



Diffuse emissies van vluchtige organische stoffen

Handboek emissieberekening

30 september 2025

Verantwoording

Titel	Diffuse emissies van vluchtige organische stoffen
Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Projectleider	Berend Hoekstra
Auteur	Reinoud van der Auweraert
Tweede lezer	Albert Brouwer
Projectnummer	1282273
Aantal pagina's	55
Datum	30 september 2025
Handtekening	Ontbreekt in verband met digitale verwerking. Dit rapport is aantoonbaar vrijgegeven.

Colofon

TAUW bv
Handelskade 37
Postbus 133
7400 AC Deventer
T +31 57 06 99 91 1
E info.deventer@tauw.com

Inhoud

1	Inleiding	6
1.1	Achtergrond.....	6
1.2	Afbakening en doel	6
1.3	Aanpak	7
1.4	Stoffen in een mengsel	8
1.4.1	Bekend aandeel van de stof in de damp.....	8
1.4.2	Afgeleid uit de samenstelling van de vloeistof	8
2	Lekverliezen van apparaten	9
2.1	Afbakening en methoden	9
2.2	Vaste emissiefactor	9
2.3	Metten en berekenen	10
2.3.1	Standaard correlatiefactoren.....	10
2.3.2	Specifieke correlatiefactoren.....	10
2.3.3	Lekverliezenprogramma.....	10
3	Verliezen bij verladen	11
3.1	Dampbehandeling	11
3.2	Algemene methode	11
3.3	Vereenvoudiging voor benzine in schepen	13
3.4	Vereenvoudiging voor ruwe aardolie en ballastwater in schepen	14
4	Verliezen bij opslagtanks.....	15
4.1	Algemene toelichting bij opslagtanks	15
4.1.1	Verschillende soorten verliezen	15
4.1.2	Aandachtspunten bij de berekeningen.....	15
4.1.3	Afwijkend type afdichting.....	16
4.2	Opslagtank met vast dak.....	17
4.2.1	Ademverliezen van een vastdaktank	17
4.2.2	Verdrijvingsverliezen van een vastdaktank	26
4.3	Opslagtank met een uitwendig drijvend dak	28
4.3.1	Uitdampingsverliezen.....	28
4.3.2	Uitpompverlies	32
4.3.3	Ruststand van het drijvende dak.....	33
4.4	Opslagtank met een inwendig drijvend dak	37

4.4.1	Afbakening	37
4.4.2	Uitvoering van het drijvende dak	38
4.4.3	Uitvoering van het vaste dak	38
4.4.4	Uitdampingsverliezen	39
4.4.5	Uitpompverlies	41
4.4.6	Ruststand van het drijvende dak	42
4.5	Schoonmaken van opslagtanks	45
4.5.1	Doorspoelen van een opslagtank	46
4.5.2	Ventileren van een opslagtank	47
4.6	Mengen van vloeistoffen en gassen	48
4.6.1	Vloeistof oplossen in een vloeistof	48
4.6.2	Gas oplossen in een vloeistof	48
4.6.3	Gas borrelen door een vloeistof	49
4.7	Tijdsduur korter dan een jaar	49
5	Overige processen	50
5.1	Koelwatersystemen	50
5.2	Afvalwaterbehandeling	50
5.2.1	Olie-watermengsels	50
5.2.2	Olie naar de afscheider	51
5.2.3	Productspecificatie (vluchtigheid, dichtheid)	51
5.2.4	Temperatuur van het instromende water (Ts)	51
5.3	Fakkels	51
5.4	Incidenten met vloeistoflekkage	52
5.5	Overige emissies	53
6	Literatuur	54

Bijlage 1	Verlading	56
Bijlage 1a	Dampspanning van zuivere vloeistoffen en vloeistofmengsels	57
Bijlage 1b	Dampspanning van aardolieproducten	68
Bijlage 1c	Dampspanning van ruwe aardolie.....	72
Bijlage 2	Opslagtanks	74
Bijlage 2a	Klimatologische gegevens	76
Bijlage 2b	Dakrandafdichting	79
Bijlage 2c	Factoren voor dekdoorvoeringen	81
Bijlage 2d	Deknaadfactoren.....	86
Bijlage 2e	Empirische berekeningsmethode voor ademverliezen van vastdaktanks.....	87
Bijlage 3	Fakkels.....	90
Bijlage 4	Formulier voor opmerkingen	93

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Dit Handboek beschrijft de berekeningsmethoden voor het bepalen van de uitstoot van vluchtige organische stoffen (VOS) vanuit diffuse bronnen van raffinaderijen, organisch-chemische industrie en tankopslagbedrijven. Het bepalen van diffuse emissies en rapporteren hierover is een wettelijke verplichting voor de bedrijven. De gerapporteerde hoeveelheden worden verwerkt in de landelijke en Europese rapportages over de uitstoot naar de lucht. Dit Handboek vormt een overkoepeld document waarin alle belangrijke bronnen van diffuse emissies worden behandeld.

Na de herziening van maart 2004 is deze versie de tweede herziening sinds de publicatie van april 1993. In 2009 heeft er een beperkte actualisatie van het handboek milieumonitor 14 plaatsgevonden. Deze herziening is evenals de eerste herziening in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat uitgebracht met medewerking van vertegenwoordigers van het bevoegd gezag en het bedrijfsleven.

Sinds 2004 hebben verschillende ontwikkelingen plaatsgevonden waardoor het handboek niet meer geheel overeenkomt met de thans gangbare activiteiten, installaties, onderdelen van installaties en meetinstrumenten en de hedendaagse wetenschappelijke inzichten en gehanteerde normen.

1.2 Afbakening en doel

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

Koolwaterstoffen worden ook organische stoffen genoemd. Vluchtige organische stoffen (VOS) zijn de organische stoffen die sneller verdampen dan de niet-vluchtige. De grens voor de vluchtigheid van VOS is bepaald in wet- en regelgeving en verschilt per wettelijk kader. Meestal wordt methaan buiten beschouwing gelaten, gelet op het geringe effect van methaan op de vorming van ozon. VOS zonder methaan kan worden aangeduid met de afkorting NMVOS. De berekeningsmethoden van het Handboek zijn geschikt voor zowel vluchtige als niet-vluchtige koolwaterstoffen.

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 en zijn bindend indien voorgeschreven door het bevoegd gezag. 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, tankopslagbedrijven 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.

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. De aanpassingen in de methode ten opzichte van de handboekversie van 2004 [ref. 1] zijn in de tabel 1.1 aangegeven.

Tabel 1.1 Aanpassingen in de methode ten opzichte van de vorige versie van het Handboek [ref. 1]

Onderwerp	Wijziging
Lekverliezen	Vaste emissiefactor Vaste emissiefactoren vastgesteld voor Nederlandse situatie in 2021. Voor vaste emissiefactoren wordt verwezen naar NEN-EN 15446:2008. Deze zijn echter niet representatief voor een situatie met een lekdetectie- en reparatieprogramma Metten en berekenen Emissie bij 0 ppm verwijderd overeenkomstig NEN-EN 15446:2008
Verladen	Dampretoursysteem De situatie zonder zekerheid over lekdichtheid is toegevoegd
Opslagtanks	Ademverliezen van een opslagtank met een vast dak De theoretisch afgeleide methode die eerder als bijlage B9 was opgenomen is nu beschreven in de hoofdttekst (paragraaf 4.2.1) en heeft de voorkeur. De empirische methode (paragrafen 4.2 en 4.3 in de vorige versie van het Handboek) zijn als bijlage opgenomen. De empirische methode kan worden gebruikt als niet alle invoergegevens voor de theoretische methode bekend zijn Instelling van ademventiel In Nederland gebruikelijke instellingen van ademventielen zijn toegevoegd Instroom van warm product in een opslagtank met vast dak Dampuitzetting door instroom van warm product is toegevoegd Ruststand van drijvende dak De methode is herzien overeenkomstig EPA AP42 par. 7.1.3.3. Schoonmaken van opslagtanks De methode is herzien overeenkomstig EPA AP42 par. 7.1.3.4. Drijvend dak in een opslagtank met vast dak 5% reductie indien de opslagtank met een inwendig drijvend dak niet vrij ventileert. Mengen van vloeistoffen en gassen Het mengen van vloeistoffen en gassen in en door vloeistof zijn toegevoegd Afwijkend type afdichting De mogelijkheid en de voorwaarden om afwijkende factoren te gebruiken voor een afwijkend type afdichting is toegevoegd. Wandschraper (wax scraper) voor ruwe aardolie is beschouwd
Overige processen	Oliewaterseparator Berekeningsmethode is aangepast overeenkomstig EPA AP42 par.5.1 • Lekkage met plasvorming Berekeningsmethode voor plasverdamping toegevoegd
Dampspanning	Organische stoffen die in water zijn opgelost Aanvulling voor de berekening van de partiële dampspanning en het aandeel van organische stoffen die in water zijn opgelost

1.4 Stoffen in een mengsel

Zoals hiervoor in paragraaf 1.2 beschreven is het handboek is gericht op VOS maar biedt tevens een handvat voor het berekenen van een stof in een VOS-mengsel, bijvoorbeeld benzeen in benzinedamp. Er zijn twee benaderingen mogelijk om het aandeel van de stof in de damp te bepalen, namelijk volgens:

- Rechtstreeks door het aandeel van de stof in de damp als dat bekend is
- Afgeleid uit de samenstelling van de vloeistof als het aandeel van de stof in de damp onbekend is

1.4.1 Bekend aandeel van de stof in de damp

De emissie van een stof in een dampmengsel wordt berekend door de VOS emissie te vermenigvuldigen met de massaverhouding van de stof in de VOS damp. Soms is niet de massaverhouding bekend maar wel de molverhouding. De molverhouding kan als volgt worden omgerekend naar de massaverhouding.

$$Z_i = \frac{M_i \cdot X_i}{M_L} \quad \text{[vergelijking 1.1]}$$

Z_i	=	Massafractie van stof i in een mengsel [kg/kg]
M_i	=	Molmassa van stof i in een mengsel [g/mol]
X_i	=	Molfractie van stof i in een mengsel [mol/mol]
M_L	=	Gemiddelde molmassa van het mengsel [g/mol]

De massaverhouding van een bepaalde stof in de damp varieert met de temperatuur zodat deze aanpak alleen geldig is bij de temperatuur waarvoor deze werd bepaald.

1.4.2 Afgeleid uit de samenstelling van de vloeistof

Als de verhouding in de damp onbekend is, kan die worden berekend op basis van de samenstelling in de vloeistof. Hiertoe wordt de Wet van Raoult toegepast, die uitgaat van ideaal gedrag van elk van de componenten in het mengsel wordt aangenomen. Zie hiervoor bijlage 1a. De aanname van ideaal gedrag is geschikt bevonden voor de meeste koolwaterstofmengsels.

Deze aanname kan niet voor waterige mengsels of mengsels die alcoholen bevatten worden gemaakt. De moleculen van water en alcoholen zijn polair, wat betekent dat de afzonderlijke moleculen van deze stoffen een aantrekkingskracht op elkaar uitoefenen, wat resulteert in afwijkend gedrag ten opzichte 'ideaal gedrag'.

De Wet van Raoult kan niet worden toegepast als de vloeistof geheel of in belangrijke mate verdampt, zoals de vloeistoffilm die verdampt na uitpompen (zie paragraaf 4.1.2.6).

2 Lekverliezen van apparaten

2.1 Afbakening en methoden

Lekverliezen omvatten lekkages van apparaten die in beginsel gasdicht zijn. Het gaat met name om lekkages 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 methode om lekverliezen te bepalen is vastgelegd in de Europese norm NEN-EN 15446:2008. De kern van de methode is hier samengevat. Voor de details wordt verwezen naar de Europese norm.

2.2 Vaste emissiefactor

Voor nieuwe nog te bouwen installaties kunnen lekverliezen worden geschat aan de hand van kenmerkende lekverliesfactoren. De default factoren die in de Europese norm (Tabel C.1 en Tabel C.2) zijn aangegeven zijn gebaseerd op metingen van US EPA in de periode 1987-1995 en zijn niet meer representatief. De resultaten overschatten de te verwachten lekverliezen voor bedrijven met een lekverliesprogramma vanaf 2005. In de volgende tabel zijn kenmerkende emissiefactoren voor lekverliezen bij bedrijven met een lekverliesprogramma (LDAR) gepresenteerd gebaseerd op metingen bij een vijftigtal installaties¹ in de petrochemische industrie, raffinage van aardolie en tankopslag in Nederland in 2021.

Tabel 2.1 Kenmerkende emissiefactoren voor lekverliezen met een lekverliesprogramma (LDAR)

Groep	Apparaat	Gas [g/uur]	Vloeistof [g/uur]	Gas/vloeistof [g/uur]
Groep 1	Compressor	2,1	-	-
Groep 1	Pomp	-	3,8	-
Groep 1	Roerwerk	-	0,015	-
Groep 1	Veiligheidsklep	4,0	-	-
Groep 1	Monsternamepunt	-	-	0,20
Groep 2	Klep, afsluiter	0,22	0,15	-
Groep 2	Open einde	-	-	0,089
Groep 3	Flens, fitting	-	-	0,037

¹ Met meetresultaten voor 70 compressors, 484 pompen, 33 roerwerken, 437 veiligheidskleppen, 134 monsternamepunten, 16.473 kleppen, 4.482 open einden en 20.471 flenzen.

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 een vaste emissiefactor wel een beeld van de feitelijke situatie.

De metingen moeten worden uitgevoerd volgens NEN-EN 15446:2008. Het proefondervindelijk verband tussen de gemeten concentratie en de massastroom is in de volgende berekeningsformule aangegeven.

$$ER = A \cdot (SV^B) \quad \text{[vergelijking 2.1]}$$

ER	=	lekverlies [kg/uur]
A	=	correlatiecoëfficiënt [kg/uur], zie paragraaf 2.3.1 en paragraaf 2.3.2)
B	=	correlatiemacht [-], (zie paragraaf 2.3.1 en paragraaf 2.3.2)
SV	=	gemeten concentratie (ppm volume)

De factoren A en B worden de correlatiefactoren genoemd.

2.3.1 Standaard correlatiefactoren

In bijlage C van NEN-EN 15446:2008 zijn twee sets met correlatiefactoren gepresenteerd, tabel C.1 voor de chemische industrie en tabel C.2 voor de aardolie-industrie en voor de op- en overslagactiviteiten.

Als de gemeten concentratie hoger is dan de bovenste detectiegrens wordt een vaste waarde gehanteerd ('*pegged value*'). Deze zijn beschikbaar voor een detectiegrens van 10.000 ppm en 100.000 ppm. Voor tussenliggende waarden van detectiegrens, bijvoorbeeld 50.000 ppm, wordt de vaste waarde die bij 10.000 ppm hoort gebruikt.

2.3.2 Specifieke correlatiefactoren

Meer zekerheid ten aanzien van de emissie kan worden verkregen door het omhullen van het apparaat en dan meten van de concentratie bij een bekende volumestroom door de omhulling ('*bagging*' genoemd). De methode om vervolgens specifieke correlaties op te stellen is uitgewerkt in [ref. 3] overeenkomstig paragraaf 6.4.2 punt 3 van [ref. 2].

2.3.3 Lekverliezenprogramma

Het doel van het meten is niet beperkt tot het kwantificeren van de lekverliezen. Het meten is een onderdeel van het lekverliezenprogramma (afgekort met LDAR). Middels de meting kan worden vastgesteld of een afdichting:

- Lekdicht is
- Lekt binnen de aanvaardbare specificaties
- Lekt buiten de aanvaardbare specificatie en moet worden gerepareerd

De aanpak van het lekverliezenprogramma is uitgewerkt in het Meetprotocol lekverliezen [ref. 22].

3 Verliezen bij verladen

3.1 Dampbehandeling

In dit hoofdstuk worden de methoden gegeven voor het berekenen van de verliezen bij het laden van vloeistoffen in tankauto's, spoorketelwagons, binnenvaart- en zeeschepen. De lucht met damp van de vloeistof wordt bij het laden uitgedreven. De dampen van vluchtige producten worden meestal behandeld of middels een dampretoursysteem (dampbalansleidingen) opgevangen in de tank waaruit de vloeistof wordt gepompt. De gebruikelijke vormen van dampbehandeling bestaan uit productterugwinning en/of dampvernietiging door thermische oxidatie (verbranding). Terugwinning is mogelijk door technieken zoals condensatie, adsorptie en absorptie (gaswassing), al dan niet ondersteund door chemisorptie (chemische binden van stoffen). Na behandeling wordt de gereinigde lucht, respectievelijk de rookgassen, via een afvoerpijp uitgestoten in de buitenlucht. Deze emissie is een zogenoemde puntbronemissie, die buiten het bestek van het Handboek valt.

Het rendement van een goed werkend dampretoursysteem bij het beladen van tankwagens en spoorketels bedraagt circa 99%; voor een niet goed werkend systeem is dit circa 70% [ref. 10; p. 5-2.6]. De goede werking kan worden aangetoond middels een lekdichtheidstest². Daarnaast kan er een onbalans in de drukverdeling van een dampretoursysteem maken dat druk om veiligheidsredenen moet worden afgelaten, wat tot een emissie leidt. Deze storingsemisies vallen buiten het bestek van het Handboek.

Een dampretoursysteem is niet gebruikelijk bij het beladen van schepen. Bij het beladen van schepen vindt dampontwikkeling plaats waardoor het volume aan verplaatste damp groter is dan het volume aan verpompte vloeistof, zodat het gebruikelijk is om de dampen te behandelen.

Indien geen emissiebeperkende systemen zijn geïnstalleerd, kunnen de hierna beschreven berekeningsmethoden worden gehanteerd. Daarnaast zijn de berekeningsmethoden zijn ook bruikbaar om de onbehandelde damp te berekenen die in een dampverwerkingsinstallatie (DVI) wordt verwerkt.

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 ('evolutie-effect' genoemd). Met de hieronder beschreven methoden wordt de emissie berekend met de concentratie gemiddeld tijdens het vullen. De werkelijke emissieconcentratie loopt tijdens het beladen op. De beginconcentratie is afhankelijk van de voorlading en manier van beladen. Aan het einde van de belading wordt de verzadigingsconcentratie benaderd.

² Een voorbeeld van een druktest is gegeven is referentie 30, die de volgende eis stelt: niet meer dan 0,25 kPa drukverandering in 5 minuten na het op druk brengen tot 4,5 kPa gevolgd door het trekken van een vacuüm van 1,2 kPa. Een ander voorbeeld van een methode om de goede werking van een dampretoursysteem te testen is NEN-EN 16321-2:2013: Terugwinning van benzinedamp tijdens het vullen van motorvoertuigen bij tankstations – deel 2: Beproevingsmethoden voor de controle van dampterugwinningssystemen bij tankstations.

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. 4] voor zeeschepen en lichters en van EPA³ [ref. 5] voor tankauto's en spoorketels. De methode is geschikt voor het bepalen van beladingsverliezen van alle aardolieproducten en chemische vloeistoffen zoals bijvoorbeeld ethanol.

Voor het beladingsverlies L_L geldt:

$$L_L = V_L \cdot \left(\frac{P_{VA} \cdot M_V}{8,314 \cdot T_V} \right) \cdot K_S \quad [\text{vergelijking 3.1}]$$

L_L	=	beladingsverlies [kg]
V_L	=	volume van de geladen vloeistof [m ³]
P_{VA}	=	dampspanning van de vloeistof bij temperatuur T_L [kPa], zie bijlage 1
M_V	=	Molmassa van de damp [g/mol]
T_V	=	temperatuur van de damp [K]
K_S	=	beladingsverzadigingsfactor [-], zie tabel 3.1)
8,314	=	ideaal-gasconstante R [J/mol*K]

De beladingsverzadigingsfactor geeft aan in welke mate de damp verzadigd is ten opzichte van volledige verzadiging ($K_S=1$). 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 verzadigingsfactoren zijn in tabel 3.1 aangegeven.

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

Transport	Toestand voor belading, vulwijze	Vorige lading ³⁾	Beladingsverzadigingsfactor K_S [-]
Zeevaart ¹⁾	Niet schoongemaakte tank	Vluchtig product	0,2
	Niet schoongemaakte tank	Ballastwater en vluchtig product	0,15
	Niet schoongemaakte tank	Niet-vluchtig product	0,10
Binnen- en kustvaart ²⁾	Schone of dampvrije tank	Elk product	0,10
	Niet schoongemaakte tank	Benzine, ruwe aardolie	0,3
		Ander vluchtig product	0,5
	Niet schoongemaakte tank	Niet-vluchtig product	0,3
	Schone dampvrije tank		0,15
Tankauto's en spoorketelwagons	Niet schoongemaakte tank, vullen onder vloeistofoppervlak	Elk product	0,60
	Schone tank, vullen onder vloeistofoppervlak	Elk product	0,50

³ Hoofdstuk 5.2 van de AP42 [ref 5], waarvoor de publicatie van API [ref. 4] de basis vormde.

Transport	Toestand voor belading, vulwijze	Vorige lading ³⁾	Beladingsverzadigingsfactor K_s [-]
	Tank met dampretoursysteem (alle situaties)	Elk product	1,00
	Bovenlangs vullen met druppelvorming (' <i>splash loading</i> ')	Elk product	1,45

- 1) *Scheepstank circa 12 meter diep (deadweight tonnage vanaf 30.000 ton)*
- 2) *Scheepstank circa 3 – 4 meter diep (deadweight tonnage kleiner dan 30.000 ton)*
- 3) *Vluchtig product: dampspanning groter dan 10 kPa onder gebruiksomstandigheden; niet-vluchtig product: dampspanning gelijk aan of kleiner dan 10 kPa onder gebruiksomstandigheden*

Als het beladingsverlies niet per belading wordt berekend, kan het beladingsverlies worden berekend door de verzadigingsfactor te beschouwen naar rato van de kenmerkende situaties (bijvoorbeeld 60% van de te beladen zeeschepen waren niet schoongemaakt en de vorige lading betrof een licht product; 40% was schoon en dampvrij gemaakt). Daarnaast zij opgemerkt dat het ballasten in producttanks slechts bij uitzondering in Nederland voorkomt.

3.3 Vereenvoudiging voor benzine in schepen

Indien de dampspanning, molmassa of de beladingstoestand niet bekend is, kan de aanpak worden vereenvoudigd tot een vaste factor per geladen hoeveelheid benzine. De vereenvoudigde berekeningsmethode voor het beladen van lichters en zeeschepen met benzine is overgenomen uit [ref. 4]. De emissiefactor is berekend voor een benzine met een dampspanning van 55 kPa bij 17°C en met een gemiddelde molmassa van de damp van 64 g/mol.

Voor het beladingsverlies van benzine L_L geldt:

$$L_L = C_A \cdot V_L \quad \text{[vergelijking 3.2]}$$

L_L	=	beladingsverlies [kg]
C_A	=	emissiefactor [kg/m ³], zie tabel 3.2 (kg damp per m ³ geladen vloeistof)
V_L	=	volume van de geladen benzine [m ³]

De emissiefactor C_A en de verzadigingsfactor K_s (waarmee C_A is bepaald) voor het laden van benzine in schepen is in tabel 3.2 aangegeven voor verschillende situaties en voor een gemiddelde situatie [ref. 4; tabel 4]. De in tabel 3.1 gepresenteerde verzadigingsfactor betreft een afgeronde waarde voor alle aardolieproducten ten opzichte van de verzadigingsfactor voor alleen benzine in de tabel 3.2.

Tabel 3.2 Emissiefactoren voor het laden van benzine in schepen

Transport	Toestand voor belading	Vorige lading ³⁾	Emissiefactor C_A [kg/m ³]	Verzadigingsfactor K_s [-]
Zeevaart ¹⁾	Niet schoongemaakt	Vluchtig product	0,312	0,21
	Gevuld geweest met ballastwater	Vluchtig product	0,204	0,14
	Schoongemaakt	Vluchtig product	0,180	0,12
	Schoon of dampvrij	Vluchtig product	0,084	0,06

Transport	Toestand voor belading	Vorige lading ³⁾	Emissiefactor C _A [kg/m ³]	Verzadigingsfactor K _S [-]
Binnenvaart ²⁾	Elke situatie	Niet-vluchtig product	0,084	0,06
	Gemiddelde situatie ⁴⁾	Niet van toepassing	0,213	0,145
	Niet schoongemaakt	Vluchtig product	0,467	0,32
	Schoon of dampvrij	Vluchtig product	0,240	0,16
	Elke situatie	Niet-vluchtig product	0,240	0,16
	Gemiddelde situatie ⁴⁾	Niet van toepassing	0,413	0,282

1) Scheepstank circa 12 meter diep (d.w.t. vanaf 30.000 ton)

2) Scheepstank circa 3-4 meter diep (d.w.t. kleiner dan 30.000 ton)

3) Vluchtig product: dampspanning groter dan 10 kPa onder gebruiksomstandigheden; niet-vluchtig product: dampspanning gelijk aan of kleiner dan 10 kPa onder gebruiksomstandigheden

4) Gebaseerd op 41% tanks van zeeschepen niet schoongemaakt, 11% met ballastwater, 24% schoongemaakt en 24% dampvrij; binnenvaart, 76% niet schoongemaakt.

