

RIVM rapport 609021 019

**Kwantitatief model voor emissies van
persistente contaminanten destructiebedrijven
Rendac**

J.I. Freijer, T. Knol en J.J.G. Kliest

01-09-2001

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van de Inspectie Milieuhygiëne Noord,
in het kader van project M/609021, Raamproject Algemene ad hoc ondersteuning Inspectie

Abstract

A quantitative model for emissions of persistent contaminants at Rendac destruction plants

The National Institute for Public Health and the Environment has developed a generic model for quantifying emissions of persistent contaminants at Rendac destruction plants. The model is based on two principles: mass balancing and partitioning of compounds over various matrices. An important limiting condition in the model is that contaminants enter the destruction process via the raw materials (animal corpses and offals). Input to the model is formed by parameters signifying processing conditions and properties of the contaminants considered. Model calculations for 40 different persistent contaminants were performed. The majority of the contaminants, however, are not common in the raw materials used at Rendac so model exercises are strictly theoretical. From the modeling results it can be deduced that most compounds evaluated may emit to the products, 'fat' and 'animal meal'. A small fraction of the total emission may find its way into waste water and the exhaust of gaseous compounds. Post-plant treatment is operative for both the waste-water and exhaust routes, thereby ensuring a further reduction of emissions in the environment.

Inhoud

Abstract 3

Samenvatting 6

1. Introductie 7

2. Procesmodel voor emissies 9

2.1 Productielijnen 9

2.2 Overzicht van aannames 11

2.3 Locaal evenwicht 12

2.4 Uitwisseling contaminant tussen bulkgrondstof en lucht 13

2.5 Massabalans Proces A 14

2.6 Massabalans Proces B 15

2.7 Massabalans Proces C 16

3. Modelinvoer 19

3.1 Grondstof en proces 19

3.2 Stofeigenschappen 19

4. Modelberekeningen 23

4.1 Meel en vet productielijnen 23

4.2 Bloedmeel productielijn 24

4.3 Restex productielijn 24

4.4 Overige productielijnen 24

4.5 Nageschakelde techniek 25

5. Conclusies en aanbevelingen 31

Referenties 33

Appendix 1 Notatie 34

Appendix 2 Analytische oplossing Proces A 35

Appendix 3 Analytische oplossing Proces B 38

Appendix 4 Analytische oplossing Proces C 41

Appendix 5 Verzendlijst 44

Samenvatting

RIVM heeft een generiek model ontwikkeld waarmee emissies van persistente contaminanten bij Rendac destructiebedrijven gekwantificeerd kunnen worden. Het model is gebaseerd op de principes van massabalans en partitionering van stoffen over verschillende matrices. Er wordt verondersteld dat de contaminanten via de grondstoffen (o.a. slachtafval en kadavers) in het destructieproces komen. Invoergegevens voor het model zijn diverse procesparameters en stofeigenschappen. Met het model zijn berekeningen uitgevoerd voor ca. 40 persistente contaminanten. Een groot deel van de geëvalueerde stoffen komt normaal niet voor in de aangevoerde grondstoffen. De modelexercitie is daarom uitsluitend een theoretische analyse van de emissies. Uit de resultaten van de berekeningen blijkt dat de meeste van de geselecteerde stoffen vooral emitteren naar de producten vet en meel. Slechts een kleine fractie van de totale emissie komt terecht in het afvalwater en de afgas. Voor beide afvalstromen bestaan nageschakelde technieken, die voor een verdere reductie van de emissies zorgen.

1. Introductie

Destructiebedrijven Rendac is een concern dat slachtafval en kadavers verwerkt tot verschillende eindproducten, waarvan enkele worden gebruikt als grondstof voor veevoeders. Het bedrijf heeft daarmee een plaats in de productieketen dierlijk voedsel. In het productieproces zijn er verschillende afvalstromen (via water, lucht en vaste stof).

De basisgrondstof, dode landbouwhuisdieren, bedorven dierlijke levensmiddelen, dierlijk afval en SRM (Specified Risk Material) materiaal, kan mogelijk contaminanten bevatten. Het is vanuit milieuhygiënisch oogpunt wenselijk om in te kunnen schatten wat het lot is van deze contaminanten bij verwerking van de betreffende basisgrondstoffen. Ook voor een juist ketenbeheer is het noodzakelijk om bij bekende concentraties in de grondstoffen een schatting te kunnen maken van de concentraties van deze contaminanten in de massastromen tijdens het productieproces. Daarnaast is ook de omgekeerde weg interessant uit bedrijfsmatig oogpunt: een schatting van de eisen waaraan ingangsmateriaal moet voldoen om tot aanvaardbare concentraties te komen in eindproducten. De eisen die worden gesteld aan het eindproduct en de emissierichtlijnen zijn hierbij het uitgangspunt. Om een kwantitatieve analyse te kunnen maken dient een wiskundig model ontwikkeld te worden.

