Opslagtanks met een uitwendig drijvend dek	20
4.5	Opslagtank met een inwendig drijvend dek	22
4.6	Schoonmaken van opslagtanks	24
<b>5</b>	<b>OVERIGE PROCESSEN</b>	<b>25</b>
5.1	Koelwatersystemen	25
5.2	Afvalwaterbehandeling	25
5.3	Fakkels	26
5.4	Overige emissies	27
<b>6</b>	<b>LITERATUUR</b>	<b>29</b>
	<b>Bijlage A – Verlading</b>	<b>31</b>
	<b>Bijlage B – Opslagtanks</b>	<b>43</b>
	<b>Bijlage C – Fakkels</b>	<b>61</b>
	<b>Bijlage D – Formulier voor opmerkingen</b>	<b>63</b>



# 1 INLEIDING

## 1.1 Achtergrond

Milieubeleid voor de industrie begint meestal met voorschriften voor de grote puntbronnen. Daarna richt de aandacht zich op kleinere puntbronnen, bijvoorbeeld verbrandingsgassen via een schoorsteen of afvalwater via een afvoerpijp. In het algemeen zijn deze emissies intussen goed beheerst en zijn dusdanig verminderd dat andere emissies een steeds grotere rol spelen. Met betrekking tot koolwaterstofemissies zijn deze ‘andere emissies’ voornamelijk toe te schrijven aan lekverliezen bij apparatuur en dampverliezen bij opslagtanks en bij verlading. Het meten van deze emissies is moeilijker dan het meten van emissies afkomstig van puntbronnen.

In de Verenigde Staten zijn meet- en rekenmethoden ontwikkeld die wereldwijd worden gehanteerd om de emissies te bepalen. Het Handboek Emissiefactoren [ref. 27, 28] is in belangrijke mate op de Amerikaanse methoden geënt. Sinds het verschijnen van het Handboek in 1993 is de rekenmethode in de Verenigde Staten gewijzigd. Daarnaast ontwikkelde de Europese normalisatiecommissie CEN ten tijde van het opstellen van het handboek een norm voor het bepalen van de lekverliezen van apparaten [ref. 8].

## 1.2 Afbakening en doel

De onderhavige handleiding beschrijft rekenmethoden voor het bepalen van niet-procesgebonden koolwaterstofemissies naar de lucht. Het gaat hierbij om lekverliezen van apparaten, verdampingsverliezen van opslagtanks en verlading, verliezen bij afvalwater- en koelwatersystemen en fakkelemissies.

De handleiding is bedoeld voor het bepalen van de koolwaterstofemissies naar de lucht van industriële bedrijven. De aangedragen methoden zijn geschikt voor toepassing in het kader van de vergunning. Dit sluit uiteraard niet uit dat een andere, gelijkwaardige of betere bepalingsmethode zou kunnen worden gebruikt, wat aangetoond dient te worden door een vergelijking met de methode van het handboek.

De emissies treden algemeen op in de organisch-chemische industrie, tankop- en -overslagbedrijven en raffinaderijen. Daarnaast zijn de methoden ook bruikbaar voor installaties in de aardolie-/gaswinning en andere branches waar (kleinschaliger) opslag van koolwaterstoffen plaatsvindt en/of koolwaterstoffen in de procesvoering aanwezig zijn.

Het is de bedoeling dat de emissies vanaf 1 januari 2005 volgens het handboek worden bepaald en dat in 2006 over 2005 wordt gerapporteerd volgens de “nieuwe” methode. Dit kan leiden tot verschillen in eerder vastgestelde emissies. Om de vergelijking met de emissie-opgave van voorgaande jaren mogelijk te maken wordt gevraagd om in het verslag over 2005 ook de verschillen ten opzichte van 2004 als gevolg van de methodewijziging aan te geven.

## 1.3 Aanpak

Bij het herzien van de handleiding is gestreefd naar enerzijds het verwerken van nieuwe inzichten en ontwikkelingen en anderzijds naar het zoveel mogelijk behouden van de bestaande werkwijze. Keuzes die destijds zijn gemaakt zijn gerespecteerd. Het gaat met name om vereenvoudigingen en afwijkende factoren. De aanpassingen in de methode ten opzichte van de handboekversie van 1993 [ref. 27] zijn in de volgende tabel aangegeven.

Tabel 1.1 Aanpassingen in de methode ten opzichte van de handboekversie van 1993 [ref. 27].

Onderwerp	Wijziging
Lekverliezen van apparaten	Correlatiemethode
Verlading	Aangepaste verzadigingsfactoren
Opslagtanks	Vaste emissiefactor voor de verlading van benzine en ruwe aardolie
	Aangepaste factoren voor de opslagtanks met een drijvend dek
Overige processen	Verdrijvingsverlies voor een vloeistofniveau lager dan de laagste stand van het drijvend dek
	Methode voor met product verontreinigd koelwater





## 2 LEKVERLIEZEN VAN APPARATEN

### 2.1 Afbakening en methoden

De lekverliezen van apparaten omvatten de emissies bij afdichtingen van:

- Assen van pompen, compressoren, roerwerken en centrifuges;
- Afsluiters;
- Veiligheidsventielen;
- 'Open-eind'-leidingen (zogenaamde 'drain-, purge- en ventleidingen');
- Monsternamepunten;
- Flenzen, schroefdraadverbindingen, knelfittingen; mangaten en luiken; knikverbindingen van laad- en losarmen.

De emissies kunnen worden bepaald door een vaste emissiefactor te hanteren (zonder meting), de concentratie aan de afdichting te meten en de bijbehorende emissies te berekenen (indirecte meting) of de emissie vanaf een afstand te meten (remote sensing, [ref. 14]). De eerste twee bepalingmethoden zijn in het handboek nader uitgewerkt.

### 2.2 Vaste emissiefactor

Voor het toepassen van vaste emissiefactoren zijn geen metingen vereist. Dergelijke berekeningen geven wel een beeld van de ordegrrootte van de emissies maar niet van de feitelijke situatie. Doordat geen metingen worden uitgevoerd, is niet zichtbaar waar lekkages zich bevinden. Emissiereductie is met deze methode dan ook niet aan te tonen.

De methode is wel bruikbaar voor een inzicht in nieuwe installaties en waar de grootste emissies zijn te verwachten. Aangeraden wordt om per geval na te gaan welke standaardfactoren het beste de verwachte situatie weergeven (bij voorbeeld afgeleid van een vergelijkbare installatie).

Uit een evaluatie van de EPA volgt dat er per apparaatsoort geen correlatie is op te stellen tussen apparaatvariabelen (zoals type spindel, type asafdichting) en de optredende emissie. Wel is er enige correlatie met de procesomstandigheden (druk, temperatuur, vluchtigheid). EPA heeft in de periode 1987-1995 gemiddelde vaste factoren bepaald voor een viertal industrietakken, te weten raffinaderijen, de chemische industrie, op- en overslagbedrijven en aardolie- en aardgaswinning. Aangezien vaste factoren slechts in beperkte mate worden toegepast, is in Nederland gekozen om slechts één set van emissiefactoren te hanteren voor alle bedrijfstakken, namelijk de set van de chemische industrie [ref. 24] weergegeven in tabel 2.1.

Tabel 2.1 Vaste emissiefactoren.

Apparaat	Emissiefactor	[g/uur]	
		Gas/ damp <sup>1</sup>	Lichte vloeistof <sup>2</sup> Zware vloeistof <sup>3</sup>
Compressor	228	-	-
Pomp	-	19,9	8,62
Roerwerk	-	19,9	19,9
Veiligheidsklep	104	-	-
Klep, afsluiter	5,97	4,03	0,23
Open eindeleiding	1,7	1,7	1,7
Flenzen	1,83	1,83	1,83
Monsternamepunt	15	15	15

1) Gas of damp bij de procesomstandigheden.

2) Laag kokende vloeistof met een dampspanning > 300 Pa bij 20 °C.

3) Hoog kokende vloeistof met een dampspanning < 300 Pa bij 20 °C.

Voor waterhoudende stromen kan een emissiefactor worden afgeleid evenredig met het aandeel vluchtige koolwaterstoffen.

## 2.3 Meten en berekenen

De gangbare wijze voor het bepalen van de lekverliezen bestaat uit het meten van de VOS-concentratie bij de afdichting. Aan de hand van de gemeten concentratie kan de massastroom worden berekend. Deze berekening geeft in tegenstelling tot de vaste emissiefactor wel een beeld van de feitelijke situatie. Meer zekerheid ten aanzien van de hoeveelheid emissie kan worden verkregen door het omhullen van het apparaat en dan meten van de concentratie bij een bekende volumestroom door de omhulling ("bagging"). De methode om vervolgens specifieke correlaties op te stellen is uitgewerkt in [ref. 24].

De wereldwijd gebruikte methode voor het meten van de concentratie is de zogenaamde "method 21" van EPA [ref. 25]<sup>1</sup>. Voor het afleiden van de emissie (=massastroom) werd in de vorige versie van het handboek gebruik gemaakt van gemiddelde emissiefactoren. De emissiefactoren betroffen een concentratiemeetgebied (0 - 1000 ppm, 1000 - 10.000 ppm (of 0 - 10.000 ppm) en > 10.000 ppm). Met de hedendaagse apparatuur is een grotere precisie mogelijk en beveelt EPA sinds 1995 aan om de correlatiemethode te hanteren. In de correlatiemethode wordt de emissie berekend aan de hand van een proefondervindelijke relatie tussen de gemeten concentratie en massastroom.

EPA heeft standaardcorrelaties opgesteld voor de chemische industrie en voor de raffinaderijen, d.w.z. voor een gemiddelde bedrijf van de bedrijfstak. In navolging van de aanpak van de vorige versie van het handboek wordt verder geen onderscheid gemaakt tussen de chemische industrie en de raffinaderijen en alleen de correlaties voor de chemische industrie gepresenteerd (zie tabel 2.2). Indien geen koolwaterstoffen worden gemeten (beneden de onderste detectiegrens) wordt een zeer lage emissie verondersteld waarvoor een standaardwaarde is aangegeven. Als de gemeten concentratie hoger is dan de bovenste detectiegrens (veelal 100.000 ppm) wordt een vaste waarde gehanteerd ("pegged value").

Tabel 2.2 Correlaties tussen de gemeten concentratie en de emissie ([ref. 24]).

Apparaat (afdichting)	Medium	Emissie bij concentratie = 0 ppm [kg/h]	Emissie bij concentratie > 0 ppm [kg/h]	Emissie hoger dan bovenste detectiegrens (100.000ppm*) [kg/h]
Compressor	Gas	Zie pomp	Zie pomp	Zie pomp
Pomp	Vloeistof	$7,5 \cdot 10^{-6}$	$1,90 \cdot 10^{-5} \cdot (\text{concentratie})^{0,824}$	0,62
Klep, afsluiter	Gas	$6,6 \cdot 10^{-7}$	$1,87 \cdot 10^{-6} \cdot (\text{concentratie})^{0,873}$	0,11
Klep, afsluiter	Vloeistof	$4,9 \cdot 10^{-7}$	$6,41 \cdot 10^{-6} \cdot (\text{concentratie})^{0,797}$	0,15
Roerwerk	Alle	Zie pomp	Zie pomp	Zie pomp
Flenzen	Alle	$6,1 \cdot 10^{-7}$	$3,05 \cdot 10^{-6} \cdot (\text{concentratie})^{0,885}$	0,22
Veiligheidsklep	Alle	Zie pomp	Zie pomp	Zie pomp

(concentratie) = Gemeten concentratie in ppm (screening value)

\* Indien de bovenste detectiegrens slechts 10.000 ppm bedraagt, zijn de vaste emissiewaarden: 0,14 kg/h voor de afdichting van een pomp, compressor en roerwerk, 0,024 kg/h voor een klep of afsluiter met een gas, 0,036 kg/h voor een klep of afsluiter met een vloeistof en 0,044 kg/h voor flenzen.

<sup>1</sup> Het belangrijkste doel van de EPA-methoden voor het vaststellen van lekverliezen is de monitoring ten behoeve van het lekdetectie- en reparatieprogramma (LDAR). LDAR is wettelijk verplicht voor de procesindustrie in de VS. Het houdt in dat de onderdelen moeten gecontroleerd op lekkage en bij vaststelling van lekkage moeten worden gerepareerd.

### 3 VERLIEZEN BIJ VERLADEN

#### 3.1 Dampbehandeling

In dit hoofdstuk worden de methoden gegeven voor het berekenen van de verliezen bij het verladen in/uit tankauto's, spoorketelwagons en (zee)schepen. Steeds meer worden de emissies die hierbij vrijkomen beperkt middels een dampretoursysteem (dampbalansleidingen), een damptherugwinning of een dampvernietiging.

Voor een dampretoursysteem kan voor het rendement een vaste factor van 99% worden aangehouden.

De concentratie en de massastroom van de uitgaande stroom van dampverwerkings- en dampvernietigingssystemen worden regelmatig gemeten. Voor het bepalen van de (rest-) emissie moeten de meetresultaten worden gebruikt. De Nederlandse EmissieRichtlijn Lucht (NeR) geeft aan hoe de concentratie in de uitgaande stroom dient te worden gemeten. Geschikte meetmethodes en vereiste meetfrequenties staan beschreven in paragraaf 3.7 van de NeR (controleren van emissies).

Ten aanzien van de controle van een rendementseis zijn in de NeR geen aanvullende richtlijnen voor meten en registreren opgenomen. In bijlage II van de "Regeling op-, overslag en distributie benzine milieubeheer" (staatscourant 250, 1995) zijn hiervoor wel meetbepalingen gespecificeerd.

Indien geen meetresultaten beschikbaar zijn, moet met de specificaties van de fabrikant worden gerekend (gegarandeerd verwijderingsrendement gedurende representatieve bedrijfssituatie).

Indien geen emissiebeperkende systemen zijn geïnstalleerd, kunnen de hierna beschreven berekeningsmethoden worden gehanteerd.

#### 3.2 Algemene methode

Het beladingsverlies bestaat uit de damp die tijdens het beladen wordt uitgedreven. De damp kan achtergebleven zijn bij het voorafgaande legen indien na het legen de tank niet (goed) is gereinigd. Daarnaast ontstaat er damp bij het beladen zelf.

De emissie is afhankelijk van verschillende parameters zoals dampspanning en temperatuur. De aandachtspunten bij het bepalen van de algemene parameters zijn in paragraaf 4.1.2 gegeven.

De hierna beschreven methode voor het berekenen van het beladingsverlies is overgenomen van API [ref. 2] en EPA<sup>1</sup> [ref. 22] en is geschikt voor het bepalen van beladingsverliezen:

- van alle producten in tankauto's en spoorketelwagons en
- van producten anders dan benzine en ruwe aardolie in schepen.

Voor het beladingsverlies  $L_l$  geldt:

$$L_l = S \cdot \frac{P \cdot M}{8,314 \cdot T} \cdot V$$

- $L_l$  = beladingsverlies [kg]
- $S$  = verzadigingsfactor [-] (zie tabel 3.1)
- $P$  = dampspanning [kPa] (zie bijlage A1, A2 en A3)
- $M$  = molecuulgewicht van de damp [g/mol]
- $T$  = temperatuur van de damp [K]
- $V$  = volume van de geladen vloeistof [m<sup>3</sup>]
- 8,314 is de ideaal-gasconstante  $R$  [J/mol.K]

<sup>1</sup> Hoofdstuk 5.2 van AP-42 [ref. 22] waarvoor de API-publicatie [ref. 2] de basis vormde.

### Verzadigingsfactor S

De verzadigingsfactor is afhankelijk van het al dan niet schoonmaken van de tanks en van de beladingswijze. Indien de tank niet is schoongemaakt, is de verzadigingsfactor ook van de vorige lading afhankelijk. De emissies dienen te worden berekend voor de kenmerkende situatie ten aanzien van de situatie voor het beladen (b.v. 60% van de te beladen zeeschepen waren niet schoongemaakt en de vorige lading betrof een licht product; 40% was schoon en dampvrij gemaakt). De kenmerkende situatie dient te zijn vastgelegd overeenkomstig de indeling van de verzadigingsfactoren. De verzadigingsfactoren zijn in de onderstaande tabel aangegeven.

Tabel 3.1 Verzadigingsfactoren bij het beladen van schepen, tankauto's en spoorketelwagons.

Transport	Toestand voor belading	Verzadigingsfactor S [-]
Zeevaart <sup>1</sup>	Niet schoongemaakte tank gevuld geweest met licht product (dampspanning > 10 kPa)	0,38
	Tank gevuld geweest met ballastwater en damp van licht product (dampspanning > 10 kPa)	0,25
	Schone dampvrije tank of een tank gevuld geweest met zwaar product (dampspanning < 10 kPa)	0,10
Binnen-, kustvaart <sup>2</sup>	Niet schoongemaakte tank gevuld geweest met licht product (dampspanning > 10 kPa)	0,56
	Schone dampvrije tank of een tank gevuld geweest met zwaar product (dampspanning < 10 kPa)	0,30
Tankauto's en spoorketelwagons	Vullen onder vloeistofoppervlak van schone tank	0,50
	Vullen onder vloeistofoppervlak van 'vuile tank'	0,60
	Vullen met verzadigde damp in de tank	1,00

1) Scheepstank ca. 12 - 14 m diep (dwt vanaf 30 000 ton).

2) Scheepstank ca. 3 - 5 m diep (dwt kleiner 30 000 ton).

### 3.3 Benzine en ruwe aardolie in schepen

De emissieberekeningsmethode voor de belading van lichters en zeeschepen met benzine en het beladen van zeeschepen met ruwe aardolie is overgenomen uit API<sup>1</sup> [ref. 2]. De aanpak is vereenvoudigd tot een vaste factor per geladen hoeveelheid benzine respectievelijk ruwe aardolie. Voor de damp die vrijkomt bij het ballasten van schepen in producttanks is in bijlage A4 een afzonderlijke methode beschreven. Daarbij zij opgemerkt dat het laden met ruwe aardolie en het ballasten in producttanks slechts bij uitzondering in Nederland voorkomen.

Voor het beladingsverlies  $L_1$  geldt:

$$L_1 = S \cdot V$$

$L_1$  = beladingsverlies [kg]

$S$  = emissiefactor [kg/m<sup>3</sup>] (zie tabel 3.2 en 3.3 voor benzine respectievelijk ruwe aardolie)

$V$  = volume van de geladen benzine [m<sup>3</sup>]

<sup>1</sup> De API-methode is ook integraal overgenomen door EPA in AP-42, hoofdstuk 5.2 [ref. 22].

Tabel 3.2 Emissiefactoren voor het laden van benzine in schepen (kg damp per m<sup>3</sup> benzine).

Transport	Toestand voor belading	Emissiefactor S [kg/m <sup>3</sup> ]
Zeevaart <sup>1</sup>	Niet schoongemaakte tank gevuld geweest met licht product (dampspanning > 10 kPa)	0,315
	Tank gevuld geweest met ballastwater en damp van licht product (dampspanning > 10 kPa)	0,205
	Schone dampvrije tank of een tank gevuld geweest met zwaar product (dampspanning < 10 kPa)	0,085
Binnen-, kustvaart <sup>2</sup>	Niet schoongemaakte tank gevuld geweest met licht product (dampspanning > 10 kPa)	0,465
	Schone dampvrije tank of een tank gevuld geweest met zwaar product (dampspanning < 10 kPa)	0,245

1) Scheepstank ca. 12 - 14 m diep (dwt vanaf 30 000 ton).

2) Scheepstank ca. 3 - 5 m diep (dwt kleiner 30 000 ton).

Tabel 3.3 Emissiefactoren voor het laden van ruwe aardolie (crude) in zeeschepen (kg damp per m<sup>3</sup> crude).