3.4 Vereenvoudiging voor ruwe aardolie en ballastwater in schepen

Indien de dampspanning en de molmassa niet bekend zijn, kan de aanpak worden vereenvoudigd tot een vaste factor per geladen hoeveelheid ruwe aardolie. De vereenvoudigde berekeningsmethode maakt eveneens gebruik van vergelijking 3.2 en is overgenomen uit [ref. 4]. De emissiefactor is gebaseerd op verdrijven van de damp die in de lege opslagtank bij aankomst aanwezig is en de damp die zich tijdens het laden ontwikkelt voor een aardolie met een dampspanning van 28 kPa bij 21°C en met een gemiddelde molmassa van de damp van 58 g/mol. De emissiefactor C_A en verzadigingsfactor K_S voor het laden van ruwe aardolie in schepen is in tabel 3.3 aangegeven [ref. 4; Tabel 7], respectievelijk in tabel 3.4 voor het laden van ballastwater [ref. 4; Tabel 8]. De in tabel 3.1 gepresenteerde verzadigingsfactor betreft een afgeronde waarde voor alle aardolieproducten ten opzichte van de verzadigingsfactor voor alleen ruwe aardolie in tabel 3.3.

Tabel 3.3 Emissiefactoren voor het laden van ruwe aardolie (crude) in zeeschepen

Toestand voor belading	Vorige lading ¹⁾	Gemiddelde ²⁾ emissiefactor C _A [kg/m ³]	Verzadigingsfactor K _S [-]
Niet schoongemaakt	Vluchtig product	0,132	0,2
Gevuld geweest met ballastwater	Vluchtig product	0,084	0,13
Schoon en/of dampvrij gemaakt	Vluchtig product	0,072	0,11
Elke situatie	Niet-vluchtig product	0,072	0,11

1) Vluchtig product: dampspanning groter dan 10 kPa onder gebruiksomstandigheden; niet-vluchtig product: dampspanning gelijk aan of kleiner dan 10 kPa onder gebruiksomstandigheden

2) Dampspanning van 28 kPa bij 21°C en molmassa 58 g/mol

Tabel 3.4 Emissiefactoren voor het laden van ballastwater

Toestand voor belading	Gemiddelde emissiefactor C _A [kg/m ³]	Verzadigingsfactor K _S [-]
Volledig gevuld met ballastwater	0,144	0,22
Deels gevuld met ballastwater	0,228	0,35

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 verdamping van de vloeistof door de afdichtingen heen en uitpompverlies het verdampen van de vloeistoffilm die achterblijft tijdens het legen van een opslagtank met een drijvend dak. Tabel 4.1 *Overzicht van verliezen voor de verschillende soorten atmosferische tanks* geeft een overzicht van de verliezen per tanktype.

Tabel 4.1 Overzicht van verliezen voor de verschillende soorten atmosferische tanks

Aard van de tank	Ademverlies	Verdrijvingsverlies	Uitdampingsverlies	Uitpompverlies
Vast dak zonder ademventiel	Altijd	Altijd	-	-
Vast dak met ademventiel	Beperkt ¹⁾	Altijd	-	-
Uitwendig drijvend dak		Ruststand ²⁾	Altijd	Altijd
Inwendig drijvend dak		Ruststand ²⁾	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 dak niet tot op de bodem maar rust het op poten en is er sprake van een dampruimte onder het dak; deze situatie laat zich vergelijken met een vastdaktank

De emissieberekenningsmethoden 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.

4.1.2.1 Dampspanning en molmassa

Er dient met de eigenschappen van de betreffende producten worden gerekend. De dampspanning van een reeks vloeistoffen zijn gegeven in bijlage 1. 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.

4.1.2.2 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 temperatuurverschil moeten minimaal vier verschillende seizoenen worden beschouwd (aan de hand van de gemiddelde seizoentemperatuur 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 temperatuurverschil zijn in bijlage 2a gegeven. Indien de temperatuur in de opslagtank meer dan 25°C bedraagt, moet gerekend worden met de temperatuur van het product in de opslagtank.

4.1.2.3 Gemiddelde windsnelheid

Voor de gemiddelde windsnelheid dient de jaargemiddelde regionale waarde te worden gebruikt. De regionale waarden voor de jaargemiddelde windsnelheid zijn in bijlage 2a gegeven.

4.1.2.4 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.

4.1.2.5 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 recht evenredig verband blijven bestaan met de emissies.

4.1.2.6 Dampsamenstelling

Nadere uitsplitsing naar de stoffen in de berekende VOS emissie is mogelijk door de samenstelling in de damp te beschouwen voor verdringings-, adem-, en uitdampingsverliezen. Het uitpompverlies van drijvende daken is gebaseerd op de volledige verdamping van de vloeistof. Daarom moet voor de uitpompverliezen de vloeistofsamenstelling worden beschouwd en niet de dampsamenstelling. Overigens is afwijking door ook voor uitpompverliezen de dampsamenstelling te hanteren beperkt en aanvaardbaar omdat de uitpompverliezen in de meeste gevallen klein zijn ten opzichte van de uitdampingsverliezen.

Niet-vluchtige verbindingen zoals de meeste polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK) zullen bij omgevingstemperatuur niet verdampen. Deze hoeven dan niet te worden beschouwd in de emissieberekening.

4.1.3 Afwijkend type afdichting

De in het Handboek gepresenteerde factoren voor afdichtingen van opslagtanks zijn overgenomen uit de genoemde referentiedocumenten van US EPA en zijn bepaald door American Petroleum Institute (API) in bijvoorbeeld windtunnelonderzoek. API heeft de methoden voor het vaststellen van specifieke factoren voor nieuwe type afdichtingen gepubliceerd (referenties 13, 14, 15, 16, 17 en 18).

Indien in een toekomstige herziening van de genoemde referentiedocumenten van US EPA een nieuwe factor voor een type afdichting wordt aangegeven kan die factor worden gebruikt.

Als de leverancier kan aantonen dat specifieke factoren zijn vastgesteld voor nieuwe type afdichtingen overeenkomstig de genoemde API referentiemethode kunnen die specifieke factoren worden gebruikt in overleg met het bevoegd gezag. Indien dit niet worden aangetoond zal een keuze moeten worden gemaakt uit de factoren van Handboek en de factor worden gekozen die het meest overeenkomt met het nieuwe type afdichting.

4.2 Opslagtank met vast dak

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

4.2.1 Ademverliezen van een vastdaktank

4.2.1.1 Algemene methode

De methode voor het berekenen van de ademverliezen is overgenomen van [ref. 7, par. 7.1.3.1.1]. Deze methode is ook geschikt voor opslagtanks met ademventielen en verwarmde opslagtanks.

De ademverliezen van een tank met vast dak worden als volgt berekend:

$$L_B = 365 \cdot V_v \cdot W_v \cdot K_E \cdot K_S \quad \text{[vergelijking 4.1]}$$

L_B	=	ademverlies [kg/jaar]
V_v	=	dampruimte [m^3], zie vergelijking 4.2
W_v	=	dampdichtheid [kg/m^3], zie vergelijking 4.3
K_E	=	dampruimte-expansiefactor [-], zie vergelijking 4.5
K_S	=	verzadigingsfactor voor geventileerde damp [-], zie vergelijking 4.8
365 is het aantal dagen in een jaar [1/jaar]		

De temperatuur in de berekening van de ademverliezen heeft effect op de dampdichtheid, de dampuitzetting en de verzadiging van de damp. De dampdichtheid en de dampverzadigingsfactor worden berekend met de temperatuur van het vloeistofoppervlak. De dampuitzetting wordt middels de dampruimte-expansiefactor berekend bij de temperatuur van de damp.

4.2.1.1.2 Dampruimte

De dampruimte V_v in de tank wordt als volgt berekend:

$$V_v = \left(\frac{\pi}{4} D^2 \right) \cdot H_{vo} \quad [\text{vergelijking 4.2a}]$$

V_v	=	volume van de dampruimte [m ³]
D	=	tankdiameter [m]
H_{vo}	=	gemiddelde vrije damphoogte [m], zie vergelijking 4.2a

$$H_{VO} = H_S - H_L + H_{RO} \quad [\text{vergelijking 4.2b}]$$

H_{vo}	=	gemiddelde vrije damphoogte [m], zie vergelijking 4.13b (voor liggende (horizontale) tanks is dit $H_E/2$)
H_S	=	hoogte van de tankwand [m]
H_L	=	vloeistofhoogte [m], (indien onbekend, veronderstel dat de tank half gevuld is)
H_{RO}	=	equivalente hoogte van het dak [m], (zie par. 4.2.1.2 voor kegel- en koepelvormige daken)

4.2.1.1.3 Dampdichtheid

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

$$W_v = \frac{M_v \cdot P_{VA}}{8,314 \cdot T_v} \quad [\text{vergelijking 4.3}]$$

W_v	=	dampdichtheid [kg/m ³]
M_v	=	molmassa van de damp [gram/mol] (ruwe aardolie $M_v = 60$)
P_{VA}	=	dampspanning bij de daggemiddelde temperatuur van het vloeistofoppervlak [kPa]
T_v	=	temperatuur van de damp [K], zie vergelijking 4.4c en 4.4d
	=	ideaal-gasconstante R [J/mol*K]

De molmassa van zuivere stoffen en van een aantal aardolieproducten is in bijlage 1 aangegeven. De molmassa van mengsels van stoffen kan worden benaderd zoals in paragraaf 1.4 is toegelicht.

De dampspanning die hoort bij de temperatuur van het vloeistofoppervlak kan worden berekend aan de hand van bijlage 1. De berekening van de temperatuur van het vloeistofoppervlak is hierna aangegeven (zie vergelijking 4.4 en 4.4a).

Vloeistofoppervlaktemperatuur

De temperatuur van het vloeistofoppervlak van een niet-geïsoleerde opslagtank wordt als volgt bepaald:

$$T_{LA} = 0,4 T_{AA} + 0,6 T_L + 0,005 \cdot \alpha \cdot I \cdot 48,9$$

[vergelijking 4.4]

T_{LA}	=	temperatuur van het vloeistofoppervlak [K]
T_{AA}	=	gemiddelde dagtemperatuur [K], zie bijlage 2a
T_L	=	vloeistoftemperatuur [K], zie vergelijking 4.4b
α	=	zonabsorptiefactor, gemiddeld over het tankoppervlak [-], zie tabel 4.2
I	=	dagelijkse zonnestraling [MJ/m ²] (de jaargemiddelde dagelijkse zonnestraling voor De Bilt ⁴⁾ bedraagt 9,72 MJ/m ²)

48,9 is omrekeningsfactor van Btu/ft² en Rankine naar MJ/m² en Kelvin

Vloeistofoppervlaktemperatuur

Voor een opslagtank met geïsoleerde wand en dak kan worden aangenomen dat de temperatuur van het vloeistofoppervlak gelijk is aan de gemiddelde opslagtemperatuur van de vloeistof. Als alleen de wand is geïsoleerd, dan geldt de volgende vergelijking:

$$T_{LA} = 0,3 T_{AA} + 0,7 T_L + 0,005 \cdot \alpha_R \cdot I \cdot 48,9$$

[vergelijking 4.4a]

T_{LA}	=	temperatuur van het vloeistofoppervlak [K]
T_{AA}	=	gemiddelde dagtemperatuur [K], zie bijlage 2a
T_L	=	vloeistoftemperatuur [K], zie vergelijking 4.4b
α_R	=	zonabsorptiefactor voor het dak [-], zie tabel 4.2
I	=	dagelijkse zonnestraling [MJ/m ²] (de jaargemiddelde dagelijkse zonnestraling voor De Bilt ⁴⁾ bedraagt 9,72 MJ/m ²)

48,9 is omrekeningsfactor van Btu/ft² en Rankine naar MJ/m² en Kelvin

Vloeistoftemperatuur

Indien de temperatuur van de vloeistof niet bekend is door metingen of proceskennis kan die als volgt worden bepaald voor een niet-geïsoleerde opslagtank met vast dak:

⁴ [ref. 1, bijlage B9]; kenmerkende waarde voor de periode 1960–1990 [KNMI; Zonnestraling in Nederland; ISBN 90-5210-140-X]. De zonnestraling is afhankelijk van de locatie in Nederland, waarbij de variatie beperkt is tot circa 10% ten opzichte van De Bilt. KNMI geeft aan dat er een opwaartse trend is in de tijd met een toename van de jaargemiddelde zonnestraling van circa 0,33% per jaar sinds 1981 (<https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/knmi-klimaatbericht-solar-radiation-trend-netherlands-toename-zonnestraling-nederland>).

$$T_L = T_{AA} + 0,003 \cdot \alpha_S \cdot I \cdot 48,9$$

[vergelijking 4.4b]

T_L	=	vloeistoftemperatuur [K]
T_{AA}	=	gemiddelde dagtemperatuur [K], zie bijlage 2a
α_S	=	zonabsorptiefactor voor de wand [-], zie tabel 4.2
I	=	dagelijkse zonnestraling [MJ/m ²] (de jaargemiddelde dagelijkse zonnestraling voor De Bilt ⁴⁾ bedraagt 9,72 MJ/m ²)
48,9 is omrekeningsfactor van Btu/ft ² en Rankine naar MJ/m ² en Kelvin		

Voor een opslagtank met een geïsoleerde wand kan worden aangenomen dat de temperatuur van de vloeistof gelijk is aan de gemiddelde dagtemperatuur van de buitenlucht.

Damptemperatuur

De temperatuur van de damp in een niet geïsoleerde opslagtank wordt als volgt bepaald:

$$T_V = 0,7 T_{AA} + 0,3 T_L + 0,009 \cdot \alpha \cdot I \cdot 48,9$$

[vergelijking 4.4c]

T_V	=	temperatuur van de damp [K]
T_{AA}	=	gemiddelde dagtemperatuur [K], zie bijlage 2a
T_L	=	vloeistoftemperatuur [K], zie vergelijking 4.4b
α	=	zonabsorptiefactor gemiddeld over het tankoppervlak [-], zie tabel 4.2
I	=	dagelijkse zonnestraling [MJ/m ²] (de jaargemiddelde dagelijkse zonnestraling voor De Bilt ⁴⁾ bedraagt 9,72 MJ/m ²)
48,9 is omrekeningsfactor van Btu/ft ² en Rankine naar MJ/m ² en Kelvin		

Voor een opslagtank met geïsoleerde wand en dak kan worden aangenomen dat de temperatuur van de damp gelijk is aan de gemiddelde opslagtemperatuur van de vloeistof. Als alleen de wand is geïsoleerd, dan geldt de volgende vergelijking:

$$T_V = 0,6 T_{AA} + 0,4 T_L + 0,01 \cdot \alpha_R \cdot I \cdot 48,9$$

[vergelijking 4.4d]

T_V	=	temperatuur van de damp [K]
T_{AA}	=	gemiddelde dagtemperatuur [K], zie bijlage 2a
T_L	=	vloeistoftemperatuur [K], zie vergelijking 4.4b
α_R	=	zonabsorptiefactor voor het dak [-], zie tabel 4.2
I	=	dagelijkse zonnestraling [MJ/m ²] (de jaargemiddelde dagelijkse zonnestraling voor De Bilt ⁴⁾ bedraagt 9,72 MJ/m ²)
48,9 is omrekeningsfactor van Btu/ft ² en Rankine naar MJ/m ² en Kelvin		

4.2.1.1.4 Damruimte-expansiefactor

De damruimte-expansiefactor wordt als volgt berekend voor zover de uitkomst tussen 0 en 1 ligt. Is de uitkomst kleiner dan 0 dan treden er geen ademverliezen op. Is de uitkomst groter dan 1 dan moet K_E gelijk gesteld worden aan 1.

$$K_E = \left(\frac{\Delta T_V}{T_{LA}} + \frac{\Delta P_V - \Delta P_B}{P_A - P_{VA}} \right) \quad [\text{vergelijking 4.5}]$$

K_E	=	damruimte-expansiefactor [-]
ΔT_V	=	dagelijks temperatuurverschil van de damp [K], zie vergelijking 4.6)
T_{LA}	=	gemiddelde vloeistofoppervlaktetemperatuur [K]
ΔP_V	=	dagelijks dampspanningsverschil [kPa], zie vergelijking 4.7)
ΔP_B	=	verschil tussen onder- en bovendrukinstelling van het ademventiel [kPa], zie tabel 4.3
P_A	=	atmosferische druk (101,3 kPa)
P_{VA}	=	dampspanning bij daggemiddelde temperatuur van het vloeistofoppervlak [kPa]

Dagelijks temperatuurverschil

Het dagelijks temperatuurverschil van de damp wordt als volgt berekend:

$$\Delta T_V = 0,7 \Delta T_A + 0,02 \cdot \alpha \cdot I \cdot 48,9 \quad [\text{vergelijking 4.6}]$$

ΔT_V	=	dagelijks temperatuurverschil van de damp [K]
ΔT_A	=	dagelijks temperatuurverschil [K], zie bijlage 2, tabel B2.2 (voor een volledig geïsoleerde opslagtank (wand + dak) is $\Delta T_A = 0$)
α	=	zonabsorptiefactor [-], zie tabel 4.2)
I	=	dagelijkse zonnestraling [MJ/m ²] (de jaargemiddelde dagelijkse zonnestraling voor De Bilt ⁴⁾ bedraagt 9,72 MJ/m ²)
48,9 is omrekeningsfactor van Btu/ft ² en Rankine naar MJ/m ² en Kelvin		

Voor een opslagtank met geïsoleerde wand en dak kan worden aangenomen dat het dagelijks temperatuurverschil van de damp nul is, tenzij er sprake is van instroom van warme vloeistof (zie paragraaf 4.2.1.3). Als alleen de wand is geïsoleerd, dan geldt de volgende vergelijking:

$$\Delta T_V = 0,6 \Delta T_A + 0,02 \cdot \alpha \cdot I \cdot 48,9 \quad [\text{vergelijking 4.6a}]$$

ΔT_V	=	dagelijks temperatuurverschil van de damp [K]
ΔT_A	=	dagelijks temperatuurverschil [K], zie bijlage 2, tabel B2.2 (voor een volledig geïsoleerde opslagtank (wand + dak) is $T_A = 0$)
α	=	zonabsorptiefactor [-], zie tabel 4.2)
I	=	dagelijkse zonnestraling [MJ/m ²] (de jaargemiddelde dagelijkse zonnestraling voor De Bilt ⁴⁾ bedraagt 9,72 MJ/m ²)
48,9 is omrekeningsfactor van Btu/ft ² en Rankine naar MJ/m ² en Kelvin		

Daarnaast wordt opgemerkt dat bovenstaande alleen betrekking heeft op temperatuurschommeling door de meteorologische omstandigheden (omgevingstemperatuur en zonnestraling). Daarnaast zijn er nog temperatuurschommelingen mogelijk als instromend product een andere temperatuur heeft dan de vloeistof in de opslagtank (zie paragraaf 4.2.1.3).

De zonabsorptiefactoren zijn in tabel 4.2 aangegeven [ref 7, Tabel 7.1-6]. Indien er geen specifieke informatie beschikbaar is, kan het volgende meest voorkomende situatie worden beschouwd: witte buitenkant en dak in goede staat.

Tabel 4.2 Zonabsorptiefactor (α) voor een aantal tankoppervlakken

Kleur	Uiterlijk	Oppervlak in nieuwe staat [-]	Oppervlak in goede staat [-]	Oppervlak dof en/of gebleekt [-]
Aluminium	Gewalst	0,10	0,12	0,15
Aluminiumverf	Glanzend	0,39	0,44	0,49
Aluminiumverf	Mat	0,60	0,64	0,68
Beige/room	-	0,35	0,35	0,49
Bruin	-	0,58	0,62	0,67
Geelbruin	-	0,43	0,43	0,55
Grijs	Licht	0,54	0,58	0,63
Grijs	Middel	0,68	0,71	0,74
Groen	Donker	0,89	0,90	0,91
Roest	Rood ijzeroxide	0,38	0,44	0,50
Rood	Primer	0,89	0,89	0,91
Wit	-	0,17	0,25	0,34
Zwart		0,97	0,97	0,97

Indien het tankdak en tankdak een andere kleur hebben, wordt α bepaald uit $\alpha = (\alpha_R + \alpha_S)/2$; waarbij α_R de absorptiecoëfficiënt van de verf op het tankdak en α_S de absorptiecoëfficiënt van de verf op de tankwand is.

Dagelijks dampspanningsverschil

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 zoals in de volgende vergelijking aangegeven. Voor een opslagtank met geïsoleerde wand en dak kan worden aangenomen dat het dagelijks dampspanningsverschil nul is.

$$\Delta P_V = P_{(T_{LA} + 0,25 \cdot \Delta T_V)} - P_{(T_{LA} - 0,25 \cdot \Delta T_V)} \quad [\text{vergelijking 4.7}]$$

ΔP_V	=	dagelijks dampspanningsverschil [kPa]
P	=	Dampspanning bij bepaalde temperatuur [kPa]
ΔT_V	=	dagelijks temperatuurverschil van de damp [K], zie vergelijking 4.6
T_{LA}	=	gemiddelde vloeistofoppervlaktetemperatuur [K]

De dampspanning die hoort bij een bepaalde temperatuur kan worden berekend aan de hand van bijlage 1.

Instelling van ademventielen

Opslagtanks die niet ontworpen zijn als druktank (zoals een 'LPG bol'), kunnen maar een geringe overdruk in dampruimte aan. De instelling van ademventielen is afhankelijk van de ontwerpnorm. In tabel 4.3 [ref. 13; par. 3.4] zijn kenmerkende waarden aangegeven voor twee ontwerpen en drie types van atmosferische opslagtanks, 'geen druk', 'lichte druk' en 'hoge druk'. De gangbare oudere atmosferische opslagtanks vallen onder het type 'geen druk'. De gangbare nieuwere atmosferische tanks vallen het type 'lichte druk'. Indien de instelling of het tanktype niet bekend zijn, kunnen de volgende kenmerkende waarden worden gebruikt: -0,6 kPa voor onderdrukventielen en +2,0 kPa voor overdrukventielen.

Tabel 4.3 Kenmerkende waarden van ademventielafstelling

Tanktype	Ontwerpnorm	Onderdruk [kPa]	Overdruk [kPa]	Drukverschil ¹⁾ [kPa]
Geen druk	BS 2654	-0,15	0,60	0,75
	EN 14015	-0,4	0,8	1,2
Lichte druk	BS 2654	-0,4	1,5	1,9
	EN 14015	-0,6	2,0	2,6
Hoge druk	BS 2654	-0,4	4,5	4,9
	EN 14015	-0,4	5,5	5,9

1) Verschil tussen onder- en bovendrukinstelling van het ademventiel (ΔP_B in vergelijking 4.5)

4.2.1.1.5 Verzendingsfactor voor geventileerde damp

De verzadiging in een opslagtank met een uitlaat naar de atmosfeer, al dan niet met ademventielen, wordt als volgt berekend:

$$K_S = \frac{1}{1 + 0,053 \cdot 0,145 \cdot P_{VA} \cdot 3,28 \cdot H_{VO}} \quad [\text{vergelijking 4.8}]$$

K_S = dampverzadigingsfactor [-]

P_{VA} = dampspanning bij de gemiddelde vloeistofoppervlaktetemperatuur [kPa], zie vergelijking 4.4
(0,145 voor de omrekening van kPa naar psi)

H_{VO} = gemiddelde vrije damphoogte [m] met 3,28 voor omrekening van meter naar voet.
(zie opmerkingen bij paragraaf 4.2.1.2 voor kegel- en koepelvormige daken).

4.2.1.2 Tankvormen

4.2.1.2.1 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 vergelijking worden gebruikt:

$$H_{RO} = \frac{S_r \cdot R_S}{3} \quad [\text{vergelijking 4.9}]$$

H_{RO}	=	equivalente hoogte van het conische gedeelte van het tankdak [m]
S_r	=	hellingshoek [m/m] (indien onbekend: 0,0625 m/m)
R_S	=	straal van de tankwand [m]

4.2.1.2.2 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:

$$H_{RO} = H_R \cdot \left[0,5 + \frac{1}{6} \cdot \left(\frac{H_R}{R_S} \right)^2 \right] \quad [\text{vergelijking 4.10}]$$

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]

$$H_R = R_R - \sqrt{(R_R^2 - R_S^2)} \quad [\text{vergelijking 4.11}]$$

H_R	=	hoogte van het koepelgedeelte [m]
R_R	=	straal van de koepel [m] (gebruikelijk tussen 0,8 tot 1,2 keer de tankdiameter; indien onbekend gelijk aan tankdiameter)
R_S	=	straal van de tankwand [m], straal is 0,5 keer de diameter)

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

[vergelijkingen 4.12]

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

$$H_R = 0,268 \cdot R_S$$

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]

4.2.1.2.3 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. Uitgaande van een halfgeevulde tank komt de vloeistofoppervlakte van een halfgeevulde liggende tank bij benadering overeen met de lengte keer de diameter. Voor een liggende (horizontale) tank is de overeenkomstige diameter en hoogte dan als volgt.

$$D_e = \sqrt{\frac{L \cdot D}{\frac{\pi}{4}}} \quad [\text{vergelijking 4.13a}]$$

D_e	=	effectieve tankdiameter [m]
L	=	lengte van de tank [m], (indien de uiteinden bol zijn, gebruik dan de totale lengte)
D	=	werkelijke tankdiameter, verticale doorsnede [m]

$$H_E = \frac{\pi}{4} D \quad [\text{vergelijking 4.13b}]$$

H_E	=	effectieve tankhoogte [m]
D	=	werkelijke tankdiameter, verticale doorsnede [m]

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. 7].