De Inspectie Milieu Hygiëne (IMH) Noord heeft het RIVM gevraagd een generiek model te ontwikkelen waarmee emissies van persistente contaminanten in het productieproces van Rendac gekwantificeerd kunnen worden. Tevens werd gevraagd om het model toe te passen voor een aantal relevante contaminanten. Onder 'relevante' contaminanten worden persistente contaminanten verstaan die in het verleden een of meer malen in landbouwhuisdieren zijn aangetroffen (EG ontwerp Richtlijn 1999/29/EG). Dat betekent niet dat deze stoffen per definitie aangetroffen worden in de grondstoffen van Rendac. Ook omvat de lijst van contaminanten geen afvalstoffen die tijdens het proces zelf ontstaan. Nageschakelde technieken (lucht en waterzuivering) worden in het model buiten beschouwing gelaten. De waterzuivering is in een ander deelproject ondergebracht (Brdjanovic et al., 2000). Voor de behandeling van proces- en ventilatielucht wordt in deze rapportage alleen een kwalitatieve uitspraak gedaan.

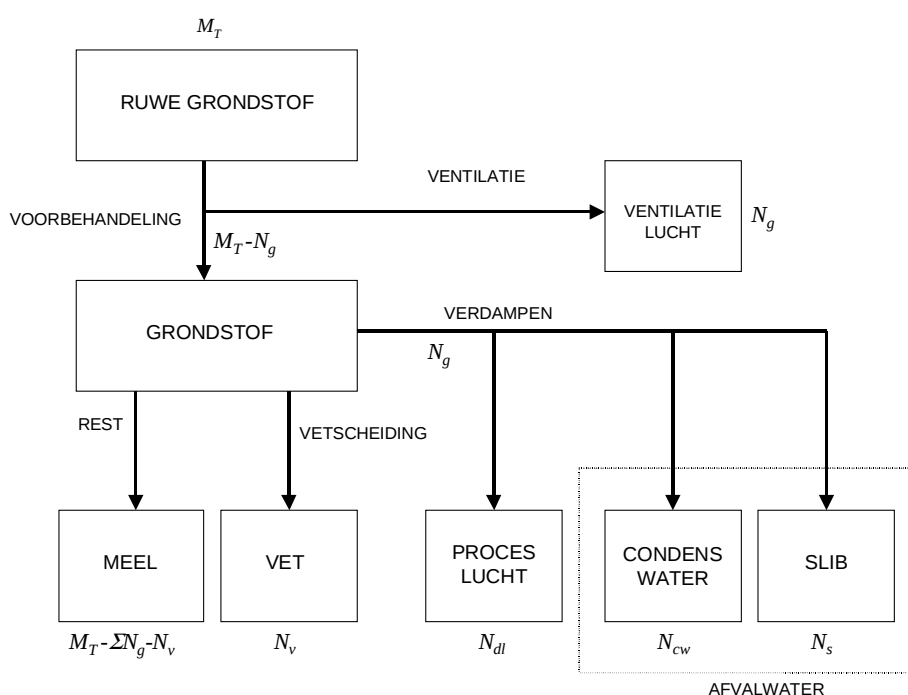
Dit rapport behandelt in Hoofdstuk 2 de ontwikkeling van het model. Daarna wordt in Hoofdstuk 3 ingegaan op waarden die worden gebruikt voor de systeemp parameters. Tenslotte wordt het model toegepast om de verspreiding van relevante contaminanten in het productieproces te schatten.

2. Procesmodel voor emissies

Dit hoofdstuk beschrijft de ontwikkeling van het model. Eerst worden de basisprocessen gegeneraliseerd tot een 3-tal hoofdschema's. Daarna wordt het conceptuele model omgezet in een wiskundig model, waarbij de aannames expliciet worden aangegeven.

2.1 Productielijnen

Binnen Rendac Son en Bergum worden 7 productielijnen onderscheiden: productie van bloedmeel, productie van pluimveemeel en pluimveevet, SRM verwerking, productie vleesmeel en veevoedervet, productie haarmeel, productie verenmeel en Restex.

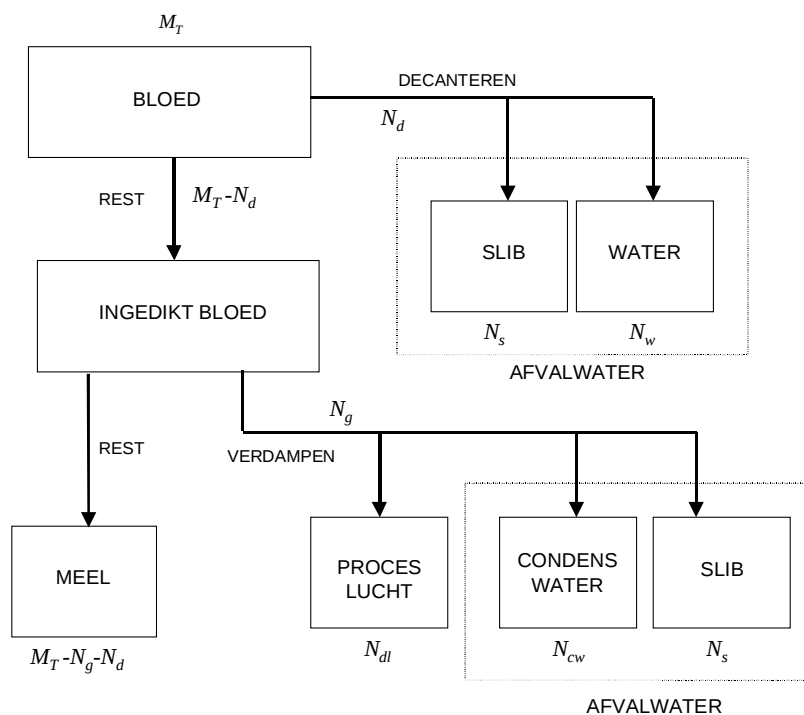


Figuur 1. Fluxen van contaminanten in het Rendac productieproces (productie van pluimveemeel en pluimveevet, SRM verwerking, productie vleesmeel en veevoedervet, productie haarmeel, en productie verenmeel)