Toestand voor belading	Emissiefactor S [kg/m <sup>3</sup> ]
Niet schoongemaakte tank gevuld geweest met licht product (dampspanning > 10 kPa)	0,132
Tank gevuld geweest met ballastwater en damp van licht product (dampspanning > 10 kPa)	0,084
Schone dampvrije tank of een tank gevuld geweest met zwaar product (dampspanning < 10 kPa)	0,072



## 4 VERLIEZEN BIJ OPSLAGTANKS

### 4.1 Algemene toelichting bij opslagtanks

#### 4.1.1 Verschillende soorten verliezen

In dit hoofdstuk worden de methoden gegeven om de verliezen van atmosferische opslagtanks te berekenen. Afhankelijk van het type tank is er sprake van adem-, verdrijvings-, uitdampings- en uitpompverliezen. Ademverliezen ontstaan door uitzetting van de damp in de tank als gevolg van opwarming tijdens de dag. Verdrijvingsverlies ontstaat door het verdringen van damp door de vloeistof tijdens het vullen van een opslagtank met een vast dak. Uitdamping betreft de lekkage door de afdichtingen heen en uitpompverlies het verdampen van de vloeistoffilm die achterblijft tijdens het legen van een opslagtank met een drijvend dek.

De volgende tabel geeft een overzicht van de verliezen per tanktype.

Tabel 4.1 Overzicht van verliezen voor de verschillende soorten atmosferische tanks.

Aard van de tank	Adem-verlies	Verdrijvings-verlies	Uitdampings-verlies	Uitpomp-verlies
Vast dak zonder ademventiel	Altijd	Altijd	-	-
Vast dak met ademventiel	Beperkt <sup>1)</sup>	Altijd	-	-
Uitwendig drijvend dek	-	Sporadisch <sup>2)</sup>	Altijd	Altijd
Inwendig drijvend dek	-	Sporadisch <sup>2)</sup>	Altijd	Altijd

1) Ademventielen beperken in de meeste gevallen het ademverlies; in enkele gevallen wordt het ademverlies geheel voorkomen.

2) Tijdens normaal bedrijf zijn er geen verdrijvingsverliezen; als de tank (nagenoeg) geheel geleegd wordt, zakt het drijvend dek niet tot op de bodem maar rust het op poten en is er sprake van een damp ruimte onder het dek; deze situatie laat zich vergelijken met een vast-daktank.

De emissieberekeningsmethoden voor de verschillende soorten opslagtanks zijn in de afzonderlijke paragrafen beschreven.

#### 4.1.2 Aandachtspunten bij de berekeningen

De emissie is afhankelijk van verschillende parameters zoals dampspanning, temperatuur en windsnelheid. Bij het berekenen van de verliezen gelden de volgende punten.

##### Dampspanning en molecuulgewicht

Er dient met de eigenschappen van de betreffende producten worden gerekend. De dampspanning van een reeks vloeistoffen zijn gegeven in bijlage A1, A2 en A3. Indien de productsamenstelling wisselt gedurende een jaar kan gerekend worden met een kenmerkende samenstelling. Voorbeelden hiervan zijn nafta of andere tussenproducten in een raffinaderij. Indien de wisselende samenstelling samenhangt met de seizoenen moet de kenmerkende samenstelling per seizoen worden beschouwd.

##### Temperatuur

De temperatuur (~dampspanning) heeft een aanzienlijke invloed op de hoogte van de emissie. Bij de berekening van de jaaremisse moet met het temperatuurverloop over het jaar rekening worden gehouden. Voor de gemiddelde temperatuur en het dagelijks temperatuursverschil moeten minimaal 4 verschillende seizoenen worden beschouwd (aan de hand van de gemiddelde seizoenstemperatuur per regio). Alleen als het hele jaar hetzelfde product wordt verladen of opgeslagen, kan met de jaargemiddelde temperatuur per regio worden gerekend. De regionale waarden voor de gemiddelde temperatuur en het dagelijks temperatuursverschil zijn in bijlage B1 gegeven.

Indien de temperatuur in de opslagtank meer dan 25°C bedraagt, moet gerekend worden met de temperatuur van het product in de opslagtank.

**Gemiddelde windsnelheid**

Voor de gemiddelde windsnelheid dient de jaargemiddelde regionale waarde te worden gebruikt. De regionale waarden voor de jaargemiddelde windsnelheid zijn in bijlage B1 gegeven.

**Volume en vrije damphoogte**

De emissies kunnen met gemiddelde waarden voor een bepaalde periode worden berekend. Als het hele jaar hetzelfde product wordt opgeslagen, kan met de jaargemiddelde vrije damphoogte worden gerekend. Het verdient echter de voorkeur om de emissies per tankbeweging te berekenen. Dit is eventueel mogelijk met behulp van de geautomatiseerd datasystemen voor verladingsbewegingen.

**Tankkenmerken**

In principe moeten de emissies per tank worden uitgerekend. Indien niet bekend is in welke tank het product is opgeslagen geweest, kan gerekend worden met een gemiddelde tank per product. Bij het middelen van tankkenmerken moet altijd een rechtsevenredig verband blijven bestaan met de emissies. Zo zijn bij voorbeeld de ademverliezen uit een vastdaktank evenredig met de tankdiameter tot de macht 1,73. De equivalente diameter van b.v. drie tanks (met diameters D1, D2 en D3) kan als volgt worden bepaald:

$$D_{\text{equivalent}} = \left( \frac{D_1^{1,73} + D_2^{1,73} + D_3^{1,73}}{3} \right)^{\frac{1}{1,73}}$$

**4.2 Opslagtank met vast dak zonder ademventiel**

Zoals aangegeven treden bij een opslagtank met een vast dak zowel adem- als verdrijvingsverliezen op. Voor deze verliezen is er een afzonderlijke berekeningsmethode. De totale emissie van de opslagtank is dan de som van beide verliezen. De berekeningsmethode is overgenomen van EPA<sup>1</sup> [ref. 20 en 23].

De uitstoot (uitademen genoemd) vindt alleen plaats tijdens het opwarmen van de tank (door zonnestraling en omgevingswarmte). Het uitademen duurt gemiddeld ca. zes uur per dag (gemiddeld van ongeveer 08.00 tot 14.00 uur).

**4.2.1 Ademverliezen**

De ademverliezen worden berekend met:

$$L_y = 0,2 \cdot \left( \frac{P}{101,3 - P} \right)^{0,68} \cdot D^{1,73} \cdot H^{0,51} \cdot T^{0,5} \cdot F_p \cdot C \cdot M$$

- $L_y$  = ademverlies [kg/jaar]
- $P$  = dampspanning [kPa] (zie paragraaf 4.1.2 voor de corresponderende temperatuur)
- $D$  = tankdiameter [m]
- $H$  = gemiddelde vrije damphoogte [m]
- $T$  = dagelijks temperatuurverschil [°C], zie bijlage B1
- $F_p$  = isolatie- en verffactor [-], zie bijlage B3
- $C$  = correctiefactor voor tanks met  $D < 9$  m [-], zie bijlage B4
- $M$  = molecuulgewicht van de damp [g/mol]

**Tankvormen****A. Kegelvormige dak**

Voor tanks met kegelvormig (conisch) dak is de vrije damphoogte (H) gelijk aan de vrije hoogte van het cilindrische gedeelte plus 1/3 van de hoogte van het conische dak. Indien de hoogte van het conische gedeelte niet bekend is, kan de volgende formule worden gebruikt:

$$H_R = S_r \cdot R_s$$

<sup>1</sup> De methode is weliswaar overgenomen van EPA [ref. 20, vergelijking 4-1] maar is niet de door EPA aanbevolen methode [ref. 23]. Met de aanbevolen methode worden de emissies van met name ruwe aardolie beter geschat maar deze opslag vindt in Nederland niet in tanks met een vast dak plaats. EPA heeft de aanbevolen en de alternatieve methode overgenomen van API [ref. 4 (second edition) respectievelijk ref. 3 (first edition)].



- $H_R$  = hoogte van het conische gedeelte van het tankdak [m]  
 $S_r$  = hellingshoek [m/m] (indien onbekend: 0,0625m/m)  
 $R_S$  = straal van de tankwand [m]

### B. Koepelvormig dak

Voor tanks met een koepelvormig dak ("dome") is de vrije damphoogte (H) gelijk aan de vrije hoogte van het cilindrische gedeelte plus een equivalent hoogte  $H_{RO}$  die als volgt wordt berekend:

$$H_{RO} = H_R \left( 0,5 + \frac{1}{6} \cdot \left[ \frac{H_R}{R_S} \right]^2 \right)$$

- $H_{RO}$  = dakhoogte equivalent aan het volume onder het dak [m]  
 $H_R$  = hoogte van het koepelgedeelte [m]  
 $R_S$  = straal van de tankwand [m]

$$H_R = R_R - \sqrt{(R_R^2 - R_S^2)}$$

$R_R$  = straal van de koepel [m]; gebruikelijk tussen 0,8 tot 1,2 keer de tankdiameter

Indien de straal van het koepeldak gelijk is aan de tankdiameter of indien deze onbekend is, kan gerekend worden met de volgende waarden:

$$H_{RO} = 0,137 \cdot R_S$$

### C. Horizontale opslagtank

De ademverliezen van een cilindervormige horizontale (liggende) opslagtank worden berekend alsof het een verticale (staande) tank is met dezelfde diameter en een omgerekende (equivalente) vrije damphoogte. De equivalente vrije damphoogte is te berekenen door de lengte van de liggende opslagtank te vermenigvuldigen met de factor  $C_2$ . De factor  $C_2$  kan aan de hand van de grafiek van bijlage B2 worden bepaald voor de betreffende verhouding tussen de vrije damphoogte en de tankdiameter.

Indien de tank half gevuld is, kan een andere werkwijze worden gevolgd, waarbij een omgerekende (effectieve) diameter en vrije damphoogte worden berekend. De effectieve vrije damphoogte bedraagt de helft van de echte tankdiameter. De effectieve diameter wordt bepaald door de vloeistofoppervlakte van de liggende tank om te rekenen naar een staande tank.

De vloeistofoppervlakte van een halfgevlude liggende tank komt bij benadering overeen met de lengte keer de diameter. Voor een staande tank is de overeenkomstige diameter dan:

$$D_e = \sqrt{\frac{L \cdot D}{0,785}}$$

- $D_e$  = effectieve tankdiameter [m]  
 $L$  = lengte van de tank [m]  
 $D$  = werkelijke tankdiameter [m]  
 0,785 staat voor  $\pi/4$

Voor ondergrondse horizontale tanks wordt aangenomen dat er geen ademverliezen optreden ( $L_y$  derhalve = 0) doordat de bodem warmte-isolerend werkt. Voor de verdrijvingsverliezen hoeven geen correcties uitgevoerd te worden [ref. 23].

### Verwarmde tank

De berekeningsformule is opgesteld voor onverwarmde opslagtanks. In vergelijking met een onverwarmde tank, treden er bij een verwarmde tank twee tegengestelde effecten op: enerzijds is het dag-nachttemperatuurverschil van een verwarmde tank kleiner, anderzijds is de gemiddelde dampdichtheid in een verwarmde tank groter. In de meeste gevallen zijn de ademverliezen van een verwarmde tank wat lager.

Voor een globale schatting van de ademverliezen kan de algemene berekeningswijze worden gebruikt. Voor een nauwkeurigere schatting wordt de herziene API/EPA methode aanbevolen (zie bijlage B9).

#### 4.2.2 Verdrijvingsverliezen

Bij het vullen van de tanks wordt de damp boven de vloeistof uitgedreven. Algemeen geldt:

$$L_w = K_t \cdot \frac{P \cdot M}{8,31 \cdot T} \cdot V \cdot S$$

$L_w$  = uitdrijvingsverlies [kg/jaar]

$K_t$  = doorzetcorrectiefactor [-]; maat voor de verzadigingsgraad van de damp:

Indien de jaardoorzet (turn-over) 36 keer de tankinhoud of minder bedraagt, is  $K_t = 1$

Indien de jaardoorzet (turn-over) meer dan 36 keer de tankinhoud bedraagt:

$$K_t = \frac{180 + N}{6N} \text{ met } N = \text{jaardoorzet/tankinhoud (turnover) [-]}$$

$P$  = dampspanning [kPa] (zie paragraaf 4.1.2 voor de corresponderende temperatuur)

$M$  = molecuulgewicht van de damp [g/mol]

$T$  = temperatuur van de damp (opslagtemperatuur) [K]

8,314 is de ideaal-gasconstante  $R$  [J/mol.K]

$V$  = volume verpompte vloeistof [m<sup>3</sup>/jaar]

$S$  = verzadigingsfactor [-]

#### Verzadigingsfactor S

De verzadigingsfactor is afhankelijk van al dan niet schoonmaken van de tanks en van de vulwijze. Indien de tank niet is schoongemaakt, is de verzadigingsfactor ook van de aanwezige damp afhankelijk. De emissies dienen te worden berekend voor de kenmerkende situatie ten aanzien van de situatie voor het vullen (b.v. 90% van de tijd niet schoongemaakte gevuld geweest met licht product en 10% van de tijd schoon en dampvrij gemaakt). De kenmerkende situatie dient te zijn vastgelegd overeenkomstig de indeling van de verzadigingsfactoren. De verzadigingsfactoren zijn in de onderstaande tabel aangegeven.

Tabel 4.2 Verzadigingsfactoren voor de verdrijvingsverliezen.

Toestand voor het vullen	Tankhoogte	Verzadigingsfactor S [-]
Niet schoongemaakte tank gevuld (geweest) met licht product (dampspanning > 10 kPa)	Niet van toepassing	1
Schone dampvrije tank of een tank gevuld geweest met zwaar product (dampspanning < 10 kPa)	Meer dan 8 m	0,1
Schone dampvrije tank of een tank gevuld geweest met zwaar product (dampspanning < 10 kPa)	Niet hoger dan 8 m	0,3

### 4.3 Opslagtank met vast dak en ademventiel

Ademventielen beperken het ademverlies. In enkele gevallen wordt het ademverlies geheel voorkomen. De totale emissie van de opslagtank is de som van het verdrijvingsverlies en het beperkte ademverlies. Voor beide verliezen is er een afzonderlijke berekeningsmethode. De berekeningsmethode voor tanks met een vast dak en ademventielen is overgenomen van EPA [ref. 23] met een aanpassing die in [ref. 27] is beschreven.

Een typische afstelling van de ademventielen is een onderdrukinstelling die ongeveer een derde van de overdrukinstelling bedraagt. Kenmerkende waarden zijn -0,6 kPa voor onderdrukventielen en +2,0 kPa voor

overdrukventielen.

#### 4.3.1 Ademverliezen

De ademverliezen zijn nul indien de afsteldruk van het overdrukventiel ( $P_2$ ) voldoet aan:

$$P_2 \geq P_{2, \text{vereist}} = 1,1 \cdot (P_a + P_1 - p_1^*) - (P_a - p_2^*)$$

$P_1$  = openingsdruk van het vacuümventiel [kPa overdruk] (negatief getal)

$P_2$  = openingsdruk van het overdrukventiel [kPa overdruk]

$P_{2, \text{vereist}}$  = minimale openingsdruk van het overdrukventiel waarbij de tank niet meer ademt [kPa overdruk]

$p_1^*$  = absolute dampspanning bij 32 °C [kPa]

$p_2^*$  = absolute dampspanning bij 38 °C [kPa]

$P_a$  = atmosferische druk [kPa]

Indien  $P_2$  lager is ingesteld dan  $P_{2, \text{vereist}}$  ademt de opslagtank. De ademverliezen ( $L_y$ ) worden dan bepaald door de ademverliezen van een opslagtank zonder ademventielen (zie paragraaf 4.2.1) te vermenigvuldigen met een correctiefactor ( $j$ ). De correctiefactor is afhankelijk van de instellingen van het ademventiel en kan worden afgeleid uit de grafiek van bijlage B5.

De correctiefactor  $j$  en de minimale overdrukafstelling  $P_2$  die vereist voor het voorkomen van ademen zijn voor een aantal veel voorkomende stoffen gegeven in de volgende tabel.

*Tabel 4.3 Correctiefactor  $j$  voor ademventielen met een afstelling van +2 kPa (overdrukventiel) en -0,6 kPa (onderdrukventiel) en de minimale overdrukafstelling  $P_2$  die vereist is voor het voorkomen van ademen.*

Stof	Dampspanning bij 20°C [kPa]	Molecuulgewicht van de damp [g/mol]	Factor $j$ [-]	$P_{2, \text{vereist}}$ [kPa overdruk]
Benzine	30,0	60,0	0,636	13,50
Tolueen	2,9	92,1	0,561	10,72
Benzeen	10,0	78,1	0,619	12,79
Nafta	20,0	75,0	0,670	15,10
Kerosine	0,3	130,0	0,521	9,51
Ethanol	5,85	46,1	0,617	12,73
Vinylacetaat	12,0	86,1	0,640	13,67
Ruwe aardolie	40,0	53,8	0,608	12,36

### 4.3.2 Verdrijvingsverliezen

Indien een opslagtank met een ademventiel nog kan ademen (zie vorige paragraaf) worden de verdrijvingsverliezen niet beperkt. De verdrijvingsverliezen kunnen volgens de methode uit paragraaf 4.2.2 worden bepaald.

Indien een opslagtank met een ademventiel niet meer kan ademen ( $P_2 > P_{2, \text{vereist}}$  zie vorige paragraaf) worden de verdrijvingsverliezen wel beperkt. De verdrijvingsverliezen worden berekend<sup>1</sup> door de berekende verdrijvingsverliezen van een opslagtank zonder ventielen (zie paragraaf 4.2.2) te vermenigvuldigen met factor f:

$$f = \frac{P_a + P_1 - p}{P_a + \Delta P_2 - p}$$

$P_a$  = atmosferische druk [kPa]

$P_1$  = openingsdruk van het onderdrukventiel [kPa overdruk] (negatief getal)

$p$  = dampspanning bij opslagtemperatuur [kPa absoluut]

$\Delta P_2$  = verschil tussen de ingestelde openingsdruk van het overdrukventiel en de minimale openingsdruk van het overdrukventiel waarbij de tank niet meer ademt [kPa overdruk]:

$$\Delta P_2 = P_2 - P_{2, \text{vereist}}$$

$P_2$  = openingsdruk van het overdrukventiel [kPa overdruk]

$P_{2, \text{vereist}}$  = minimale openingsdruk van het overdrukventiel waarbij de tank niet meer ademt [kPa overdruk]; zie paragraaf 4.3.1

## 4.4 Opslagtanks met een uitwendig drijvend dek

Aangezien bij een opslagtank met een drijvend dek geen vrije damp ruimte aanwezig is, zijn er in principe geen ademverliezen of verdrijvingsverliezen. De verliezen betreffen uitdampings- en uitpompverliezen. De uitdampingsverliezen worden veroorzaakt door lekkage langs dekaafdichtingen (dekrand, dekdooervoeringen en naden). Uitpompverlies ontstaat bij het legen van de opslagtank (uitpompen) waarbij het dek zakt en vloeistof aan de wand blijft kleven. De methode<sup>2</sup> voor tanks met een drijvend dek is overgenomen van API [ref. 6].

In de praktijk komt het geregeld voor dat op tanks met een uitwendig drijvend dek later een vast dak wordt geplaatst. Voor deze constructie kan de methode voor een tank met een inwendig drijvend dek worden gevolgd (paragraaf 4.5)

De berekeningsmethode voor deze verliezen volgt in afzonderlijke paragrafen. De totale emissie van de opslagtank is de som van de uitdampings- en uitpompverliezen.

<sup>1</sup> Deze berekening van de correctiefactor f is overgenomen uit [ref. 27] en wijkt af van algemene methode AP42 [ref. 23].

<sup>2</sup> De formule is vereenvoudigd ten opzichte van de oorspronkelijke bron; de emissies door de naden in het dek zijn verwaarloosd evenals de emissies tijdens windstilte. In de oorspronkelijke bron is aangegeven dat deze verwaarlozing gerechtvaardigd is.