4.2.1.3 Dampuitzetting door instroom van warm product

In vergelijking met de cyclus van opwarmen en afkoelen door de zon is er ook sprake van een dergelijke cyclus door periodieke instroom van warm product⁵. Het warme product leidt tot tijdelijke opwarming van de dampruimte en tot uitzetting. Voor niet volledig geïsoleerde opslagtanks kan het effect worden verwaarloosd. Voor volledig geïsoleerde opslagtanks (wand + dak) worden de extra ademverliezen als volgt berekend.

$$L_S = N \cdot K_E \cdot \left(\frac{\pi}{4} D^2\right) H_{V0} \cdot K_S \cdot W_V \quad [\text{vergelijking 4.14}]$$

L_S	=	ademverliezen door instroom van warm product [kg/jaar]
N	=	aantal warme instromingen per jaar [1/jaar]
K_E	=	damp ruimte-expansiefactor [-] (zie vergelijking 4.14a voor volledig geïsoleerde opslagtanks)
D	=	tankdiameter [m]
H_{V0}	=	gemiddelde vrije damphoogte [m] (zie par. 4.2.1.1 voor kegel- en koepelvormige daken)
K_S	=	verzadigingsfactor voor geventileerde damp [-], zie vergelijking 4.8
W_V	=	dampdichtheid [kg/m ³], zie vergelijking 4.3

Voor volledig geïsoleerde opslagtanks is niet de dagelijkse temperatuurwisseling door de meteorologie bepalend voor de emissie maar de warme instroom. Daarbij is het aantal keer warme instroom als de temperatuur van de warme instroom van belang zoals uitgewerkt in de volgende vergelijking.

⁵ Een instromend product is 'warm' als deze de temperatuur van het in de opslagtank aanwezige product tijdelijk beduidend verhoogt zoals in onverwarmede geïsoleerde opslagtanks. De instroom van een warm product in een verwarmde opslagtank wordt gebruikelijk niet als 'warme instroom' beschouwd omdat de temperatuur van de vloeistof in de opslagtank door het verwarmingssysteem van de opslagtank wordt geregeld en niet door de warme instroom wordt bepaald.

$$K_E = \frac{(T_{LX} - T_{LN})}{T_L} + \frac{(P_{LX} - P_{LN}) - \Delta P_B}{(P_A - P_L)} \quad [\text{vergelijking 4.14a}]$$

K_E	=	damp ruimte-expansiefactor [-]
T_{LX}	=	Kenmerkende maximum temperatuur van de vloeistof tijdens instroomcyclus [K]
T_{LN}	=	Kenmerkende minimum temperatuur van de vloeistof tijdens instroomcyclus [K]
T_L	=	gemiddelde vloeistof temperatuur [K]
P_{LX}	=	dampspanning bij T_{LX} [kPa]
P_{LN}	=	dampspanning bij T_{LN} [kPa]
ΔP_B	=	verschil tussen onder- en bovendrukinstelling van het ademventiel [kPa], zie tabel 4.3
P_A	=	atmosferische druk (101,3 kPa)
P_L	=	dampspanning bij gemiddelde vloeistof temperatuur [kPa]

Voor de duidelijkheid, de vermelde vloeistof temperatuur (T_{LX} , T_{LN} , T_L) heeft betrekking op de totale vloeistof inhoud van de opslagtank, niet op het vloeistof oppervlak.

4.2.2 Verdrijvingsverliezen van een vastdaktank

4.2.2.1 Algemene methode

De methode voor het berekenen van de ademverliezen is overgenomen van [ref. 7, par. 7.1.3.1.2].

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

$$L_W = V_L \cdot K_N \cdot K_P \cdot \left(\frac{P_{VA} \cdot M_V}{8,314 \cdot T_V} \right) \cdot K_B \quad [\text{vergelijking 4.15}]$$

L_W	=	uitdrijvingsverlies [kg/jaar]
V_L	=	volume inpompte vloeistof, doorzet [m ³ /jaar]
K_N	=	doorzetcorrectiefactor [-]
K_P	=	productfactor [-] (=0,75 voor ruwe aardolie; =1 voor overige producten)
P	=	dampspanning [kPa] bij de vloeistof temperatuur (bij inpompen wordt de temperatuur aan het vloeistof oppervlak gelijk verondersteld aan de vloeistof temperatuur)
M	=	molmassa van de damp [g/mol]
T	=	temperatuur van de damp (opslagtemperatuur) [K]
K_B	=	ventilatiefactor [-]
8,314	=	ideaal-gasconstante R [J/mol*K]

4.2.2.2 Doorzet

De oorzaak van het verdrijvingsverlies is het stijgen van het vloeistofniveau. In bovenstaande vergelijking is aangenomen dat er niet tegelijk wordt in- en uitgepompt. Indien dat wel het geval is kan hiervoor worden gecorrigeerd door de netto hoogte x tankomtrek te beschouwen. Met netto hoogte wordt de som van het stijgen in een jaar bedoeld.

4.2.2.3 Doorzetcorrectiefactor K_N

De doorzetcorrectiefactor is een 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, wordt K_N als volgt berekend.

$$K_N = \frac{(180+N)}{6 \cdot N} \quad [\text{vergelijking 4.16}]$$

K_N	=	doorzetcorrectiefactor [-]
N	=	aantal turn-overs per jaar [1/jaar]

Het aantal turn-overs per jaar wordt als volgt berekend.

$$N = \left(\frac{V_L}{\frac{\pi D^2}{4}} \right) \cdot \left(\frac{1}{H_{LX} - H_{LN}} \right) \quad [\text{vergelijking 4.17}]$$

N	=	aantal turn-overs per jaar [1/jaar]
V_L	=	jaardoorzet aan ingepompte vloeistof [m^3/jaar]
D	=	tankdiameter [m]
H_{LX}	=	maximum vloeistofniveau [m] (als de maximum vloeistofhoogte onbekend is, gebruik dan voor verticale tanks 0,3 m minder dan de wandhoogte en voor horizontale tanks $(\pi/4) D$ waarbij D de diameter is van een verticale doorsnede van de horizontale tank)
H_{LN}	=	minimum vloeistofniveau [m] (als de minimum vloeistofhoogte onbekend is, gebruik dan voor verticale tanks 1 en voor horizontale tanks 0)

4.2.2.4 Ventilatiefactor K_B

De ventilatiefactor K_B is 1 tenzij de instelling van het overdrukventiel hoger is dan gebruikelijk (0,2 kPa - 2 mbar). Indien de instelling van het overdrukventiel hoger is dan 0,2 kPa wordt aan de volgende voorwaarde getoetst:

$$K_N \left(\frac{P_{BP} + P_A}{P_I + P_A} \right) > 1,0 \quad [\text{vergelijking 4.18}]$$

In dat geval bedraagt de ventilatiefactor K_B :

$$K_B = \left(\frac{\frac{P_I + P_A}{K_N} - P_{VA}}{P_{BP} + P_A - P_{VA}} \right) \quad [\text{vergelijking 4.19}]$$

P_A	=	atmosferische druk (101,3 kPa)
P_{BP}	=	ingestelde overdruk van het ademventiel [kPa]
P_I	=	werkdruk [kPa] (P_I is de absolute werkdruk (manometerdruk). Als de tank op atmosferische druk wordt gehouden druk gehouden (dus niet onder vacuüm of op constante overdruk) is $P_I = 0$)
P_{VA}	=	dampspanning bij de gemiddelde vloeistofoppervlaktetemperatuur [kPa], zie vergelijking 4.4
K_N	=	doorzetcorrectiefactor [-], zie paragraaf 4.2.2.3

4.3 Opslagtank met een uitwendig drijvend dak

Aangezien bij een opslagtank met een drijvend dak geen vrije dampruimte aanwezig is, zijn er in principe geen ademverliezen of verdrijvingsverliezen. De verliezen betreffen uitdampings- en uitpompverliezen. De uitdampingsverliezen worden veroorzaakt door lekkage langs de afdichtingen (dakrand, dekfittingen en naden). Uitpompverlies ontstaat bij het legen van de opslagtank (uitpompen) waarbij het dak zakt en vloeistof aan de wand blijft kleven. De methode voor tanks met een uitwendig drijvend dak is overgenomen van [ref. 7, paragraaf 7.1.3.2].

De berekeningsmethode is niet bedoeld om te worden gebruikt in de volgende toepassingen:

- Onstabiele of kokende voorraden of uit mengsels van koolwaterstoffen waarvan de dampspanning niet bekend is of niet gemakkelijk kan worden voorspeld
- Tanks waarin de materialen die worden gebruikt in de randafdichting en/of dekfittingen zijn aangetast of aanzienlijk zijn doordrongen door de opgeslagen vloeistof

In de praktijk komt het voor dat op tanks met een uitwendig drijvend dak later een geventileerd geodetisch koepeldak (dome) wordt geplaatst. Voor deze constructie kan de methode voor een tank met een inwendig drijvend dak worden gevolgd (paragraaf 4.4).

De berekeningsmethode voor de uitdampings- en uitpompverliezen volgen in afzonderlijke paragrafen. De totale emissie van de opslagtank is de som van de uitdampings- en uitpompverliezen. De verliezen van een drijvend dak in ruststand (daklanding) en ten gevolge van het schoonmaken van een tank zijn in afzonderlijke paragrafen behandeld.

4.3.1 Uitdampingsverliezen

De uitdampingverliezen⁶ bestaan uit de uitdamping door:

- De spleet tussen de rand van het drijvende dak en de tankwand (F_r in de volgende vergelijking)
- De spleten in het drijvende dak bij de fittingen van de steunkolommen (F_f in de volgende vergelijking).

⁶ De lekkage door spleten in het dak is verwaarloosd aangezien een uitwendig drijvend dak uit een gelast stalen dak bestaat waar geen dampen doorheen lekken.

$$L_u = (F_r + F_f) \cdot P^* \cdot M_V \cdot K_p \quad [\text{vergelijking 4.20}]$$

L_u	=	uitdampingsverlies [kg/jaar]
F_r	=	dakrandverlies [kmol/jaar], zie vergelijking 4.21
F_f	=	dekfittingverlies [kmol/jaar], zie vergelijking 4.22 (indien er geen dakdoorvoeringen zijn, vervalt deze term)
P^*	=	dampspanningsfunctie [-], zie vergelijking 4.23
M_V	=	molmassa van de damp [g/mol], voor ruwe aardolie (crude) $M = 60$
K_p	=	Productfactor [-] (0,4 voor ruwe aardolie (crude), 1 voor alle overige stoffen)

4.3.1.1 Dakrandverlies F_r

Het dakrandverlies wordt als volgt berekend.

$$F_r = 1,489 \cdot K_{rb} \cdot (2,23 \, v)^n \cdot D \quad [\text{vergelijking 4.21}]$$

F_r	=	dakrandverlies [kmol/jaar]
K_{rb}	=	windafhankelijke dakrandfactor [pond-mijl/((mijl/uur) ⁿ * voet * jaar)], zie bijlage 2b
n	=	windafhankelijke dakrandexponent [-], zie bijlage 2b
v	=	gemiddelde windsnelheid [m/s], zie bijlage 2b
D	=	tankdiameter [m]
1,489 is factor voor het omrekenen van pond en voet naar kg en meter		
2,23 is de factor voor het omrekenen van mijl/uur naar m/s		

4.3.1.2 Dekfittingverlies F_f

Het dekfittingverlies wordt als volgt berekend.

$$F_f = 0,454 \sum_{i=1}^n N_{fi} \cdot K_{fbi} \cdot (2,23 \cdot 0,7 \, v)^m \quad [\text{vergelijking 4.22}]$$

F_f	=	dekfittingverlies [kmol/jaar]
K_{fbi}	=	specifieke windafhankelijke dakdoorvoeringsfactor [pondmol/((mijl/uur) ^m * jaar)], zie bijlage 2c
m	=	windafhankelijke dakdoorvoeringsfactor [-], zie bijlage 2c
n	=	aantal dekfittingen [-], zie bijlage 2c
N_{fi}	=	aantal dekfittingen van een bepaalde soort, zie bijlage 2c
v	=	gemiddelde windsnelheid [m/s], zie bijlage 2c
0,454 is factor voor het omrekenen van pond naar kg		
2,23 is de factor voor het omrekenen van mijl/uur naar m/s		
0,7 is de windcorrectiefactor [-]		

4.3.1.3 Dampspanningsfunctie P^*

De dampspanningsfunctie wordt als volgt berekend.

$$P^* = \frac{\frac{P_{VA}}{P_A}}{\left(1 + \sqrt{1 - \frac{P_{VA}}{P_A}}\right)^2} \quad [\text{vergelijking 4.23}]$$

P^*	=	dampspanningsfunctie [-]
P_{VA}	=	dampspanning [kPa] van de vloeistof bij de temperatuur van de vloeistof (T_B)
P_A	=	atmosferische druk (101,3 kPa)

4.3.1.4 Daggemiddelde temperatuur van het vloeistofoppervlak

De gemiddelde dagelijkse temperatuur van het vloeistofoppervlak is voor tanks met een uitwending drijvend dak onafhankelijk van de verhouding tussen hoogte en diameter voor een gegeven waarde van de vloeistoftemperatuur. De berekening kan dan worden vereenvoudigd. Hierna volgt een afleiding voor twee gebruikelijke typen van een uitwendig drijvend dak. Indien het type onbekend is, kan voor het dak met stalen enkeldekconstructie (pontoon) worden gekozen.

Uitwending drijvend dak met stalen enkeldekconstructie (pontoon)

$$T_{LA} = 0,7 T_{AA} + 0,3 T_L + 0,008 \alpha_R I \cdot 48,9 \quad [\text{vergelijking 4.24}]$$

T_{LA}	=	gemiddelde dagtemperatuur aan het vloeistofoppervlak [K]
T_{AA}	=	gemiddelde dagtemperatuur [K], zie bijlage 2a
T_L	=	vloeistoftemperatuur [K]
α_R	=	zonabsorptie van het tankdak [-], zie tabel 4.2
I	=	dagelijkse zonnestraling [MJ/m ²] (de jaargemiddelde dagelijkse zonnestraling voor De Bilt ⁴⁾ bedraagt 9,72 MJ/m ²)

48,9 is omrekeningsfactor van Btu/ft² en Rankine naar MJ/m² en Kelvin

Indien de vloeistoftemperatuur T_L niet bekend is door metingen of proceskennis kan die vereenvoudigd als volgt worden bepaald.

$$T_L = T_{AA} + 0,007 \alpha \cdot I \cdot 48,9 \quad [\text{vergelijking 4.25}]$$

T_L	=	vloeistoftemperatuur [K]
T_{AA}	=	gemiddelde dagtemperatuur [K], zie bijlage 2a
α	=	zonabsorptie van de tankwand en -dak [-], zie tabel 4.2
I	=	dagelijkse zonnestraling [MJ/m ²] (de jaargemiddelde dagelijkse zonnestraling voor De Bilt ⁴⁾ bedraagt 9,72 MJ/m ²)

48,9 is omrekeningsfactor van Btu/ft² en Rankine naar MJ/m² en Kelvin

Indien de kleur van het dak en de wand verschillend zijn en de vloeistoftemperatuur T_V niet bekend is door metingen of proceskennis kan die als volgt worden bepaald.

$$T_L = T_{AA} + \left(\frac{(0,71 \alpha_R \cdot I \cdot 48,9 + 0,485 \frac{H_S}{D} \cdot \alpha_S \cdot I \cdot 48,9)}{(170 \frac{H_S}{D} + 57)} \right) \quad [\text{vergelijking 4.25a}]$$

T_L	=	vloeistoftemperatuur [K]
T_{AA}	=	gemiddelde dagtemperatuur [K], zie bijlage 2a
α_R	=	zonabsorptie van de tankdak [-], zie tabel 4.2
α_S	=	zonabsorptie van de tankwand [-], zie tabel 4.2
D	=	tankdiameter [m]
H_S	=	tankwandhoogte [m]
I	=	dagelijkse zonnestraling [MJ/m ²] (de jaargemiddelde dagelijkse zonnestraling voor De Bilt ⁴⁾ bedraagt 9,72 MJ/m ²)

48,9 is omrekeningsfactor van Btu/ft² en Rankine naar MJ/m² en Kelvin

Uitwendig drijvend dak met stalen dubbeldekconstructie

$$T_{LA} = 0,3 T_{AA} + 0,7 T_L + 0,009 \alpha_R I \cdot 48,9 \quad [\text{vergelijking 4.26}]$$

T_{LA}	=	gemiddelde dagtemperatuur aan het vloeistofoppervlak [K]
T_{AA}	=	gemiddelde dagtemperatuur [K], zie bijlage 2a
T_L	=	vloeistoftemperatuur [K]
α_R	=	zonabsorptie van het tankdak [-], zie tabel 4.2
I	=	dagelijkse zonnestraling [MJ/m ²] (de jaargemiddelde dagelijkse zonnestraling voor De Bilt ⁴⁾ bedraagt 9,72 MJ/m ²)

48,9 is omrekeningsfactor van Btu/ft² en Rankine naar MJ/m² en Kelvin

Indien de vloeistoftemperatuur T_L niet bekend is door metingen of proceskennis kan die vereenvoudigd als volgt worden bepaald waarbij is verondersteld dat de kleur van het dak en de wand gelijk zijn.

$$T_L = T_{AA} + 0,005 \alpha \cdot I \cdot 48,9 \quad [\text{vergelijking 4.27}]$$

T_L	=	vloeistoftemperatuur [K]
T_{AA}	=	gemiddelde dagtemperatuur [K], zie bijlage 2a
α	=	zonabsorptie van de tankwand en -dak [-], zie tabel 4.2
I	=	dagelijkse zonnestraling [MJ/m ²] (de jaargemiddelde dagelijkse zonnestraling voor De Bilt ⁴⁾ bedraagt 9,72 MJ/m ²)

48,9 is omrekeningsfactor van Btu/ft² en Rankine naar MJ/m² en Kelvin

Indien de kleur van het dak en de wand verschillend zijn en de vloeistoftemperatuur T_v niet bekend is door metingen of proceskennis kan die als volgt worden bepaald.

$$T_L = T_{AA} + \left(\frac{(0,71 \alpha_R \cdot I \cdot 48,9 + 0,485 \frac{H_S}{D} \cdot \alpha_S \cdot I \cdot 48,9)}{(170 \frac{H_S}{D} + 45)} \right) \quad [\text{vergelijking 4.27a}]$$

T_L	=	vloeistoftemperatuur [K]
T_{AA}	=	gemiddelde dagtemperatuur [K], zie bijlage 2a
α_R	=	zonabsorptie van de tankdak [-], zie tabel 4.2
α_S	=	zonabsorptie van de tankwand [-], zie tabel 4.2
D	=	tankdiameter [m]
H_S	=	tankwandhoogte [m]
I	=	dagelijkse zonnestraling [MJ/m ²] (de jaargemiddelde dagelijkse zonnestraling voor De Bilt ⁴⁾ bedraagt 9,72 MJ/m ²)
48,9 is omrekeningsfactor van Btu/ft ² en Rankine naar MJ/m ² en Kelvin		

4.3.2 Uitpompverlies

Doordat er geen steunkolommen zijn om een vast dak te dragen, is het uitpompverlies beperkt tot de binnenkant van de tankwand. Het uitpompverlies van uitwendig drijvende daken wordt dan als volgt berekend.

$$L_p = \frac{C_W \cdot W_L \cdot V_L}{D} \quad [\text{vergelijking 4.28}]$$

L_p	=	uitpompverlies [kg/jaar] (samenstelling van damp gelijk aan die van de vloeistof)
D	=	tankdiameter [m]
W_L	=	soortelijke massa van de vloeistof [kg/m ³]
V_L	=	doorzet [m ³ /jaar]
C_W	=	wandfactor [m ³ /m ²], zie tabel 4.4 (indien de toestand van de tankwand niet bekend is, ga uit van lichte roest)

Tabel 4.4 Wandfactor C_W volgens toestand van de tankwand

Product	lichte roest of epoxylaag [m ³ /m ²]	Zware roest [m ³ /m ²]	Spuitsbeton [m ³ /m ²]
Benzine en zuivere stoffen	0,0102 · 10 ⁻³	0,0512 · 10 ⁻³	1,02 · 10 ⁻³
Ruwe aardolie ¹⁾	0,0410 · 10 ⁻³	0,205 · 10 ⁻³	4,10 · 10 ⁻³

1) Indien een wandschraper (wax scraper) is toegepast en uit visuele inspectie blijkt dat de tankwand overwegend schoon (op het zicht olievrij) is, kan de factor worden gehalveerd (respectievelijk 0,0205 · 10⁻³ m³/m² voor lichte roest, 0,102 · 10⁻³ m³/m² voor zware roest en 2,05 · 10⁻³ m³/m² voor spuitsbeton)

4.3.2.1 Doorzet

De oorzaak van het uitpompverlies is het zakken van het drijvende dak. In bovenstaande vergelijking is aangenomen dat er niet tegelijk wordt in- en uitgepompt. Indien dat wel het geval is kan hiervoor worden gecorrigeerd door de netto hoogte x tankomtrek te beschouwen. Met netto hoogte wordt de som van het zakken in een jaar bedoeld.

4.3.3 Ruststand van het drijvende dak

Een drijvend dak kan niet tot op de bodem van de opslagtanks zakken. Onder meer vanwege onderhoud kent het dak een ruststand, veelal op circa 2 m hoogte. Indien de tank gelegeerd wordt tot onder de ruststand ontstaat er een dampruimte. Bij het vullen van de tank zal deze damp worden uitgedreven. Daarnaast kunnen er ook verliezen tijdens stilstand van het vloeistofniveau optreden, met name uitdampings- en ademverliezen. Voor het berekenen van de totale verliezen tijdens de ruststand van het drijvende dak moeten al deze afzonderlijke verliezen worden opgeteld.

4.3.3.1 Verliezen tijdens stilstand

Ongeacht of het type van randafdichting in vloeistof of damp is gemonteerd is bij een drijvend dak in ruststand sprake van afdichtingen voor damp omdat deze niet meer in contact staan met de vloeistof. De verliezen tijdens stilstand van het vloeistofniveau bij een geland dak kunnen worden benaderd door een gelast drijvend dak met een gemiddeld in damp gemonteerde primaire afdichting te beschouwen. Dit kan als volgt vereenvoudigd⁷ worden berekend.

$$L_{SL,wind} = 0,4536 \cdot 0,57 n_d \cdot \left(\frac{D}{0,3048} \right) \cdot P^* \cdot M_V \quad [\text{vergelijking 4.29}]$$

$L_{SL,wind}$	=	stilstandverlies van geland drijvend dak door de wind [kg/jaar]
n_d	=	aantal dagen van geland drijvend dak [1/jaar]
D	=	tankdiameter [m]
P^*	=	dampspanningsfactor [-], zie vergelijking 4.23
M_V	=	molmassa van de damp [gram/mol]
0,4536 voor de omrekening van pond naar kg; 0,3048 voor de omrekening van voet naar meter		

Maximum

De hoeveelheid die kan vrijkomen tijdens stilstand is beperkt door de hoeveelheid die nog aanwezig is onder tot het drijvende dak in ruststand. Voor een ronde opslagtank geldt per gebeurtenis:

$$L_{SL} \leq \left(\frac{\pi}{4} D^2 \right) \cdot H_{le} \cdot W_L \quad [\text{vergelijking 4.30}]$$

L_{SL}	=	uitdampingsverlies van geland dak [kg]
D	=	tankdiameter [m]
H_{le}	=	hoogte van de nog aanwezige vloeistof [m]
W_L	=	dichtheid van de vloeistof [kg/m ³]

Indien de opslagtank volledig leeg is gedraaid, is de maximum hoeveelheid die kan vrijkomen tijdens stilstand beperkt tot het volgende.

⁷ Windsnelheid 4,5 m/s; gelast dak met een gemiddelde dekrandafdichting waarvan alleen de primaire afdichting (seal) is beschouwd. De bijdrage van een secundaire afdichting wordt verwaarloosd, omdat deze wordt gecompenseerd door emissies via de dekfittingen.

$$L_{SL} \leq 0,6 \cdot \left(\frac{P_{VA} \cdot M_v}{8,314 \cdot T_V} \right) \cdot V_v \quad [\text{vergelijking 4.31}]$$

L_{SL}	=	uitdampingsverlies van geland dak [kg/jaar]
V_v	=	dampruimtevolume onder het drijvende dak in ruststand [m ³]
P_{VA}	=	dampspanning [kPa] (zie paragraaf 4.1.2 voor de corresponderende temperatuur)
M_v	=	molmassa van de damp [g/mol]
T_V	=	temperatuur van de vloeistof en damp [K], daggemiddelde temperatuur
8,314	=	ideaal-gasconstante R [J/mol*K]

4.3.3.2 Verliezen tijdens vullen

De verdrijvingsverliezen tijdens vullen onder het niveau van de ruststand van een uitwendig drijvend dak zijn lager dan die van een inwendig drijvend dak doordat een deel van de damp weggelekt is langs de verschillende afdichtingen onder invloed van de wind. Een vereenvoudigde benadering is mogelijk door de invloed van de wind te verwaarlozen met behulp van vergelijking 4.46, wat overeenkomt met windverzadigingsfactor $C_{sf} = 1$ in vergelijking 4.32.