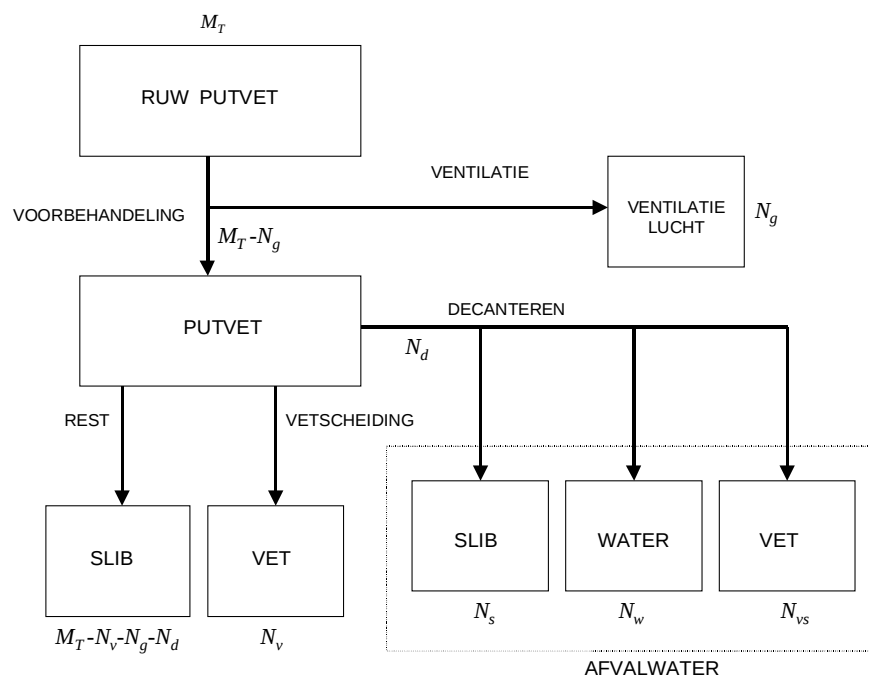
Voor de productie van verenmeel, haarmeel, vlees/pluimvee meel en vet, en SRM producten kan op basis van de optredende emissiefluxen het productieproces worden gegeneraliseerd tot twee stappen, (Figuur 1; Proces A). Hoewel de invulling van deze stappen (parameterwaarden, samenstelling grondstoffen) bij deze productielijnen verschillend is, kan voor de modelmatige beschrijving hetzelfde schema gebruikt worden. De eerste stap is de voorbewerking waaronder de overslag, verkleining van het materiaal en verwijdering grove delen en metalen worden verstaan. De tweede stap omvat de scheiding van water, vet en overige (vaste) stof. In elke stap onderscheiden we een aantal deelfluxen, die optreden afhankelijk van de duur en invulling van elke stap. Een flux is in deze gedefinieerd als een massastroom van een compartiment naar een volgend. Voor een verklaring van de symbolen

zie Appendix 1. De verdampingsstroom wordt na condensatie gescheiden in twee stromen, de 'condensables' (aërosolkernen, condenswater en contaminanten) die naar de afvalwaterzuivering worden geleid, en de 'non-condensables', bestaande uit diverse gasvormige stoffen, die voor een deel verbrand worden in het ketelhuis en voor een deel worden afgezogen naar de biobeds.

De bloedmeelproductie en Restex hebben een afwijkend schema. Figuur 2 toont de situatie voor de bloedmeelbereiding (Proces B). Het voornaamste verschil met Proces A is dat er sprake is van een vloeibare grondstof, waaruit in de eerste stap het water voor een groot deel door decanteren verwijderd wordt i.p.v. verdampen. Deze afvalwaterstroom bevat ook gesuspendeerde vaste stof (slib), maar nauwelijks vet. De tweede stap in dit proces is tot op zekere hoogte vergelijkbaar met stap twee in Proces A. Hier wordt het resterende water verwijderd door verdamping.



Figuur 2. Fluxen van contaminanten in het Rendac productieproces bij de productie van bloedmeel.



Figuur 3. Fluxen van contaminanten in het Restex productieproces.

Bij Restex (Figuur 3, Proces C) is de grondstof putvet: een mengsel van water, vet en overige vaste stof. Water en vet worden verwijderd door decanteren (tricanter). Hierbij wordt het putvet gescheiden in vet, vaste stof dat ter verdere verwerking elders wordt aangeboden, en afvalwater. Er komt ook een deel van het vet en de vaste stof (slib) in de afvalwaterstroom.