#### 4.4.1 Uitdampingsverliezen

De uitdampingverliezen<sup>1</sup> bestaan uit de uitdamping door:

- de spleet tussen het drijvende dek en de tankwand ( $F_r$  in de volgende formule);
- de spleet tussen het drijvende dek en de steunkolommen in de tank ( $F_f$  in de volgende formule).

$$L_u = (F_r + F_f) \cdot P^* \cdot M \cdot K_c$$

$L_u$  = gewichtsverlies door uitdamping [kg/jaar]

$F_r$  = uitdampingsverlies tussen drijvend dek en tankwand [kmol/jaar]

$$F_r = 1,489 \cdot K_{rb} \cdot (2,23 \cdot v)^n \cdot D$$

$K_{rb}$  = windafhankelijke dekrandfactor [pound-moles/((miles/hr)<sup>n</sup>.foot.jaar)], zie bijlage B6.

$n$  = windafhankelijke dekrandexponent [-], zie bijlage B6.

$v$  = gemiddelde windsnelheid [m/s], zie bijlage B1

$D$  = tankdiameter [m]

1,489 is factor voor het omrekenen van pounds en feet naar kg en m

2,23 is de factor voor het omrekenen van mile/h naar m/s

$F_f$  = uitdampingsverlies bij de doorvoeringen in het drijvend dek [kmol/jaar] (indien er geen dekdoorvoeringen zijn, vervalt deze term)

$$F_f = 0,454 \cdot \sum_{i=1}^n N_{fi} \cdot K_{fbi} \cdot (2,23 \cdot 0,7 \cdot v)^m$$

$K_{fbi}$  = specifieke windafhankelijke dekdoorvoeringsfactor [pound-moles/((miles/hr)<sup>m</sup>.jaar)], zie bijlage B7

$m$  = windafhankelijke dekdoorvoeringsfactor [-], zie bijlage B7

$n$  = aantal steunkolommen [-], zie bijlage B7

$N_{fi}$  = aantal steunkolommen van een bepaalde soort, zie bijlage B7

$v$  = gemiddelde windsnelheid [m/s], zie bijlage B1

0,454 is factor voor het omrekenen van pounds naar kg

2,23 is de factor voor het omrekenen van mile/h naar m/s

0,7 is de windcorrectiefactor [-]

$$P^* = \frac{P/P_a}{\left(1 + \sqrt{(1 - P/P_a)}\right)^2}$$

$P$  = dampspanning [kPa] (zie paragraaf 4.1.2 voor de corresponderende temperatuur)

$P_a$  = atmosferische druk [101,3 kPa]

$M$  = molecuulgewicht van de damp [g/mol], voor ruwe aardolie (crude)  $M = 60$

$K_c$  = Productfactor [-]; 0,4 voor ruwe aardolie (crude), 1 voor alle overige stoffen

<sup>1</sup> De lekkage door spleten in het dek is verwaarloosd aangezien een uitwendig drijvend dek uit een gelast stalen dek bestaat waar geen dampen doorheen lekken.

#### 4.4.2 Uitpompverlies

$$L_p = 0,00683 \cdot \frac{C \cdot W \cdot V}{D}$$

- $L_p$  = uitpompverlies [kg/jaar], (samenstelling van damp gelijk aan die van de vloeistof)  
 $D$  = tankdiameter [m]  
 $W$  = soortelijke massa van de vloeistof [kg/m<sup>3</sup>]  
 $V$  = doorzet [m<sup>3</sup>/jaar]  
 $C$  = wandfactor [-], zie volgens tabel 4.4; indien de toestand van de tankwand niet bekend is, neem voor benzine en chemicaliën  $C = 0,0015$  en voor ruwe aardolie  $C = 0,006$

Tabel 4.4 Wandfactor C [-].

Product	Toestand van de tankwand:	
	Lichte roest of epoxylaag	Zware roest
Benzine	0,0015	0,0075
Ruwe aardolie	0,0060	0,030

#### 4.4.3 Verdrijvingsverliezen

Een drijvend dek kan niet tot op de bodem van de opslagtanks zakken. Onder meer vanwege onderhoud kent het dek een ruststand, veelal op ca. 2 m hoogte. Indien de tank gelegegd wordt tot onder de ruststand ontstaat er een dampruimte. Bij het vullen van de tank zal deze damp worden uitgedreven. Deze verdrijvingsverliezen dienen met de volgende formule te worden berekend.

$$L_w = \frac{P \cdot M}{8,31 \cdot T} \cdot n \cdot h_{rust} \cdot \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4}\right) \cdot S$$

- $L_w$  = uitdrijvingsverlies [kg/jaar]  
 $P$  = dampspanning [kPa] (zie paragraaf 4.1.2 voor de corresponderende temperatuur)  
 $M$  = molecuulgewicht van de damp [g/mol]  
 $T$  = temperatuur van de damp [K]  
 $8,314$  is de ideaal-gasconstante  $R$  [J/mol.K]  
 $n$  = aantal keer dat het niveau lager is geweest dan de ruststand van het drijvend dek [1/jaar]  
 $h_{rust}$  = hoogte van de onderkant van het dek in ruststand; indien niet bekend 2 m [m]  
 $D$  = tankdiameter [m]  
 $S$  = verzadigingsfactor [-]; gelijk aan 1 tenzij een schone dampvrije tank wordt gevuld of een tank die eerder gevuld was met een zwaar product waarvoor een factor 0,3 kan worden aangehouden

#### 4.5 Opslagtank met een inwendig drijvend dek

Evenals bij een opslagtank met een uitwendig drijvend dek zijn er in principe geen ademverliezen of verdrijvingsverliezen en is er alleen sprake van uitdampings- en uitpompverliezen. Wel zijn er een aantal verschillen. In vergelijking met tanks met een uitwendig drijvend dek heeft de wind geen invloed op de emissies. In plaats van een gelast stalen dek, zoals bij uitwendig drijvende dekken gebruikelijk is, bestaat de constructie van een inwendig drijvend dek veelal uit geklonken aluminiumpanelen waar dampen doorheen lekken. De methode<sup>1</sup> voor tanks met een drijvend dek is overgenomen van API [ref. 6].

Gelaste dekken komen ook voor maar zijn bijna altijd van oorsprong uitwendig drijvend dekken waar later een dak overheen is gebouwd. Een nieuwe ontwikkeling zijn inwendig drijvend dekken die met aluminiumfolie afgedicht zijn. Beide constructies kunnen als dampdicht worden beschouwd. Er treden geen de uitdampverliezen door de naden van het dek op.

<sup>1</sup> De formule is vereenvoudigd ten opzichte van de oorspronkelijke bron; de uitpompverliezen via de kolommen zijn verwaarloosd.

De berekeningsmethode voor deze verliezen volgt in afzonderlijke paragrafen. De totale emissie van de opslagtank is de som van de uitdampings- en uitpompverliezen.

#### 4.5.1 Uitdampingsverliezen

De uitdampingverliezen bestaan uit de uitdamping door:

- de spleet tussen het drijvende dek en de tankwand ( $F_r$  in de volgende formule)
- de spleet tussen het drijvende dek en de steunkolommen in de tank ( $F_f$  in de volgende formule)
- de spleten in het dek ( $F_d$  in de volgende formule).

$$L_u = (F_r + F_f + F_d) \cdot P^* \cdot M \cdot K_c$$

$L_u$  = uitdampingsverlies [kg/jaar]

$F_r$  = uitdampingsverlies tussen drijvend dek en tankwand [kmol/jaar]

$$F_r = 1,489 \cdot K_{ra} \cdot D$$

$K_{ra}$  = windstijle-dekrandfactor [pound-moles/feet.jaar], zie bijlage B6

$D$  = tankdiameter [m]

1,489 is de factor voor het omrekenen van pounds en feet naar kg en m

$F_f$  = uitdampingsverlies bij doorvoeringen in het drijvend dek [kmol/jaar]

$$F_f = 0,454 \cdot \sum_{i=1}^n N_{fi} \cdot K_{fai}$$

$K_{fai}$  = specifieke windstijle-dekdoorvoeringsfactor [pound-moles/jaar], zie bijlage B7.

$n$  = aantal dekdoorvoeringsoorten [-], zie bijlage B7

$N_{fi}$  = aantal dekvoeringen van een bepaalde soort, zie bijlage B7

0,454 is factor voor het omrekenen van pounds naar kg

$F_d$  = uitdampverlies door de naden van het dek [kmol/jaar], deze term geldt alleen voor een geklonken/geschroefd dek

$$F_d = 1,489 \cdot 0,34 \cdot S_d \cdot D^2$$

$S_d$  = verhouding tussen de totale naadlengte en het oppervlak van het drijvend dek [ $m/m^2$ ], indien  $S_d$  niet bekend is, kan de waarde voor verschillende dektypen bepaald worden uit de tabel in bijlage B8

$D$  = tankdiameter [m]

1,489 is de factor voor het omrekenen van pounds en feet naar kg en m

0,34 is de deksnaadverliesfactor [pound-moles/feet.jaar]

$$P^* = \frac{P/P_a}{\left(1 + \sqrt{(1 - P/P_a)}\right)^2}$$

$P$  = dampspanning [kPa] (zie paragraaf 4.1.2 voor de corresponderende temperatuur)

$P_a$  = atmosferische druk [101,3 kPa]

$M$  = molecuulgewicht van de damp [g/mol], voor crude  $M = 60$

$K_c$  = Productfactor [-]; 0,4 voor ruwe aardolie crude (1,0 voor alle overige stoffen)

#### 4.5.2 Uitpompverlies

Het uitpompverlies ontstaat bij het legen van de tank en betreft de vloeistoffilm die achterblijft op de binnenkant van de tankwand en aan de steunkolommen door het inwendig dek (voor zo ver aanwezig). De vloeistof verdampt en de damp wordt uitgedreven tijdens het vullen.

$$L_p = 0,00683 \cdot \frac{C \cdot W \cdot V}{D} \cdot \left( 1 + \frac{N_c \cdot F_c}{D} \right)$$

- $L_p$  = gewichtsverlies door uitpompen [kg/jaar], samenstelling van de vloeistof en de damp gelijk  
 $D$  = tankdiameter [m]  
 $C$  = wandfactor volgens tabel 4.4  
 $W$  = soortelijke massa van de vloeistof [kg/m<sup>3</sup>]  
 $V$  = doorzet [m<sup>3</sup>/jaar]  
 $N_c$  = aantal kolommen door het drijvende dek (ter ondersteuning van het vaste dak) [-]  
 (als dit aantal niet bekend is, kan  $N_c$  bepaald worden aan de hand van de tabel in bijlage B7)  
 $F_c$  = effectieve kolomdiameter (kolomomtrek gedeeld door  $\pi$ ) [m]; indien onbekend, stel  $F_c = 0,3$  m

#### 4.5.3 Verdrijvingsverliezen

Een drijvend dek kan niet tot op de bodem van de opslagtanks zakken. Onder meer vanwege onderhoud kent het dek een ruststand, veelal op 2 m hoogte. Indien de tank geleegd wordt tot onder de ruststand ontstaat er een dampruimte. Bij het vullen van de tank zal deze damp worden uitgedreven. Deze verdrijvingsverliezen dienen te worden berekend volgens de in paragraaf 4.4.3 aangegeven berekeningsformule.

#### 4.6 Schoonmaken van opslagtanks

De uitstoot naar de lucht bij het schoonmaken van een opslagtank wordt berekend als het verdrijvingsverlies met volledig verzadigde damp (zie ook paragraaf 4.2.2).

$$L_w = \frac{P \cdot M}{8,31 \cdot T} \cdot V \cdot S$$

- $L_w$  = uitdrijvingsverlies [kg]  
 $P$  = dampspanning [kPa] (zie paragraaf 4.1.2 voor de corresponderende temperatuur)  
 $M$  = molecuulgewicht van de damp [g/mol]  
 $T$  = temperatuur van de damp [K]  
 $8,314$  is de ideaal-gasconstante  $R$  [J/mol.K]  
 $V$  = verdreven gasvolume; voor een vast-daktank gelijk aan het totale tankvolume en voor een drijvend-dektank gelijk aan het volume onder het dek in zijn laagste stand [m<sup>3</sup>]  
 $S$  = verzadigingsfactor [-]; gelijk aan 1 tenzij een schone dampvrije tank wordt gevuld of een tank die eerder gevuld was met een zwaar product waarvoor een factor 0,3 kan worden aangehouden

Het uitdrijvingsverlies vindt in 1 uur plaats.



## 5 OVERIGE PROCESSEN

### 5.1 Koelwatersystemen

Emissie naar de lucht kan optreden via gespuid koelwater, bij voorbeeld door toegevoegde chemicaliën of door lekkage van procesproducten naar het koelwater. Lekkage in het koelwatersysteem vindt voornamelijk plaats via de warmtewisselaars en condensatoren, deze dienen dan ook goed onderhouden te worden om de kans op lekkage te minimaliseren.

Indien een koelwatercirculatiesysteem wordt toegepast, is het mogelijk dat een gedeelte van de bovengenoemde lekkage via de koeltoren naar de lucht wordt geëmitteerd. De gerapporteerde waarden lopen sterk uiteen. In navolging van EPA [ref. 21] worden de volgende waarden voor de emissie van koolwaterstoffen aanbevolen:

- 0,7 g/m<sup>3</sup> circulerend koelwater indien het koelwatersysteem niet regelmatig wordt gecontroleerd op lekkage;
- 0,08 g/m<sup>3</sup> circulerend koelwater indien het koelwatersysteem regelmatig wordt gecontroleerd op lekkage.

Onder regelmatige controle wordt verstaan een automatische detectie op de aanwezigheid van koolwaterstoffen of een controle door een operator van minimaal 1 keer per dag. Indien de producten goed in water oplossen wordt de emissie naar de lucht via gespuid koelwater verwaarloosbaar verondersteld en hoeft derhalve niet te worden beschouwd. De emissies van koelwatersystemen dienen alleen voor slecht en niet in water oplosbare stoffen te worden berekend (respectievelijk 0,1-1 g/100ml en < 0,1 g/100ml conform de "chemiekaarten" [ref. 19]).

### 5.2 Afvalwaterbehandeling

De belangrijkste processen die een bron van luchtverontreiniging kunnen vormen bij de afvalwaterbehandeling zijn open olie-waterscheiders, strippers en verdamper.

#### Strippers en verdamper

De gangbare praktijk voor strippers en verdamper is dat de vrijkomende dampen in een volgende processtap worden behandeld. Om deze reden en omdat de berekeningen erg complex zijn worden de emissies vaak niet berekend. Voor de berekening van de emissies van afvalwaterbehandelingsystemen heeft de US EPA een berekeningsmodel ontwikkeld en als vrij programma op internet beschikbaar gesteld (<http://www.epa.gov/ttnchie1/software/water/index.html>).

#### Oliewaterscheiders

De emissies van oliewaterscheiders moeten altijd worden berekend. De meeste olie-waterscheiders in Nederland zijn intussen overkapt, wat de verdamping van koolwaterstoffen sterk beperkt. Voor olie-waterscheiders kan naast het US EPA-programma ook een vereenvoudigde aanpak worden gevolgd.

Het betreft hier emissies via gespuid water (a) en emissies vanaf het oppervlak naar de lucht (b).

- Het oliegehalte na de afscheider is ongeveer 30 ppm (afhankelijk van type afscheider) [ref. 10, pag. 18].
- De emissie E van olie-wateroppervlak naar lucht [ref. 9] kan berekend worden met de volgende formule:

$$E = 10^{-4} \cdot r \cdot V_{\text{olie}} \cdot (5,74 \cdot T_o - 5,15 \cdot T_a + 38,6 \cdot T_s + 33,6)$$

- E = emissie naar de lucht [kg/h]
- r = vloeistofdichtheid van de koolwaterstoffen die in oliewaterscheider verdampen (voor een raffinaderij in het algemeen 660 kg/m<sup>3</sup>)
- V<sub>olie</sub> = hoeveelheid olie naar de afscheider [m<sup>3</sup>/h]
- T<sub>o</sub> = omgevingstemperatuur [°C]
- T<sub>a</sub> = 10% kookpunt bij atmosferische destillatie van de olie [°C], uitgedrukt als True Boiling Point (voor een raffinaderij in het algemeen 150 °C)
- T<sub>s</sub> = temperatuur van het instromende water [°C]

Bij het berekenen van de emissie uit oliewaterscheiders volgens bovenstaande formule gelden de volgende punten.

#### Olie naar de afscheider ( $V_{\text{olie}}$ )

Het oliegehalte in het water naar de afscheider heeft invloed op de emissie. Indien de samenstelling van het proceswater wisselt, kan met een gemiddelde hoeveelheid olie per  $\text{m}^3$  water worden gerekend. Indien de wisselende samenstelling samenhangt met de seizoenen moet de kenmerkende samenstelling per seizoen worden beschouwd.

#### Productspecificatie (vluchtigheid, dichtheid) ( $T_a, r$ )

De emissies worden ook bepaald door de vluchtigheid (kookpunt) en de dichtheid van de koolwaterstoffen. Als het exacte kookpunt en de dichtheid niet bekend zijn kunnen typische waarden voor een raffinaderij gebruikt worden ( $150\text{ }^\circ\text{C}$  en  $660\text{ kg/m}^3$ ).

#### Temperatuur van het instromende water ( $T_s$ )

De temperatuur van het instromende olie-water-mengsel heeft een aanzienlijke invloed op de hoogte van de emissies. Bij wisselende instroomtemperatuur kan met de gemiddelde temperatuur per jaar worden gerekend. Ook hier geldt indien door wisselende samenstelling van het olie-watermengsel de emissies per seizoen worden beschouwd, moet ook de gemiddelde instroomtemperatuur per seizoen worden gebruikt.

#### Omgevingstemperatuur ( $T_o$ )

De omgevingstemperatuur heeft een matige invloed op de hoogte van de emissies. Omdat tussen emissies en omgevingstemperatuur een rechtevenredig verband bestaat, kan met de gemiddelde temperatuur per jaar worden gerekend. Indien door wisselende samenstelling van het olie-watermengsel de emissies per seizoen worden beschouwd, moet ook de gemiddelde omgevingstemperatuur per seizoen worden gebruikt.

#### Drijvende afdekking

Wanneer een oppervlak afgedekt is met een drijvende afdekking (bijvoorbeeld kunststofplaten) bedraagt de emissie 15% van de emissie volgens bovenstaande formule.

#### Overkapping

De emissie in geval van een oliewaterscheider met een overkapping wordt bepaald aan de hand van een concentratiebepaling in de dampruimte. Als de concentratie middels een meting wordt bepaald en de meter op hexaan is afgesteld, dient de gemeten volumeconcentratie te worden omgerekend met het molecuulgewicht van hexaan (=  $86\text{ kg/kmol}$ ) voor het bepalen van de massaconcentratie [ref. 1, pag. 656].

$$E = C \cdot V_{\text{damp ruimte}} \cdot a$$

E = emissie naar de lucht [kg/h]

C = concentratie [ $\text{kg/m}^3$ ] bij de procesomstandigheden

$V_{\text{damp ruimte}}$  = dampvolume onder de overkapping [ $\text{m}^3$ ]

a = ventilatievoud [1/h]; indien onbekend kan een ventilatievoud van 1 keer per uur worden aangehouden

### **5.3 Fakkels**

Er zijn nog maar weinig metingen verricht naar de emissies van fakkels. In het emissiehandboek van het Europees Milieuagentschap zijn laboratorium- en praktijkmetingen vermeld [ref. 12]. De waarden lopen uiteen van  $0,3$  tot ca.  $20\text{ g/m}^3$  gas naar de fakkel.

De onderstaande berekeningsmethode van fakkelemissies is afkomstig van de werkgroep afgasfakkels [ref.29]. De emissiefactoren bij fakkelverbranding worden ingedeeld in drie condities (groepen), afhankelijk van het verbrandingsproces. De drie fakkelcondities zijn in tabel 5.1 aangegeven, de emissiefactoren in tabel 5.2.

Tabel 5.1 Kenmerken van de fakkelcondities.