Voor een nauwkeurigere benadering rekening houdend met de invloed van de wind dienen de verdrijvingsverliezen met de volgende vergelijking te worden berekend per gebeurtenis. Daarbij met de berekende emissie worden vergeleken met de maximale hoeveelheid (volgens vergelijking 4.35) en minimale hoeveelheid (volgens vergelijking 4.36). De met vergelijking 4.32 berekende hoeveelheid geldt alleen voor waarden tussen de minimale en maximale hoeveelheid.

$$L_{FL} = \left(\frac{P_{VA} \cdot M_v}{8,314 \cdot T_V} \right) \cdot V_v \cdot (C_{sf} \cdot S) \quad [\text{vergelijking 4.32}]$$

L_{FL}	=	uitdrijvingsverlies [kg]
V_v	=	Dampruimtevolume onder het drijvende dak in ruststand dat wordt gevuld met vloeistof [m ³]
P_{VA}	=	dampspanning [kPa] bij gemiddelde maandtemperatuur (zie bijlage 1; gemiddelde maandtemperatuur is gekozen voor de vloeistof in de aanname dat de bodemtemperatuur bepalend is)
M_v	=	molmassa van de damp [g/mol]
T_V	=	temperatuur van de damp [K], zie bijlage 2a (gemiddelde maandtemperatuur in de aanname dat de bodemtemperatuur bepalend is)
C_{sf}	=	windverzadigingsfactor [-]
S	=	verzadigingsfactor [-] ($S = 0,6$ indien de vloeistof de bodemplaat volledig bedekt; $S = 0,5$ indien de bodemplaat gedeeltelijk is bedekt, bijvoorbeeld tankbodem op afschot)
8,314	=	ideaal-gasconstante R [J/mol*K]

Windverzagingsfactor C_{sf}

De windverzagingsfactor wordt als volgt berekend per gebeurtenis (daklanding).

$$C_{sf} = 1 - \frac{\left(0,4536 \cdot 0,57 \left(\frac{D}{0,3048}\right) \cdot P^* \cdot M_V\right) - \left(K_E \cdot \left[\frac{P_{VA} \cdot M_V}{8,314 \cdot T_V}\right] \cdot V_V \cdot K_S\right)}{\left(K_E \cdot \left[\frac{P_{VA} \cdot M_V}{8,314 \cdot T_V}\right] \cdot V_V \cdot K_S\right) + \left(\left[\frac{P_{VA} \cdot M_V}{8,314 \cdot T_V}\right] \cdot V_V \cdot S\right)} \quad [\text{vergelijking 4.33}]$$

C_{sf}	=	windverzagingsfactor [-]
D	=	tankdiameter [m]
P^*	=	dampspanningsfactor [-], zie vergelijking 4.23
M_V	=	molmassa van de damp [gram/mol]
K_E	=	dampruimte-expansiefactor [-], zie vergelijking 4.34
V_V	=	dampruimtevolume onder het drijvende dak in ruststand [m ³]
P_{VA}	=	dampspanning [kPa] bij gemiddelde maandtemperatuur, zie bijlage 1 (gemiddelde maandtemperatuur is gekozen voor de vloeistof in de aanname dat de bodemtemperatuur bepalend is)
T_V	=	temperatuur van de damp [K], zie bijlage 2a; (gemiddelde maandtemperatuur in de aanname dat de bodemtemperatuur bepalend is)
K_S	=	verzagingsfactor tijdens stilstand, zie vergelijking 4.8
S	=	verzagingsfactor voor het vullen [-], ($S = 0,6$ indien de vloeistof de bodemplaat volledig bedekt; $S = 0,5$ indien de bodemplaat gedeeltelijk is bedekt. bijvoorbeeld bodem op afschot)
8,314	=	ideaal-gasconstante R [J/mol*K]
0,4536	=	voor de omrekening van pond naar kg; 0,3048 voor de omrekening van voet naar meter

Dampruimte-expansiefactor

De dampruimte-expansiefactor wordt op gelijkaardige wijze als in vergelijking 4.5 berekend met de aanname dat er geen ademventiel of de afsteldruk hiervan zo laag is, dat deze correctie verwaarloosbaar is.

$$K_E = \left(\frac{\Delta T_V}{T_{LA}} + \frac{\Delta P_V}{P_A - P_{VA}}\right) \quad [\text{vergelijking 4.34}]$$

K_E	=	dampruimte-expansiefactor [-]
ΔT_V	=	dagelijks temperatuurverschil van de damp [K], zie vergelijking 4.6
T_{LA}	=	gemiddelde vloeistofoppervlaktetemperatuur [K]
ΔP_V	=	dagelijks dampspanningsverschil [kPa], zie vergelijking 4.7
P_A	=	atmosferische druk (101,3 kPa)
P_{VA}	=	dampspanning bij daggemiddelde temperatuur van het vloeistofoppervlak [kPa]

Maximum

Voor tanks met een drijvend dak en een restvloeistof is het vulverlies beperkt in die zin dat de totale emissie niet groter mag zijn dan de hoeveelheid voorraadvloeistof die aanvankelijk in de tank is achtergebleven, verminderd met de hoeveelheid die is toegeschreven aan verlies, plus de dampen die ontstaan door de ingepompte vloeistof tijdens het vullen. Indien de emissie die met vergelijking 4.32 is berekend hoger is de maximale hoeveelheid volgens vergelijking 4.35 geldt de maximale hoeveelheid. Deze maximum hoeveelheid kan als volgt worden berekend.

$$L_{FL} \leq \left(\frac{\pi}{4} D^2 \right) \cdot h_{le} \cdot W_L - L_{SL} + 0,15 \left(\frac{P_{VA} \cdot M_v}{8,314 \cdot T_v} \right) \cdot V_v \quad [\text{vergelijking 4.35}]$$

L_{FL}	=	uitdrijvingsverlies bij vullen onder geland dak [kg]
L_{SL}	=	uitdampingsverlies onder geland dak [kg]
D	=	tankdiameter [m]
h_{le}	=	hoogte van de nog aanwezige vloeistof [m]
W_L	=	dichtheid van de vloeistof [kg/m ³]
V_v	=	dampruimtevolume onder het drijvende dak in ruststand [m ³]
P_{VA}	=	dampspanning [kPa] bij gemiddelde maandtemperatuur (zie bijlage 1; gemiddelde maandtemperatuur is gekozen voor de vloeistof in de aanname dat de bodemtemperatuur bepalend is)
M_v	=	molmassa van de damp [g/mol]
T_v	=	temperatuur van de damp [K] (zie bijlage 2a; gemiddelde maandtemperatuur in de aanname dat de bodemtemperatuur bepalend is)
8,314	=	ideaal-gasconstante R [J/mol*K]

Minimum

Indien een opslagtank helemaal vloeistofvrij is, hetzij door de volledige verdamping van het restant aan vloeistof, hetzij door schoonmaken of dampvrij maken wordt er bij aanvang van het vullen geen damp uitgedreven maar er ontstaat wel damp door het vullen. Deze hoeveelheid kan als volgt worden bepaald per gebeurtenis.

$$L_{FL} = 0,15 \left(\frac{P_{VA} \cdot M_v}{8,314 \cdot T_v} \right) \cdot V_v \quad [\text{vergelijking 4.36}]$$

L_{FL}	=	uitdrijvingsverlies bij vullen onder geland dak [kg]
V_v	=	dampruimtevolume onder het drijvende dak in ruststand [m ³]
P_{VA}	=	dampspanning [kPa] bij gemiddelde maandtemperatuur, zie bijlage 1 (gemiddelde maandtemperatuur is gekozen voor de vloeistof in de aanname dat de bodemtemperatuur bepalend is)
M_v	=	molmassa van de damp [g/mol]
T_v	=	temperatuur van de damp [K], zie bijlage 2a (gemiddelde maandtemperatuur in de aanname dat de bodemtemperatuur bepalend is)

Kenmerk R001-1282273RAX-V04i-nnc-NL

8,314 = ideaal-gasconstante R [J/mol*K]

4.3.3.3 Productwisseling

Bij productwisseling moet de vergelijking gesplitst worden in een deel met het product dat zich op de bodem bevindt en een deel van het product dat wordt ingepompt. De producten hebben namelijk een verschillende dampspanning. Voor het product dat nog aanwezig is geldt:

$$L_{FL} = (C_{sf}S - 0,15) \cdot \left(\frac{P_{VA} \cdot M_v}{8,314 \cdot T_v} \right) \cdot V_v \quad [\text{vergelijking 4.37}]$$

L_{FL}	=	uitdrijvingsverlies bij vullen onder geland dak [kg]
C_{sf}	=	windverzadigingsfactor [-]
V_v	=	dampruimtevolume onder het drijvende dak in ruststand [m ³]
P_{VA}	=	dampspanning [kPa] bij gemiddelde maandtemperatuur, zie bijlage 1 (gemiddelde maandtemperatuur is gekozen voor de vloeistof in de aanname dat de bodemtemperatuur bepalend is)
M_v	=	molmassa van de damp [g/mol]
T_v	=	temperatuur van de damp [K], zie bijlage 2a (gemiddelde maandtemperatuur in de aanname dat de bodemtemperatuur bepalend is)
8,314	=	ideaal-gasconstante R [J/mol*K]

Voor het ingepompte product geldt:

$$L_{FL} = 0,15 \left(\frac{P_{VA} \cdot M_v}{8,314 \cdot T_v} \right) \cdot V_v \quad [\text{vergelijking 4.38}]$$

L_{FL}	=	uitdrijvingsverlies bij vullen onder geland dak [kg]
V_v	=	dampruimtevolume onder het drijvende dak in ruststand [m ³]
P_{VA}	=	dampspanning [kPa] bij gemiddelde maandtemperatuur, zie bijlage 1 (gemiddelde maandtemperatuur is gekozen voor de vloeistof in de aanname dat de bodemtemperatuur bepalend is)
M_v	=	molmassa van de damp [g/mol]
T_v	=	temperatuur van de damp [K], zie bijlage 2a (gemiddelde maandtemperatuur in de aanname dat de bodemtemperatuur bepalend is)
8,314	=	ideaal-gasconstante R [J/mol*K]

4.4 Opslagtank met een inwendig drijvend dak

4.4.1 Afbakening

Evenals bij een opslagtank met een uitwendig drijvend dak 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 dak heeft de wind geen invloed op de emissies. De methode voor tanks met een inwendig drijvend dak is

overgenomen van [ref. 7, paragraaf 7.1.3.2] en komt voor een deel overeen met berekeningswijze voor tanks met een uitwendig drijvend dak.

De berekeningsmethode is niet bedoeld om te worden gebruikt in de volgende toepassingen:

- Onstabiele of kokende voorraden of uit mengsels van koolwaterstoffen waarvan de dampspanning niet bekend is of niet gemakkelijk kan worden voorspeld
- Tanks waarin de materialen die worden gebruikt in de randafdichting en/of dekfittingen zijn aangetast of aanzienlijk zijn doordrongen door de opgeslagen vloeistof

De berekeningsmethode is ontwikkeld voor een vast dak met open ontluchting naar de atmosfeer. De situatie van een vast dak met een drukvacuümventiel is vereenvoudigd benaderd in paragraaf 4.4.3.

De berekeningsmethode voor de uitdampings- en uitpompverliezen volgen in afzonderlijke paragrafen. De totale emissie van de opslagtank is de som van de uitdampings- en uitpompverliezen. De verliezen van een drijvend dak in ruststand (daklanding) en ten gevolge van het schoonmaken van een tank zijn in afzonderlijke paragrafen behandeld.

4.4.2 Uitvoering van het drijvende dak

In plaats van een gelast stalen dak, zoals bij uitwendig drijvende daken gebruikelijk is, bestaat de constructie van een inwendig drijvend dak ook uit geschroefde of geklonken aluminiumpanelen waar dampen doorheen lekken. Alleen gelaste naden worden als dampdicht beschouwd (ref. 7, par. 7.1.3.8.2). Leveranciers van drijvende daken hebben technieken ontwikkeld om de, niet-gelaste, deknaden beter af te dichten en zo de verliezen te verminderen. Een deknaad die met bouten of anderszins mechanisch is bevestigd en is afgedicht met elastomeermaterialen of chemische kleefstoffen is echter niet te beschouwen als een gelaste naad. Er zijn momenteel echter geen emissiefactoren beschikbaar in AP-42 die de eventuele emissiereductie weergeven die met deze technieken wordt bereikt

Sommige leveranciers hebben specifieke factoren voor hun maatregel ontwikkeld; het gebruik van deze factoren is echter niet aanbevolen door US EPA.

4.4.3 Uitvoering van het vaste dak

De hierna beschreven methode is ontwikkeld voor opslagtanks met een drijvend dak in vrij ventilerende opslagtank. Daarbij wordt er geen onderscheid gemaakt in de mate van vrije ventilatie. Het uitdampingsverlies van een opslagtank met alleen een ontluchtingspijp worden gelijk verondersteld aan een opslagtank met ventilatiesleuven.

Als het vaste dak niet vrij ventileert, bijvoorbeeld in het geval van een gesloten dak met ademventielen, kan een reductie van 5% worden aangehouden ten opzichte van een vrij ventilerend vast dak (ref. 7, par. 7.1.3.8.2). Voor opslagtanks met een kleine diameter waarin relatief vluchtige vloeistoffen met lange standtijd worden opgeslagen is de emissiebeperking aanzienlijk hoger (zie ref. 26 voor een passende berekeningsmethode).

Daarnaast kan worden opgemerkt dat alleen een gelaste constructie als dampdicht wordt gezien wat niet geldt voor een ‘*dicht*’ geschroefd geodetisch koepeldak (dome), al dan niet afgedicht met kit of een ander afdichtingsmateriaal (zie paragraaf 4.4.2).

4.4.4 Uitdampingsverliezen

Bij een drijvend dak vindt uitdamping langs de afdichtingen plaats, waarbij wind een belangrijke factor is. In vergelijking met een uitwendig drijvend dak, is de uitdamping aanzienlijk lager doordat wind in de tank boven het drijvende dak sterk wordt beperkt. Daarnaast wordt het drijvende dak afgeschermd van directe zonnestraling.

Inwendig drijvende daken bestaan vaak uit geschroefde of geklonken panelen, waarvan de afdichting een aanvullende bron van uitdamping zijn ten opzichte van een uitwendig drijvend dak met gelaste panelen. De uitdampingsverliezen van een inwendig drijvend dak ontstaan bij:

- De spleet tussen het drijvende dak en de tankwand (F_r in de volgende vergelijking)
- De spleten in het drijvende dak bij de fittingen van de steunkolommen (F_f in de volgende vergelijking)
- De spleten bij de naden van de panelen in het dak (F_d in de volgende vergelijking)

$$L_u = (F_r + F_f + F_d) \cdot P^* \cdot M_v \cdot K_p \quad [\text{vergelijking 4.39}]$$

L_u	=	uitdampingsverlies [kg/jaar]
F_r	=	dekrandverlies [kmol/jaar]
F_f	=	dekfittingverlies [kmol/jaar]
		(indien er geen dakdoorvoeringen zijn, vervalt deze term)
F_d	=	deknadenverlies [kmol/jaar]
		(deze term geldt alleen voor een dak dat niet geheel gelast is)
P^*	=	dampspanningsfunctie [-]
M_v	=	molmassa van de damp [g/mol], (voor ruwe aardolie (crude): $M = 60$)
K_p	=	Productfactor [-] (0,4 voor ruwe aardolie (crude), 1,0 voor alle overige stoffen)

4.4.4.1 Dekrandverlies F_r

Het dakrandverlies wordt als volgt berekend.

$$F_r = 1,489 \cdot K_{ra} \cdot D \quad [\text{vergelijking 4.40}]$$

F_r	=	dakrandverlies [kmol/jaar]
K_{ra}	=	windstilte-dekrandfactor [pondmol/voet*jaar], zie bijlage 2b
D	=	tankdiameter [m]
1,489 is factor voor het omrekenen van pond en voet naar kg en meter		

4.4.4.2 Dekfittingverlies F_f

Het dekfittingverlies wordt als volgt berekend.

$$F_f = 0,454 \sum_{i=1}^n N_{fi} \cdot K_{fai} \quad [\text{vergelijking 4.41}]$$

F_d	=	dekfittingverlies [kmol/jaar]
K_{fai}	=	specifieke windstijte-dakdoorvoeringsfactor [lbs-moles/jaar], zie bijlage 2c
n	=	aantal dakdoorvoeringen [-], zie bijlage 2c
N_{fi}	=	aantal dakdoorvoeringen [-] van een bepaalde soort, zie bijlage 2c
0,454 is factor voor het omrekenen van pond naar kg		

4.4.4.3 Deknadenverlies F_d

Als het drijvende dak niet geheel gelast is, is er sprake van deknadenverlies, wat als volgt wordt berekend.

$$F_d = 1,489 \cdot K_D \cdot S_d \cdot D^2 \quad [\text{vergelijking 4.42}]$$

F_d	=	deknadenverlies [kmol/jaar]
K_d	=	deknadenverliesfactor [pondmol/voet*jaar] (= 0,14 voor geschroefd en geklonken dek; ook toe te passen voor andere vormen niet-gelaste verbindingen)
S_d	=	verhouding tussen de totale naadlengte en het oppervlak van het drijvend dak [m/m ²] (indien S_d niet bekend is, kan de waarde voor verschillende daktypen bepaald worden uit de tabel in bijlage 2d)
D	=	tankdiameter [m]
1,489 is de factor voor het omrekenen van pond en voet naar kg en m		

4.4.4.4 Dampspanningsfunctie P^*

De dampspanningsfunctie wordt berekend met vergelijking 4.23 en is hier herhaald voor de leesbaarheid.

$$P^* = \frac{\frac{P_{VA}}{P_A}}{\left(1 + \sqrt{\left[1 - \frac{P_{VA}}{P_A}\right]}\right)^2} \quad [\text{vergelijking 4.23}]$$

P^*	=	dampspanningsfunctie [-]
P_{VA}	=	dampspanning [kPa] van vloeistofoppervlak bij daggemiddelde temperatuur T_{LA}
P_A	=	atmosferische druk (101,3 kPa)

4.4.4.5 Daggemiddelde temperatuur T_{LA}

Bij de berekening van de gemiddelde temperatuur van het vloeistofoppervlak wordt onderscheid gemaakt tussen niet geïsoleerde en geïsoleerde opslagtanks.

Niet-geïsoleerde opslagtank

De daggemiddelde temperatuur voor de berekening van P_{VA} in de dampspanningsfunctie kan als volgt vereenvoudigd worden berekend voor een niet geïsoleerd opslagtank met een inwendig drijvend dak. Dit geldt ook voor een uitwendig drijvend dak met een geodetisch koepeldak (dome).

[vergelijking 4.43]

$$T_{LA} = 0,3 T_{AA} + 0,7 T_L + 0,004 \alpha \cdot I \cdot 48,9$$

T_{LA}	=	gemiddelde dagtemperatuur aan het vloeistofoppervlak [K]
T_{AA}	=	gemiddelde dagtemperatuur [K], zie bijlage 2a
T_L	=	vloeistoftemperatuur [K]
α	=	zonabsorptie van de tank (dak = wand) [-], zie tabel 4.2
I	=	dagelijkse zonnestraling [MJ/m ²] (de jaargemiddelde dagelijkse zonnestraling voor De Bilt ⁴⁾ bedraagt 9,72 MJ/m ²)
48,9 is omrekeningsfactor van Btu/ft ² en Rankine naar MJ/m ² en Kelvin		

Indien de vloeistoftemperatuur T_L niet bekend is door metingen of proceskennis kan die vereenvoudigd worden bepaald met vergelijking 4.27.

Geïsoleerde opslagtank

Als de wand en het dak van een opslagtank zijn geïsoleerd is de temperatuur van het vloeistofoppervlak en de damp gelijk aan de vloeistoftemperatuur (zie vorige alinea over de bepaling van de vloeistoftemperatuur). Indien alleen de tankwand is geïsoleerd kan de temperatuur van het vloeistofoppervlak worden benaderd met vergelijking 4.4b.

4.4.5 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 dak (voor zo ver aanwezig). De vloeistof verdampt en de damp wordt uitgedreven tijdens het vullen. Het uitpompverlies kan worden berekend volgens vergelijking 4.44. Indien er geen steunkolommen voor het vaste dak zijn, komt deze vergelijking overeen met vergelijking 4.28.

$$L_p = \frac{C_W \cdot W_L \cdot V_L}{D} \cdot \left(1 + \frac{N_c \cdot F_c}{D} \right) \quad [\text{vergelijking 4.44}]$$

L_p	=	gewichtsverlies door uitpompen [kg/jaar], samenstelling van de vloeistof en de damp gelijk)
D	=	tankdiameter [m]
C_W	=	wandfactor [m ³ /m ²], zie tabel 4.4 (indien de toestand van de tankwand niet bekend is, ga uit van lichte roest)
W_L	=	dichtheid van de vloeistof [kg/m ³]
V_L	=	doorzet [m ³ /jaar]
N_c	=	aantal kolommen door het drijvende dak (ter ondersteuning van het vaste dak) [-] (voor een geodetisch koepeldak (dome), dat zelfdragend is, zijn er geen kolommen ter ondersteuning van het vaste dak en is $N_c = 0$; als dit aantal niet bekend is, kan N_c bepaald worden aan de hand van de tabel in bijlage 2c)
F_c	=	effectieve kolomdiameter [m] (kolomomtrek gedeeld door π ; indien onbekend, stel $F_c = 0,3$ m)

4.4.5.1 Doorzet

De oorzaak van het uitpompverlies is het zakken van het drijvende dak. In bovenstaande vergelijking is aangenomen dat er niet tegelijk wordt in- en uitgepompt. Indien dat wel het geval is kan hiervoor worden gecorrigeerd door de netto hoogte x tankomtrek te beschouwen. Met netto hoogte wordt de som van het zakken in een jaar bedoeld.

4.4.6 Ruststand van het drijvende dak

Een drijvend dak kan niet tot op de bodem van de opslagtanks zakken. Onder meer vanwege onderhoud kent het dak een ruststand, veelal op circa 2 m hoogte. Indien de tank gelegeerd wordt tot onder de ruststand ontstaat er een dampruimte. Bij het vullen van de tank zal deze damp worden uitgedreven. Daarnaast kunnen er ook verliezen tijdens stilstand van het vloeistofniveau optreden, met name uitdampings- en ademverliezen. Voor het berekenen van de totale verliezen tijdens de ruststand van het drijvende dak moeten al deze afzonderlijke verliezen worden opgeteld.

4.4.6.1 Verliezen tijdens stilstand

Ongeacht of het type van randafdichting in vloeistof of damp is gemonteerd is bij een drijvend dak in ruststand sprake van afdichtingen voor damp omdat deze niet meer in contact staan met de vloeistof. De verliezen tijdens stilstand van het vloeistofniveau bij een geland dak kunnen worden benaderd door een gelast drijvend dak met een gemiddeld in damp gemonteerde primaire afdichting te beschouwen. Dit kan als volgt vereenvoudigd⁸ worden berekend.

De verliezen tijdens stilstand van het vloeistofniveau worden als volgt bepaald per gebeurtenis.

$$L_{SL} = n_d \cdot K_E \left(\frac{P_{VA} \cdot M_v}{8,314 \cdot T_v} \right) \cdot V_v \cdot K_S \quad [\text{vergelijking 4.45}]$$

L_{SL}	=	stilstandverlies van drijvend dak in rust [kg]
n_d	=	aantal dagen van drijvend dak in rust [1/jaar]
K_E	=	damp ruimte-expansiefactor [-]
P_{VA}	=	dampspanning [kPa] bij gemiddelde maandtemperatuur (zie bijlage 1c; gemiddelde maandtemperatuur is gekozen voor de vloeistof in de aanname dat de bodemtemperatuur bepalend is)
T_v	=	temperatuur van de damp [K], zie bijlage 2a; (gemiddelde maandtemperatuur in de aanname dat de bodemtemperatuur bepalend is)
M_v	=	molmassa van de damp [gram/mol]
V_v	=	volumen van de damp ruimte [m ³]
K_S	=	verzadigingsfactor tijdens stilstand [-], zie vergelijking 4.8
8,314	=	ideaal-gasconstante R [J/mol*K]

Maximum en minimum

De hoeveelheid die kan vrijkomen tijdens stilstand is beperkt door de hoeveelheid die nog aanwezig is onder tot het drijvende dak in ruststand. De maximum hoeveelheid die kan verdampen is behandeld in paragraaf 4.3.3 en is ook van toepassing voor inwendig drijvende daken.

Damp ruimte-expansiefactor

De damp ruimte-expansiefactor wordt bepaald volgens vergelijking 4.34 en is hier herhaald voor de leesbaarheid. De damp ruimte-expansiefactor wordt op gelijkaardige wijze als in vergelijking 4.5 berekend met de aanname dat er geen ademventiel of de afsteldruk hiervan zo laag is, dat deze correctie verwaarloosbaar is.