2.2 Overzicht van aannames

Voor de grondstof nemen we aan dat deze bestaat uit de som van 3 verschillende bestanddelen: water, vet en overige vaste stof (zie Tabel 3). Voor het gemak noemen we deze bestanddelen 'matrices'. Voor de contaminant nemen we aan dat deze verdeeld is over de matrices volgens het principe van lokaal evenwicht (zie paragraaf 2.3). De grondstof wordt verwerkt in een ruimte die gevuld is met lucht die in contact staat met de grondstof. Er wordt aangenomen dat op het contactvlak van de grondstof en de lucht evenwicht heerst. Het vrijkomen van de stof uit de grondstof in de omgevende lucht wordt echter verondersteld te worden bepaald door een uitwisselingsweerstand, die samenhangt met contactoppervlak en diffusiesnelheid. Dit principe wordt verder uitgewerkt in paragraaf 2.4. Bij condensatieprocessen wordt verondersteld dat de verdeling van de contaminant over condenswater en lucht volgens het evenwichtprincipe plaatsvindt. In het laatste geval is het contactoppervlak tussen groeiende waterdruppels en omgevende lucht zodanig groot dat deze aanname plausibel is.

De concentraties van de contaminant zullen altijd relatief laag zijn, zodat lineaire partitionering en/of adsorptie mag worden aangenomen voor de evenwichtsrelaties. Er hoeft dus geen rekening gehouden te worden met verzadiging van de capaciteit van de matrices. Het wordt dan mogelijk om de affiniteit van een contaminant voor een bepaalde matrix uit te

drukken in Henry coëfficiënten (lucht/water), een vet/water verdelingscoëfficiënt, en een vaste stof/water verdelingscoëfficiënt. De Henry coëfficiënt is een functie van de temperatuur. Hiervoor wordt de volgende relatie gebruikt:

$$P_{gw}^* = P_{gw} \exp(\varphi(T - T^*)) \quad (1)$$

waar $\varphi = 0.041 \text{ K}^{-1}$.

In elke processtap worden een of meer van de matrices afgevoerd. De afvoerdebieten binnen deze processtappen worden als relatief constant beschouwd.

2.3 Locaal evenwicht

Voor het totaal aan verontreiniging in de grondstof (exclusief lucht) geldt dat dit de som is van de concentraties in de matrices:

$$M_T = V_T C_T = V_w C_w + V_v C_v + V_s C_s \quad (2)$$

Evenwichtsverdeling over de matrices en de lucht direct in contact met de grondstof dicteert dat:

$$C_v = P_{vw} C_w \quad (3)$$

$$C_g = P_{gw} C_w \quad (4)$$

$$C_s = P_{sw} C_w \quad (5)$$

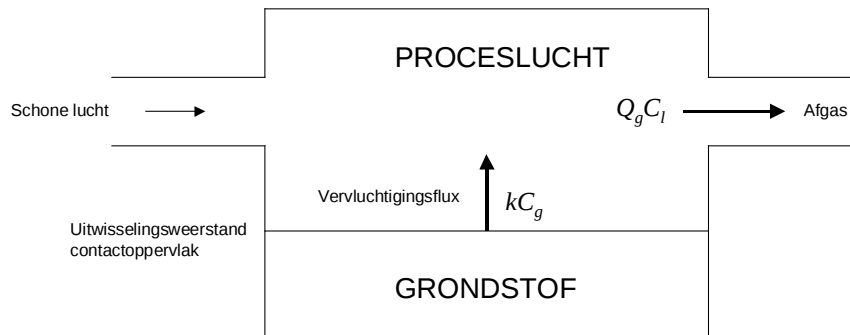
De relaties van de partiele concentraties met het totaal zijn aldus:

$$C_w = \frac{V_T C_T}{V_w + V_v P_{vw} + V_s P_{sw}} \quad (6)$$

$$C_g = \frac{V_T C_T P_{gw}}{V_w + V_v P_{vw} + V_s P_{sw}} \quad (7)$$

$$C_v = \frac{V_T C_T P_{vw}}{V_w + V_v P_{vw} + V_s P_{sw}} \quad (8)$$

$$C_s = \frac{V_T C_T P_{sw}}{V_w + V_v P_{vw} + V_s P_{sw}} \quad (9)$$



Figuur 4 Uitwisseling van contaminant tussen grondstof en proceslucht tijdens ventilatie en verdamping van water.

2.4 Uitwisseling contaminant tussen bulkgrondstof en lucht

Bij de uitwisseling van contaminanten met de gasfase wordt alleen evenwicht aangenomen op het contactvlak tussen gas en grondstof. Uitwisseling tussen de grondstof en lucht vindt op diverse punten in het proces plaats. Intensief contact tussen de grondstof en lucht vindt plaats tijdens de overslag vanuit laadcontainers naar voorraadbunkers en tijdens het verdampen van water. Daarnaast is er een mogelijkheid dat contaminanten het productieproces verlaten tijdens afzuiging van de fabrieksruimtes en ventilatie van opslagsilo. Bij deze laatste 2 routes is het contactoppervlak tussen de grondstofmatrix en de afgevoerde lucht klein, zodat aangenomen mag worden dat de hoeveelheden die zo het systeem verlaten minimaal zijn. In het productieproces voor bloedmeel kan er tijdens het vullen van de bloed canister uitwisseling zijn met de atmosfeer. Het vullen verloopt echter zo snel dat aangenomen mag worden dat de contacttijd en het contactoppervlak omvangrijke uitwisseling voorkomen.