Kenmerk	Conditie A	Conditie B	Conditie C
Algemeen	Ongestoorde verbranding van beheersbare afgasstromen	Onvolledige verbranding	Geen verbranding; de waakvlammen branden niet en verbranding van de fakkelgassen is niet waarneembaar
Windsnelheid op fakkelhoogte (zie bijlage C)	≤10 m/s	>10 m/s en < 20 m/s	≥ 20 m/s
Roetvorming	roetvorming beperkt door stoominjectie	de stoominjectie niet aan en de vlam zichtbaar roet	-
Fakkelbelasting t.o.v. de ontwerpbelasting	≤10 %	> 10%	-
Warmte-inhoud (chemisch + voelbaar) van de afgassen	≥ 10.000 kJ/Nm <sup>3</sup>	> 6.000 kJ/Nm <sup>3</sup> en < 10.000 kJ/Nm <sup>3</sup>	≤ 6.000 kJ/Nm <sup>3</sup>

De fakkelemissies zijn afhankelijk van de fakkelbelasting, warmte-inhoud van de afgassen, windsnelheid op fakkelhoogte en al dan niet werkende stoominjectie. In bijlage C is het voorkomen van de windsnelheden volgens de drie fakkelcondities aangegeven voor verschillende fakkelhoogten en voor verschillende regio's.

Bij veel bedrijven wordt relatief vaak gefakkeld; bij andere slechts een enkele keer per jaar. Indien incidenteel wordt gefakkeld kunnen de emissies met de werkelijke omstandigheden worden berekend. Indien vaker wordt gefakkeld dient de verdeling tussen de fakkelcondities aannemelijk te worden gemaakt aan de hand van de volgende waarnemingen:

- aantal keer gefakkeld;
- aantal keer roetende vlam (maat voor conditie B);
- aantal keer geen verbranding (conditie C).

Indien geen gegevens beschikbaar zijn, zoals bij voorbeeld voor een milieu-effectrapport van een nieuwbouwproject, kan het volgende worden aangehouden: 90% voor conditie A, 9% voor conditie B en 1% voor conditie C.

Tabel 5.2 Emissiefactoren voor fakkels.

Stof	Conditie A	Conditie B	Conditie C
Koolmonoxide (CO, als deel C in fakkelgas)	1%	20%	
Koolwaterstoffen (als CH <sub>4</sub> , als deel C in fakkelgas)	0,1%	2%	
Zwaveloxiden (als SO <sub>2</sub> )	100%	100%	Fakkelgassen komen onverbrand in de lucht
Stikstofoxiden (als NO <sub>2</sub> )			
→ door gebonden stikstof in de brandstof	20%	10%	
→ door stikstof in de verbrandingslucht	9 g/GJ	4,5 g/GJ	
Roet (als deel C in fakkelgas)	0,03%	3%	

Een rekenvoorbeeld is in bijlage C gegeven.

## 5.4 Overige emissies

Naast de hiervoor beschreven processen zijn er nog verschillende processen in de chemische industrie, raffinaderijen en op- en overslagbedrijven waarbij emissies van koolwaterstoffen optreden. Deze emissies zijn over het algemeen beduidend kleiner. Voor deze emissies zijn geen algemene berekeningsmethoden gegeven. Het betreft storingen, opstarten, stoppen en reinigen.



## 6 LITERATUUR

- 1 Air pollution control district County of Los Angeles, "Air pollution engineering manual", 1967.
- 2 API, "Atmospheric Hydrocarbon Emissions from Marine Vessel Transfer Operations", API 2524A, second edition, September 1981, reaffirmed March 2001.
- 3 API, "Evaporation Loss from Fixed-Roof Tanks", Bulletin 2518, First Edition, American Petroleum Institute, June 1962.
- 4 API, "Evaporative Loss from Fixed-Roof Tanks", Bulletin 2518, Second Edition, American Petroleum Institute, October 1991.
- 5 API, "Impact Assessment of New Data On the Validity of American Petroleum Institute Marine Transfer Operation Emission Factors", API 2524, July 1992, reaffirmed 2001.
- 6 API, "Manual of Petroleum Measurements Standards: Chapter 19 - Evaporative Loss Measurement, Section 2-Evaporative Loss From Floating-Roof Tanks", First Edition, April 1997.
- 7 API, "Manual of Petroleum Measurements Standards: Chapter 19 - Evaporative Loss Measurement, Section 1-Evaporative Loss From Fixed-Roof Tanks", Third Edition, March 2002.
- 8 CEN WG 17 Subgroup on Piping Leaks, "Measurement of Fugitive Emissions of Vapours Generating from Equipment and Piping Leaks, CEN/TC264/WG17 N92, Working Document February 2004.
- 9 D.K. Litchfield, "Controlling odors and vapors from API separators", The Oil and Gas Journal, November 1, (1971), pag. 60-62.
- 10 Diverse auteurs, "Mens en milieu, zorg voor zuivere lucht"; Publikatie 17, Stichting toekomstbeeld der techniek.
- 11 EC-DGE/AEA Technology Environment, "Measures to Reduce Emissions of VOCs during Loading and Unloading of Ships in the EU", AEAT/ENV/R/0469; August 2001.
- 12 EMEP, "Atmospheric emission inventory guidebook, Volume III, second edition, Technical report No. 30, SNAP code 090206, Flaring in gas and oil extraction", 1996.
- 13 ICC Conferences, November 2000.
- 14 IMPEL, "Diffuse VOC emissions, emission estimation methods, emission reduction measures, licensing and enforcement practice", December 2000.
- 15 Infomil, "Nederlandse EmissieRichtlijn Lucht (NeR), hoofdstuk 3.7", Infomil, April 2003.
- 16 KNMI, "Frequentietabel van potentiële windsnelheid (Uurgemiddelde windsnelheden), Middeling over de jaren 1971-2000", KNMI.
- 17 Projectgroep Revisie Nationaal Model: Het Nieuwe Nationaal Model, "Model voor de verspreiding van luchtverontreiniging uit bronnen over korte afstanden", TNO Rapportnr. R 98/306; Infomil, 1998.
- 18 Recknagel-Sprenger, "Taschenbuch für Heizung, Lüftung, und Klimatechnik", pag. 115, Oldenbourg-München – Wien, 1968.

- 19 Stuurgroep Chemiekaarten, "Chemiekaarten, gegeven voor veilig werken met chemicaliën", NIA,TNO, VNCI, Samsom H.D. Tjeenk Willink, jaarlijkse uitgave.
- 20 US EPA, "Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP-42), background document of section 7.1, Organic Liquid Storage Tanks", September 1997.
- 21 US EPA, "Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP-42), section 5, Petroleum industry", September 1995, p. 5.1-13.
- 22 US EPA, "Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP-42), section 5.2, Transportation and marketing of petroleum liquids", September 1995.
- 23 US EPA, "Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP-42), section 7.1, Organic Liquid Storage Tanks", September 1997.
- 24 US EPA, "Protocol for equipment leak emission estimates; EPA –453/R-95-017", November 1995. Dit document bevat ook het meetprotocol 'Reference Method 21'.
- 25 US EPA, "Reference Method 21, Determination of Volatile Organic Compound Leaks", EMTIX M-21, 2 September 1993 (Ook opgenomen in ref. 24).
- 26 VDI, "Blatt 1; Emissionsbestimmung bei diffusen Quellen, Grundlagen", Entwurf, VDI-4285, September 2002.
- 27 VROM, "Emissiefactoren, lekverliezen van apparaten en verliezen bij op- en overslag", Publicatiereeks Emissieregistratie, nr. 8, april 1993.
- 28 VROM, "Emissiefactoren, lekverliezen van apparaten en verliezen bij op- en overslag", Rapportagereeks MilieuMonitor, nr. 1, oktober 2001.
- 29 Werkgroep Afgasfakkels, "Emissies ten gevolge van de verbranding in afgasfakkels", Derde Interimrapport, Ref. 81-01478, januari 1981.

**Relevante internetsites:**

API	<a href="http://www.api.org">http://www.api.org</a>
Concawe	<a href="http://www.concawe.be/org">http://www.concawe.be/org</a>
IMPEL	<a href="http://europa.eu.int/comm/environment/impel/vocre.pdf">http://europa.eu.int/comm/environment/impel/vocre.pdf</a>
KNMI	<a href="http://www.knmi.nl/product">http://www.knmi.nl/product</a>
US EPA-AP42	<a href="http://www.epa.gov/ttn/chief">http://www.epa.gov/ttn/chief</a>
VDI	<a href="http://www.vdi.de">http://www.vdi.de</a>

## **Bijlage A – Verlading**

- A1 Dampspanning van zuivere vloeistoffen en vloeistofmengsels
- A2 Dampspanning van aardolieproducten
- A3 Dampspanning van ruwe aardolie
- A4 Emissie bij het laden van ballastwater in producttanks

## A1 Dampspanning van zuivere vloeistoffen en vloeistofmengsels

De dampspanning en het molecuulgewicht zijn twee belangrijke parameters van de verladingsformules. Voor zuivere stoffen zijn in de literatuur eenduidige waarden beschikbaar.

De volgende formule (ook bekend als Antoines vergelijking) kan worden gebruikt voor het bepalen van de dampspanning van een zuivere vloeistof als functie van de temperatuur [ref. 23].

$$p_t = 0,1333 \cdot 10^{\left(A - \frac{B}{T+C}\right)}$$

$P_t$  = dampspanning [kPa] van vloeistof

$T$  = opslagtemperatuur [°C]

A, B en C zijn stofafhankelijke constanten (zie volgende tabel)

Stof	A [-]	B [°C]	C [°C]
Acetaldehyde	8,005	1600,017	291,809
Aceton	7,117	1210,595	229,664
Acetonitrile	7,119	1314,4	230
Acrylamide	11,2932	3939,877	273,16
Acrylonitrile	7,038	1232,53	222,47
Acrylzuur	5,652	648,629	154,683
Aniline	7,32	1731,515	206,049
Azijnzuur	7,387	1533,313	222,309
Azijnzuuranhydride	7,149	1444,718	199,817
Benzeen	6,905	1211,033	220,79
Blauwzuur	7,528	1329,5	260,4
Butanol (iso)	7,4743	1314,19	186,55
Butanol-(1)	7,4768	1362,39	178,77
Chloorbenzeen	6,978	1431,05	217,55
Chloroform	6,493	929,44	196,03
Chloropreen	6,161	783,45	179,7
Cresol (-m)	7,508	1856,36	199,07
Cresol (-o)	6,911	1435,5	165,16
Cresol (-p)	7,035	1511,08	161,85
Cumeen (isopropylbenzeen)	6,963	1460,793	207,78
Cyclohexaan	6,841	1201,53	222,65
Cyclohexanol	6,255	912,87	109,13
Cyclohexanon	7,8492	2137,192	273,16
Dichloorethaan (1,2)	7,025	1272,3	222,9
Dichloorethyleen (1,2)	6,965	1141,9	231,9
Diethyl(N,N)aniline	7,466	1993,57	218,5
Dimethylformamide	6,928	1400,87	196,43
Dimethylhydrazine (1,1)	7,408	1305,91	225,53
Dimethylfalaat	4,522	700,31	51,42
Dinitrobenzeen	4,337	229,2	-137
Dioxaan (1,4)	7,431	1554,68	240,34
Epichlorohydrine	8,2294	2086,816	273,16
Ethanol	8,321	1718,21	237,52
Ethanolamine (mono-)	7,456	1577,67	173,37
Ethylacetaat	7,101	1244,95	217,88
Ethylacrylaat	7,9645	1897,011	273,16
Ethylbenzeen	6,975	1424,255	213,21
Ethylchloride	6,986	1030,01	238,61
Ethylether	6,92	1064,07	228,8
Fenol	7,133	1516,79	174,95
Furaan	6,975	1060,87	227,74
Furfural	6,575	1198,7	162,8
Heptaan (iso)	6,8994	1331,53	212,41
Hexaan (normaal)	6,876	1171,17	224,41



Stof	A	B	C
	[-]	[°C]	[°C]
Hexanol (-1)	7,86	1761,26	196,66
Koolstofdioxide	6,942	1169,11	241,59
Koolstoftetrachloride	6,934	1242,43	230
Methanol	7,897	1474,08	229,13
Methylacetaat	7,065	1157,63	219,73
Methyleenchloride	7,409	1325,9	252,6
Methylethylketon	6,9742	1209,6	216
Methylisobutylketon	6,672	1168,4	191,9
Methylmethacrylaat	8,409	2050,5	274,4
Methylstyreen (alfa)	6,923	1486,88	202,4
Mierenzuur	7,581	1699,2	260,7
Morfoline	7,7181	1745,8	235
Naftaleen	7,01	1733,71	201,86
Nitrobenzeen	7,115	1746,6	201,8
Pentachloorethaan	6,74	1378	197
Picoline(-2)	7,032	1415,73	211,63
Propanol (iso)	8,117	1580,92	219,61
Propyleenglycol	8,2082	2085,9	203,540
Propyleenoxide	8,2768	1656,884	273,16
Pyridine	7,041	1373,8	214,98
Resorcinol	6,9243	1884,547	186,060
Styreen	7,14	1574,51	224,09
Tetrachloorethaan (1,1,1,2)	6,898	1365,88	209,74
Tetrachloorethaan (1,1,2,2)	6,631	1228,1	179,9
Tetrachloorethyleen	6,98	1386,92	217,53
Tetrahydrofuraan	6,995	1202,29	226,25
Tolueen	6,954	1344,8	219,48
Trichloor(1,1,2) trifluorethaan	6,88	1099,9	227,5
Trichloorethaan (1,1,1)	8,643	2136,6	302,8
Trichloorethaan (1,1,2)	6,951	1314,41	209,2
Trichloorethyleen	6,518	1018,6	192,7
Trichloorfluormethaan	6,884	1043,004	236,88
Trichloorpropaan (1,2,3)	6,903	788,2	243,23
Vinylacetaat	7,21	1296,13	226,66
Vinylideenchloride	6,972	1099,4	237,2
Xyleen (-m)	7,009	1426,266	215,11
Xyleen (-o)	6,998	1474,679	213,69

### Algemene aanpak voor een vloeistofmengsel

Voor mengsel van stoffen (bijvoorbeeld benzeen-tolueen) kan, indien geen vloeistofdamp evenwichtsgegevens bekend zijn, de dampspanning berekend worden uit de vloeistofsamenstelling met behulp van de wet van Raoult. Bij een mengsel is de dampspanning niet alleen afhankelijk van de temperatuur maar ook afhankelijk van de molverhouding van de verschillende stoffen. Volgens de wet van Raoult is de totale dampspanning bij een mengsel van zuivere vloeistoffen:

$$p_{\text{mengsel}} = \sum x_i \cdot p_i$$

$p_{\text{mengsel}}$  = dampspanning [kPa] van het vloeistofmengsel

$x_i$  = molfracties van vloeistof i [-]

$p_i$  = dampspanning [kPa] van vloeistof i

Bij voorbeeld voor een mengsel van twee vloeistoffen is  $p_{\text{mengsel}} = x_1 p_1 + x_2 p_2$  met  $x_1$  en  $x_2$  de molfracties en  $p_1$  en  $p_2$  de dampspanning van respectievelijk de zuivere vloeistof 1 en 2.

Daarbij zij opgemerkt dat de vluchtigste stof sneller uitdampt en bijgevolg de vloeistofsamenstelling wijzigt tijdens het verdampen. Met andere woorden, de omvang van de tank is ook van invloed op de dampspanning in de tank.

### **Aanpak voor aardolieproducten**

Voor aardolieproducten wordt de zogenaamde "Reid vapour pressure" (RVP) gebruikt om de dampspanning te bepalen. De RVP wordt bepaald in een beker met vastgelegde afmetingen bij een temperatuur van 37,8°C (100 °F). De RVP is bijgevolg onafhankelijk van de temperatuur. Een hoge waarde van de Reid dampspanning wil zeggen, dat er veel laagkokende componenten aanwezig zijn. De RVP en andere eigenschappen van aardolieproducten zijn bekend bij de oliemaatschappijen die deze stoffen verwerken.

Het afleiden van de werkelijke dampspanning op basis van de RVP is niet eenvoudig. Hiervoor kan gebruik worden gemaakt van tabellen en nomogrammen of vergelijkingen.

## A2 Dampspanning van aardolieproducten

### Benzine

De RVP van de in Europa verkochte benzine varieert van 54 tot 94 kPa [ref. 11; onderzoek uitgevoerd in 1994]. Globaal wordt onderscheid gemaakt tussen zomer- en winterbenzine met een gemiddelde dampspanning van respectievelijk 60 kPa en 90 kPa [ref.11] (kenmerkende waarden voor noord Europa).

### Dampspanning

Voor benzine kan de dampspanning worden berekend aan de hand van de volgende vergelijking [ref.11]:

$$p_t = p_R \cdot 10^{(7,047 \cdot 10^{-6} \cdot p_R \cdot T + 0,01392 \cdot T + 0,0002311 \cdot p_R - 0,5236)}$$

- $p_t$  = dampspanning [kPa] van het vloeistofmengsel
- $p_R$  = Reid vapour pressure [kPa]
- $T$  = producttemperatuur [°C]

Indien de helling van de destillatiecurve bekend is, kan het nomogram op de volgende bladzijde worden gebruikt of de volgende formule die middels regressie afgeleid is van het nomogram [ref. 23]:

$$p_t = 6,895 \cdot \exp \left\{ \left[ 0,7553 - \left( \frac{229,4}{T + 273,15} \right) \right] S^{0,5} \log \left( \frac{RVP}{6,895} \right) - \left[ 1,854 - \left( \frac{578,889}{T + 273,15} \right) \right] S^{0,5} + \left[ \left( \frac{1342,222}{T + 273,15} \right) - 2,013 \right] \log \left( \frac{RVP}{6,895} \right) - \left( \frac{4857,667}{T + 273,15} \right) + 15,64 \right\}$$

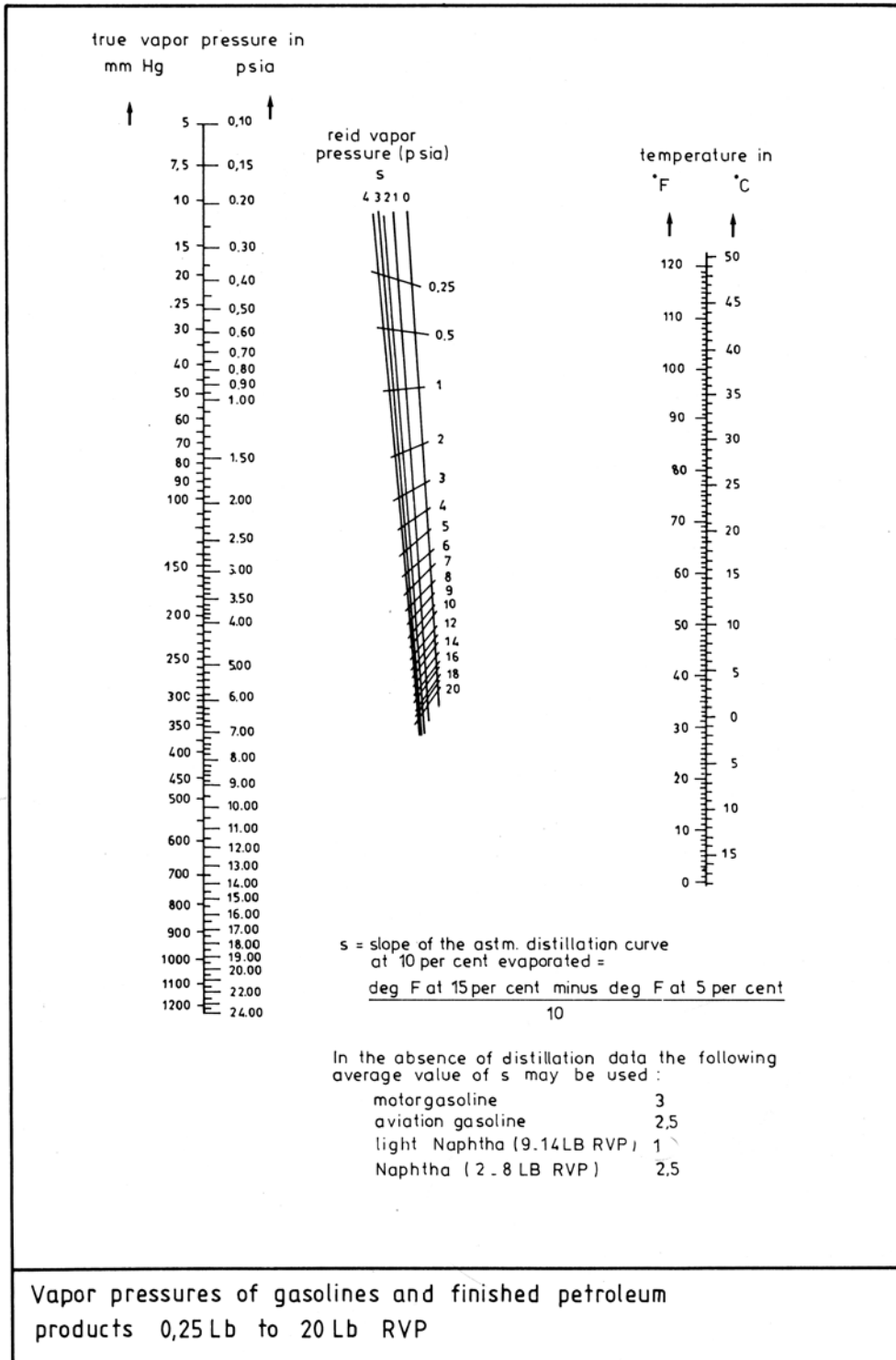
- $p_t$  = dampspanning [kPa]
- RVP = Reid vapour pressure [kPa]
- $T$  = opslagtemperatuur [°C]
- $S$  = helling<sup>1</sup> op ASTM-D86 destillatiecurve bij 10% verdampt [-]

**Let op!** In de formule betekent "exp" dat het grondtal het getal van Euler e (2,7183) is. De formule is dus een natuurlijke exponentiële functie met de basis e. De logaritme "log" heeft het grondtal 10.