⁸ Windsnelheid 4,5 m/s; gelast dak met een gemiddelde dekrandafdichting waarvan alleen de primaire afdichting (seal) is beschouwd. De bijdrage van een secundaire afdichting wordt verwaarloosd, omdat deze wordt gecompenseerd door emissies via de dekfittingen.

$$K_E = \left(\frac{\Delta T_V}{T_{LA}} + \frac{\Delta P_V}{P_A - P_{VA}} \right) \quad [\text{vergelijking 4.34}]$$

K_E	=	dampruimte-expansiefactor [-]
ΔT_V	=	dagelijks temperatuurverschil van de damp [K], zie vergelijking 4.6
T_{LA}	=	gemiddelde vloeistofoppervlaktetemperatuur [K]
ΔP_V	=	dagelijks dampspanningsverschil [kPa], zie vergelijking 4.7
P_A	=	atmosferische druk (101,3 kPa)
P_{VA}	=	dampspanning bij daggemiddelde temperatuur van het vloeistofoppervlak [kPa]

Verzadigingsfactor

De grootste onzekerheid in de berekening is de verzadiging van de damp. De maximale verzadiging kan worden berekend met vergelijking 4.8.

4.4.6.2 Verliezen tijdens vullen

De verdrijvingsverliezen tijdens vullen onder het niveau van de ruststand van het drijvende dak dienen met de volgende vergelijking te worden berekend.

$$L_{FL} = \left(\frac{P_{VA} \cdot M_v}{8,314 \cdot T_V} \right) \cdot V_v \cdot K_S \quad [\text{vergelijking 4.46}]$$

L_{FL}	=	uitdrijvingsverlies [kg/jaar]
V_v	=	Dampruimtevolume [m ³] onder het drijvende dak in ruststand dat gevuld worden met vloeistof
P_{VA}	=	dampspanning [kPa] (zie paragraaf 4.1.2 voor de corresponderende temperatuur)
M_v	=	molmassa van de damp [g/mol]
T_V	=	temperatuur van de damp [K]
K_S	=	verzadigingsfactor voor de geventileerde damp [-] ($K_S = 0,6$ indien de vloeistof de bodemplaat volledig bedekt; $K_S = 0,5$ indien de bodemplaat gedeeltelijk is bedekt, bijvoorbeeld bodem op afschot en gedraind)
8,314	=	ideaal-gasconstante R [J/mol*K]

Maximum en minimum

Voor tanks met een drijvend dak en een restvloeistof is het vulverlies beperkt in die zin dat de totale emissie niet groter mag zijn dan de hoeveelheid voorraadvloeistof die aanvankelijk in de tank is achtergebleven, verminderd met de hoeveelheid die is toegeschreven aan verlies, plus de dampen die ontstaan door de ingepompte vloeistof tijdens het vullen.

Indien een opslagtank helemaal vloeistofvrij is, hetzij door de volledige verdamping van het restant aan vloeistof, hetzij door schoonmaken of dampvrij maken wordt er bij aanvang van het vullen geen damp uitgedreven maar er ontstaat wel damp door het vullen.

Beide punten zijn behandeld in paragraaf 4.3.3 en is ook van toepassing voor inwendig drijvende daken.

Productwissel

Bij productwissel moet de vergelijking gesplitst worden in een deel met het product dat zich op de bodem bevindt en een deel van het product dat wordt ingepompt. De producten hebben namelijk een verschillende dampspanning. Voor het product dat nog aanwezig is geldt vergelijking 4.37, die hier herhaald is voor de leesbaarheid.

$$L_{FL} = (C_{sf}S - 0,15) \cdot \left(\frac{P_{VA} \cdot M_v}{8,314 \cdot T_v} \right) \cdot V_v \quad [\text{vergelijking 4.37}]$$

L_{FL}	=	uitdrijvingsverlies bij vullen onder geland dak [kg]
C_{sf}	=	windverzagingsfactor [-]
V_v	=	dampruimtevolume onder het drijvende dak in ruststand [m ³]
P_{VA}	=	dampspanning [kPa] bij gemiddelde maandtemperatuur, zie bijlage 1 (gemiddelde maandtemperatuur is gekozen voor de vloeistof in de aanname dat de bodemtemperatuur bepalend is)
M_v	=	molmassa van de damp [g/mol]
T_v	=	temperatuur van de damp [K], zie bijlage 2a (gemiddelde maandtemperatuur in de aanname dat de bodemtemperatuur bepalend is)
8,314	=	ideaal-gasconstante R [J/mol*K]

Voor het ingepompte product geldt vergelijking 4.38, die hier herhaald is voor de leesbaarheid.

$$L_{FL} = 0,15 \left(\frac{P_{VA} \cdot M_v}{8,314 \cdot T_v} \right) \cdot V_v \quad [\text{vergelijking 4.38}]$$

L_{FL}	=	uitdrijvingsverlies bij vullen onder geland dak [kg]
V_v	=	dampruimtevolume onder het drijvende dak in ruststand [m ³]
P_{VA}	=	dampspanning [kPa] bij gemiddelde maandtemperatuur, zie bijlage 1 (gemiddelde maandtemperatuur is gekozen voor de vloeistof in de aanname dat de bodemtemperatuur bepalend is)
M_v	=	molmassa van de damp [g/mol]
T_v	=	temperatuur van de damp [K], zie bijlage 2a (gemiddelde maandtemperatuur in de aanname dat de bodemtemperatuur bepalend is)
8,314	=	ideaal-gasconstante R [J/mol*K]

4.5 Schoonmaken van opslagtanks

Alvorens opslagtanks worden schoongemaakt wordt die eerst leeg gepompt en gedraind. Vervolgens wordt mechanisch geventileerd om de opslagtank dampvrij te maken. Daarbij verdampt de achtergebleven vloeistof. In deze paragraaf gaat over deze fase ongeacht of de tank daadwerkelijk wordt gereinigd.

Ventileren waaruit damp vrijkomt bestaat uit twee stappen:

- Doorspoelen: verdrijven van de reeds aanwezige damp
- Ventileren: verdamping van achtergebleven vloeistof

Van belang is dat de producteigenschappen overeenkomen met de restvloeistof in de opslagtank. Zo kan een opslagtank gespoeld zijn met een destillaat zoals gasolie om nadien gemakkelijker te kunnen reinigen.

4.5.1 Doorspoelen van een opslagtank

4.5.1.1 Opslagtank met vast dak

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

$$L_{Pu} = \left(\frac{P_{VA} \cdot M_V}{8,314 \cdot T_V} \right) \cdot V_V \cdot K_S \quad [\text{vergelijking 4.47}]$$

L_{Pu}	=	doorspoelemisatie [kg/jaar]
P_{VA}	=	dampspanning [kPa] bij omgevingstemperatuur
M_V	=	molmassa van de damp [g/mol]
T_V	=	temperatuur van de damp = omgevingstemperatuur [K]
8,314	=	ideaal-gasconstante R [J/mol*K]
V_V	=	dampvolumen [m ³], het totale tankvolume
K_S	=	verzadigingsfactor van de geventileerde damp [-]

De verzadigingsfactor kan als volgt worden berekend waarbij K_S tenminste 0,25 bedraagt en ten hoogste 0,5.

$$K_S = \frac{(0,5 N_d + 1)}{6} \quad [\text{vergelijking 4.48}]$$

K_S	=	verzadigingsfactor voor de geventileerde damp [-]
N_d	=	tijd tussen leeg drainen en doorspoelen [dag]

4.5.1.2 Opslagtank met drijvend dak

De uitstoot naar de lucht bij het doorspoelen van een opslagtank wordt berekend als het verdrijvingsverlies met volledig verzadigde damp (zie ook paragraaf 4.2.2). De berekening volgens vergelijking 4.49 is gelijk aan die van vergelijking 4.47 maar de verzadigingsfactor wordt anders bepaald.

$$L_{Pu} = \left(\frac{P_{VA} \cdot M_V}{8,314 \cdot T_V} \right) \cdot V_V \cdot K_S \quad [\text{vergelijking 4.49}]$$

L_{Pu}	=	doorspoelemisatie [kg/jaar]
P_{VA}	=	dampspanning [kPa] bij omgevingstemperatuur
M_V	=	molmassa van de damp [g/mol]
T_V	=	temperatuur van de damp = omgevingstemperatuur [K]
8,314	=	ideaal-gasconstante R [J/mol*K]

Kenmerk R001-1282273RAX-V04i-nnc-NL

V_v = dampruime [m³], het volume onder het drijvend dak in ruststand
 K_s = verzadigingsfactor voor de geventileerde damp [-]

De volgende waarden voor de verzadigingsfactor zijn toepassing voor een opslagtank met een drijvend dak:

- Bodem geheel onder vloeistof: $K_s=0,6$
- Bodem deels onder vloeistof: $K_s=0,5$
- Opslagtank geheel leeg gedraaid: $K_s=0$

Voor uitwendig drijvende daken kunnen de bovenstaande waarden nog gecorrigeerd worden aan de hand van de windverzadigingsfactor C_{sf} indien het spoelen niet 's nachts wordt gestopt. Dan kan de correctie alleen worden toegepast op de tijd voor het stoppen.

4.5.2 Ventileren van een opslagtank

De ventilatie-emissies na het spoelen worden berekend uit de gemiddelde dampconcentratie in de dampruimte (die kan worden gerapporteerd als een percentage van de onderste explosiegrens, of %LEL), de ventilatiesnelheid en de tijdsduur gedurende welke de mechanische ventilatie in werking blijft. Deze parameters zijn vaak bekend omdat zij om veiligheidsredenen worden gemonitord.

$$L_{CV} = Q_v \cdot n_{cv} \cdot t_v \cdot C_v \left(\frac{P_A \cdot M_{CG}}{8,314 \cdot T_v} \right) \quad [\text{vergelijking 4.50}]$$

L_{CV} = ventilatie-emissie [kg]
 Q_v = ventilatiedebiet [m³/uur]
 (werkelijk debiet is lager dan het nominaal debiet van de ventilatoren door weerstandsverliezen)
 n_{cv} = totale ventilatieduur [dag]
 t_v = dagelijkse ventilatieduur [uur/dag], zonder de tijd die nodig was voor het doorspoelen (het eerste half uur van elke fase van mechanische ventilatie mag buiten beschouwing worden gelaten)
 C_v = gemiddelde dampconcentratie gedurende de ventilatieperiode als volumeverhouding ten opzichte van de onderste explosiegrens van de damp [-]
 P_A = atmosferisch druk (101,3 kPa)
 M_{CG} = molmassa van het kalibratiegas⁹ van de concentratiemeting [g/mol]
 T_v = damptemperatuur = omgevingstemperatuur [K]
 8,314 = ideaal-gasconstante R [J/mol*K]

$$C_v = LEL\%_v \cdot LEL_{CG} \cdot RF \quad [\text{vergelijking 4.50a}]$$

C_v = gemiddelde dampconcentratie gedurende de ventilatieperiode als volumeverhouding ten opzichte van de onderste explosiegrens van de damp [-]

⁹ De berekeningsmethode is gebaseerd op metingen die om veiligheidsredenen worden uitgevoerd, bijvoorbeeld ter controle van concentratie ten opzichte van de onderstel explosiegrens.

Kenmerk R001-1282273RAX-V04i-nnc-NL

LEL % _v	=	gemeten dampconcentratie als volumeverhouding ¹⁰ ten opzichte van de onderste explosiegrens van het kalibratiegas [-]
LEL _{CG}	=	onderste explosiegrens van het kalibratiegas gebruikt voor de LEL-meter als volumeverhouding ¹¹ in lucht [-]
RF	=	responsiefactor van de damp ten opzichte van het kalibratiegas gebruikt voor de LEL-meter [-] (indien onbekend = 1)

De concentratie kan ook worden gemeten met een meettoestel dat de concentratie als volumeconcentratie weergeeft zodat de omrekening met de onderste explosiegrens vervalt in de berekening.

De hoeveelheid die kan vrijkomen tijdens stilstand is beperkt door de hoeveelheid vloeistof die nog aanwezig is. Deze maximale hoeveelheid kan worden berekend met vergelijking 4.26. Voor eventueel slib dat overblijft, moet het gehalte aan vluchtige koolwaterstoffen in het slibvolume worden beschouwd. Indien dit onbekend is, kan een waarde van 0,2 worden aangehouden.

4.6 Mengen van vloeistoffen en gassen

4.6.1 Vloeistof oplossen in een vloeistof

Om in elkaar oplosbare vloeistoffen snel en volledig te mengen worden de vloeistoffen mechanisch in beweging gebracht. Dit kan bijvoorbeeld middels roerwerken en pompen die een straalstroom (jet stream) opwekken. In beide gevallen ontstaat er een vloeistofbeweging in de opslagtank. Kleine hoeveelheden kunnen worden gemengd in een vloeistofleiding tijdens het beladen.

Zolang de vloeistofbeweging niet leidt tot druppels boven het vloeistofoppervlak (nevel, mist) in de opslagtank kunnen de emissies volgens de gebruikelijke methode zoals hiervoor beschreven worden berekend. Indien er wel druppels worden gevormd tijdens het mengen kan een oververzadigingsfactor van 1,45 worden gehanteerd voor de verdrijvingsverliezen van een opslagtank met een vast dak in analogie met Tabel 5.2-1 van referentie 9 voor bovenlangs vullen ('*splash loading*').

4.6.2 Gas oplossen in een vloeistof

Gassen kunnen ook worden opgelost in een vloeistof, bijvoorbeeld butaan in benzine. De gebruikelijke wijze is het gas onder druk te injecteren in een daarvoor bestemd circulatieleiding waarin het vloeibare product wordt rondgepompt. Vervolgens wordt het product met het gas door een statische mixer geleid, waardoor het product werveling krijgt en het gas wordt opgelost. Als laatste zal het product via een straalbuis, 'jet nozzle', de tank ingepompt worden. Het injecteren van het gas wordt gestopt als de ingestelde druk is bereikt. De drukinstelling moet voorkomen dat er gasbellen in de opslagtank ontstaan.

¹⁰ Uitgelezen percentage gedeeld door 100

¹¹ Percentage gedeeld door 100

Voor de emissieberekening moet rekening gehouden worden met de verhoogde dampspanning van het product na het toevoegen van het gas.

4.6.3 Gas borrelen door een vloeistof

Een andere manier om twee vloeistoffen te mengen in een opslagtank is homogeniseren middels gasbelletjes. Fijn verdeelde lucht kan bijvoorbeeld door gasolie of stookolie worden geblazen of stikstof door benzine. Er wordt in eerste instantie aangenomen dat de gasbelletjes bij het opborrelen verzadigd raken met vloeistofdamp (verzadigingsfactor = 1). Indien uit een situatiespecifiek meetonderzoek een andere verzadigingsfactor dan 1 blijkt, kan deze worden gehanteerd. De emissie door het homogeniseren middels gas borrelen wordt als volgt berekend:

$$L_h = Q_h \cdot t_h \cdot S \cdot \left(\frac{P_{VA} \cdot M_V}{8,314 \cdot T_V} \right) \quad [\text{vergelijking 4.51}]$$

L_h	=	emissie bij homogeniseren middels gas borrelen [kg]
Q_h	=	gascompressordebiet [m ³ /uur] bij damptemperatuur en 'normale' druk (101,3 kPa)
t_h	=	duur van het homogeniseren [uur]
S	=	verzadigingsfactor [-]
P_{VA}	=	dampspanning [kPa] bij omgevingstemperatuur
M_V	=	molmassa van de damp [g/mol]
T_V	=	damptemperatuur = omgevingstemperatuur [K]
8,314	=	ideaal-gasconstante R [J/mol*K]

Bij het homogeniseren van lichte vloeistoffen zoals benzine kunnen vloeistofdruppels worden gevormd die buiten de opslagtank verdampen. Indien er sprake is van druppelvorming bij het homogeniseren wordt een verzadigingsfactor van 1,45 (oververzadiging) gehanteerd in analogie met de verzadigingsfactor voor bovenlangs vullen ('*splash loading*') van tabel 3.1. Indien druppelvorming is uitgesloten kan een verzadigingsfactor van 1 worden gehanteerd.

4.7 Tijdsduur korter dan een jaar

De hiervoor beschreven methoden zijn bedoeld voor het berekenen van de jaaremissie maar kunnen ook worden gebruikt om de emissies voor een kortere periode te schatten door de invoergegevens in de vergelijkingen te betrekken op de kortere periode. Bijvoorbeeld, emissieberekeningen voor de maand juni moeten worden gebaseerd op de meteorologische gegevens voor juni.

Het betreffende aantal dagen ten opzichte van 365 dagen per jaar kan worden gebruikt om de emissies voor de kortere periode te berekenen. De vloeistofdoorzet moet betrekking hebben de betreffende periode. De beschreven methoden zijn niet bedoeld voor een periode korter dan één maand.

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. 10, Tabel 5.1-3] worden de volgende waarden voor de emissie van koolwaterstoffen aanbevolen:

- 0,7 g/m³ circulerend koelwater indien het koelwatersysteem niet regelmatig wordt gecontroleerd op lekkage
- 0,08 g/m³ 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.

5.2 Afvalwaterbehandeling

De belangrijkste processen die een bron van luchtverontreiniging kunnen vormen bij de afvalwaterbehandeling zijn open olie-waterscheiders, strippers en verdampers. Olie-waterscheiders zijn vaak een diffuse bron; strippers en verdampers een gekanaliseerde puntbron.

De diffuse emissies van oliewaterafscheiders moeten altijd worden berekend. De meeste olie-waterscheiders in Nederland zijn intussen overkapt, wat de verdamping van koolwaterstoffen sterk beperkt. Voor olie-waterscheiders kan een vereenvoudigde aanpak worden gevolgd. In [ref. 9, Tabel 5.1-3] worden de volgende waarden voor de emissie van koolwaterstoffen aanbevolen:

1. 0,6 kg/m³ circulerend afvalwater indien de oliewaterafscheider niet overkapt is en/of niet voorzien van dampbehandeling
2. 0,024 kg/m³ circulerend afvalwater indien de oliewaterafscheider wel overkapt is en/of voorzien van dampbehandeling

Algemene aandachtspunten zijn hierna aangegeven.

5.2.1 Olie-watermengsels

Tanks met waterige mengsels waarin fasescheiding is opgetreden, met als gevolg een vrije olie- of andere vluchtige materialen boven op het water drijft, moeten de emissies worden geraamd op basis van de eigenschappen van de vrije bovenlaag.

5.2.2 Olie naar de afscheider

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 m³ water worden gerekend. Indien de wisselende samenstelling samenhangt met de seizoenen moet de kenmerkende samenstelling per seizoen worden beschouwd.

5.2.3 Productspecificatie (vluchtigheid, dichtheid)

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 °C en 660 kg/m³).

5.2.4 Temperatuur van het instromende water (Ts)

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.

5.3 Fakkels

De onderstaande berekeningsmethode van fakkelemisies is afkomstig van de werkgroep afgasfakkels [ref.19]. 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. De emissiefactoren voor koolwaterstoffen zijn in lijn met andere referenties zoals referentie 20 (paragraaf 5.1.1.3 Flare Combustion and Destruction Efficiency).

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 3)	≤ 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 ³	> 6.000 kJ/Nm ³ en < 10.000 kJ/Nm ³	≤ 6.000 kJ/Nm ³

De fakkelemisseries zijn afhankelijk van de fakkelbelasting, warmte-inhoud van de afgassen, windsnelheid op fakkelhoogte en al dan niet werkende stoominjectie. In bijlage 3 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 milieueffectrapport 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%	Fakkelgassen komen onverbrand in de lucht; 100% van CO en koolwaterstoffen in het fakkelgas; 0% roet, zwavel- en stikstofoxiden
Koolwaterstoffen (als CH ₄ , als deel C in fakkelgas)	0,1%	2%	
Zwaveloxiden (als SO ₂)	100%	100%	
Stikstofoxiden (als NO ₂)			
→ 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 3 gegeven.

5.4 Incidenten met vloeistoflekkage

Bij lekkage van vloeistoffen kan een vloeistofplas ontstaan waaruit VOS verdampt. De emissie kan worden berekend volgens de methode voor plasverdamming van het zogenoemde gele boek (ref. 27, formules 3.141, 3.13, 3.24 en 3.25) volgens de aanwijzingen van de Handleiding van Risicoberekeningen (ref. 28, par. 3.6.4).

$$q_v = k_m \cdot \left(\frac{P_{VA} \cdot M_V}{8,314 \cdot T_{ps}} \right) \cdot A_L \quad [\text{vergelijking 4.52}]$$

q_v	=	plasverdamming [kg/s]
A_L	=	oppervlakte van de vloeistofplas [m ²]
P_{VA}	=	dampspanning van de vloeistof bij temperatuur T_{ps} [kPa]
M_V	=	molmassa van de damp [g/mol]
T_{ps}	=	temperatuur van de vloeistofplas [K], zie bijlage 2a maar minimaal 282 K
k_m	=	overdrachtscoëfficiënt [m/s], zie vergelijking 4.53
8,314	=	ideaal-gasconstante R [J/mol*K]

$$k_m = 0,004786 \cdot u_{w,10}^{0,78} \cdot (2r)^{-0,11} \cdot Sc^{-0,67}$$

[vergelijking 4.53]

k_m	=	overdrachtscoëfficiënt [m/s]
$u_{w,10}$	=	windsnelheid op 10 meter hoogte [m/s] (indien onbekend: 5 m/s)
r	=	straal van de plas [m]
Sc	=	getal van Schmidt ¹² [-], (indien onbekend: 0,8)

Bovenstaande methode geldt voor een ronde, cirkelvormige plas. Indien de plas een andere vorm heeft, moet een cirkel worden beschouwd met een equivalente oppervlakte.