Het ontsnappen van vluchtige contaminanten uit de grondstof wordt in het model beschreven m.b.v. een uitwisselingsweerstand tussen de grondstof en de omgevende lucht (Zie Figuur 4). Er wordt aangenomen dat op het contactoppervlak van de grondstof en de lucht evenwicht heerst. Vanaf het contactoppervlak verspreidt de contaminant zich door diffusie in de omgevende lucht:

$$F_g = AD_g \frac{C_g - C_l}{L} \quad (10)$$

Bij een ruime ventilatie, d.w.z. de vrijkomende contaminant verdunt zeer sterk, zal gelden dat:

$$C_l \ll C_g \quad (11)$$

zodat

$$F_g = kC_g \quad (12)$$

met

$$k = \frac{AD_g}{L} \quad (13)$$

Er wordt aangenomen dat de verversing van lucht in de procesruimte (bekend ventilatievoud) voldoende is voor steady-state afvoer van de zo vrijgekomen contaminant. In andere woorden de aanvoer is in balans met de afvoer:

$$kC_g = Q_g C_l \quad (14)$$

De waarde van k kan geschat worden door meting van concentraties in de luchtverversingsstroom:

$$k = Q_g C_l / C_g \quad (15)$$

2.5 Massabalans Proces A

Voor elke processtap kunnen we nu twee massabalansen formuleren. De eerste massabalans geldt voor het totale volume dat verandert als gevolg van de afvoer van een van de matrices. De tweede massabalans wordt opgesteld voor de contaminant. Op basis van deze massabalansen kan d.m.v. een analytische oplossing (zie Appendix 2) de concentratie in en de emissie via elke eindstroom worden bepaald als functie van de verwerkingstijd.

Processtap 1 Voorbehandeling

De concentratieafname als gevolg van verdamping van de contaminant wordt bepaald door de afvoer via ventilatielucht.

$$\frac{d(V_T C_T)}{dt} = -C_g k \quad (16)$$

De volumeverandering is nihil, omdat in de voorbehandeling geen scheiding van bestanddelen plaatsvindt.

$$\frac{dV_T}{dt} = 0 \quad (17)$$

De verliesterm van de contaminant uit de hoofdstroom omvat de flux via ventilatievlucht

$$N_g = k \int_0^{\tau} C_g dt \quad (18)$$

Processtap 2 Behandeling: water verdampen, steriliseren en vetscheiding

De concentratieafname in de hoofdstroom is het gevolg van verdamping van de contaminant, verlies van contaminant geabsorbeerd aan aerosol die tijdens de verdamping van water wordt meegevoerd en verwijdering van de contaminant door de vetscheiding:

$$\frac{d(V_T C_T)}{dt} = -C_g k - C_s C_{ae} Q_g - C_v Q_v \quad (19)$$

De aerosol concentratie kan afgeleid worden uit de slibconcentratie die wordt aangetroffen in het condensaat van de afgevoerde waterdamp.

De volumeverandering van de hoofdstroom is het resultaat van de scheiding van bestanddelen (ontwatering door verdamping en vetpersen):

$$\frac{dV_T}{dt} = \frac{d(V_v + V_w + V_s)}{dt} = -Q_v - Q_w - Q_g C_{ae} \quad (20)$$

De verliestermen uit de hoofdstroom zijn in overstemming met (19)

$$N_v = Q_v \int_0^{\tau} C_v dt \quad (21)$$

$$N_{dl} + N_{cw} + N_s = k \int_0^{\tau} C_g dt + Q_g \int_0^{\tau} C_s C_{ae} dt \quad (22)$$

De analytische oplossing van de bovengenoemde differentiaalvergelijken wordt behandeld in Appendix 2.

2.6 Massabalans Proces B

Voor de processtap in Proces B kunnen we analoog aan Proces A eveneens een tweetal massabalansen formuleren. De eerste massabalans geldt voor het totale volume, dat verandert als gevolg van de afvoer van een van de matrices. De tweede massabalans wordt opgesteld voor de contaminant. Wederom kan op basis van deze massabalansen d.m.v. een analytische oplossing (zie Appendix 3) de concentratie in en de emissie via elke eindstroom worden bepaald als functie van de verwerkingstijd.

Processtap 1 Decanteren bloedwater

De concentratieafname wordt bepaald door opgeloste contaminant en contaminant geabsorbeerd aan gesuspenseerd materiaal (bloedbezinksel). Als bij benadering de hoeveelheid gesuspenseerd materiaal bij het decanteren relatief constant is in de tijd, dan geldt:

$$\frac{d(V_T C_T)}{dt} = -C_w Q_w - C_s Q_w C_{susp} \quad (23)$$

De volumeverandering is gelijk aan de afvoer van water en vaste stof

$$\frac{dV_T}{dt} = \frac{d(V_w + V_s)}{dt} = -Q_w - C_{susp} Q_w \quad (24)$$

Verliestermen uit hoofdstroom volgt uit (23)

$$N_w + N_s = Q_w \int_0^{\tau} C_w dt + C_s C_{susp} dt \quad (25)$$

Processtap 2 Verdampen resterende water

De concentratieafname wordt bepaald door verdampend contaminant en contaminant geabsorbeerd aan aërosol:

$$\frac{d(V_T C_T)}{dt} = -C_g k - C_s C_{ae} Q_g \quad (26)$$

De volumeverandering is hiermee in overeenstemming

$$\frac{dV_T}{dt} = \frac{d(V_w + V_s)}{dt} = -Q_w - Q_g C_{ae} \quad (27)$$

De verliestermen uit de hoofdstroom luiden aldus

$$N_{dl} + N_{cw} + N_s = k \int_0^{\tau} C_g dt + Q_g \int_0^{\tau} C_s C_{ae} dt \quad (28)$$

De analytische oplossing van de bovengenoemde differentiaalvergelijken wordt behandeld in Appendix 3.