De helling van de destillatiecurve is een maat voor het kooktraject (een groot kooktraject wil zeggen een mengsel van componenten met sterk een uiteenlopende kookpunten). Het 10% verdampt-punt is het kookpunt, waarbij 10% van het mengsel is verdampt. De helling van de curve wordt berekend uit de ASTM-D86 destillatiecurve. Kenmerkende waarden (°F/vol%) hiervoor zijn:

- Benzine: 3,0
- Kerosine: 2,5
- Lichte nafta: 3,5 (RVP van 14 tot 55 kPa; 2-8 psia)
- Nafta: 2,5 (RVP van 60 tot 100 kPa; 9-14 psia)
- Vliegtuigbenzine: 2,0

<sup>1</sup> Helling destillatiecurve =  $\frac{\text{°F bij 15\% verdampt} - \text{°F bij 5\% verdampt}}{10}$



Figuur A2 Nomogram voor aardolieproducten met een RVP van 1,7 tot 138 kPa (0,25 - 20 psia) [ref. 23].

Molecuulgewicht

Het gemiddelde molecuulgewicht kan eveneens worden afgeleid van de RVP. Hiervoor kan de volgende formule [ref.11] worden gehanteerd:

$$M = -0,0023 \cdot RVP^2 + 0,1758 \cdot RVP + 64,942$$

M = molecuulgewicht [-]

RVP = Reid vapour pressure [kPa]

Indien de helling van de destillatiecurve bekend is, kan onderstaande tabel worden gebruikt.

RVP [kPa]	RVP [psia]	Helling destillatiecurve bij 10% punt				
		0	1	2	3	4
1,72	0,25	121	111	106	103	100
3,45	0,5	114	104	99	96	93
6,90	1	106	96	91	88	85
10,3	1,5	100	90	85	82	79
13,8	2	97	87	82	79	76
20,7	3	92	82	77	74	71
27,6	4	88	78	73	70	67
34,5	5	86	76	71	68	65
41,4	6	84	74	69	66	63
48,3	7	82	72	67	64	61
55,2	8	80	70	66	63	60
62,1	9	78	69	64	62	58
69,0	10	77	67	63	60	57
75,8	11	76	66	62	59	56
82,7	12	75	65	61	58	55
89,6	13	74	64	60	57	54
96,5	14	73	63	59	56	53
103	15	72	62	58	55	52
110	16	72	61	57	54	51

**Overige aardolieproducten**

Voor de overige aardolieproducten kan dezelfde aanpak worden gevolgd als voor benzine.

De dampspanning kan ook op een alternatieve wijze worden bepaald, namelijk met [ref. 23]:

$$p = 6,895 \cdot \exp\left(A - \frac{B}{T}\right)$$

p = dampspanning [kPa]

$$A = 15,64 - 1,854 \cdot \sqrt{S} - (0,8742 - 0,3280 \sqrt{S}) \cdot \ln(6,895 \cdot RVP)$$

$$B = 8,742 - 1,042 \cdot \sqrt{S} - (1,049 - 179,4 \sqrt{S}) \cdot \ln(6,895 \cdot RVP)$$

S = helling op ASTM-D86 destillatiecurve bij 10% verdampt [-] (zie benzineparagraaf)

RVP = Reid Vapour Pressure (kPa)

T = temperatuur [K]

**Let op!** In de formule betekent "exp" dat het grondtal het getal van Euler e (2,7183) is. De formule is dus een natuurlijke exponentiële functie met de basis e.

Kenmerkende waarden zijn in onderstaande tabel [ref. 23] gegeven.

Product	RVP [kPa]	Molecuul- gewicht van de damp (bij 16°C)	Dichtheid van de geconden- seerde- damp (bij 16°C) [kg/m <sup>3</sup> ]	Vloeistof- dichtheid (bij 16°C) [kg/m <sup>3</sup> ]	Dampspanning [kPa] bij						
					4,4°C	10°C	16°C	21°C	27°C	32°C	38°C
Benzine	90 kPa (13 psi)	62	587	671	32,4	39,3	47,6	57,2	68,3	80,7	95,2
	70 kPa (10 psi)	66	611	671	23,4	29	35,9	42,7	51	60,7	72,4
	50 kPa (7 psi)	68	623	671	15,9	20	24,1	29,6	35,9	42,7	51
Ruwe aardolie	35 kPa (5 psi)	50	539	851	12,4	15,9	19,3	23,4	27,6	33,1	39,3
Vliegtuigbenzine (JP-4)	80	80	647	767	5,52	6,9	8,96	11	13,1	16,5	18,6
Kerosine	1,4 kPa	130	731	839	0,0283	0,0414	0,0586	0,0758	0,103	0,145	0,2

### A3 Dampspanning van ruwe aardolie

Voor ruwe aardolie (crude) wordt een gelijkaardige aanpak gevolgd als voor benzine. RVP-waarden voor verschillende soorten zijn in onderstaande tabel [ref. 27] gegeven, evenals de soortelijke massa bij 15°C en C<sub>1</sub>-tot en met C<sub>4</sub>-gehalte.

Ruwe aardoliesoort	RVP	RVP	Soortelijke massa bij 15°C [kg/m <sup>3</sup> ]	C <sub>1</sub> t/m C <sub>4</sub> -gehalte [massa %]
	[psi]	[kPa]		
Agha Jari	7,8	54	850	1,9
Kirkuk	4,4	30	845	1,3
Kirkuk/Ain Zalah	5,0	34	848	1,3
Kuwait	7,0	48	868	1,9
Oman	3,9	27	860	0,9
Qatar	10,2	70	813	3,2
Seria Light	4,0	28	830	0,97
Hassi Massaoud	9,6	66	802	3,5
Zarzitine	7,3	50	816	1,9
Gamba	1,2	8	872	0,2
Mandij	4,7	32	878	1,0
Amna	3,7	26	846	0,89
Essider	5,3	37	840	1,4
Sarir	3,6	25	847	0,9
Nigerian Light	6,0	41	844	1,3
Nigerian Light Export	2,6	18	851	0,8
Nigerian Medium	3,1	21	907	0,4
El Morgan	5,0	34	874	
Forcados (Nigeria)	5,5	38	871	1,3
Okan (Nigeria)	4,2	29	848	1,1
Beykan	0,9	6	859	0,1
Light Arabian	3,9	27	854	1,0
Qatar Marine	7	48	839	1,9
Nigerian M.W.	4,3	30	878	
Iranian Light	4,8	33	843	

Het nomogram voor ruwe aardolie is op de volgende bladzijde gegeven. De volgende formule is middels regressie afgeleid van het nomogram [ref. 23] en kan eveneens worden gebruikt:

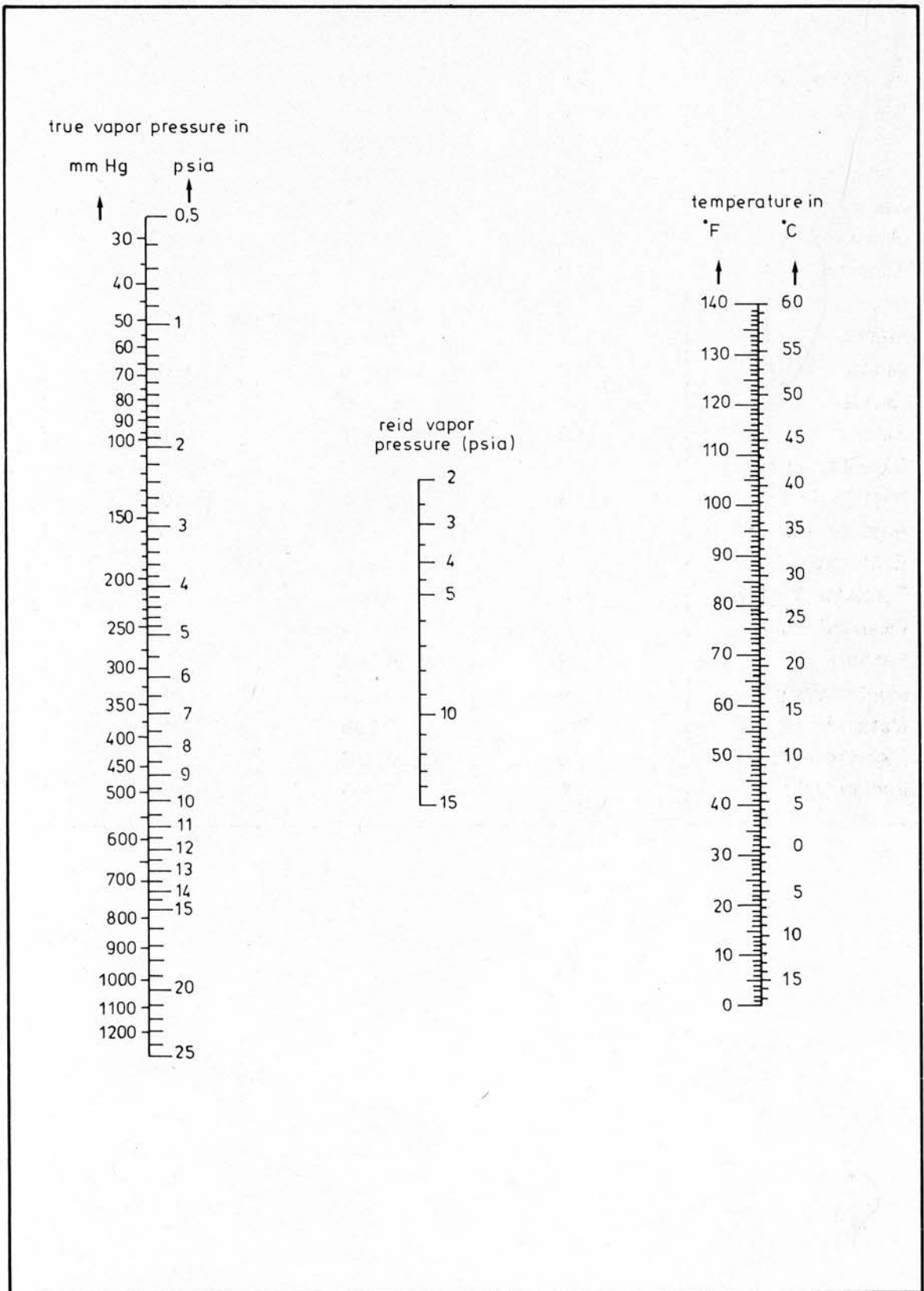
$$p_t = 6,895 \cdot \exp\left\{\left[\left(\frac{1555,00}{T + 273,15}\right) - 2,227\right] \cdot \log\left(\frac{RVP}{6,895}\right) - \left[\left(\frac{4033,89}{T + 273,15}\right)\right] + 12,82\right\}$$

$p_t$  = dampspanning [kPa]

RVP = Reid vapour pressure [kPa]

T = opslagtemperatuur [°C]

**Let op!** In de formule betekent "exp" dat het grondtal het getal van Euler e (2,7183) is. De formule is dus een natuurlijke exponentiële functie met de basis e. De logaritme "log" heeft het grondtal 10.



Figuur A3 Nomogram voor ruwe aardolie met een RVP van 14 tot 100 kPa (2 - 15 psia) [ref. 23].



Molecuulgewicht

Het molecuulgewicht van de damp moet voor de overslagberekeningen berekend worden volgens onderstaande formule [ref. 23]:

$$M = 39,3 + 0,281 \cdot RVP$$

M = molecuulgewicht [g/mol]

RVP = Reid vapour pressure [kPa]

Bij de berekeningen voor de opslagtanks wordt doorgaans een vaste waarde voor het molecuulgewicht van ruwe aardolie aangehouden, te weten 60 g/mol.

## A4 Laden van ballastwater

De huidige schepen zijn veelal voorzien zijn van gescheiden ballasttanks. Op zee wordt hierbij ballastwater ingenomen of gelost. Omdat dit water op deze manier niet met de te vervoeren stof in contact kan komen, is er ook geen sprake van een emissie.

Mocht er echter toch sprake zijn van schip zonder een dergelijke voorziening, dan kan de hierna beschreven methode worden gebruikt.

De totale emissie E tijdens het ballasten is afhankelijk van de vullingsgraad  $\alpha$  [ref. 27]:

$$\text{Voor } \alpha \leq 40\% \text{ geldt } E = \frac{\alpha}{100} \cdot I \cdot C_b$$

$$\text{Voor } \alpha \geq 40\% : E = \frac{I \cdot C_b}{100} (0,0025\alpha^2 + 0,8\alpha + 4)$$

E	=	totale emissie [kg]
$\alpha$	=	vullingsgraad van het compartiment [%]
I	=	inhoud compartiment [m <sup>3</sup> ]

De berekening van de totale emissie E tijdens het laden na het lossen van ballastwater is analoog aan de berekening na het lossen van crude, waarbij evenwel voor de beginconcentratie  $C_b$  van een gewijzigde waarde moet worden uitgegaan. Voor  $C_b$  geldt:

1. Ballastwater in *volle* tanks:  $C_b = 0$   
Berekening verder analoog aan 'laden en lossen van ruwe aardolie (crude).
2. Ballastwater in gedeeltelijk gevulde tanks:

$$C_b = \left(1 - \frac{\% \text{ballast}}{100}\right) \cdot C_b^*$$

$C_b^*$	=	concentratie tijdens inname van ballastwater [kg/m <sup>3</sup> ]
$C_b$	=	beginconcentratie [kg/m <sup>3</sup> ]

Berekening verder analoog aan 'laden en lossen van crude'.

Indien voor de hiervoor genoemde berekeningsmethode niet alle gegevens beschikbaar zijn, kan gebruik gemaakt worden van de volgende vereenvoudigde formule voor de emissie tijdens ballasten:

$$E = 0,0031 \cdot I_1 \cdot TVP$$

E	=	totale emissie [kg]
$I_1$	=	totale inhoud tankruimte [m <sup>3</sup> ]
TVP	=	werkelijke dampspanning van de vorige lading [psia]. Indien niet bekend, neem TVP = 4,3 psia

Formule afgeleid voor:

1. Ingenomen ballastwater: 15% van de tankinhoud.
2. Ullage (ruimte boven vloeistofoppervlak) van de vorige lading: 2%.

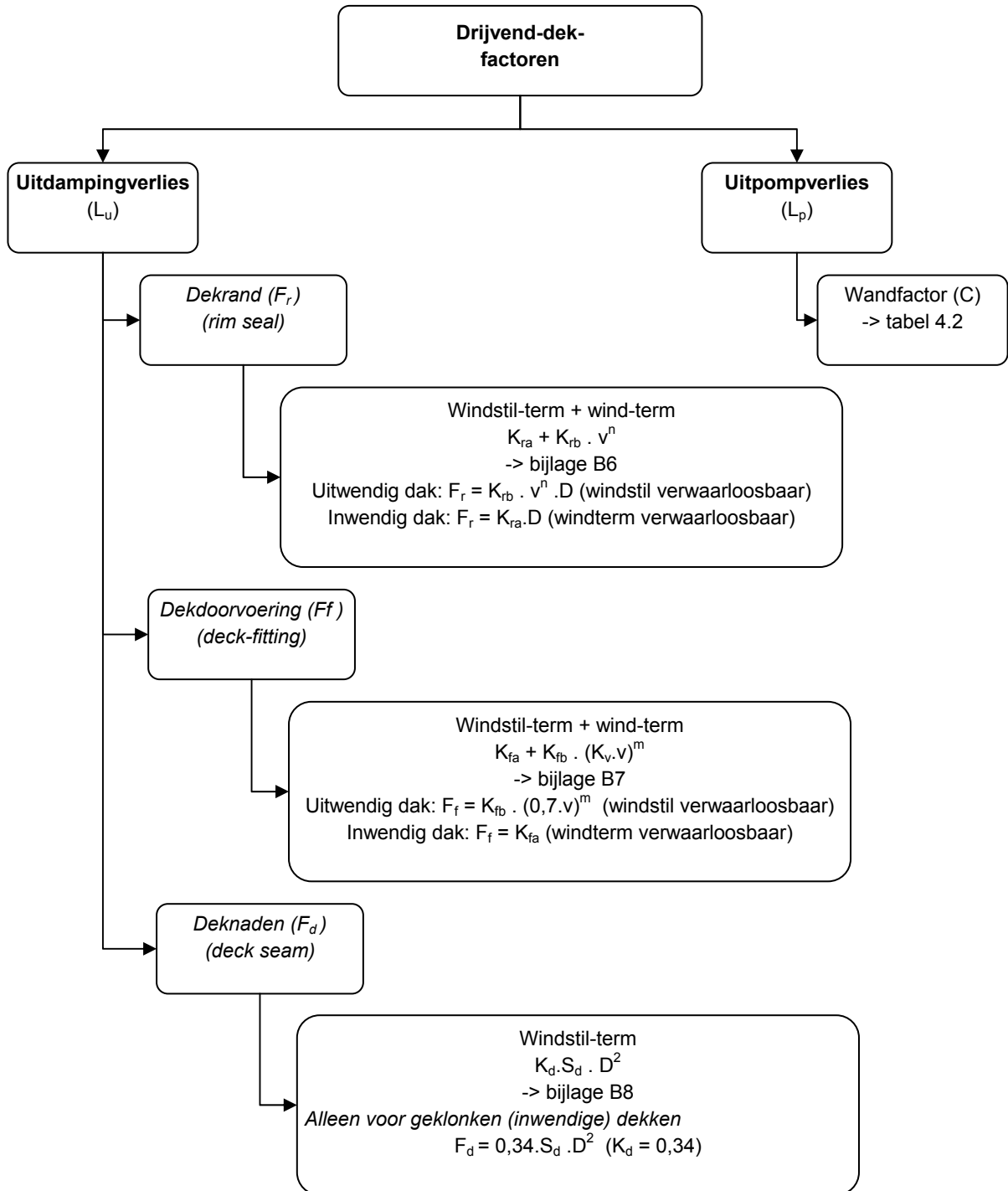
## Bijlage B – Opslagtanks

- B1 Klimatologische gegevens
- B2 Equivalente vrije damphoogte bij horizontale opslagtanks
- B3 Verffactor (alleen vaste daken)
- B4 Correctiefactor voor kleine atmosferische opslagtanks (alleen vaste daken)
- B5 Correctiefactor voor ademverliezen bij tanks met over- en onderdrukverliezen
- B6 Dekrandafdichting
- B7 Factoren voor dekdoorvoeringen
- B8 Deknaadfactoren
- B9 Herziene berekeningsmethode voor ademverliezen van vast-daktanks

Deze bijlage geeft alle factoren voor de berekening van de verliezen bij opslagtanks. In het volgende overzicht staat aangegeven welke waar voor een gegeven onderwerp de betreffende factoren zijn te vinden.