5.5 Overige emissies

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

¹² Verhouding tussen kinetische viscositeit en molaire diffusie

6 Literatuur

1. Rapportagereeks Milieumonitor, nummer 14, Diffuse emissies en emissies bij op- en overslag. Handboek emissiefactoren. Maart 2004
2. US EPA, 'Protocol for equipment leak emission estimates; EPA –453/R-95-017', November 1995
3. US EPA, 'Reference Method 21, Determination of Volatile Organic Compound Leaks', EMTIX M 21, 2 September 1993 (Ook opgenomen in ref. 2). De gebruikte tabellen zijn table 2-9, 2-11 en 2-13
4. Energy Institute Hydrocarbons Management HM 65 & API Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 19.5; Atmospheric Hydrocarbon emissions from Marine Vessel Transfer Operations; 1st Edition, September 2009; Reaffirmed October 2014
5. US EPA, 'Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP-42), section 5.2, Transportation and marketing of petroleum liquids', 2008
6. API, Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 19.1 Evaporative Loss from Fixed-roof Tanks, juni 2017
7. US EPA, AP42 Chapter 7.1: Liquid storage tanks, juni 2020
8. API, Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 19.2 Evaporative Loss from Floating-roof Tanks, 4th edition, augustus 2020
9. US EPA, AP42 Chapter 5.1 Petroleum refining, April 2015
10. NEN-EN 15446:2008 Fugitive and diffuse emissions of common concern to industry sectors - Measurement of fugitive emission of vapours generating from equipment and piping leaks
11. NTA 8399:2015 Luchtkwaliteit - Richtlijnen voor de detectie van diffuus vrijkomende vluchtige organische stoffen met 'optical gas imaging'
12. FINAL DRAFT FprEN 17628 - December 2021; Fugitive and diffuse emissions of common concern to industry sectors - Standard method to determine diffuse emissions of volatile organic compounds into the atmosphere
13. Engineering Equipment and Materials Users Association; Publication 213 'Emission reduction from oil storage tanks and loading Operations', Edition 1; 2012
14. API, Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 19.3, Part A; Wind Tunnel Test Method for the Measurement of Deck-Fitting Loss Factors for External Floating-Roof Tanks; June 1997, reaffirmed September 2017
15. API, Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 19.3, Part B; Air Concentration Test Method—Rim-Seal Loss Factors for Floating-Roof Tanks; August 1997, reaffirmed September 2017
16. API, Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 19.3, Part C; Weight Loss Test Method for the Measurement of Rim-Seal Loss Factors for Internal Floating-Roof Tanks; July 1998, reaffirmed January 2018
17. API, Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 19.3, Part D; Fugitive Emission Test Method for the Measurement of Deck-Seam Loss Factors for Internal Floating-Roof Tanks; June 2001, reaffirmed March 2018
18. API, Manual of Petroleum Measurement Standards Chapter 19.3, Part E; Weight Loss Test Method for the Measurement of Deck-Fitting Loss; May 1997, reaffirmed October 2017

19. Werkgroep Afgasfakkels, Emissies ten gevolge van de verbranding in afgasfakkels, Derde Interimrapport, Ref. 81-01478, januari 1981
20. API Compendium of GHG Emissions Methodologies for the Oil and Natural Gas Industry, 2021
21. Rapportagereeks Milieumonitor, nummer 15, Meetprotocol voor lekverliezen; maart 2004.
22. 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
23. 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
24. VROM, Emissiefactoren, lekverliezen van apparaten en verliezen bij op- en overslag, Publicatiereeks Emissieregistratie, nr. 8, april 1993
25. KNMI, Frequentietabel van potentiële windsnelheid (Uurgemiddelde windsnelheden), Middeling over de jaren 1971-2000, KNMI
26. API TR 2569, 2008 Edition, August 2008 - Evaporative Loss from Closed-vent Internal Floating-roof Storage Tanks
27. Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 2. Methods for the calculation of physical effects ('Gele boek'). Ministerie van VROM, 2005
28. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM); Handleiding Risicoberekeningen Bevi; Versie 4.3, 1 januari 2021
29. Gasoline Distribution Industry (Stage I) - Background Information for Promulgated Standards, EPA-453/R-94-002b, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, 1995
30. US EPA, 'Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP-42), section 4.3 Waste Water Collection, Treatment And Storage liquids', January 1995
31. R. Sander, 'Compilation of Henry's law constants (version 5.0.0) for water as solvent', Atmos. Chem. Phys., 23, 10901-12440 (2023)

Kenmerk R001-1282273RAX-V04i-nnc-NL

Bijlage 1

Bijlage 1 **Verlading**

- 1A Dampspanning van zuivere vloeistoffen en vloeistofmengsels
- 1B Dampspanning van aardolieproducten
- 1C Dampspanning van ruwe aardolie

Bijlage 1a Dampspanning van zuivere vloeistoffen en vloeistofmengsels

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

De volgende vergelijking (ook bekend als Antoine vergelijking) kan worden gebruikt voor het bepalen van de dampspanning van een zuivere vloeistof als functie van de temperatuur [ref. 7, Tabel 7.1-3].

$$P_{VA} = 0,1333 \cdot 10^{\left(A - \frac{B}{(T_{LA} + C)}\right)} \quad [\text{vergelijking B-1.1}]$$

P_{VA} = dampspanning van de zuivere vloeistof [kPa]

T_{LA} = temperatuur van het vloeistofoppervlak [°C]

0,1333 is voor de omrekening van mm kwik naar kPa

A, B en C en stofafhankelijke constanten (zie volgende tabel B-1.1)

Tabel B-1.1 Stofconstanten van de Antoine-vergelijking

Stofnaam	CAS-nummer	Dampspanning bij 15,6°C [kPa]	A [-]	B [°C]	C [°C]	Bereik ¹⁾		Kookpunt [°C]
						Minimum [°C]	Maximum [°C]	
Aceetaldehyde (ethanal)	75-07-0	84,05	8,063	1637,1	295,47	0	34	21
Aceton	67-64-1	20,14	7,3	1312,3	240,71	-14	234	56
Acetonitril	75-05-8	7,52	7,154	1355,4	235,3	15	89	82
Acrylamide	79-06-1	5,91E-04	11,293	3939,9	273,16	-18	-18	193
Acrylonitril	107-13-1	9,54	6,942	1255,9	231,3	-51	78	78
Acrylzuur	79-10-7	9,27	5,652	648,6	154,68	20	70	139
Allylalcohol (2-propen-1-ol)	107-18-6	2,25	11,658	4510,2	416,8	21	97	97
Allylchloride (3-chloor-1-propenen)	107-05-1	32,42	5,297	418,4	128,68	13	44	45
Aniline	62-53-3	0,04	7,221	1661,9	199,1	31	184	184
Azijnzuur	64-19-7	1,21	7,557	1642,5	233,39	17	118	118
Azijnzuuranhydride	108-24-7	0,37	7,122	1427,8	198,04	63	139	139
Benzeen	71-43-2	8,07	6,906	1211	220,79	8	103	80
Benzo[a]antraceen	56-55-3	5,46E-09	11,528	5461	273,15	104	127	438
Benzo[a]pyreen	50-32-8	1,58E-10	12,482	6181	273,15	85	158	495
Benzo[g,h,i]peryleen	191-24-2	1,43E-12	11,82	6580	273,15	199	267	-18
Bifenyyl	92-52-4	1,63E-03	7,245	1998,7	202,73	69	271	254
Butaan	106-97-8	176,99	6,725	909,7	237	-78	-1	0
Butadieen (1,3)	106-99-0	208,36	6,873	941,7	240,4	-76	-2	-4
Butanol (1-)	71-36-3	0,43	7,421	1351,6	179,81	23	118	117
Buteen (1)	106-98-9	212,57	7,122	1099,2	264,89	-78	-4	-6

Stofnaam	CAS-nummer	Dampspanning bij 15,6°C [kPa]	A [-]	B [°C]	C [°C]	Bereik ¹⁾		Kookpunt [°C]
						Minimum [°C]	Maximum [°C]	
Buteen (2-methyl-1)	590-18-1	155,96	6,863	957,1	236,65	-70	23	4
Buteen (cis-2)	563-46-2	56,93	6,862	1047,8	232,06	1	63	31
Buteen (trans-2)	624-64-6	172,16	6,919	982,2	242,38	-72	1	1
Chloorbenzeen	108-90-7	0,92	6,986	1435,7	218,03	62	132	132
Chloorbutaan (1-)	109-69-3	8,65	6,871	1182,9	218,27	-17	78	77
Chloorbutaan (2-)	78-86-4	8,65	6,871	1182,9	218,27	-17	78	77
Chloortolueen (o) (1-chloor-2-methylbenzeen)	95-49-8	0,27	7,363	1768,1	234,76	6	159	159
Chloroform	67-66-3	17,02	7,083	1233,1	232,2	-58	61	61
Chloropreen	126-99-8	18,86	6,291	841,9	187,79	20	60	60
Chryseen	218-01-9	1,28E-10	12,32	6160	273,15	85	190	448
Cresol (-m)	108-39-4	8,96E-03	7,477	1833,1	196,74	149	201	202
Cresol (-o)	95-48-7	1,10E-02	6,843	1391,3	160,18	120	191	191
Cresol (-p)	106-44-5	4,27E-03	7,016	1498,6	160,55	128	202	202
Cumeen (isopropylbenzeen)	98-82-8	0,33	6,929	1455,8	207,2	70	153	152
Cyclohexaan	110-82-7	8,36	6,845	1203,5	222,86	20	82	81
Cyclohexanol	108-93-0	6,21E-03	5,956	777,4	91,11	94	161	160
Cyclohexanon	108-94-1	2,90E-02	5,978	1495,5	209,55	89	166	155
Cyclohexeen	110-83-8	0,76	5,872	1221,9	223,17	37	91	83
Cyclopentaan	287-92-3	28,76	6,878	1119,2	230,74	16	50	49
Cyclopentanon	120-92-3	0,90	3,958	376,4	104,65	0	26	130
Cyclopenteen	142-29-0	22,50	6,921	1121,8	223,45	-18	-18	44
Decaan (-n)	124-18-5	0,08	3,085	440,6	116,25	-29	37	174
Dibroompropaan (1,2)	78-75-1	0,61	7,314	1667	234,85	-7	142	141
Dibroompropaan (1,3)	109-64-8	0,20	7,309	1776,7	233,46	9	167	157
Dichloorethaan (1,1)	75-34-3	19,74	7,097	1229,2	233,95	-61	57	57
Dichloorethaan (1,2)	107-06-2	6,63	7,46	1521,8	248,48	-31	99	83
Dichloorethyleen (1,2)	540-59-0	17,78	7,022	1205,4	230,6	0	84	61
Dichloorethyleen (trans-1,2)	156-60-5	29,87	6,965	1141,9	231,9	-38	85	48
Dichloortolueen (3,4)	95-75-0	0,02	7,344	1882,5	215	0	105	209
Diethoxyethaan (1,1)	105-57-7	2,12	7,625	1574	229,47	-23	102	100
Diethoxymethaan	462-95-3	5,58	6,986	1270,2	221,26	0	75	88
Diethyl(N,N)aniline	91-66-7	0,02	8,258	2652,8	277,32	50	218	217
Diethylamine (N-ethylethanamine)	109-89-7	18,70	5,737	559,1	140,18	32	61	56
Diethylbenzeen (1,2)	135-01-3	0,06	6,99	1577,9	200,55	97	184	183
Diethylbenzeen (1,3)	141-93-5	0,07	7,006	1576,3	201	95	182	181
Diethylbenzeen (1,4)	105-05-5	0,07	7,001	1589,3	202,02	97	185	184
Diethylether	60-29-7	46,02	6,897	1062,6	228,22	-23	56	34

Stofnaam	CAS-nummer	Dampspanning bij 15,6°C	A	B	C	Bereik ¹⁾		Kookpunt
						Minimum	Maximum	
		[kPa]	[-]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
Diethylketon (3-pentanon)	96-22-0	2,92	5,741	716,2	147,17	36	102	102
Diethylsulfide	352-93-2	5,16	7,541	1560,5	246,59	-39	88	92
Di-isopropylether	108-20-3	12,94	6,842	1135	218,23	23	67	68
Dimethoxyethaan (1,2)	110-71-4	6,66	6,713	1260,5	235,83	-48	93	85
Dimethylbutaan (2,3)	79-29-8	21,13	6,81	1127,2	228,95	14	59	58
Dimethylcyclopentaaan (1,1)	1638-26-2	6,43	6,83	1226,6	222,76	16	89	88
Dimethylftalaat	131-11-3	1,55E-07	4,522	700,3	51,42	82	151	282
Dimethylhydrazine (1,1)	57-14-7	13,07	7,588	1388,5	232,54	-36	20	63
Dimethylpentaan (2,2)	590-35-2	9,07	6,815	1190,3	223,34	16	80	79
Dimethylpentaan (2,3)	565-59-3	5,81	6,862	1242,6	222,34	18	91	90
Dimethylpentaan (2,4)	108-08-7	8,42	6,836	1197,6	222,27	14	81	81
Dimethylpentaan (3,3)	562-49-2	7,09	6,831	1231	225,58	13	87	86
Dioxaan (1,4)	123-91-1	3,03	7,456	1570,1	241,85	20	105	101
Dipropylether (di-n-propylether)	111-43-3	5,20	6,945	1254,8	218,82	27	89	90
Di-tert-butylether	6163-66-2	2,63	6,59	1157,7	203,05	4	109	107
Dodecaan (normaal)	112-40-3	0,01	6,981	1625,9	180,31	126	217	216
Epichloorhydrine	106-89-8	1,34	8,229	2086,8	273,16	-18	-18	116
Ethaan	74-84-0	3254,33	6,813	659,7	256,431	-137	-73	-88
Ethanol	64-17-5	4,47	8,247	1670,4	232,96	0	78	78
Ethanolamine (mono-)	141-43-5	0,01	7,168	1408,9	157,06	66	171	171
Ethylacetaat	141-78-6	7,83	7,103	1245,7	217,96	16	76	77
Ethylacrylaat	140-88-5	3,07	7,15	1366,1	220,47	-29	99	99
Ethylamine	75-04-7	97,08	7,405	1203,8	249,43	17	176	18
Ethylbenzeen	100-41-4	0,72	6,95	1419,3	212,61	57	137	136
Ethylchloride	75-00-3	114,66	7,037	1052,8	241,07	-56	13	16
Ethylcyclopentaaan	1640-89-7	3,28	6,898	1305	221,4	29	104	103
Ethyleen (etheen)	74-85-1	5164,17	6,748	584,1	254,84	-124	-84	-104
Ethylpentaan (3)	617-78-7	4,83	6,88	1254,1	220,15	21	94	93
Fenantreen	85-01-8	2,32E-05	7,394	2428,5	202,19	100	150	335
Fenol	108-95-2	0,02	7,122	1509,7	174,2	107	182	182
Fluorantreen	206-44-0	2,73E-07	12,836	5348,1	273,15	25	110	384
Fluorbenzeen	462-06-6	6,45	7,237	1409,8	238,36	-18	84	85
Fosgeen	75-44-5	133,97	7,146	1072,7	243,3	8	174	8
Freon 11 (trichloorfluormethaan)	75-69-4	75,36	6,884	1043	236,88	-18	-18	24
Furaan	110-00-9	54,90	6,975	1060,8	227,73	3	62	32
Furfural	98-01-1	0,12	6,969	1430,1	188,7	56	161	162
Heneicosaan (n)	629-94-7	4,30E-06	8,796	3571,2	253,2	153	351	359

Stofnaam	CAS-nummer	Dampspanning bij 15,6°C [kPa]	A [-]	B [°C]	C [°C]	Bereik ¹⁾		Kookpunt [°C]
						Minimum [°C]	Maximum [°C]	
Heptaan (normaal)	142-82-5	3,73	6,903	1268,6	216,95	26	99	98
Hepteen (1)	592-76-7	5,18	7,093	1400,7	238,96	0	89	94
Hexaan (normaal)	110-54-3	13,19	6,878	1171,5	224,37	13	69	69
Hexadien (1,5)	592-42-7	19,93	6,563	1008,1	214,16	0	59	60
Hexanol (-1)	111-27-3	0,03	7,288	1422	165,44	52	157	157
Hexeen (1)	592-41-6	16,40	6,866	1153	225,85	16	64	64
Isobutaan	75-28-5	263,52	6,819	912,1	243,34	-85	-12	-11
Isobutanol (2-methyl-1-propanol)	78-83-1	0,66	7,306	1237	171,62	80	116	108
Isobuteen (2-methylpropeen)	115-11-7	221,87	6,522	799,1	226,54	-57	0	-7
Iso-octaan (2,2,4-trimethylpentaan)	540-84-1	4,11	6,812	1257,8	220,74	24	100	99
Isopentaan (2-methylbutaan)	78-78-4	64,99	6,79	1020	233,1	16	28	28
Isopenteen (2-methyl-2-buteen)	513-35-9	42,82	6,922	1098,6	233,26	3	71	38
Isopreen	78-79-5	51,34	6,091	706,9	186,1	17	34	34
Isopropanol	67-63-0	3,05	7,736	1357,4	197,34	57	89	82
Isopropylbenzeen (1-methyl-2)	527-84-4	0,12	7,417	1880,5	236,27	81	179	177
Koolstofdisulfide	75-15-0	33,21	6,942	1168,6	241,53	3	80	46
Methaan	74-82-8	31488,36	7,096	516,7	284,37	-163	-83	-162
Methacrylonitril (2-methyl-2-propenenitril)	126-98-7	6,11	6,999	1353,6	238,03	-44	90	90
Methanol	67-56-1	10,18	8,079	1581,3	239,65	15	84	64
Methyl-2-propanol (2-)	75-65-0	2,92	7,373	1174,9	179,23	39	82	82
Methylacetaat	79-20-9	18,64	7,079	1164,4	220,46	2	56	57
Methylacrylaat (methyl-2-propenoaat)	96-33-3	7,29	7,198	1338,7	229,63	-44	80	81
Methylcyclohexaan	108-87-2	3,85	6,823	1270,8	221,42	-3	127	101
Methylcyclopentaan	96-37-7	11,98	6,863	1186,1	226,04	15	73	72
Methyldichloorsilaan	20156-50-7	39,42	7,028	1167,8	240,7	1	41	-18
Methyleenchloride	75-09-2	38,89	7,412	1327	252,68	-40	40	40
Methylethylketon (2-butanon)	78-93-3	7,45	6,864	1150,2	209,25	41	97	80
Methylhexaan (2)	591-76-4	5,51	6,882	1240,9	220,1	18	91	90
Methylhexaan (3)	589-34-4	5,13	6,874	1243,8	219,63	20	93	92
Methylisobutylketon	108-10-1	1,51	6,828	1254,1	201,61	22	116	116
Methylmethacrylaat	80-62-6	2,87	8,253	1945,6	265,58	39	89	101
Methylpentaan (2)	107-83-5	18,82	6,839	1135,4	226,57	13	61	61

Kenmerk

R001-1282273RAX-V04i-nnc-NL

Bijlage 1

Stofnaam	CAS-nummer	Dampspanning bij 15,6°C [kPa]	A [-]	B [°C]	C [°C]	Bereik ¹⁾		Kookpunt [°C]
						Minimum [°C]	Maximum [°C]	
Methylpropylether	557-17-5	41,49	6,563	903,6	206,46	-1	39	39
Methylstyreen (alfa)	98-83-9	0,17	6,924	1486,9	202,4	-18	-18	165
Methyl-tertiair-butylether	1634-04-4	22,24	6,867	1116,1	224,74	52	222	55
Mierenzuur	64-18-6	3,56	4,876	515	133,74	1	34	101
Morfoline	110-91-8	0,75	7,718	1745,8	235	0	44	128
N,N-dimethylformamide	68-12-2	0,28	6,806	1337,7	190,5	30	90	153
Naftaleen	91-20-3	0,02	7,146	1831,6	211,82	81	179	217
Nitrobenzeen	98-95-3	0,02	7,091	1727,6	199,71	134	211	211
Nitromethaan	75-52-5	2,86	7,281	1446,2	227,52	56	136	101
Nonaan (normaal)	111-84-2	0,26	6,7	1492,9	217,26	-53	34	151
Nonadecaan (normaal)	629-92-5	0,00	33,303	28197	725,94	33	55	329
Octaan (normaal)	111-65-9	0,98	8,076	1936,3	253,01	-57	24	126
Octadecaan (normaal)	593-45-3	4,25E-06	7,207	2069	161,22	174	317	311
Octanol (1)	111-87-5	0,00	9,352	2603,4	224,35	20	80	195
Octeen (1)	111-66-0	1,35	6,933	1353,5	212,76	45	122	122
Oxiraan	75-21-8	123,00	8,722	2022,8	335,81	0	32	12
Pentaan (normaal)	109-66-0	47,46	6,864	1070,6	232,7	-4	68	36
Pentachloorethaan	76-01-7	0,28	6,643	1342,3	196,51	25	162	162
Pentadieen (1,2)	591-95-7	32,53	6,936	1125,5	231,88	-60	-28	45
Pentadieen (1,4)	591-93-5	69,36	7,035	1108,2	241,05	-79	18	26
Pentadieen (2,3)	591-96-8	29,12	7,263	1256,2	239,57	-60	-26	48
Penteen (1)	109-67-1	59,78	6,786	1014,3	229,78	13	31	31
Pentyn (1)	627-19-0	39,00	6,967	1092,5	227,18	-44	61	40
Picoline (3) (3-methylpyridine)	108-99-6	0,44	7,054	1484,3	211,54	74	184	144
Propaan	74-98-6	765,32	6,858	819,3	248,73	-43	47	-42
Propaanethiol (1)	107-03-9	13,40	6,929	1183,4	224,63	24	102	68
Propaanethiol (2)	75-33-2	24,75	6,877	1113,9	226,16	11	86	55
Propanol (1; normaal)	71-23-8	1,50	8,189	1690,9	221,35	19	97	97
Propylamine (normaal) (1-propanamine)	107-10-8	27,51	6,926	1044	210,84	23	78	49
Propyleen {propeen}	115-07-1	910,11	6,85	795,8	248,27	-107	-47	-48
Propyleenglycol	57-55-6	0,01	8,208	2085,9	203,54	-18	-18	187
Propyleenoxide	75-56-9	48,96	6,97	1065,3	226,28	-73	34	35
Propylnitraat (normaal) (propylestersalpeterzuur)	627-13-4	1,80	6,955	1294,4	206,7	0	70	111
Pyridine	110-86-1	1,61	7,038	1371,4	214,65	67	153	116
Resorcinol	108-46-3	0,00	8,398	2687,2	210,99	152	277	278
Styreen	100-42-5	0,46	7,095	1525,1	216,77	30	145	146
Tetrachloorethaan (1,1,1,2)	630-20-6	0,92	6,906	1370,4	210,25	59	130	133

Stofnaam	CAS-nummer	Dampspanning bij 15,6°C [kPa]	A [-]	B [°C]	C [°C]	Bereik ¹⁾		Kookpunt [°C]
						Minimum [°C]	Maximum [°C]	
Tetrachloorethaan (1,1,2,2)	79-34-5	0,26	6,091	959,6	149,78	25	130	146
Tetrachloorethyleen	127-18-4	1,47	7,056	1440,8	223,98	28	108	121
Tetrachloormethaan (tetrachloride)	56-23-5	9,87	6,898	1221,8	227,41	20	78	77
Tetrahydrofuraan	109-99-9	14,06	6,996	1202,9	226,33	23	99	66
Tolueen	108-88-3	2,28	7,017	1377,6	222,64	0	50	111
Trichloorethaan (1,1,1)	71-55-6	11,38	8,761	2210,2	308,05	-6	17	74
Trichloorethaan (1,1,2)	79-00-5	1,69	6,945	1310,3	208,74	50	114	114
Trichloorethyleen	79-01-6	5,63	6,429	974,5	187,34	18	87	87
Trichloorpropaan (1,2,3)	96-18-4	0,21	7,532	1818,9	232,52	9	158	156
Tridecaan (normaal)	629-50-5	0,00	7,003	1689,1	174,28	139	236	234
Trifluorethaan (1,1,2-trichloor-1,2,2)	76-13-1	30,17	6,88	1099,9	227,5	-25	83	48
Trimethylbenzeen (124)	95-63-6	0,14	7,044	1573,3	208,56	52	198	169
Trimethylchloorsilaan (chloortrimethylsilaan)	75-77-4	21,15	6,951	1191	235,15	3	56	58
Trimethylpentaan (2,2,3)	564-02-3	2,61	6,825	1294,9	218,42	-18	-18	110
Trimethylpentaan (2,3,3)	560-21-4	2,19	6,844	1328,1	220,38	-18	-18	114
Trimethylpentaan (2,3,4)	565-75-3	2,16	7,031	1420,7	228,53	-51	153	114
Undecaan (normaal)	1120-21-4	0,02	6,977	1572,5	188,02	104	197	195
Vinylacetaat	108-05-4	9,63	7,215	1299,1	226,97	22	72	73
Vinylideenchloride	75-35-4	55,82	6,983	1104,7	237,75	-28	32	31
Waterstofcyanide (blauwzuur)	74-90-8	68,47	7,549	1340,8	261,56	-17	46	26
Xyleen (-m)	108-38-3	0,62	7,009	1462,3	215,11	28	166	139
Xyleen (-o)	95-47-6	0,49	6,999	1474,7	213,69	32	172	144
Xyleen (-p)	106-42-3	0,67	7,021	1474,4	217,77	13	179	138

1) Gebruik van deze vergelijking voor temperaturen buiten het aangegeven temperatuurbereik kan leiden tot verlies van nauwkeurigheid.

Algemene aanpak voor een vloeistofmengsel

Voor mengsel van stoffen (bijvoorbeeld benzeen-tolueen) kan, indien de evenwichtsgegevens in de damp niet 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:

$$p_{\text{mengsel}} = \sum x_i \cdot p_i \quad [\text{vergelijking B-1.2}]$$

p_{mengsel} = dampspanning [kPa] van het vloeistofmengsel
 x_i = molfracties van vloeistof i [-]
 p_i = dampspanning [kPa] van vloeistof i

Voor een mengsel van twee vloeistoffen is $p_{\text{mengsel}} = x_1 \cdot p_1 + x_2 \cdot p_2$ 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 uitdampst 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.

Indien de molverhouding in de vloeistof niet bekend is kan die worden afgeleid aan de hand van de massaverhouding in de vloeistof, zoals hierna aangegeven.

$$X_i = \frac{Z_{Li} \cdot M_L}{M_i} \quad [\text{vergelijking B-1.3}]$$

X_i = Molfractie van stof i [mol/mol]
 Z_{Li} = Massafractie van stof i in de vloeistof [kg/kg]
 M_i = Molmassa van stof i [g/mol]
 M_L = Gemiddelde molmassa van de vloeistof [g/mol]

Aanpak voor oplossingen in water

Voor verdunde waterige oplossingen, zoals bijvoorbeeld afvalwater, moet de wet van Henry worden gebruikt in plaats van de wet van Raoult om de verdamping te berekenen. De wet van Henry stelt dat de molfractie van de opgeloste stof vermenigvuldigd met de Henry-constante voor de opgeloste stof in het mengsel gelijk is aan de partiële dampspanning (P_i) voor die stof:

$$P_i = H_A \cdot C_i \quad [\text{vergelijking B-1.3a}]$$

P_i = Partiële dampspanning van stof i [kPa]
 H_A = Henry-constante van stof i [kPa·m³/mol] (zie tabel B-1.2)
 C_i = Concentratie van stof 1 in water [mol/m³]

De concentratie in afvalwater wordt gebruikelijk opgegeven in mg/liter, wat overeenkomt met g/m³. Om de concentraties om te rekenen naar mol/m³, wordt de concentratie [g/m³] gedeeld door de molmassa [g/mol] van de betreffende stof. Om de partiële dampspanning voor de opgeloste stof bij actuele temperatuur te bepalen dient de Henry-constante uit tabel B-1.2 omgerekend te worden naar de Henry-constante bij actuele temperatuur. De temperatuurafhankelijkheid van de Henry-constante wordt gegeven door:

$$H_A(T) = H_0 \exp\left(-\beta\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right) \quad [\text{vergelijking B-1.3b}]$$

$H_A(T)$	=	Henry-constante bij de temperatuur van het vloeistofoppervlak [$\text{kPa} \cdot \text{m}^3/\text{mol}$]
T	=	Temperatuur van het vloeistofoppervlak [K]
H_0	=	Henry-constante bij de referentietemperatuur van 25°C (298,15 K) [$\text{kPa} \cdot \text{m}^3/\text{mol}$], zie tabel B-1.2
T_0	=	Referentietemperatuur (298,15 K) [K]
β	=	Stof-specifieke temperatuurafhankelijkheid [K]

(zie [Henry's Law Constants](#), hier aangeduid met de symbolen H_s^{CPT} ; zie ook referentie 31)

Aanpak voor aardolieproducten

Voor aardolieproducten is de zogenaamde 'Reid vapor pressure' (RVP) of 'dry vapor pressure equivalent' (DVPE) gebruikelijk om de dampspanning aan te geven. Voor het doel van het Handboek is het onderscheid tussen RVP en DVPE niet van belang. 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 RVP-waarde wil zeggen, dat er veel laag kokende componenten aanwezig zijn. De RVP en andere eigenschappen van aardolieproducten zijn bekend bij de oliemaatschappijen die deze stoffen verwerken. Voor een nadere beschouwing van geschikte e analysemethode om de dampspanning te bepalen, wordt verwezen naar de referentie 7, met name de toelichting bij vergelijking 1-24.