2.7 Massabalans Proces C

Het Restexproces lijkt modelmatig enigszins op Proces A. Voor elke processtap kunnen we weer twee massabalansen formuleren. De eerste massabalans geldt voor het totale volume, dat verandert als gevolg van de afvoer van een van de matrices. De tweede massabalans wordt opgesteld voor de contaminant. Ook hier is het weer mogelijk om het stelsel van massabalansen analytisch op te lossen (zie Appendix 4). Met behulp van deze oplossing kan de concentratie in en de emissie via elke eindstroom worden bepaald als functie van de verwerkingstijd.

Processtap 1 Voorbehandeling

De concentratieafname als gevolg van verdamping van de contaminant wordt bepaald door de afvoer via ventilatielucht.

$$\frac{d(V_T C_T)}{dt} = -C_g k \quad (29)$$

De volumeverandering is nihil, omdat in de voorbehandeling geen scheiding van bestanddelen plaatsvindt.

$$\frac{dV_T}{dt} = 0 \quad (30)$$

De verliesterm van de contaminant uit de hoofdstroom omvat de flux via ventilatievlucht

$$N_g = k \int_0^{\tau} C_g dt \quad (31)$$

Processtap 2 Behandeling: water decanteren en vetscheiding

De concentratieafname in de hoofdstroom is het gevolg van verdamping van de contaminant, verlies van contaminant geadsorbeerd aan aerosol die tijdens de verdamping van water wordt meegevoerd en verwijdering van de contaminant door de vetscheiding:

$$\frac{d(V_T C_T)}{dt} = -C_v C_{vet} Q_w - C_s C_{susp} Q_w - C_w Q_w - C_v Q_v \quad (32)$$

De aerosol concentratie kan afgeleid worden uit de slibconcentratie die wordt aangetroffen in het condensaat van de afgevoerde waterdamp.

De volumeverandering van de hoofdstroom is het resultaat van de scheiding van bestanddelen (ontwatering door verdamping en vetpersen)

$$\frac{dV_T}{dt} = \frac{d(V_v + V_w + V_s)}{dt} = -Q_v - Q_w - Q_w C_{susp} - Q_w C_{vet} \quad (33)$$

De verliestermen uit de hoofdstroom zijn in overstemming met (19)

$$N_v = Q_v \int_0^{\tau} C_v dt \quad (34)$$

$$N_w + N_{vs} + N_s = Q_w \int_0^{\tau} C_s C_{susp} dt + C_v C_{vet} dt + C_w dt \quad (35)$$

De analytische oplossing van de bovengenoemde differentiaalvergelijken wordt behandeld in Appendix 3.

3. Modelinvoer

Het ontwikkelde model kan pas toegepast worden als de relevante invoerparameters bekend zijn. Deze kunnen grofweg in vier groepen worden ingedeeld: natuurconstanten, procesparameters, stofeigenschappen en eigenschappen van de grondstof. Een overzicht van de noodzakelijke invoergegevens staat weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1. Invoerbehoefte van het procesmodel

Groep	Invoerparameter	Eenheden
Grondstof	Vetgehalte	%
	Watergehalte	%
	Gehalte overig vast	%
	Contaminant concentratie	$\mu\text{g m}^{-3}$
	Volume batch	m^3
Proces (per processtap)	Duur behandeling	hr
	Debiet vetpersen ¹	$\text{m}^3 \text{hr}^{-1}$
	Debiet water verdamping ³	$\text{m}^3 \text{hr}^{-1}$
	Debiet water decaneren ²	$\text{m}^3 \text{hr}^{-1}$
	Slibfractie in afvalwaterstromen	$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$
	Vetfractie in afvalwaterstromen	$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$
	Temperatuur	K
	Druk	Pa
	Gasuitwisseling coëfficiënt	$\text{m}^3 \text{hr}^{-1}$
Natuurconstanten	Gasconstante ($R=8.314$)	$\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$
Stofeigenschappen	Partitiecoëfficiënt vet-water	$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$
	Partitiecoëfficiënt gas-water	$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$
	Partitiecoëfficiënt vast-water	$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$

¹Proces A en C, ²Proces B en C, ³Proces A en B

3.1 Grondstof en proces

De bovenstaande invoergegevens werden op twee manieren verzameld. Gegevens over de grondstof en het proces werden zoveel mogelijk uit informatiebrochures, vergunningen in het kader van de Wet milieubeheer, en verslagen van Rendac afgeleid. Daarnaast werd door een bezoek aan Rendac Bergum en gesprekken met de proces- en milieutechnologen van Rendac een aantal parameters verkregen. In Tabel 2 worden de geschatte gemiddelde verblijftijden in de verschillende productielijnen weergegeven. Een specificatie van de gemiddelde gehalten water, vet en overig vaste stof in de grondstoffen voor de productielijnen wordt samengevat in Tabel 3. De overige procesparameters die in het model gebruikt worden zijn weergegeven in Tabel 4.