Tanktype	Verliestype	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
Vast dak	Ademverlies	✓	✓	✓	✓				
	Verdrijvingsverlies								
Vast dak met ventielen	Ademverlies	✓	✓	✓	✓	✓			
	Verdrijvingsverlies								
Uitwendig drijvend dek	Uitdampingsverlies	✓							
	Uitpompverlies						✓	✓	
Inwendig drijvend dek	Uitdampingsverlies						✓	✓	
	Uitpompverlies								✓

De berekening van de verliezen van tanks met een drijvend dek kent een groot aantal factoren. Op de volgende bladzijde is een overzicht hiervan gegeven met een verwijzing van de vermelding in het handboek.



## B1 Klimatologische gegevens

De nevenstaande kaart geeft de plaatsen aan waarvoor klimatologische gegevens in deze bijlage zijn opgenomen.

De klimatologische gegevens zijn overgenomen uit de "Klimaatatlas van Nederland: langjarige gemiddelden en extremen, tijdvak 1971-2000" van het KNMI. Voor de samenvloeiing Oude Maas - Nieuwe Waterweg zijn de klimatologische gegevens overgenomen uit *Klimaatatlas van Nederland, KNMI (1972)*.



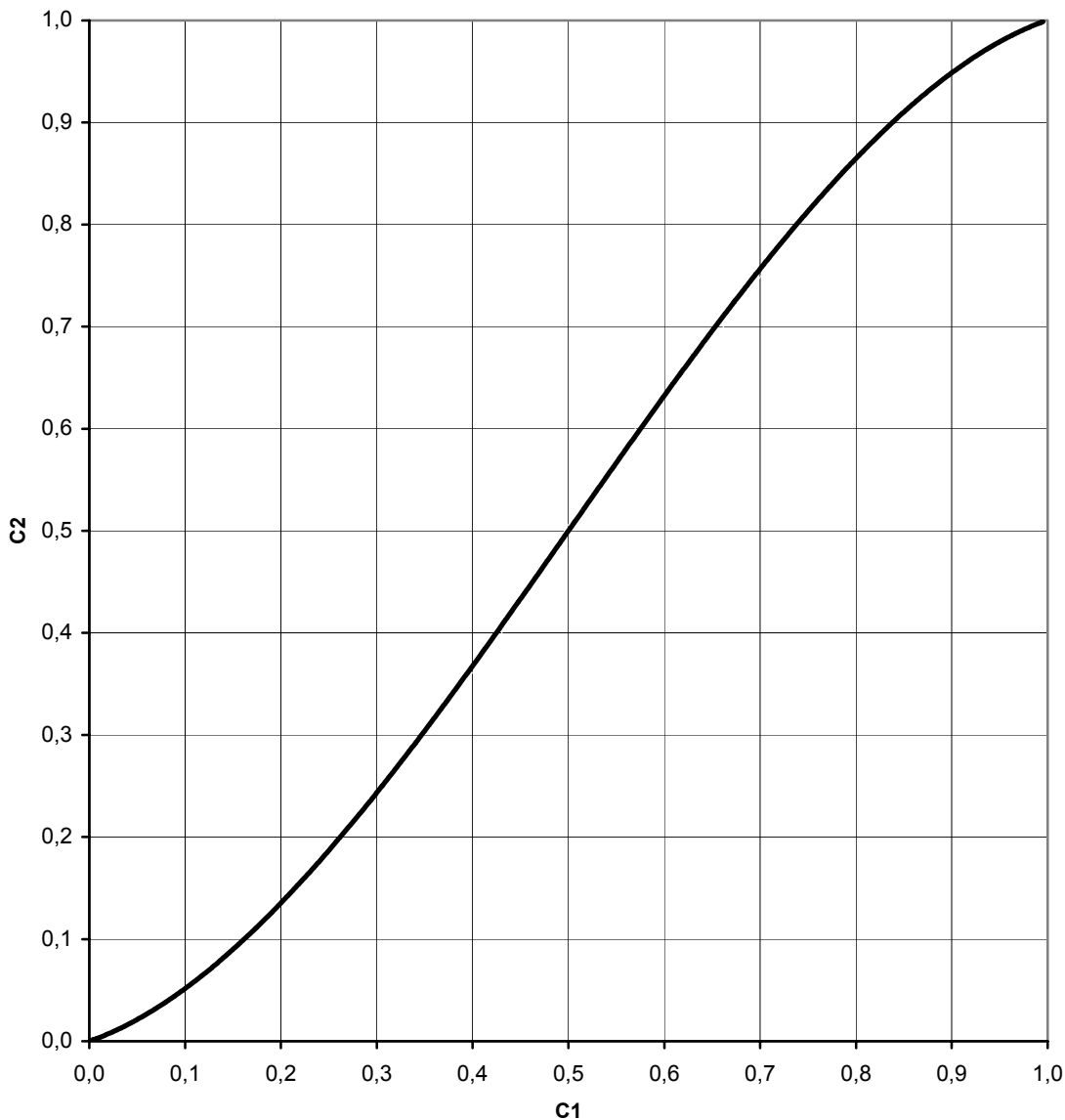
Gemiddelde windsnelheid [m/s].

	Leeuwarden	Eelde	De Kooy	Twenthe	Schiphol	Valkenburg	Soesterberg	De Bilt	Deelen	Oud Maas-Nieuwe waterweg	Rotterdam	Volkel	Gilze-Rijen	Vlissingen	Eindhoven	Maastricht
<b>Periode</b>																
<b>Maand</b>																
Januari	6,0	5,5	7,1	4,2	6,2	6,2	4,3	4,1	5,2	6,1	5,9	4,9	4,9	7,5	5,0	5,3
Februari	5,6	5,0	6,6	3,9	5,8	5,7	4,1	3,9	4,8	6,0	5,4	4,5	4,5	6,8	4,5	4,8
Maart	5,7	5,2	6,5	3,9	5,8	5,8	4,2	3,9	4,8	6,0	5,5	4,4	4,5	6,7	4,6	4,9
April	5,1	4,6	6,0	3,5	5,3	5,1	3,9	3,6	4,5	5,4	4,9	3,9	4,2	6,0	4,3	4,3
Mei	4,7	4,1	5,6	3,3	4,8	4,7	3,7	3,2	4,2	5,4	4,5	3,5	3,9	5,6	3,9	4,0
Juni	4,5	4,0	5,3	3,2	4,5	4,7	3,6	3,1	3,9	5,6	4,4	3,3	3,7	5,6	3,8	3,8
Juli	4,3	3,9	5,2	3,1	4,3	4,7	3,5	3,0	3,7	5,1	4,3	3,2	3,6	5,5	3,7	3,7
Augustus	4,2	3,7	5,1	2,9	4,2	4,3	3,3	2,7	3,6	4,9	4,0	3,1	3,4	5,4	3,5	3,5
September	4,4	3,8	5,5	3,1	4,4	4,5	3,2	2,8	3,7	4,9	4,2	3,4	3,6	6,0	3,6	3,9
Oktober	4,8	4,1	6,0	3,3	4,9	5,0	3,5	3,1	4,2	5,5	4,7	3,8	3,9	6,6	4,0	4,2
November	5,4	4,9	6,7	3,8	5,6	5,7	3,8	3,6	4,7	5,8	5,4	4,3	4,3	7,1	4,5	4,8
December	5,7	5,3	6,9	4,1	5,9	6,0	4,1	4,0	5,0	6,3	5,8	4,7	4,6	7,5	4,9	5,2
<b>Seizoen</b>																
December - februari	5,8	5,3	6,9	4,1	6,0	6,0	4,2	4,0	5,0	6,1	5,7	4,7	4,7	7,3	4,8	5,1
Maart - mei	5,2	4,6	6,0	3,6	5,3	5,2	3,9	3,6	4,5	5,6	5,0	3,9	4,2	6,1	4,3	4,4
Juni - augustus	4,3	3,9	5,2	3,1	4,3	4,6	3,5	2,9	3,7	5,2	4,2	3,2	3,6	5,5	3,7	3,7
September - november	4,9	4,3	6,1	3,4	5,0	5,1	3,5	3,2	4,2	5,4	4,8	3,8	3,9	6,6	4,0	4,3
<b>Jaargemiddelde</b>	5,0	4,5	6,0	3,5	5,1	5,2	3,8	3,4	4,4	5,6	4,9	3,9	4,1	6,4	4,2	4,4

## Dagelijks temperatuurverschil en de gemiddelde dagtemperatuur.

Periode	Leeuwarden	Eelde	De Kooy	Twenthe	Schiphol	Valkenburg	Soesterberg	De Bilt	Deelen	Oud Maas-Nieuwe waterweg	Rotterdam	Volkel	Glize-Rijen	Vlissingen	Eindhoven	Maastricht
<b>Dagelijks temperatuurverschil [°C]</b>																
<b>Maand</b>																
Januari	4,8	5,2	4,4	5,0	4,9	4,9	5,5	5,2	5,1	4,4	5,0	5,4	5,6	3,7	5,4	5,1
Februari	5,5	5,8	4,6	6,0	5,8	5,6	6,7	6,2	6,2	5,0	6,0	6,6	6,8	4,2	6,6	6,1
Maart	6,7	7,4	5,4	7,5	6,8	6,6	8,1	7,6	7,7	7,0	7,2	8,1	8,1	5,0	8,1	7,5
April	8,2	9,5	6,3	9,8	8,4	7,8	9,9	9,4	9,8	7,6	8,8	9,9	9,8	5,9	9,8	9,0
Mei	9,0	10,5	6,7	10,5	9,3	8,7	10,5	10,1	10,5	8,6	9,6	10,7	10,5	6,5	10,4	9,8
Juni	8,3	10,3	6,5	10,3	8,8	7,9	10,0	9,6	10,1	8,3	9,0	10,2	10,0	6,3	10,1	9,4
Juli	8,1	10,1	6,4	10,2	8,9	7,6	10,0	9,6	10,2	7,8	8,9	10,4	10,2	6,4	10,3	9,5
Augustus	8,8	10,8	6,7	10,9	9,5	8,4	10,6	10,3	10,6	7,6	9,4	11,2	10,6	6,4	10,8	9,9
September	7,8	9,4	6,4	9,3	8,2	7,6	9,3	9,1	9,1	7,6	8,3	9,6	9,2	5,4	9,3	8,7
Oktober	6,8	7,9	5,7	7,7	7,1	6,9	8,1	7,7	7,7	6,5	7,2	8,2	8,1	4,8	8,1	7,6
November	5,4	5,9	4,8	5,7	5,3	5,4	6,1	5,9	5,8	4,8	5,6	6,1	6,2	4,0	6,1	5,7
December	4,7	5,0	4,3	4,7	4,6	4,8	5,2	5,1	4,9	4,2	5,0	5,2	5,3	3,6	5,1	4,9
<b>Seizoen</b>																
December - februari	5,0	5,3	4,4	5,2	5,1	5,1	5,8	5,5	5,4	4,5	5,3	5,7	5,9	3,8	5,7	5,4
Maart - mei	8,0	9,1	6,1	9,3	8,2	7,7	9,5	9,0	9,3	7,7	8,5	9,6	9,5	5,8	9,4	8,8
Juni - augustus	8,4	10,4	6,5	10,5	9,1	8,0	10,2	9,8	10,3	7,9	9,1	10,6	10,3	6,4	10,4	9,6
September - november	6,7	7,7	5,6	7,6	6,9	6,6	7,8	7,6	7,5	6,3	7,0	8,0	7,8	4,7	7,8	7,3
<b>Jaargemiddelde</b>	<b>7,0</b>	<b>8,2</b>	<b>5,7</b>	<b>8,1</b>	<b>7,3</b>	<b>6,9</b>	<b>8,3</b>	<b>8,0</b>	<b>8,1</b>	<b>6,6</b>	<b>7,5</b>	<b>8,5</b>	<b>8,4</b>	<b>5,2</b>	<b>8,3</b>	<b>7,8</b>
<b>Gemiddelde dagtemperatuur [°C]</b>																
<b>Maand</b>																
Januari	2,4	2,0	3,2	2,1	3,0	3,4	2,6	2,8	2,2	2,3	3,4	2,6	2,9	3,8	2,8	2,6
Februari	2,5	2,1	3,0	2,4	3,1	3,3	2,8	3,0	2,5	2,5	3,4	2,9	3,1	3,7	3,1	2,9
Maart	5,0	4,9	5,2	5,3	5,7	5,8	5,5	5,8	5,3	5,1	6,0	5,8	5,9	6,0	6,0	5,9
April	7,4	7,5	7,6	8,0	8,2	8,0	8,1	8,3	8,0	8,6	8,3	8,4	8,4	8,4	8,6	8,4
Mei	11,6	11,9	11,6	12,5	12,5	12,1	12,6	12,7	12,6	12,1	12,5	12,9	12,8	12,4	13,1	13,0
Juni	14,3	14,4	14,2	14,9	15,0	14,6	15,1	15,2	15,1	15,2	15,0	15,5	15,4	15,0	15,6	15,6
Juli	16,4	16,5	16,6	17,0	17,1	16,9	17,2	17,4	17,2	17,2	17,2	17,5	17,5	17,5	17,6	17,7
Augustus	16,6	16,5	16,9	16,8	17,1	17,1	17,1	17,2	17,1	17,2	17,2	17,3	17,3	17,8	17,5	17,6
September	13,9	13,5	14,5	13,6	14,3	14,5	14,0	14,2	13,9	14,9	14,5	14,1	14,3	15,4	14,3	14,3
Oktober	10,1	9,6	11,0	9,8	10,6	10,8	10,1	10,3	9,9	10,7	10,8	10,2	10,3	11,8	10,4	10,3
November	6,1	5,5	7,1	5,5	6,6	7,0	6,0	6,2	5,6	6,6	6,8	6,0	6,2	7,7	6,1	5,9
December	3,6	3,2	4,6	3,3	4,3	4,7	3,8	4,0	3,4	3,8	4,5	3,8	4,0	5,1	4,0	3,8
<b>Seizoen</b>																
December - februari	2,8	2,4	3,6	2,6	3,5	3,8	3,1	3,3	2,7	2,9	3,8	3,1	3,3	4,2	3,3	3,1
Maart - mei	8,0	8,1	8,1	8,6	8,8	8,6	8,7	8,9	8,6	8,6	8,9	9,0	9,0	8,9	9,2	9,1
Juni - augustus	15,8	15,8	15,9	16,2	16,4	16,2	16,5	16,6	16,5	16,5	16,5	16,8	16,7	16,8	16,9	17,0
September - november	10,0	9,5	10,9	9,6	10,5	10,8	10,0	10,2	9,8	10,7	10,7	10,1	10,3	11,6	10,3	10,2
<b>Jaargemiddelde</b>	<b>9,2</b>	<b>9,0</b>	<b>9,6</b>	<b>9,3</b>	<b>9,8</b>	<b>9,9</b>	<b>9,6</b>	<b>9,8</b>	<b>9,4</b>	<b>9,7</b>	<b>10,0</b>	<b>9,8</b>	<b>9,8</b>	<b>10,4</b>	<b>9,9</b>	<b>9,8</b>

## B2 Equivalente vrije damphoogte bij horizontale opslagtanks



$$C_1 = \frac{\text{vrije damphoogte van de horizontale tank}}{\text{tankdiameter van de horizontale tank}}$$

$$C_2 = \frac{\text{equivalent vrije damphoogte van de verticale tank}}{\text{totale lengte van de horizontale tank}}$$

$$C_2 \text{ kan ook berekend worden als } C_2 = -1,3452 \cdot (C_1)^3 + 2,0185 \cdot (C_1)^2 + 0,3271 \cdot C_1$$

### Voorbeeld:

Horizontale opslagtank met:

Diameter: 3 m  
 Lengte: 12 m  
 Vrije damphoogte: 1 m

$C_1 = 1/3 = 0,33$  waaruit  $\rightarrow C_2 = 0,28$  volgt een equivalente vrije damphoogte:  $0,28 \cdot 12 \text{ m} = 3,36 \text{ m}$ .

Voor ademverliesberekening te gebruiken:

$D = 3 \text{ m}$   
 $H = 3,36 \text{ m}$   
 $C = 0,5 \text{ m}$  (zie bijlage B4; correctiefactor voor kleine tanks)

### B3 Isolatie- en verffactoren voor opslagtanks met een vast dak

#### Niet-geïsoleerde tank

Dak	Wand	Verf in goede staat	Verf in slechte staat
		F <sub>p</sub> [-]	F <sub>p</sub> [-]
Wit	Wit	1,00	1,15
Aluminium glanzend	Wit	1,04	1,18
Wit	Aluminium glanzend	1,16	1,24
Aluminium glanzend	Aluminium glanzend	1,20	1,29
Wit	Aluminium dof	1,30	1,38
Aluminium dof	Aluminium dof	1,39	1,46
Wit	Grijs	1,30	1,38
Licht grijs	Licht grijs	1,33	1,44
Middel grijs	Middel grijs	1,40	1,58
Zwart	Zwart	1,62	--

Van de totale verffactor F<sub>p</sub> heeft 20% betrekking op het dak en 80% op de tankwand.

#### Geïsoleerde tank

Voor de verffactor van een geheel geïsoleerde tank geldt: F<sub>p</sub> geïsoleerd = 0,2 F<sub>p</sub> niet geïsoleerd.

'Isolatie' is 5 cm polyurethaanschuim of gelijkwaardige isolatie. Indien alleen de wand is geïsoleerd, moet alleen voor het wandgedeelte worden gecorrigeerd.

#### **Voorbeeld:**

Dak wit, wanden geïsoleerd met polyurethaanschuim met aluminium beplating (glanzend)

$$F_p \text{ wit dak: } 0,2 \cdot 1,00 = 0,20$$

$$F_p \text{ wand aluminium glanzend: } 0,8 \cdot 1,20 = 0,96$$

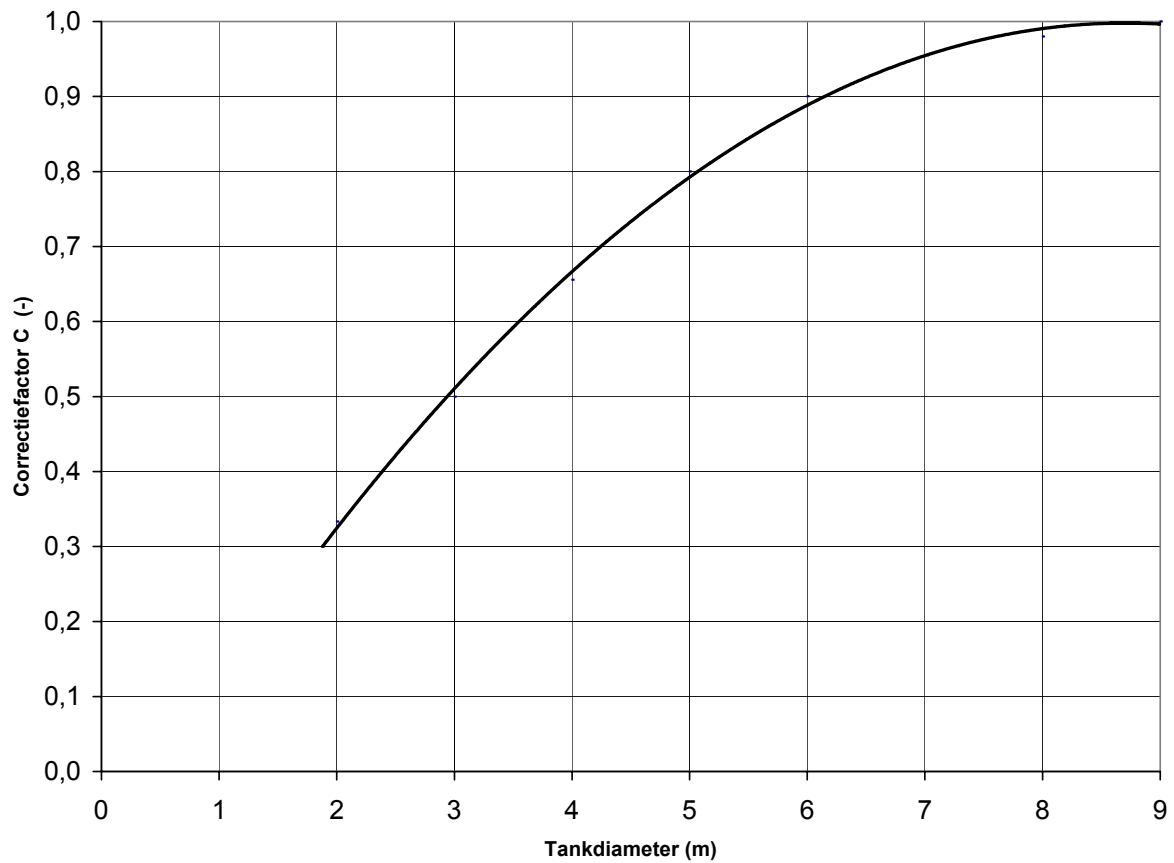
$$\text{Met isolatiecorrectie } F_p \text{ wand: } 0,2 \cdot 0,96 = 0,19$$

$$\Rightarrow F_p \text{ gehele tank: } 0,20 + 0,19 = 0,39$$



## B4 Correctiefactor voor kleine opslagtanks

Correctiefactor C voor atmosferische opslagtanks kleiner dan 9 m diameter (alleen met vast dak).