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.

Tabel B-1.2 Stofconstante van de wet van Henry (referentie 30)

Stof	CAS-nummer	Molmassa [g/mol]	Dampspanning bij 25°C [kPa]	Henry-constante bij 25°C [$\text{kPa} \cdot \text{m}^3/\text{mol}$]
Aceetaldehyde (ethanal)	75-07-0	44	101	0,00963
Aceton	67-64-1	58	35,5	0,00253
Acetonitril	75-05-8	41,03	12,0	0,000588
Acroleïne	107-02-8	56,1	32,6	0,00573
acrylamide	79-06-1	71,09	0,0016	5,27E-08
acrylonitril	107-13-1	53,1	15,2	0,00892
Acrylzuur	79-10-7	72,1	0,693	0,0000101
Adipinezuur	124-04-9	146,14	0,000003	5,10E-09
Allyl-alcohol	107-18-6	58,1	3,11	0,00182
Aminofenol(-o)	95-55-6	109,12	0,0681	0,000372
Aminofenol(-p)	123-30-8	109,12	0,119	0,002
Ammoniak	7664-41-7	17,03	996	0,0332
Amylacetaat(-n)	628-37-8	130,18	0,723	0,047
Aniline	62-53-3	93,1	0,133	0,000263
Azijnzuur	64-19-7	60,05	2,05	6,35
Azijnzuuranhydride	108-24-7	102,09	0,705	0,000599
benzeen	71-43-2	78,1	12,7	0,557
benzo[a]antraceen	56-55-3	228,3	0,00000002	0,00000014
benzo[a]pyreen	50-32-8	252,3	0,000757	0,00000014

Kenmerk

R001-1282273RAX-V04i-nnc-NL

Bijlage 1

Stof	CAS-nummer	Molmassa [g/mol]	Dampspanning bij 25°C [kPa]	Henry-constante bij 25°C [kPa·m³/mol]
Cresylzuur	1319-77-3	108	0,04	0,000172
Crotonaldehyde	4170-30-0	70,09	4,00	0,000156
Cumeen (isopropylbenzeen)	98-82-8	120,2	0,613	1,48
Cyclohexaan	110-82-7	84,2	13,3	1,39
Cyclohexanol	108-93-0	100,2	0,163	0,000453
Cyclohexanon	108-94-1	98,2	0,64	0,000418
Dibutylftalaat	84-74-2	278,3	0,00000133	0,0000284
Dichloor(-2)buteen(1,4)	764-41-0	125	0,383	0,0262
Dichloorbenzeen (1,2) (-o)	95-50-1	147	0,20	0,197
Dichloorbenzeen (1,3) (-m)	541-73-1	147	0,304	0,366
Dichloorbenzeen (1,4) (-p)	106-46-7	147	0,16	0,162
Dichloordifluormethaan	75-71-8	120,92	667	40,6
Dichloorethaan (1,1)	75-34-3	99	31,2	0,561
Dichloorethaan (1,2)	107-06-2	99	10,7	0,122
Dichloorethyleen (1,2)	156-54-2	96,94	26,7	3,23
Dichloorfenol (2,4)	120-83-2	163,01	0,0133	0,000486
Dichloorfenoxiazijnzuur (2,4)	94-75-7	221	38,7	6,29
Dichloorpropan(1,2)	78-87-5	112,99	5,33	0,233
Diethyl(N,N)aniline	91-66-7	149,23	0,000377	0,00000582
diethylether	60-29-7	74,1	69,3	0,0689
Diethylftalaat	84-66-2	222	0,000478	1,12
Difenylamine	122-39-4	169,2	0,0005	0,000282
Dimethylbenz(a)antraceen	57-97-6	256,33	-	2,74E-08
Dimethylfenol (2,4)	105-67-9	122,16	0,00764	0,0933
Dimethylftalaat	131-11-3	194,2	0,0000249	0,000218
Dimethylhydrazine (1,1)	57-14-7	60,1	20,9	0,0126
Dinitrobenzeen (-m)	99-65-0	168,1	0,00667	0,00223
Dinitrotolueen (2,4)	121-14-2	182,1	0,00068	0,000412
Di-n-octylftalaat	117-84-0	390,62	-	13,9
Dioxaan (1,4)	123-91-1	88,2	4,93	0,00234
Dioxine	NOCAS2	322	-	0,00823
epichloorhydrine	106-89-8	92,5	2,27	0,00327
Ethanol	64-17-5	46,1	6,67	0,00307
Ethanolamine (mono-)	141-43-5	61,09	0,0533	0,0000326
Ethyl-(2)propyl-(3) acroleïne	645-62-5	92,5	2,27	0,00327
Ethylacetaat	141-78-6	88,1	13,3	0,013
Ethylacrylaat	140-88-5	100	5,33	0,0355
Ethylbenzeen	100-41-4	106,2	1,33	0,653
Ethylchloride	75-00-3	64,52	160	1,42
Fenol	108-95-2	94,1	0,0453	0,000046
Formaldehyde	50-00-0	30	467	0,00584
Fosgeen	75-44-5	98,92	185	17,3
Freon 11 {trichloorfluormethaan}	75-69-4	137,4	106	5,91

Kenmerk

R001-1282273RAX-V04i-nnc-NL

Bijlage 1

Stof	CAS-nummer	Molmassa [g/mol]	Dampspanning bij 25°C [kPa]	Henry-constante bij 25°C [kPa·m³/mol]
Freonen	NOCAS3	120,92	667	40,6
Ftaalzuur	100-21-0	166,14	16,1	1,34
Ftaalzuuranhydride	85-44-9	148,1	0,0002	0,0000912
Furaan	110-00-9	68,08	79,5	0,541
Furfural	96-01-1	96,09	0,267	0,00822
Heptaan (normaal)	142-82-5	100,21	8,80	186000
Hexaan(-n)	100-54-3	86,2	20,0	12,4
Hexachloorbenzeen	118-74-1	284,8	0,133	0,0689
Hexachloorbutadieen	87-68-3	260,8	0,02	2,59
Hexachloorcyclopentadieen	77-47-4	272,8	0,0108	1,62
Hexachloorethaan	67-72-1	237	0,0867	0,000252
Hexanol (-1)	111-27-3	102,18	0,108	0,00184
Isoforon	78-59-1	138,21	0,0585	0,000584
Methanol	67-56-1	32	15,2	0,000274
Methylacetaat	79-20-9	74,1	31,3	0,0103
Methylchloride	74-87-3	50,5	511	0,825
Methyleenchloride	75-09-2	85	58,4	0,323
Methylethylketon (2-butanon)	78-93-3	72,1	13,3	0,00441
Methylisobutylketon	108-10-1	100,2	2,09	0,00502
Methylmethacrylaat	80-62-6	100,1	5,20	0,00669
Methylstyreen (alfa)	98-83-9	118	0,0101	0,599
Mierenzuur	64-18-6	46	5,60	0,0000709
Morfoline	110-91-8	87,12	1,33	0,00581
N,N-dimethylformamide	68-12-2	73,09	0,533	0,00195
Naftaleen	91-20-3	128,2	0,0307	0,12
Nitroaniline(-o)	88-74-4	138,14	0,0004	0,0000507
Nitrobenzeen	98-95-3	123,1	0,04	0,00133
oxiraan	75-21-8	44	167	0,0144
Pentachloorbenzeen	608-93-5	250,34	0,000613	0,74
Pentachloorethaan	76-01-7	202,3	0,587	2,13
Pentachloorfenol	87-86-5	266,4	0,000132	0,000284
Picoline (3) (3-methylpyridine)	108-99-6	93,12	1,39	0,0129
Polychloorbifenylen	1336-36-3	290	0,000247	0,0405
Propanol (1; normaal)	71-23-8	60,09	5,71	0,0152
Propionaldehyde	123-38-6	58,08	40,0	0,117
Propyleenglycol	57-55-6	76,11	0,04	0,000152
Pyridine	110-86-1	79,1	2,67	0,00239
Resorcinol	108-46-3	110,11	0,0000347	0,0000019
Styreen	100-42-5	104,2	0,973	0,264
Tetrachloorethaan (1,1,1,2)	630-20-6	167,85	0,867	0,203
Tetrachloorethaan (1,1,2,2)	79-34-5	167,85	0,867	0,0385
Tetrachloorethyleen	127-18-4	165,83	2,53	2,94
Tetrahydrofuraan	109-99-9	72,12	9,61	0,00496

Kenmerk R001-1282273RAX-V04i-nnc-NL

Bijlage 1

Stof	CAS-nummer	Molmassa [g/mol]	Dampspanning bij 25°C [kPa]	Henry-constante bij 25°C [kPa·m³/mol]
Tolueendiisocyanaat (2,4)	584-84-9	174,16	0,0107	0,000841
Trichloorbenzeen(1,2,4)	120-82-1	181,5	0,024	0,144
Trichloorbutaan (1,2,3)	NOCAS5	161,46	0,585	472
Trichloorethaan (1,1,1)	71-55-6	133,4	16,4	0,499
Trichloorethaan (1,1,2)	79-00-5	133,4	3,33	0,0752
Trichloorethyleen	79-01-6	131,4	10	0,922
Trichloorfenol (2,4,6)	88-06-2	197,46	0,000973	0,00179
Trichloorpropaan (1,2,3)	96-18-4	147,43	0,4	2,84
Trichloorpropaan (1,1,1)	NOCAS6	147,43	0,413	2,94
Trifluorethaan (1,1,2-trichloor-1,2,2)	76-13-1	187,38	40	44,1
Ureum	57-13-6	60,06	0,892	0,0267
Vinylacetaat	108-05-4	86,09	15,3	0,0628
Vinylchloride	75-01-4	62,5	355	8,71
Vinylideenchloride	75-35-4	97	78,8	1,52
Waterstofcyanide (blauwzuur)	74-90-8	27	96,8	0,0000471
Waterstoffluoride	7664-39-3	20	120	0,024
Waterstofsulfide	2148878	34,1	2030	2,33
Xyleen (-o)	95-47-6	106,17	0,933	0,534
Xyleen (-m)	1330-20-7	106,17	1,07	0,527

Bijlage 1b Dampspanning van aardolieproducten

Benzine

Globaal wordt onderscheid gemaakt tussen zomer- en winterbenzine met een gemiddelde RVP dampspanning van respectievelijk 60 kPa en 90 kPa [ref. 23] (kenmerkende waarden voor noord Europa).

Dampspanning

Voor benzine kan de dampspanning worden berekend aan de hand van de volgende vergelijking [ref. 23]:

[vergelijking B-1.4]

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

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. 7].

[vergelijking B-1.5]

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

p_t = dampspanning [kPa]

RVP = Reid vapour pressure [kPa]

T = opslagtemperatuur [°C]

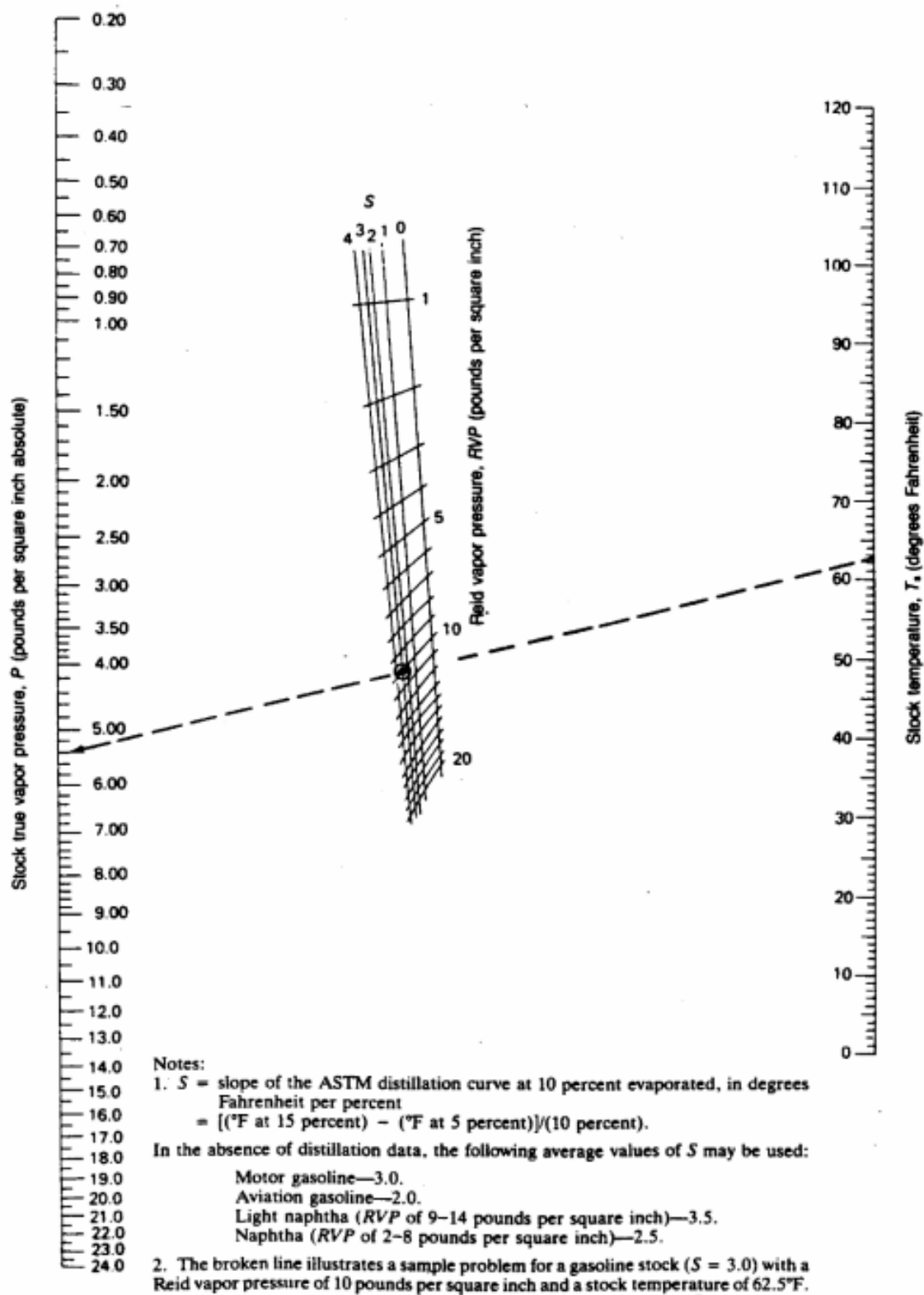
S = helling¹³ op ASTM-D86 destillatiecurve bij 10% verdampt [-]

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)
Nafta	: 2,5 (RVP van 60 tot 100 kPa)
Vliegtuigbenzine	: 2,0

¹³ Helling destillatiecurve = $\frac{^{\circ}\text{F bij 15\% verdampt} - ^{\circ}\text{F bij 5\% verdampt}}{10}$



Figuur B-1.1 Nomogram voor aardolieproducten met een RVP van 7 tot 138 kPa (1 - 20 psia) [ref. 7]

Kenmerk R001-1282273RAX-V04i-nnc-NL
Bijlage 1

Molmassa

De gemiddelde molmassa kan eveneens worden afgeleid van de RVP. Hiervoor kan de volgende formule [ref. 23] worden gehanteerd voor een dampspanning (RVP) van 48 kPa tot 90 kPa:

$$M = -0,0023 \cdot RVP^2 + 0,1758 \cdot RVP + 64,942 \quad [\text{vergelijking B-1.6}]$$

M = Molmassa [-]

RVP = Reid vapour pressure [kPa]

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

Tabel B-1.3 Helling van de destillatiecurve

RVP [kPa]	RVP [psia]	Helling van de 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. 7].

$$p = 6,895 \cdot \exp \left(A - \frac{B}{T} \right) \quad [\text{vergelijking B-1.7}]$$

p = dampspanning [kPa]

$$A = 15,64 - 1,854 \cdot \sqrt{S} - (0,8742 - 0,3280 \sqrt{S}) \cdot \ln(6,895 \cdot RVP) \quad [\text{vergelijking B-1.8}]$$

$$B = 8,742 - 1,042 \cdot \sqrt{S} - (1,049 - 179,4 \sqrt{S}) \cdot \ln(6,895 \cdot RVP) \quad [\text{vergelijking B-1.9}]$$

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

RVP = Reid Vapour Pressure (kPa)

T = temperatuur [K]

Kenmerk R001-1282273RAX-V04i-nnc-NL

Bijlage 1

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. 7, Tabel 7.1-2] gegeven. Daarbij moet worden opgemerkt dat de waarden van lading tot lading kunnen variëren, zeker voor producten als ruwe aardolie en stookolie.

Tabel B-1.4 Kenmerkende waarden van gangbare aardolieproducten

Product	RVP [kPa]	Molmassa van de damp (bij 16°C) [g/mol]	Vloeistof- dichtheid (bij 16°C) [kg/m³]	Dampspanning [kPa] bij						
				4,4°C	10°C	15,6°C	21,1°C	26,7°C	32,2°C	37,8°C
Ruwe aardolie ¹⁾	34 (5 psi)	50	851	12,4	15,9	19,3	23,4	27,6	33,1	39,3
Benzine	90 kPa (13 psi)	62	671	32,4	39,3	47,6	57,2	68,3	80,7	95,2
	70 kPa (10 psi)	66	671	23,4	29	35,9	42,7	51	60,7	72,4
	50 kPa (7 psi)	68	671	15,9	20	24,1	29,6	35,9	42,7	51
Vliegtuigbenzine (JP-4)	-	80	767	5,52	6,9	8,96	11	13,1	16,5	18,6
Kerosine (Jet A)	-	130	839	0,0283	0,0414	0,0586	0,0758	0,103	0,145	0,2
Gasolie	-	130	851	0,021	0,031	0,045	0,062	0,083	0,11	0,15
Stookolie ²⁾		190	947	0,000138	0,000207	0,000276	0,000414	0,000621	0,000896	0,00131

1) *Midcontinent Crude Oil*

2) *Vacuümresidu met 'light distillate cutter stock' of vergelijkbare mengsels*

Bijlage 1c 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. 24] gegeven, evenals de soortelijke massa bij 15°C en C₁-tot en met C₄-gehalte.

Tabel B-1.5 RVP-waarden voor diverse soorten ruwe aardolie

Ruwe aardoliesoort	RVP [psi]	RVP [kPa]	Soortelijke massa bij 15°C [kg/m ³]	C ₁ t/m C ₄ gehalte [massa %]
Agha Jari	7,8	54	850	1,9
Kirkuk	4,4	30	845	1,3
Kirkuk/Ain Zalah	5	34	848	1,3
Kuwait	7	48	868	1,9
Oman	3,9	27	860	0,9
Qatar	10,2	70	813	3,2
Seria Light	4	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
Amna	3,7	26	846	0,89
Essider	5,3	37	840	1,4
Sarir	3,6	25	847	0,9
Nigerian Light	6	41	844	1,3
Nigerian Light Export	2,6	18	851	0,8
Nigerian Medium	3,1	21	907	0,4
El Morgan	5	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
Qatar Marine	7	48	839	1,9
Nigerian M.W.	4,3	30	878	
Iranian Light	4,8	33	843	

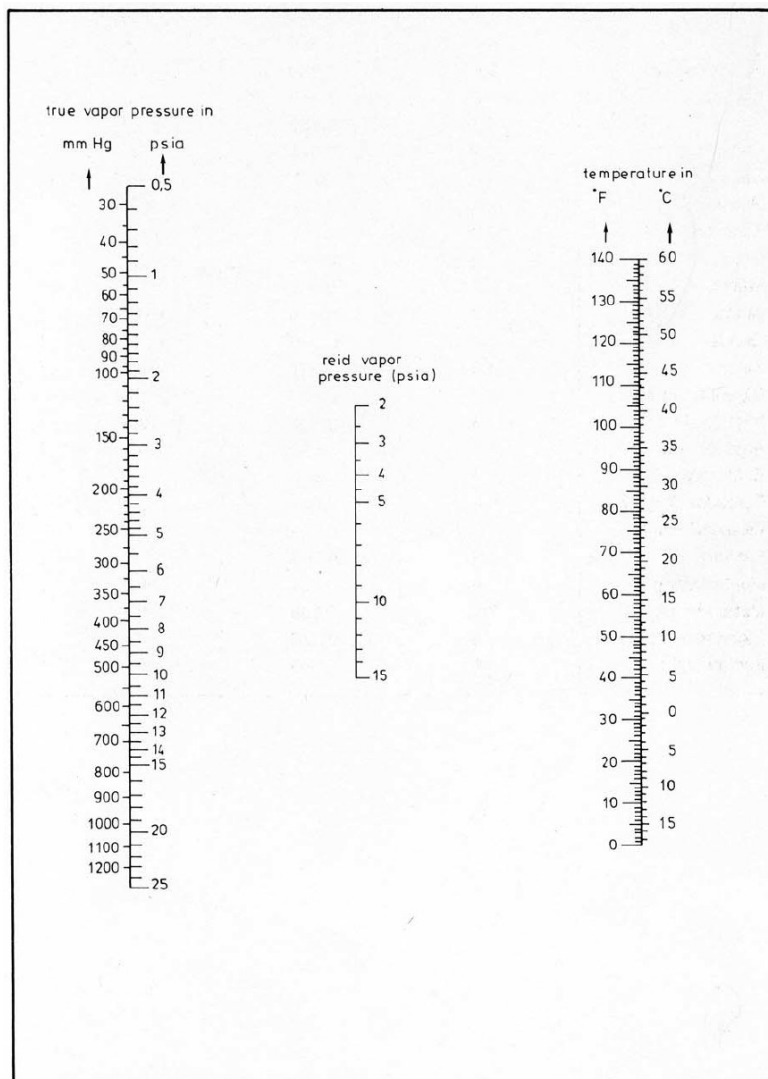
Het nomogram voor ruwe aardolie is op de volgende bladzijde gegeven. De volgende vergelijking is middels regressie afgeleid van het nomogram [ref. 7] en kan eveneens worden gebruikt.

[vergelijking B-1.10]

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

P_t = dampspanning [kPa]
 RVP = Reid vapour pressure [kPa]
 T = opslagtemperatuur [°C]

In de vergelijking betekent 'exp' dat het grondtal het getal van Euler e (2,7183) is. De vergelijking is dus een natuurlijke exponentiële functie met de basis e. De logaritme 'log' heeft het grondtal 10.