3.2 Stofeigenschappen

Het bepalen van de stofeigenschappen (partitiecoëfficiënten) vereist allereerst een keuze van relevante stoffen. Na overleg binnen de adviescommissie van het IMH onderzoek naar de gezondheids- en milieuaspecten werd als basis de stoflijst van 30 veevoedercontaminanten uit de EG ontwerprijrichtlijn 1999/29/EG van 220499 genomen. Deze lijst werd aangevuld met een aantal andere door de adviescommissie relevant geachte stoffen. De keuze van deze stoffen

betekent niet dat deze stoffen per definitie voorkomen in het productieproces van Rendac. Het gaat om stoffen waarmee landbouwhuisdieren mogelijk in aanraking kunnen komen. De lijst van stoffen met de in Tabel 1 genoemde eigenschappen is weergegeven in Tabel 5.

Tabel 2 Geschatte verblijftijd van grondstoffen in het productieproces in de verschillende productielijnen.

Productielijn	Processchema	Geschatte verblijftijd (hr)		
		Processtap 1	Processtap 2	Totaal
Vleesmeel&Veevoedervet	A	1	8	9
Pluimveemeel&Pluimveevet	A	1	8	9
SRM	A	1	3	4
Haarmeel	A	1	3	4
Verenmeel	A	1	5	6
Bloedmeel	B	1	4	5
Restex	C	0.5	1.0	1.5

Tabel 3 Gemiddelde samenstelling grondstoffen in de productielijnen bij Rendac.

Productielijn	Samenstelling grondstof (volume %)		
	Water	Vet	Overig vast
Vleesmeel&Veevoedervet	70	10	20
Pluimveemeel&Pluimveevet	70	10	20
SRM	70	10	20
Haarmeel	70	0	30
Verenmeel	70	0	30
Bloedmeel	85	0.5	14.5
Restex	80	8.5	11.5

Tabel 4 Overige procesparameters Rendac voor bloedmeel, Pluimveemeel & Pluimveevet, Vleesmeel & Veevoedervet, en Restex.

Invoerparameter	Meel&Vet (A)		Bloedmeel (B)		Restex (C)	
	Stap 1	Stap 2	Stap 1	stap 2	Stap 1	Stap 2
<i>Debieten ($m^3 m^{-3} hr^{-1}$)¹</i>						
vetpersen	-	0.010	-	-	-	0.0625
water verdamping	-	0.086	-	0.060	-	-
water decaneren	-	-	0.600	-	-	0.788
Gasuitwisselings coëfficiënt	0.025	70	-	49	0.025	-
<i>Slibfractie (vol %)</i>						
aërosol in afvalwater	-	0.1	-	0.1	-	-
decaneren	-	-	1.0	-	-	1.0
<i>Vetfractie (vol %)</i>						
decaneren	-	-	-	-	-	1.0
<i>Verdamping</i>						
Temperatuur (K)	298 ²	350 ³	298 ²	350 ³	298 ²	298 ²
Druk afgas (kPa)	101	101	101	101	101	101

¹ Uitgedrukt per volume grondstof, ² Worst case op hete dag in de zomer, ³ Geschatte gemiddelde van de verdampings/sterilisatiestappen voor vlees en pluimvee (werktemperatuur verdampingstrap(pen) 323-363 K; werktemperatuur sterilisatie trap 388-408K).

De stoffeigenschappen werden zoveel mogelijk berekend met het computerprogramma Epiwin v2.3 (Meylan, 1997), dat een schatting maakt van de $\log(K_{ow})$, de K_{oc} en de Henry coëfficiënt op basis van een aantal molecuuleigenschappen. De K_{ow} is de partiticoëfficiënt van een stof in een octanol en water mengsel. Er werd aangenomen dat deze een goed substituuut is voor de partiticoëfficiënt vet-water. De K_{oc} is de partiticoëfficiënt van een stof tussen organisch

koolstof en water. De laatste werd gebruikt als substituut voor de verdelingscoëfficiënt voor overig vast-water. De Henry coëfficiënt is de verdelingscoëfficiënt voor gas-water partitionering. De bovengenoemde werkwijze is nooit systematisch vergeleken met de toepassing van gemeten partitiecoëfficiënten, hetgeen als een onzekerheid moet worden gezien in de invoergegevens.

Voor sommige aanduidingen in de EG richtlijn is er niet duidelijk sprake van een specifieke stof. Voor dioxines, PCB's, ftalaten en fenolen werden daarom een aantal congenere gekozen die sterk in de belangstelling staan omdat ze in het algemeen veel voorkomen en/of zeer giftig zijn. Bij PAK werden de 10 PAK uit het VROM Basis document PAK (Slooff et al., 1989) overgenomen. Ook bij de zware metalen en fluor kan niet duidelijk van specifieke stoffen gesproken worden, omdat de verschijningsvorm van deze stoffen afhangt van de oplossing waarin de metaalionen voorkomen. Voor de zware metalen en fluor werd op basis van het voorkomen in milieu en landbouwhuisdieren 'schijnbare' gas-water en organisch C-water partitiecoëfficiënten geschat. Data voor deze schatting waren afkomstig uit de Veterinaire Milieuhygiënewijzer (Veterinaire Inspectie van de Volksgezondheid, 1992). De vet-water partitiecoëfficiënt werd gebaseerd op de K_{ow} van de elementaire vorm (Epiwin v2.3). De stoffeigenschappen van de geselecteerde stoffen zijn weergegeven in Tabel 5.