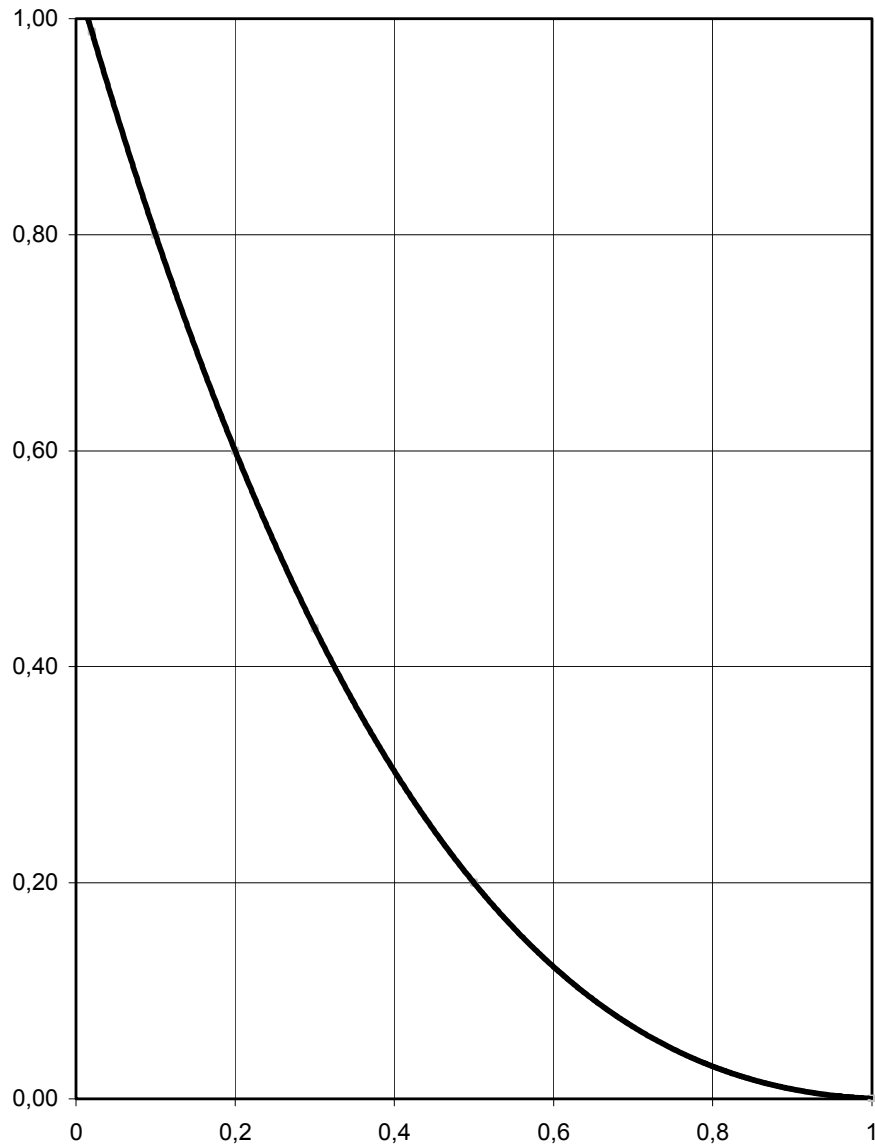


C kan ook als volgt worden berekend:

$$C = -0,015 \cdot (\text{diameter})^2 + 0,2609 \cdot (\text{diameter}) - 0,1375$$

## B5 Correctiefactor voor ademverliezen bij tanks met over- en onderdrukverliezen

j = correctiefactor  
ademverlies



$$\text{met } f = \frac{P_2 - P_1}{P_{2\text{ vereist}} - P_1}$$

$P_1$  = openingsdruk vacuümventiel als overdruk (negatief getal; kPa)

$P_2$  = openingsdruk overdrukventiel als overdruk (positief getal; kPa)

$P_{2\text{ vereist}}$  = theoretisch vereiste openingsdruk om ademen van tank te voorkomen (zie paragraaf 4.2.1)

Correctiefactor j kan ook berekend worden als  $j = -0,5556 \cdot f^3 + 2,1111 \cdot f^2 - 2,5944 \cdot f + 1,0389$ .

De in deze bijlage genoemde factor f komt niet overeen met de in hoofdstuk vier genoemde factor f (paragraaf 4.3.2).

## B6 Dekrandafdichting

Om de opening tussen tankwand en drijvend dek af te dichten bestaan er veel mogelijkheden. Nagenoeg overall worden afdichtingen gebruikt die bestaan uit een combinatie van een primaire en een secundaire afdichting. Oudere uitvoeringen hadden vaak een primaire afdichting en een zogenoemde 'weathershield' om te voorkomen dat neerslag met het product in contact zou komen. Deze constructie wordt niet meer gebruikt omdat de moderne uitvoeringen het product voldoende tegen het indringen van neerslag beschermen. In toenemende mate worden ook geïntegreerde primaire en secundaire afdichtingen gebruikt. Hier worden de afdichtingen niet meer als twee afzonderlijke delen gezien. De secundaire afdichting is in de vrije ruimte van de primaire afdichting gemonteerd.

In Europa wordt de afdichting met metalen plaat (metal shoe) in combinatie met een secundaire afdichting vaak toegepast. Deze afdichting is een van de goedkoopste afdichtingen en heeft met een secundaire afdichting een goede emissiebeperkende werking.

API heeft voor een aantal typen afdichtingen kenmerkende afdichtingsfactoren opgesteld [ref. 6]. De typen zijn hieronder geschetst. De kenmerkende afdichtingsfactoren zijn in de volgende tabel aangegeven.

			<b>Metalen plaat met stalen veer</b>	<b>Metallic Shoe Seal</b>
1	2	3	Enkele afdichting	Primary seal only
			Dubbele afdichting op plaat	Shoe-mounted secondary seal
			Dubbel afdichting op dekrand	Rim-mounted secondary seal
			<b>Elastomeerafdichting</b>	<b>Liquid Mounted Resilient Seal</b>
			4	Primary seal only
			5	With weather shield
			6	Rim-mounted secondary seal
			<b>Elastomeerafdichting</b>	<b>Vapour Mounted Resilient Seal</b>
			7	Primary seal only
			8	With weather shield
			9	With rim mounted secondary seal

(tekeningen overgenomen van Ing. Buro Imhof GmbH)

Voor de standaardsituatie moeten de factoren van de gemiddelde afdichting worden gebruikt. Indien bekend is dat de opening tussen dekrandaafdichting en tankrand nergens groter is dan 3 mm (1/8 duim) zijn de factoren van de bovengemiddelde afdichting van toepassing.

- $K_{ra}$  = windstille-dekrandfactor [pound-moles/feet.jaar]  
 $K_{rb}$  = windafhankelijke dekrandfactor [pound-moles/((miles/hr)<sup>n</sup>.foot.jaar)]  
 $n$  = windafhankelijke dekrandexponent [-]

		Gemiddelde afdichting			Bovengemiddelde afdichting		
		$K_{ra}$	$K_{rb}$	$n$	$K_{ra}$	$K_{rb}$	$n$
<b>Gelaste tanks</b>		<b>Welded tanks</b>					
<b><i>Metalen plaat met stalen veer</i></b>		<b><i>Metallic Shoe Seal</i></b>					
Enkele afdichting	Primary seal only	5,8	0,3	2,1	1,5	0,4	1,9
Dubbele afdichting op plaat	Shoe-mounted secondary seal	1,6	0,3	1,6	1,0	0,4	1,5
Dubbel afdichting op dekrand	Rim-mounted secondary seal	0,6	0,4	1,0	0,4	0,4	1,0
<b><i>Elastomeerafdichting</i></b>		<b><i>Liquid Mounted Resilient Seal</i></b>					
Enkele afdichting	Primary seal only	1,6	0,3	1,5	1,0	0,08	1,8
Enkele afdichting met weerkap	With weather shield	0,7	0,3	1,2	0,4	0,2	1,3
Dubbel afdichting op dekrand	Rim-mounted secondary seal	0,3	0,6	0,3	0,3	0,4	0,4
<b><i>Elastomeerafdichting</i></b>		<b><i>Vapour Mounted Resilient Seal</i></b>					
Enkele afdichting	Primary seal only	6,7	0,2	3,0	5,6	0,2	2,4
Enkele afdichting met weerkap	With weather shield	3,3	0,1	3,0	2,8	0,1	2,3
Dubbel afdichting op dekrand	With rim mounted secondary seal	2,2	0,003	4,3	2,2	0,02	2,6
<b>Geklonken tanks</b>		<b>Riveted tanks</b>					
<b><i>Metalen plaat met stalen veer</i></b>		<b><i>Metallic Shoe Seal</i></b>					
Enkele afdichting	Primary seal only	10,8	0,4	2,0	a	a	a
Dubbele afdichting op plaat	Shoe-mounted secondary seal	9,2	0,2	1,9	a	a	a
Dubbel afdichting op dekrand	Rim-mounted secondary seal	1,1	0,3	1,5	a	a	a

a) Geen gegevens beschikbaar.

## B7 Factoren voor dekdoorvoeringen

Diverse soorten dekdoorvoeringen en bijbehorende factoren worden onderscheiden (zie tabel B7).

Een belangrijke doorvoering in emissieopzicht is die van de steunkolommen van het vaste dak.

Er geldt:

$$F_f = (N_{F1} \cdot K_{F1}) + (N_{F2} \cdot K_{F2}) + \dots + (N_{Fn} K_{Fn})$$

$N_{F1}$ ,  $N_{F2}$  enz., Aantal fittingen van soort 1, 2, ...

$K_{F1}$ ,  $K_{F2}$  enz. Emissiefactor van fittingtype 1, 2, ... ('fitting loss factor') [lb-mole/year]

Indien geen verdere gegevens over fittingen bekend zijn dan kan  $F_f$  geschat worden op basis van de gemiddelde waarden van  $N_{F1}$ ,  $N_{F2}$ ,  $K_{F1}$ ,  $K_{F2}$  enz., zoals aangegeven in tabel B7, terwijl het aantal doorvoeringen bij ondersteuningskolommen (dat wil zeggen het aantal ondersteuningskolommen) volgt uit de tankdiameter  $D$  en schattingen in tabel B7a.

Tabel B7 Dekdoorvoeringfactoren

- $K_{fai}$  = specifieke windstille-dekdoorvoeringsfactor [pound-moles/jaar]  
 $K_{fbi}$  = specifieke windafhankelijke dekdoorvoeringsfactor [pound-moles/((miles/hr)<sup>m</sup>.jaar)]  
 $m$  = windafhankelijke dekdoorvoeringsfactor [-]

Dekdoorvoering en uitvoering	Fitting type and construction details	$K_{fa}$	$K_{fb}$	$m$	NL <sup>a</sup>	Kenmerkend aantal doorvoeringen
<b>Mangat (Ø 61 cm)</b>	<b>Access hatch (24" diameter well)</b>					<b>1</b>
Niet-geklonken deksel, zonder pakking	Unbolted cover, ungasketed	36	5,9	1,2		
Niet-geklonken deksel, met pakking	Unbolted cover, gasketed	31	5,2	1,3		
Geklonken deksel, met pakking	Bolted cover, gasketed	1,6	0,0	0,0	<i>in&amp;uit</i>	
<b>Steunkolom van een vast dak</b>	<b>Fixed roof support column well</b>					<b>(tabel B7a)</b>
<i>(Kolommen worden niet gebruikt bij tanks met uitwendig drijvende dekken of zelfdragende daken)</i>						
Pijp, glijdende mantel zonder pakking	Round pipe, ungasketed sliding cover	31	-	-		
Pijp, glijdende mantel met pakking	Round pipe, gasketed sliding cover	25	-	-	<i>in</i>	
Pijp, doekmofafdichting	Round pipe, flexible fabric sleeve seal	10	-	-		
Samengestelde kolom, glijdende mantel zonder pakking	Built-up column, ungasketed sliding cover	47	-	-		
Samengestelde kolom, glijdende mantel met pakking	Built-up column, gasketed sliding cover	33	-	-		
<b>Peilbuis zonder gaatjes</b>	<b>Unslotted guidepole</b>					<b>1</b>
<i>(Voor uitwendig drijvend daken een peilbuis met of zonder gaatjes of geen peilbuis. Meestal geen peilbuis bij inwendig drijvend dekken)</i>						
Glijdende mantel zonder pakking	Ungasketed sliding cover	31	150	1,4		
Met peilbuispakking	With well gasket	25	13	2,2	<i>in&amp;uit</i>	
Glijdende mantel zonder pakking met mof	Ungasketed sliding cover with pole sleeve	25	2,2	2,1		
Met peilbuispakking en glijdende mantel met mof	With well gasket and with pole sleeve	8,6	12	0,81		
Met peilbuispakking en peilbuiswiser	With well gasket and with pole wiper	14	3,7	0,78		
<b>Peilbuis met gaatjes</b>	<b>Slotted guide pole</b>					<b>1</b>
<i>(Voor uitwendig drijvend daken een peilbuis met of zonder gaatjes of geen peilbuis. Meestal geen peilbuis bij inwendig drijvend dekken)</i>						
Glijdende mantel met/zonder pakking	Ungasketed/gasketed sliding cover	43	270	1,4	<i>in&amp;uit</i>	
Glijdende mantel met/zonder pakking en met vlotter & wiser <sup>d</sup>	Ungasketed or gasketed sliding cover, with float & wiper <sup>d</sup>	31	36	2,0		
Glijdende mantel met pakking en peilbuiswiser	Gasketed sliding cover with pole wiper	41	48	1,4		
Glijdende mantel met pakking en mof	Gasketed sliding cover with pole sleeve	11	46	1,4		
Glijdende mantel met pakking en vlotter & wiser <sup>d</sup> en peilbuiswiser	Gasketed sliding cover with float & wiper <sup>d</sup> and pole wiper	21	7,9	1,8		
Glijdende mantel met pakking en peilbuiswiser en -mof	Gasketed sliding cover with wiper pole and pole sleeve	8,3	4,4	1,6		
Glijdende mantel met pakking, vlotter & wiser, peilbuiswiser en -mof <sup>e</sup>	Gasketed sliding cover, with float, pole wiper <sup>e</sup> and pole sleeve	11	9,9	0,89		
<b>Meetvlotteropening (automatische meter)</b>	<b>Gauge-float (automatic gauge)</b>				<i>in</i>	<b>1</b>
Geklonken deksel met pakking	Bolted cover, gasketed	2,8	-	-		
Niet-geklonken deksel zonder pakking	Unbolted cover, ungasketed	14	5,4	1,1		
Niet-geklonken deksel met pakking	Unbolted cover, gasketed	4,3	17	0,38		

Dekdoorvoering en uitvoering	Fitting type and construction details	K <sub>fa</sub>	K <sub>fb</sub>	m	NL <sup>a</sup>	Kenmerkend aantal doorvoeringen
<b>Meterdeksel/monsternameopening</b>	<b>Gauge-hatch / sample port</b>					<b>1</b>
Deksel met gewicht, met pakking	Weighted mechanical actuation, gasketed	0,47	0,02	0,97		
Deksel met gewicht, zonder pakking	Weighted mechanical actuation, ungasketed	2,3	-	-		
Prop, 10% open	Slit fabric seal, 10% open area	12	f	f	<i>in</i>	
<b>Vacuümbreker</b>	<b>Vacuum breaker</b>					<b>Uitwendig: tabel B7b Inwendig: 1</b>
Vacuümbreker met gewicht, zonder pakking	Weighted mechanical actuation, ungasketed	7,8	0,01	4,0	<i>uit</i>	
Vacuümbreker met gewicht, met pakking	Weighted mechanical actuation, gasketed	6,2	1,2	0,94	<i>in</i>	
<b>Dekdrain (Ø 7,6 cm)</b>	<b>Deck drain (3" diameter)</b>					<b>(tabel B7b)</b>
Open	Open	1,5	0,21	1,7	<i>uit</i>	
90% dicht	90% closed	1,8	0,14	1,1		
<b>Drain van aansluitstuk (Ø 2,5 cm)</b>	<b>Stub drain (1" diameter)</b>	<b>1,2</b>	<b>f</b>	<b>f</b>		<b>0,0861 · D<sup>2</sup></b> D=diameter [m]
<i>(Drains voor aansluitstuk worden niet toegepast op uitwendig drijvende dekken of op gelaste inwendig drijvende dekken)</i>						
<b>Dekpoot (Ø 7,6 cm)</b>	<b>Deck leg (3" diameter)</b>					<b>Uitwendig: tabel B7c; Inwendig<sup>b</sup></b>
Verstelbaar, inwendig drijvend dek	Adjustable, internal floating deck	7,9	f	f	<i>in</i>	
Pontongedeelte van pontondak:	Adjustabel ponton area:					
<i>Verstelbare – zonder pakking</i>	<i>Adjustable – ungasketed</i>	2,0	0,37	0,91	<i>in&amp;uit</i>	
<i>Verstelbaar – met pakking</i>	<i>Adjustable – gasketed</i>	1,3	0,08	0,65		
<i>Verstelbaar – met mof</i>	<i>Adjustable – sock</i>	1,2	0,14	0,65		
Middengedeelte van pontondak of dubbeldekdak	Center area of pontoon roofs or double deck roofs					
<i>Verstelbaar – zonder pakking</i>	<i>Adjustable – ungasketed</i>	0,82	0,53	0,14	<i>in&amp;uit</i>	
<i>Verstelbaar – met pakking<sup>c</sup></i>	<i>Adjustable – gasketed<sup>c</sup></i>	0,53	0,11	0,13		
<i>Verstelbaar – met mof</i>	<i>Adjustable – sock</i>	0,49	0,16	0,14		
Vast <sup>g</sup>	Fixed	0,0	0,0	0,0	<i>in</i>	
<b>Randventilatie</b>	<b>Rim vent</b>					<b>1</b>
<i>(Dekrandventilatie wordt alleen bij enkele primaire afdichtingen met een metal shoe gebruikt)</i>						
Met gewicht, zonder pakking	Weighted mechanical actuation, ungasketed	0,68	1,8	1,0		
Met gewicht, met pakking	Weighted mechanical actuation, gasketed	0,71	0,10	1,0	<i>in&amp;uit</i>	
<b>Ladderopening</b>	<b>Ladder well</b>					<b>1</b>
<i>(Ladder ongebruikelijk bij uitwendig drijvende dekken)</i>						
Glijdende mantel zonder pakking	Sliding cover, ungasketed	76	f	f		
Glijdende mantel met mof	Sliding cover, gasketed	56	f	f	<i>in</i>	

a) De in Nederland gebruikelijke uitvoering is aangegeven met "uit" voor uitwendig dek en met "in" voor inwendig dek.

b) Het aantal dekpoten van een inwendig drijvend dek kan worden geschat op:

$$5 + 0,328 \cdot D + 0,0179 \cdot D^2 \text{ met } D = \text{tankdoorsnede in [m].}$$

c) Deze factoren zijn afgeleid van de resultaten voor de poten van het pontondekgedeelte dek met pakking en mof.

d) Vlotterwisser op 1 " boven de glijdende mantel; geen verder emissiebeperking door de vlotterwisser op gelijke hoogte te plaatsen.

e) Tests zijn uitgevoerd met de vlotterwisser op verschillende hoogten ten opzichte van de glijdende mantel (+ 1", 0, -5"); de meetgegevens laten geen significante verschillen zien.

f) Ongebruikelijke constructie waarvoor API geen windafhankelijke factoren heeft ontwikkeld (ongebruikelijk voor uitwendig drijvende dekken overeenkomstig API standard 650 appendix C decks).

g) Geen uitdampingsverlies.