Figuur B-1.3 Nomogram van ruwe aardolie

Molmassa

De molmassa van de damp moet voor de overslagberekeningen berekend worden volgens onderstaande vergelijking [ref. 7]:

$$M = 39,3 + 0,281 \cdot RVP \quad \text{[vergelijking B-1.11]}$$

M = molmassa [g/mol]

RVP = Reid vapour pressure [kPa]

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

Bijlage 2 Opslagtanks

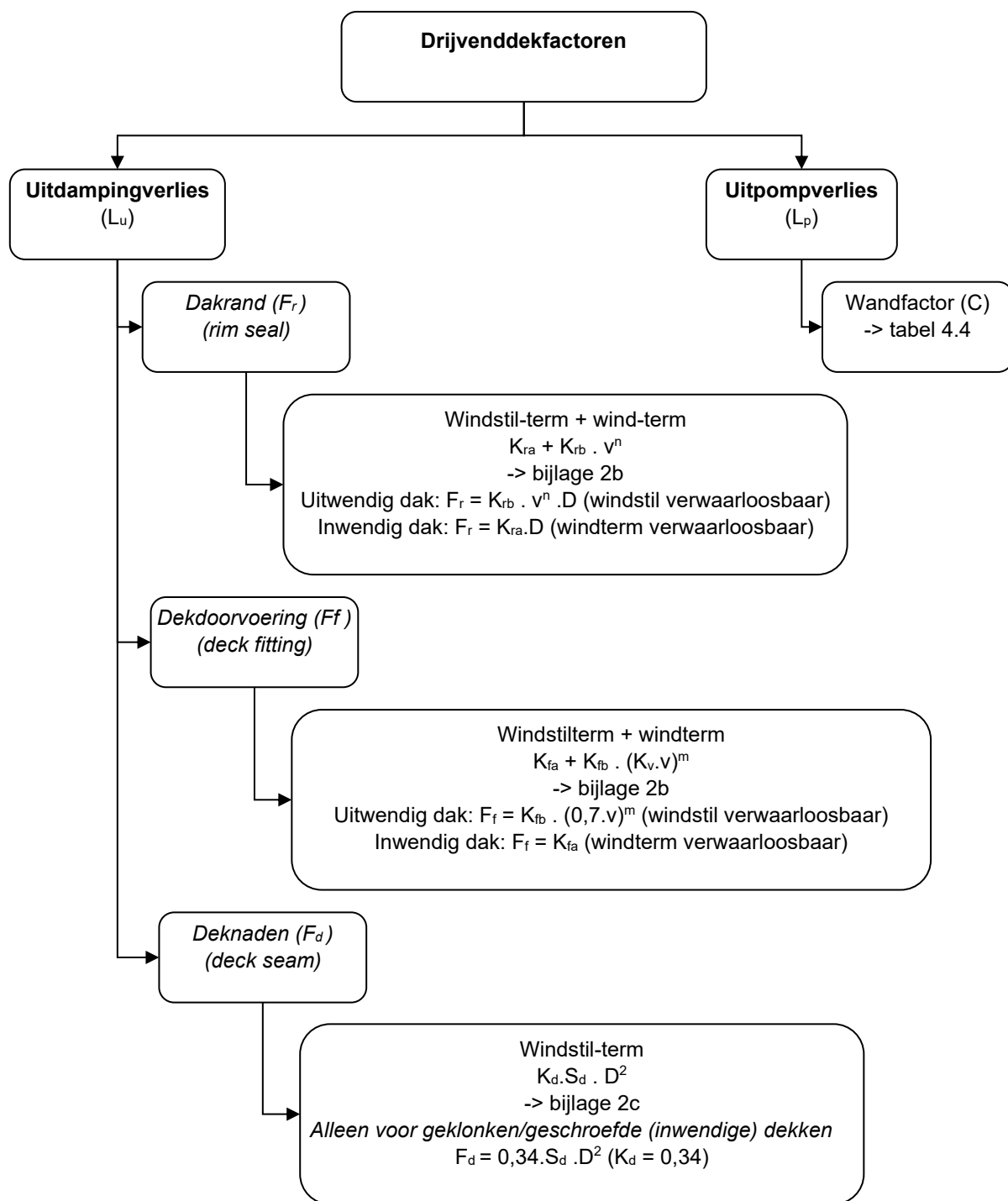
- 2a Klimatologische gegevens
- 2b Dakrandafdichting
- 2c Factoren voor dakdoorvoeringen
- 2d Deknaadfactoren
- 2e Empirische berekeningsmethode voor ademverliezen van vastdaktanks

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.

Tabel B-2.1 Overzicht van benodigde factoren voor de opslagtankberekeningen

Tanktype	Verliestype	2a: Klimatologische gegevens	2b: factoren voor dakrand	2c: factoren voor dekfittingen	2d: factoren voor deknaden
Vast dak/ geland drijvend dak	Ademverlies	✓			
	Verdrijvingsverlies				
Uitwendig drijvend dak	Uitdampingsverlies	✓	✓	✓	
	Uitpompverlies				
Inwendig drijvend dak	Uitdampingsverlies	✓	✓	✓	✓
	Uitpompverlies				

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



Figuur B-2.1 Overzicht van factoren voor een opslagtank met drijvend dak

Bijlage 2a 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)*.



Figuur B-2.1 Ligging van de weerstations

Tabel B-2.1 Gemiddelde windsnelheid [m/s]

Periode	Leeuwarden	Eelde	De Kooy	Twenthe	Schiphol	Valkenburg	Soesterberg	De Bilt	Deelen	Oude Maas-Nieuwe waterweg	Rotterdam	Volkel	Gilze-Rijen	Vlissingen	Eindhoven	Maastricht
Maand																
• 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
Seizoen																
• 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
Jaargemiddelde	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

Kenmerk R001-1282273RAX-V04i-nnc-NL
Bijlage 2

Tabel B-2.2 Dagelijks temperatuurverschil [°C]

Periode	Leeuwarden	Eelde	De Kooy	Twenthe	Schiphol	Valkenburg	Soesterberg	De Bilt	Deelen	Oude Maas - -Nieuwe waterweg	Rotterdam	Volkel	Glize-Rijen	Vlissingen	Eindhoven	Maastricht
Maand																
• 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
Seizoen																
• 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
Jaargemiddelde	7,0	8,2	5,7	8,1	7,3	6,9	8,3	8,0	8,1	6,6	7,5	8,5	8,4	5,2	8,3	7,8

Kenmerk

R001-1282273RAX-V04i-nnc-NL

Bijlage 2
Tabel B-2.3 Gemiddelde dagtemperatuur [°C]

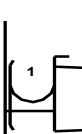
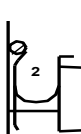
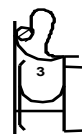
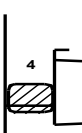
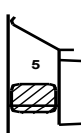
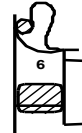
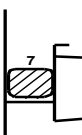
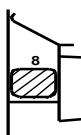
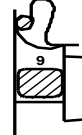
Periode																
	Leeuwarden	Eelde	De Kooy	Twenthe	Schiphol	Valkenburg	Soesterberg	De Bilt	Deelen	Oude Maas- Nieuwe waterweg	Rotterdam	Volkel	Glize-Rijen	Vlissingen	Eindhoven	Maastricht
Maand																
• Januari	2,4	2,0	3,2	2,1	3,0	3,4	2,6	2,8	2,2	2,3	3,4	2,6	2,9	3,8	2,8	2,6
• Februari	2,5	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
Seizoen																
• 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
Jaargemiddelde	9,2	9,0	9,6	9,3	9,8	9,9	9,6	9,8	9,4	9,7	10,0	9,8	9,8	10,4	9,9	9,8

Bijlage 2b Dakrandafdichting

Om de opening tussen tankwand en drijvend dek af te dichten bestaan er veel mogelijkheden. Nagenoeg overal 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.

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

Figuur B-2.3 Schets van dakrandafdichtingen (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 dakrandafdichting en tankwand nergens groter is dan 3 mm (1/8 duim) zijn de factoren van de bovengemiddelde afdichting van toepassing.

Tabel B-2.4 Dakrandfactoren

		Gemiddelde afdichting			Bovengemiddelde afdichting		
		K _{ra}	K _{rb}	n	K _{ra}	K _{rb}	n
Gelaste tanks	Welded tanks						
<i>Metalen plaat met stalen veer</i>	<i>Mechanical Shoe Seal</i>						
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
<i>Elastomeerafdichting op de vloeistof</i>	<i>Liquid Mounted Resilient Seal</i>						
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	0,2	0,4	0,4
<i>Elastomeerafdichting boven de vloeistof</i>	<i>Vapour Mounted Resilient Seal</i>						
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
Geklonken tanks	Riveted tanks						
<i>Metalen plaat met stalen veer</i>	<i>Mechanical shoe Seal</i>						
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.

K_{ra} = windstilte-dekrandfactor [pondmol/voet.jaar]
K_{rb} = windafhankelijke dekrandfactor [pondmol/((mijl/uur)ⁿ.voet.jaar)]
n = windafhankelijke dekrandexponent [-]

Bijlage 2c Factoren voor dekdoorvoeringen

Diverse soorten dekdoorvoeringen en bijbehorende factoren worden onderscheiden (zie tabel B2c.1).

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

Er geldt:

$$F_f = (N_{F1} \cdot K_{F1}) + (N_{F2} \cdot K_{F2}) + \dots + (N_{Fn} \cdot K_{Fn}) \quad [\text{vergelijking B-2.1}]$$

N_{F1} , N_{F2} enzovoort: aantal fittingen van soort 1, 2, ... [-]

K_{F1} , K_{F2} enzovoort: 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 B2c.1.

K_{fai} = specifieke windstijle dekdoorvoeringsfactor [pondmol/jaar]

K_{fbi} = specifieke windafhankelijke dekdoorvoeringsfactor [pondmol/((mijl/uur)^m.jaar)]

m = windafhankelijke dekdoorvoeringsfactor [-]

Tabel B-2.5 Dekdoorvoeringsfactoren

Dekdoorvoering en uitvoering	Fitting type and construction details	K_{fa}	K_{fb}	m	NL ^a	Kenmerkend aantal doorvoeringen
Mangat (Ø 61 cm)	Access hatch (24" diameter well)					1
Niet-gebout deksel, zonder pakking	Unbolted cover, ungasketed	36	5,9	1,2		
Niet-gebout 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&uit</i>	
Steunkolom van een vast dak	Fixed roof support column well					(tabel B-2.6)
<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	51	-	-		
Samengestelde kolom, glijdende mantel met pakking	Built-up column, gasketed sliding cover	33	-	-		
Geleidepaal zonder gaatjes	Unslotted guidepole					1
<i>(Voor uitwendig drijvend daken een peilbuis met of zonder gaatjes of geen geleidepaal. Meestal geen geleidepaal bij inwendig drijvend dekken)</i>						
Glijdende mantel zonder pakking	Ungasketed sliding cover	31	150	1,4		
Met geleidepaalpakking	With well gasket	25	13	2,2	<i>in&uit</i>	
Glijdende mantel zonder pakking met mof	Ungasketed sliding cover with pole sleeve	25	2,2	2,1		
Met geleidepaalpakking en glijdende	With well gasket and with pole	8,6	12	0,81		

Dekdoorvoering en uitvoering	Fitting type and construction details	K _{fa}	K _{fb}	m	NL ^a	Kenmerkend aantal doorvoeringen
mantel met mof	sleeve					
Met geleidepaalpakking en geleidepaalwisser	With well gasket and with pole wiper	14	3,7	0,78		
Geleidepaal met gaatjes	Slotted guide pole					1
<i>(Voor uitwendig drijvend daken een peilbuis met of zonder gaatjes of geen geleidepaal. Meestal geen geleidepaal bij inwendig drijvend dak)</i>						
Glijdende mantel met/zonder pakking	Ungasketed/gasketed sliding cover	43	270	1,4	<i>in&uit</i>	
Glijdende mantel met/zonder pakking en met vlotter & wisser ^d	Ungasketed or gasketed sliding cover, with float & wiper ^d	31	36	2,0		
Glijdende mantel met pakking en geleidepaalwisser	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 & wisser ^d en geleidepaalwisser	Gasketed sliding cover with float & wiper ^d and pole wiper	21	7,9	1,8		
Glijdende mantel met pakking en geleidepaalwisser en -mof	Gasketed sliding cover with wiper pole and pole sleeve	8,3	4,4	1,6		
Glijdende mantel met pakking, vlotter & wisser, geleidepaalwisser en - mof ^e	Gasketed sliding cover, with float, pole wiper ^e and pole sleeve	11	9,9	0,89		
Omringd door een flexibele afdichting ^h	Flexible enclosure ^h	21	7,9	1,8		
Meetvlotteropening (automatische meter)	Gauge-float (automatic gauge)				<i>in</i>	1
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		
Meterdeksel/monsternamopening	Gauge-hatch / sample port					1
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>	
Vacuümbreker	Vacuum breaker					Uitwendig: (tabel B-2.7) Inwendig: 1
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>	
Dekdrain (Ø 7,6 cm)	Deck drain (3" diameter)					(tabel B-2.7)
Open	Open	1,5	0,21	1,7	<i>uit</i>	
90% dicht	90% closed	1,8	0,14	1,1		
Drain van aansluitstuk (Ø 2,5 cm)	Stub drain (1" diameter)	1,2	f	f		Inwendig ⁱ

Dekdoorvoering en uitvoering	Fitting type and construction details	K _{fa}	K _{fb}	m	NL ^a	Kenmerkend aantal doorvoeringen
Dekpoot (Ø 7,6 cm)	Deck leg (3" diameter)					Uitwendig: (tabel B-2.8) Inwendig ^b
Verstelbaar, inwendig drijvend dek	Adjustable, internal floating deck	7,9	f	f	in	
Pontongedeelte van pontondak:	Adjustabel ponton area:					
Verstelbare – zonder pakking	Adjustable – ungasketed	2,0	0,37	0,91	in&uit	
Verstelbaar – met pakking	Adjustable – gasketed	1,3	0,08	0,65		
Verstelbaar – met mof	Adjustable – sock	1,2	0,14	0,65		
Middengedeelte van pontondak of dubbeldekdak	Center area of pontoon roofs or double deck roofs					
Verstelbaar – zonder pakking	Adjustable – ungasketed	0,82	0,53	0,14	in&uit	
Verstelbaar – met pakking ^c	Adjustable – gasketed ^c	0,53	0,11	0,13		
Verstelbaar – met mof	Adjustable – sock	0,49	0,16	0,14		
Vast ^g	Fixed	0,0	0,0	0,0	in	
Randventilatie	Rim vent					1
<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	in&uit	
Ladderopening	Ladder well					1
<i>(Ladder ongebruikelijk bij uitwendig drijvende dekken)</i>						
Glijdende mantel zonder pakking	Sliding cover, ungasketed	98	f	f		
Glijdende mantel met mof	Sliding cover, gasketed	56	f	f	in	
Ladder met ingekeepte geleiding	Ladder-slotted guidepole combination well					0
Glijdende deksel zonder pakking	Sliding cover, ungasketed	98	f	f		
Glijdende mantel voorzien van harmonica hoes zonder pakking	Ladder sleeve, ungasketed sliding cover	65	f	f		
Glijdende mantel voorzien van harmonica hoes met pakking	Ladder sleeve, gasketed sliding cover	60	f	f		

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:

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

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 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

h) Geleidepaal met gleuven voorzien van een afdichtingsdeksel over de opening door het dek en een flexibele omhulling die de geleidepaal omgeeft vanaf de afdichtingsdeksel bij de dekopening tot een hoogte op de geleidepaal boven alle gleuven en gaten door de geleidepaal (Slotted guidepole equipped with a gasketed cover over the opening through the deck and a flexible enclosure that surrounds the guidepole from the gasketed cover at the deck opening up to an elevation on the guidepole above all slots and holes through the guidepole)

i) Drains voor aansluitstuk worden niet toegepast op uitwendig drijvende dekken of op gelaste inwendig drijvende dekken; aantal: $0,0861 \cdot D^2$ met $D = \text{tankdiameter [m]}$

Kenmerk R001-1282273RAX-V04i-nnc-NL

Bijlage 2

De volgende tabel geeft het kenmerkend aantal kolommen zoals vermeld door API [ref. 8]. 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.

Tabel B-2.6 Kenmerkend aantal kolommen (N_i) van kolomgesteunde vaste daken

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

Tabel B-2.7 Kenmerkende aantallen vacuümbrekers en dekdrains

Tankdiameter [m]	Vacuümbrekers		Dekdrains	
	Pontondek	Dubbeldek	Pontondek	Dubbeldek
15	1	1	0	1
30	1	1	0	1
45	2	2	0	2
60	3	2	0	3
75	4	3	0	5
90	5	3	0	7
105	6	4	0	Geen data
120	7	4	0	Geen data

Tabel B-2.8 Kenmerkend aantal dekpoten van tanks met een uitwendig drijvend dak

Tank diameter [m]	Pontondek		Dubbeldek Poten
	Pontonpoten	Poten in middengedeelte	
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

Bijlage 2d Deknaadfactoren

Tabel B-2.9 Deknaadfactoren

Dekconstructie	Kenmerkende deknaadfactor S_d (deck seam length factor) [m/m ²]	
Stroken ^a		
• 1,5 m brede stroken		0,66 ^c
• 1,8 m brede stroken		0,56
• 2,1 m brede stroken		0,46
Platen ^b		
• 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) $S_d = (1+w)/(l \cdot w)$, met strookbreedte [m] en l = strooklengte [m]

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

Bijlage 2e Empirische berekeningsmethode voor ademverliezen van vastdaktanks

Voor het berekenen van de ademverliezen uit vastdaktanks geven API / EPA [ref. 6 en 7] twee methoden: een theoretische uitwerking die de voorkeur heeft en een empirische formule. De empirische formule vereist minder invoerparameters, maar is ook minder nauwkeurig en niet geschikt voor verwarmde opslagtanks. In deze bijlage wordt de empirische formule uitgewerkt.

Deze kan toegepast worden als een gebruiker niet over voldoende informatie beschikt om de theoretische formule te gebruiken. In de vorige uitgave van het handboek [ref. 1] waren ook beide formules te vinden, maar was de keuze andersom: de empirische formule stond in paragraaf 4.2.1, de theoretische uitwerking in bijlage B9.

De ademverliezen worden als volgt berekend:

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

[vergelijking B-2.2]

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] (zie opmerkingen bij paragraaf 4.2.1 voor kegel- en koepelvormige daken)
T	=	dagelijks temperatuurverschil [°C], zie bijlage 2a, tabel B2.2
F_p	=	isolatie- en verffactor [-]
C	=	correctiefactor voor opslagtanks met D kleiner dan 9 m [-]
M	=	molmassa van de damp [g/mol]

Isolatie- en verffactoren voor opslagtanks met een vast dak

Tabel B-2.10 Isolatie- en verffactoren voor een niet geïsoleerde tank met een vast dak

Dak	Wand	Verf in goede staat F_p [-]	Verf in slechte staat F_p [-]
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_p heeft 20% betrekking op het dak en 80% op de tankwand.

Kenmerk R001-1282273RAX-V04i-nnc-NL

Bijlage 2

Geïsoleerde tank

Voor de verffactor van een geheel geïsoleerde tank geldt: F_p geïsoleerd = 0,2 F_p 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 wit dak: $0,2 \cdot 1,00 = 0,20$

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

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

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

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

C kan als volgt worden berekend:

$$C = -0,015 \cdot D^2 + 0,2609 \cdot D - 0,1375 \quad [\text{vergelijking B-2.3}]$$

C = correctiefactor voor opslagtanks met D kleiner dan 9 m [-]

D = tankdiameter [m]

Ademventiel

Ademventielen beperken het ademverlies. In enkele gevallen wordt het ademverlies geheel voorkomen. Een typische afstelling van de ademventielen is een onderdrukinstelling die ongeveer een derde van de overdrukinstelling bedraagt. De ademverliezen zijn nul indien de afsteldruk van het overdrukventiel (P_2) voldoet aan:

$$P_2 \geq P_{2,vereist} = 1,1 \cdot (P_A + P_1 - p_1^*) - (P_A - p_2^*) \quad [\text{vergelijking B-2.4}]$$

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

P_2 = openingsdruk van het overdrukventiel [kPa overdruk]

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

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

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

P_A = atmosferische druk (101,3 kPa)

Indien P_2 lager is ingesteld dan $P_{2, vereist}$ 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 vergelijking of grafiek op de volgende bladzijde.

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 tabel 4.4.

Kenmerk R001-1282273RAX-V04i-nnc-NL
Bijlage 2

Tabel B-2.11 Correctiefactor j voor ademventielen met een afstelling van +2 kPa (overdrukventiel) en -0,6 kPa (onderdrukventiel) en de minimale overdrukafstelling P₂ die vereist is voor het voorkomen van ademen.

Stof	Dampspanning bij 20°C [kPa]	Molmassa van de damp [g/mol]	Factor j [-]	P ₂ , 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

Correctiefactor voor ademverliezen bij tanks met over- en onderdrukverliezen

De correctiefactor j kan als volgt worden berekend.

$$j = -0,5556 \cdot f^3 + 2,1111 \cdot f^2 - 2,5944 \cdot f + 1,0389 \quad [\text{vergelijking B-2.5}]$$

$$\text{met } f = \frac{P_2 - P_1}{P_{2\text{ vereist}} - p_1} \quad [\text{vergelijking B-2.6}]$$

- P₁ = openingsdruk vacuümventiel als overdruk (negatief getal; kPa)
- P₂ = openingsdruk overdrukventiel als overdruk (positief getal; kPa)
- P₂ vereist = vereiste openingsdruk om ademen van tank te voorkomen, zie vergelijking 4.5 (< 0)

Bijlage 3 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. 22]:

$$Windsnelheid(z) = windsnelheid(10) \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^p \quad [\text{vergelijking B-3.1}]$$

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, klimatologische gegevens, daggegevens) op te vragen. Het voorkomen van de fakkelcondities A, B en C is in de volgende tabel aangegeven voor verschillende fakkelhoogten [%].

Tabel B-3.1 Voorkomen van fakkelcondities A, B en C voor verschillende fakkelhoogten en verschillende plaatsen [%]

Fakkelhoogte	Leeuwarden	Eelde	De Kooy	Twenthe	Schiphol	Valkenburg	Soesterberg	De Bilt	Deelen	Rotterdam	Volkel	Glize-Rijen	Vlissingen	Eindhoven	Beek
Conditie (windsnelheid)															
10 m hoogte															
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
20 m hoogte															
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
30 m hoogte															
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
40 m hoogte															
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
50 m hoogte															
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

Fakkelhoogte	Leeuwarden	Eelde	De Kooy	Twenthe	Schiphol	Valkenburg	Soesterberg	De Bilt	Deelen	Rotterdam	Volkel	Gilze-Rijen	Vlissingen	Eindhoven	Beek
Conditie (windsnelheid)															
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
60 m hoogte															
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. 25]

Rekenvoorbeeld

Per uur wordt 100 kg gas afgefakkeld. De samenstelling van het gas is als aangegeven in tabel B3.2.

Tabel B-3.2 Voorbeeld van een afgassamenstelling

Component	Aandeel [volume%]	Molmassa [g/mol]	Aandeel [kg per 100 kg]	Verbrandingswaarde [MJ/m ³]	Aandeel [MJ/m ³]
CO	1	28	1,6	12,6	0,13
H ₂	50	2	5,8	10,8	5,4
H ₂ S	1	34	2,0	23,4	0,23
CH ₄	15	16	14,0	35,9	5,39
C ₃ H ₈	25	44	64,2	93,2	23,3
N ₂	7	28	11,4	0	0
NH ₃	1	17	1,0	13,0	0,13
	100		100		34,6

De dichtheid van het fakkelgas bedraagt 0,77 kg/m³. De warmte-inhoud van het fakkelgas is het gewogen gemiddelde van de warmte-inhoud van de componenten; deze wordt berekend op 35,6 MJ/m³. Deze is voldoende voor conditie A. Dit betekent dat over langere termijn zowel conditie A, B en C zullen voorkomen.

Uit bovengenoemde gegevens volgt per 100 kg fakkelgas:

- In de brandbare componenten van het fakkelgas bevindt zich 63,7 kg koolstof; $(1,6 \cdot 12/28 + 14 \cdot 12/16 + 64,2 \cdot (3 \cdot 12)/44)$
- In de koolwaterstoffen in het fakkelgas bevindt zich 63,0 kg koolstof; $(14 \cdot 12/16 + 64,2 \cdot (3 \cdot 12)/44)$
- 1,88 kg zwavel $(2,0 \cdot 32/34)$
- In stikstofverbindingen, exclusief moleculaire stikstof, bevindt zich 0,82 kg stikstof $(1,0 \cdot 14/17)$
- Warmte-inhoud van 4,49 GJ; $(100/0,77 \cdot 34,6/1000)$

Kenmerk R001-1282273RAX-V04i-nnc-NL

Bijlage 3

Aannemende dat de emissiecondities A, B en C respectievelijk 90% – 9% – 1% van de tijd optreden bij de fakkelerbranding kunnen de gemiddelde uuremissies als volgt worden berekend:

1. Koolmonoxide: $0,9 \cdot 63,7 \cdot 0,01 \cdot 28/12 + 0,09 \cdot 63,7 \cdot 0,20 \cdot 28/12 + 0,01 \cdot 1,6 \cdot 1 = 4,03 \text{ kg CO}$
2. Koolwaterstoffen (als CH_4): $0,9 \cdot 63 \cdot 0,001 \cdot 16/12 + 0,09 \cdot 63 \cdot 0,02 \cdot 16/12 + 0,01 \cdot 63 \cdot 1 \cdot 16/12 = 1,07 \text{ kg CxHy}$
3. Zwaveldioxide: $0,9 \cdot 1,88 \cdot 1 \cdot 64/32 + 0,09 \cdot 1,88 \cdot 1 \cdot 64/32 = 3,73 \text{ kg SO}_2$
4. Stikstofoxiden (als NO_2): $0,9 \cdot (0,82 \cdot 0,2 \cdot 46/14 + 4,49 \cdot 9/1000) + 0,09 \cdot (0,82 \cdot 0,1 \cdot 46/14 + 4,49 \cdot 4,5/1000) = 0,55 \text{ kg NO}_2$
5. Roet = $0,9 \cdot 63,7 \cdot 0,0003 + 0,09 \cdot 63,7 \cdot 0,03 = 0,19 \text{ kg C}$

Opmerking:

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

Bijlage 4 Formulier voor opmerkingen

Het handboek 'Diffuse emissies en emissies van vluchtige organische stoffen, handboek emissieberekening' wordt veelvuldig gebruikt. Om het handboek zo goed mogelijk op de praktijk af te stemmen wil de Emissieregistratie commentaar op het handboek verzamelen en gebruiken voor een evaluatie. De regie en aansturing van de Emissieregistratie is ondergebracht bij het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Uw op- of aanmerkingen kunt u richten aan:

RIVM/MNP

Postbus 1

3720 BA Bilthoven

E-mail: emissieregistratie@rivm.nl

Graag in uw reactie de volgende gegevens opnemen:

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