*Tabel B7a Kenmerkend aantal kolommen ( $N_i$ ) van kolomgesteunde vaste daken.*

De volgende tabel geeft het kenmerkend aantal kolommen zoals vermeld door API [ref. 6]. Daarbij zij opgemerkt dat in Nederland de opslagtanks met een inwendig drijvend dek vaak met een zelfdragend dakconstructie zijn uitgevoerd en bijgevolg geen steunkolommen voor het dak hebben.

Tankdiameter [m]	Kenmerkend aantal kolommen
0 < D ≤ 26	1
26 < D ≤ 30	6
30 < D ≤ 37	7
37 < D ≤ 41	8
41 < D ≤ 46	9
46 < D ≤ 52	16
52 < D ≤ 58	19
58 < D ≤ 67	22
67 < D ≤ 72	31
72 < D ≤ 82	37
82 < D ≤ 84	43
84 < D ≤ 88	49
88 < D ≤ 101	61
101 < D ≤ 110	71
110 < D ≤ 122	81

*Tabel B7b Kenmerkende aantallen vacuümbrekers en dekdrains.*

Tankdiameter [m]	Vacuümbrekers		Dekdrains
	Pontondek	Dubbel-dek	
15	1	1	1
30	1	1	1
45	2	2	2
60	3	2	3
75	4	3	5
90	5	3	7
105	6	4	Geen data
120	7	4	Geen data



Tabel B7c Kenmerkend aantal dekpoten van uitwendig-drijvende-dektanks .

Tank Diameter [m]	Pontondek		Dubbel-dek
	pontonpoten	poten in middengedeelte	poten
9	4	2	6
12	4	4	7
15	6	6	8
18	9	7	10
21	13	9	13
24	15	10	16
27	16	12	20
30	17	16	25
33	18	20	29
36	19	24	34
39	20	28	40
42	21	33	46
45	23	38	52
48	26	42	58
51	27	49	66
54	28	56	74
57	29	62	82
60	30	69	90
63	31	77	98
66	32	83	107
69	33	92	115
72	34	101	127
75	35	109	138
78	36	118	149
81	36	128	162
84	37	138	173
87	38	148	186
90	38	156	200
93	39	168	213
96	39	179	226
99	40	190	240
102	41	202	255
105	42	213	270
108	44	226	285
111	45	238	300
114	46	252	315
117	47	266	330
120	48	281	345

## B8 Deknaadfactoren

Dekconstructie	Kenmerkende deknaadfactor (deck seam length factor) $S_d$ [m/m <sup>2</sup> ]
Stroken <sup>a</sup>	
• 1,5 m brede stroken	0,66 <sup>c</sup>
• 1,8 m brede stroken	0,56
• 2,1 m brede stroken	0,46
Platen <sup>b</sup>	
• 1,5 m x 2,3 m rechthoekige platen	1,08
• 1,5 m x 3,7 m rechthoekige platen	0,92

a)  $S_d = 1/w$ , met  $w$  = strookbreedte [m]

b)  $S_d = (1+w)/(l-w)$ , met strookbreedte [m] en  $l$  = strooklengte [m]

c) Indien geen gegevens bekend zijn, kan deze waarde als kenmerkende waarde worden gehanteerd.

## B9 Herziene berekeningsmethode voor ademverliezen van vast-daktanks

Voor een nauwkeurigere schatting van de ademverliezen wordt de herziene API/EPA methode aanbevolen [ref. 7 en ref. 23]. De herziene methode leent zich beter voor een schatting van de ademverliezen van een verwarmde tank aangezien onderscheid wordt gemaakt tussen de temperatuur van de vloeistof, het vloeistofoppervlak (minimaal, gemiddeld en maximaal), de damp (minimaal, gemiddeld en maximaal) en de buitenlucht (minimaal, gemiddelde en maximaal). De methode houdt rekening met de temperatuurstijging door zoninstraling.

$$L_B = 365 V_V \cdot W_V \cdot K_E \cdot K_S$$

- $L_B$  = ademverlies [kg/jaar]
- $V_V$  = dampruimte [ $m^3$ ]
- $W_V$  = dampdichtheid [ $kg/m^3$ ]
- $K_E$  = dampruimte-expansiefactor [-]
- $K_S$  = dampverzadigingsfactor [-]
- 365 is aantal dagen per jaar [1/jaar]

De temperatuur in de berekening van de ademverliezen heeft effect op de dampdichtheid, de dampuitzetting en de verzadigingsfactor. De dampdichtheid en de verzadigingsfactor worden berekend met de temperatuur van het vloeistofoppervlak. De dampuitzetting wordt berekend bij de temperatuur van de damp.

De **dampruimte** in de tank wordt als volgt berekend:

$$V_V = (\pi/4) D^2 H_{V0}$$

$D$  = tankdiameter [m]

$H_{V0}$  = gemiddelde vrije damphoogte [m]; zie opmerkingen bij paragraaf 4.1.1 voor kegel- en koepelvormige daken)

De **dampdichtheid** in de tank wordt met de ideaal-gaswet bij de temperatuur van het vloeistofoppervlak berekend:

$$W_V = (M_V P_{VA}) / (R T_{LA})$$

$W_V$  = dampdichtheid [ $kg/m^3$ ]

$M_V$  = molecuulgewicht van de damp [g/mol], (ruwe aardolie  $M = 60$ )

$P_{VA}$  = dampspanning bij de daggemiddelde temperatuur van het vloeistofoppervlak [kPa]

$R$  is de ideaal-gasconstante (8,314 J/mol.K)

$T_{LA}$  = de temperatuur van het vloeistofoppervlak, wordt als volgt bepaald:

$$T_{LA} = 0,44 \cdot T_{AA} + 0,56 \cdot T_B + 0,0079 \cdot \alpha \cdot 48,9 \cdot I$$

$T_{AA}$  = gemiddelde dagtemperatuur [K]

$T_B$  = vloeistoftemperatuur [K]

$\alpha$  = zonabsorptiefactor [-]; zie tabel B9.1

$I$  = dagelijkse zoninstraling [ $MJ/m^2$ ]; jaargemiddelde voor De Bilt bedraagt  $9,72 MJ/m^2$   
48,9 is omrekeningsfactor (van  $Btu/ft^2$  naar  $MJ/m^2$ )

De **dampruimte-expansiefactor** wordt als volgt berekend:

$$K_E = \left( \frac{\Delta T_V}{T_{LA}} + \frac{\Delta P_V - \Delta P_B}{P_A - P_{VA}} \right)$$

$K_E$  = dampruimte-expansiefactor [-]

$\Delta T_V$  = dagelijks temperatuurverschil van de damp [K]

$T_{LA}$  = gemiddelde vloeistofoppervlaktetemperatuur [K]

$\Delta P_V$  = dagelijks dampspanningsverschil [kPa]

$\Delta P_B$  = verschil tussen onder- en bovendrukinstelling van het ademventiel [kPa]

$P_A$  = atmosferische druk [kPa]

$P_{VA}$  = dampspanning bij daggemiddelde temperatuur van het vloeistofoppervlak [kPa]

Het dagelijks temperatuurverschil van de damp wordt als volgt berekend:

$$\Delta T_V = 0,72 \cdot T_A + 0,028 \cdot \alpha \cdot 48,9 \cdot I$$

$T_A$  = dagelijks temperatuurverschil [K]

$\alpha$  = zonabsorptiefactor [-]; zie tabel B9.1

$I$  = dagelijkse zoninstraling [ $MJ/m^2$ ]; jaargemiddelde voor De Bilt bedraagt  $9,72 MJ/m^2$   
48,9 is omrekeningsfactor (van  $Btu/ft^2$  naar  $MJ/m^2$ )

Het dagelijks dampspanningsverschil wordt berekend voor de dampspanning die hoort bij de temperatuur van het vloeistofoppervlak plus respectievelijk min een kwart van het dagelijks temperatuurverschil van de damp: ( $T_{LA} + 0,25 \cdot \Delta T_V$ ) respectievelijk ( $T_{LA} - 0,25 \cdot \Delta T_V$ ).

De **dampverzadigingsfactor** in de tank wordt als volgt berekend:

$$K_S = \left( \frac{1}{1 + 0,053 \cdot 0,145 \cdot P_{VA} \cdot 3,28 \cdot H_{VO}} \right)$$

$K_S$  = dampverzadigingsfactor [-]

$P_{VA}$  = dampspanning bij de gemiddelde vloeistofoppervlaktetemperatuur [kPa] met 0,145 voor de omrekening van kPa naar psia.

$H_{VO}$  = gemiddelde vrije damphoogte [m] met 3,28 voor omrekening van m naar feet (zie opmerkingen bij paragraaf 4.1.1 voor kegel- en koepelvormige daken)

Tabel B9.1 Zonabsorptiefactor ( $\alpha$ ) voor een aantal tankoppervlakken.

Kleur	Uiterlijk	Oppervlak	Oppervlak
		in goede staat	in slechte staat
		[-]	[-]
Aluminium	ongeverfd metaal	0,10	0,15
Wit	-	0,17	0,34
Beige	-	0,35	0,49
Rust	rood ijzeroxide	0,38	0,50
Aluminium	glanzend	0,39	0,49
Geelbruin	-	0,43	0,55
Grijs	licht	0,54	0,63
Bruin	-	0,58	0,67
Aluminium	dof	0,60	0,68
Grijs	middel	0,68	0,74
Rood	primer	0,89	0,91
Groen	donker	0,89	0,91

## Bijlage C – Fakkels

De windsnelheid varieert met de hoogte en verschil van plaats tot plaats. Algemeen gesteld neemt de windsnelheid met de hoogte toe. De windsnelheid wordt door het KNMI opgegeven voor een hoogte van 10 m. Om de windsnelheid op een hoogte groter dan 10 m te berekenen van kan de volgende empirische machtwet worden gevolgd [ref. 17]:

$$\text{Windsnelheid}(z) = \text{windsnelheid}(10) \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^p$$

z = hoogte [m]

p = exponent afhankelijk van de stabiliteit van de atmosfeer, van de toestand van het aardoppervlak, van de windsnelheid zelf en van de hoogte boven het aardoppervlak. In de meeste gevallen wordt de exponent alleen als functie van de stabiliteit genomen. De kenmerkende atmosferische stabiliteitsklassen van hoge windsnelheden zijn Pasquillklasse D en C, waarvoor de exponent 0,16 geldt.

De dagelijks gemiddelde windsnelheid is op de internetpagina van knmi ([www.knmi.nl/product](http://www.knmi.nl/product), klimatologische gegevens, daggegevens) op te vragen.

Het voorkomen van de fakkelcondities A, B en C is in de volgende tabel aangegeven voor verschillende fakkelhoogten [%].

*Voorkomen van fakkelcondities A, B en C voor verschillende fakkelhoogten en verschillende plaatsen [%].*

Fakkelhoogte Conditie (windsnelheid)	Leeuwarden	Eelde	De Kooy	Twenthe	Schiphol	Valkenburg	Soesterberg	De Bilt	Deelen	Rotterdam	Volkel	Gilze-Rijen	Vlissingen	Eindhoven	Beek
<b>10 m hoogte</b>															
A (<10m/s)	93,0	94,9	87,2	98,4	92,4	88,6	97,9	98,1	96,6	89,9	97,4	97,1	91,5	96,8	95,6
B (<20m/s)	7,0	5,1	12,8	1,6	7,6	11,3	2,1	1,9	3,4	10,0	2,6	2,9	8,5	3,2	4,4
C(>20 m/s)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>20 m hoogte</b>															
A (<10m/s)	89,2	92,0	81,8	96,5	88,8	83,9	96,0	96,4	93,7	84,7	95,3	94,7	87,1	94,3	92,7
B (<20m/s)	10,8	8,0	18,1	3,5	11,1	16,0	4,0	3,6	6,3	15,3	4,7	5,3	12,8	5,7	7,3
C(>20 m/s)	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>30 m hoogte</b>															
A (<10m/s)	83,6	87,0	73,9	92,9	83,0	77,2	92,2	93,4	88,9	76,6	91,8	90,4	81,1	90,1	87,8
B (<20m/s)	16,1	12,8	25,4	7,0	16,7	22,2	7,8	6,6	11,1	23,0	8,1	9,5	18,6	9,8	12,1
C(>20 m/s)	0,3	0,1	0,7	0,0	0,3	0,6	0,0	0,0	0,1	0,4	0,0	0,1	0,3	0,0	0,1
<b>40 m hoogte</b>															
A (<10m/s)	62,8	70,2	52,8	80,4	64,0	58,1	78,1	81,2	69,9	53,6	77,1	74,4	60,9	72,2	71,7
B (<20m/s)	35,7	28,9	43,7	19,4	34,2	38,7	21,6	18,6	29,7	44,3	22,6	25,2	37,2	27,4	27,7
C(>20 m/s)	1,5	0,9	3,6	0,2	1,8	3,2	0,3	0,3	0,5	2,1	0,3	0,5	1,9	0,5	0,7
<b>50 m hoogte</b>															
A (<10m/s)	51,6	58,5	40,9	68,7	52,6	47,2	66,3	69,7	58,7	40,2	67,3	63,9	47,5	61,9	61,5
B (<20m/s)	41,4	36,4	46,2	29,7	39,8	41,5	31,5	28,4	37,9	49,8	30,1	33,3	44,1	34,9	34,2
C(>20 m/s)	7,0	5,1	12,8	1,6	7,6	11,4	2,1	1,9	3,4	10,1	2,6	2,9	8,5	3,2	4,4
<b>60 m hoogte</b>															
A (<10m/s)	37,4	43,9	28,0	51,1	37,6	33,8	49,9	55,0	44,0	25,4	53,0	48,1	34,0	47,2	46,5
B (<20m/s)	46,2	43,1	45,9	41,9	45,3	43,4	42,3	38,4	44,9	51,2	38,8	42,3	47,1	43,0	41,3
C(>20 m/s)	16,4	13,0	26,1	7,1	17,0	22,8	7,8	6,6	11,1	23,4	8,2	9,6	18,9	9,9	12,2

Gebaseerd op KNMI, Frequentietabel van potentiële windsnelheid (Uurgemiddelde windsnelheden), Middeling over de jaren 1971-2000 [ref. 16].

### Rekenvoorbeeld

Per uur wordt 100 kg gas afgefakkeld. De samenstelling van het gas is als aangegeven in tabel 5.2. Uit het gemiddelde voorkomen van harde winden in Rotterdam kunnen de volgende frequenties worden afgeleid: 83,8% conditie A, 15,9% conditie B en 0,3% van de tijd conditie C.

*Voorbeeld van een afgassamenstelling.*

Component	Vol%	Molgewicht	kg	MJ/m <sup>3</sup>
CO	1	28	1,6	12,0
H <sub>2</sub>	50	2	5,8	12,1
H <sub>2</sub> S	1	34	2,0	23,7
CH <sub>4</sub>	15	16	14,0	37,7
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	25	44	64,2	93,6
N <sub>2</sub>	7	28	11,4	0
NH <sub>3</sub>	1	17	1,0	17,1
	100		100,0	

De dichtheid van het fakkelgas bedraagt 0,77 kg/m<sup>3</sup>. De warmte-inhoud van het fakkelgas is het gewogen gemiddelde van de warmte-inhoud van de componenten; deze wordt berekend op 35,7 MJ/m<sup>3</sup>. Deze is voldoende voor conditie A. Dit betekent dat over langere termijn zowel conditie A, B en C zullen voorkomen.

Uit bovengenoemde gegevens volgt:

In de brandbare componenten van het fakkelgas bevindt zich 63,7 kg koolstof; (1,6/28·12+14/16·12+64,2/44·3·12).

In de koolwaterstoffen in het fakkelgas bevindt zich 63 kg koolstof.

In het fakkelgas bevindt zich 1,9 kg zwavel.

In stikstofverbindingen, exclusief moleculaire stikstof, bevindt zich 0,8 kg stikstof.

Het fakkelgas heeft een warmte-inhoud van 4,64 GJ (per 100 kg per uur); (100/0,77·35,7/1000).

Aannemende dat de emissiecondities A, B en C de afgasstroom naar de fakkel verdelen in respectievelijk 83,8, 15,9 en 0,3%, kunnen de gemiddelde uremissies als volgt worden berekend:

- Koolmonoxide:  $0,838 \cdot 63,7 \cdot 0,01 \cdot 28/12 + 0,159 \cdot 63,7 \cdot 0,20 \cdot 28/12 + 0,003 \cdot 1,6 = 5,98$  kg CO
- Koolwaterstoffen (als CH<sub>4</sub>):  $0,838 \cdot 63 \cdot 0,001 \cdot 16/12 + 0,159 \cdot 63 \cdot 0,02 \cdot 16/12 + 0,003 \cdot 63 \cdot 1 \cdot 16/12 = 0,59$  kg C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>
- Zwaveloxiden:  $0,838 \cdot 1,9 \cdot 1 \cdot 64/32 + 0,159 \cdot 1,9 \cdot 1 \cdot 64/32 + 0,003 \cdot 1,9 \cdot 0 \cdot 64/32 = 3,79$  kg SO<sub>2</sub>
- Stikstofoxiden:  $0,838 \cdot 0,8 \cdot 0,2 \cdot 46/14 + 0,159 \cdot 0,8 \cdot 0,1 \cdot 46/14 + 0,003 \cdot 0,8 \cdot 0 \cdot 46/14 + 0,838 \cdot 4,64 \cdot 9/1000 + 0,159 \cdot 4,64 \cdot 4,5/1000 + 0,003 \cdot 4,64 \cdot 0 \cdot 46/14 = 0,52$  kg NO<sub>2</sub>
- Roet =  $0,838 \cdot 63,7 \cdot 0,0003 + 0,159 \cdot 63,7 \cdot 0,03 + 0,003 \cdot 63,7 \cdot 0 = 0,32$  kg C

Opmerking:

De massa van de geëmitteerde stoffen kan niet zonder meer vergeleken worden met de massa van de fakkelgassen. Een groot gedeelte van de massa van de geëmitteerde stoffen is afkomstig van atmosferische zuurstof en stikstof. Geëmitteerde koolwaterstoffen bestaan bij een goede verbranding voornamelijk uit methaan, ook als fakkelgassen zwaardere koolwaterstoffen bevatten.

## Bijlage D – Formulier voor opmerkingen

Het handboek “ Diffuse emissies en emissies bij op- en overslag, emissiefactoren” wordt veelvuldig gebruikt. Om het handboek zo goed mogelijk op de praktijk af te stemmen wil het ministerie van VROM commentaar op het handboek verzamelen en gebruiken voor een evaluatie. Uw op- of aanmerkingen kunt u richten aan:

RIVM/MNP  
Postbus 1  
3720 BA Bilthoven  
E-mail: [emissieregistratie@rivm.nl](mailto:emissieregistratie@rivm.nl)

Graag in uw reactie de volgende gegevens opnemen:

Naam: .....  
Organisatie: .....  
Adres: .....  
Telefoonnr.: .....  
E-mail: .....

Uw opmerkingen:  
(vermeld paragraaf en paginanummer per opmerking)

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Handtekening.....

Datum:.....