Tabel 5 Geschatte stofeigenschappen van geselecteerde stoffen (zie voor een toelichting paragraaf 3.2).

Groep	Stof	CAS nummer	Partitiecoëfficiënten t.o.v. water ¹		
			gas	vet	organisch C
Diversen	Arseen	-	2.63E-06	4.79E+00	4.57E+01
	Lood	-	7.69E-08	5.37E+00	4.40E+01
	Fluor	-	5.05E-03	1.66E+00	6.25E+03
	Kwik	-	1.96E-04	3.39E-01	7.14E+01
	Cadmium	-	1.28E-04	8.49E-01	6.76E+03
	Nikkel	-	1.08E-03	2.69E-01	2.63E+03
	Chroom	-	8.00E-08	3.39E-01	6.00E+02
	Zink	-	1.08E-03	3.39E-01	2.63E+03
	Koper	-	1.08E-04	2.69E-01	2.00E+02
	Aflatoxin B1	1162-65-8	5.73E-12	1.70E+01	3.49E+01
	Blauwzuur	74-90-8	9.91E-01	2.04E-01	3.25E+00
	Vrij Gossypol	303-45-7	2.73E-19	4.90E+08	1.03E+08
	Teobromine	83-67-0	6.66E-10	8.91E-01	1.20E+00
Pesticiden	Aldrin	309-00-2	1.58E-02	5.62E+06	1.27E+05
	Dieldrin	60-57-1	2.21E-05	2.82E+05	1.27E+04
	Chloordaan	57-74-9	2.87E-03	3.98E+06	1.04E+05
	DDT	50-29-3	6.25E-04	6.17E+06	2.64E+05
	Endosulfan	115-29-7	3.69E-06	6.92E+03	2.64E+04
	Endrin	72-20-8	1.58E-02	2.82E+05	1.27E+04
	Heptachloor	76-44-8	7.18E-03	1.62E+06	6.29E+04
	Hexachloorbenzeen	118-74-1	3.65E-02	7.24E+05	4.06E+03
	Lindaan (gamma HCH)	58-89-9	1.05E-02	1.82E+04	4.06E+03
	Naftaleen	91-20-3	2.15E-02	1.48E+03	2.21E+03
PAK	Antraceen	120-12-7	2.10E-03	2.24E+04	2.45E+04
	Fenantreen	85-01-8	2.10E-03	2.24E+04	2.50E+04
	Fluorantheen	206-44-0	3.39E-04	8.51E+04	8.50E+04
	Benzo[a]antraceen	56-55-3	2.05E-04	3.31E+05	2.77E+05
	Chryseen	218-01-9	2.05E-04	3.31E+05	2.83E+05
	Benzo[k]fluorantheen	207-08-9	3.31E-05	1.29E+06	9.44E+05
	Benzo[a]pyreen	50-32-8	3.31E-05	1.29E+06	9.44E+05
	Benzo[ghi]peryleen	191-24-2	5.35E-06	5.01E+06	3.22E+06
	Indeno[1,2,3-cd]pyreen	193-39-5	5.35E-06	5.01E+06	3.22E+06
	Indeno[1,2,3-cd]pyreen	193-39-5	5.35E-06	5.01E+06	3.22E+06
Dioxine	2,3,7,8-TCDD	1746-01-6	1.44E-04	8.32E+06	1.75E+05
	1,2,3,7,8-PeCDD	40321-76-4	1.70E-04	3.63E+07	2.96E+06
	OCDD	3268-87-9	4.35E-05	3.16E+09	1.43E+06
	2,3,7,8-TCDF	51207-31-9	6.31E-04	1.95E+06	9.72E+04
	2,3,4,7,8-PeCDF	57117-31-4	4.68E-04	8.71E+06	1.64E+06
PCB	3,3',4,4'-CB(77)	32598-13-3	5.10E-03	2.19E+06	5.38E+04
	3,3',4,4',5-CB(126)	57465-28-8	3.78E-03	9.55E+06	8.89E+04
Ftalaten	BBP	85-68-7	1.73E-06	6.92E+04	1.12E+04
	DBP	84-74-2	5.00E-05	4.07E+04	1.75E+03
	DEHP	117-817	4.83E-04	2.45E+08	1.98E+05
Fenolen	4-nonylphenol	84852-15-3	2.44E-04	8.32E+05	6.12E+04
	4-octylphenol	140-66-9	1.84E-04	1.91E+05	1.86E+04

¹ gas-water: Henry coëfficiënt, vet-water: K_{ow}, organisch C-water: K_{oc}

4. Modelberekeningen

Het model is gebruikt voor de berekening van de concentraties en emissies via de verschillende procesroutes voor de in Tabel 5 genoemde contaminanten. Hiertoe werd het formularium geïmplementeerd in een Excel spreadsheet. De berekeningen zijn beperkt gebleven tot de Meel&Vet, de Bloedmeel en de Restex productielijn. De berekeningen omvatten zowel de emissies als concentraties. Emissies werden berekend als percentage van de hoeveelheid contaminant die in de grondstof het proces werd ingevoerd. Het gaat hierbij om de volgende routes: vet, meel, afvalwater, en lucht. Daarnaast werden ook relatieve concentraties berekend voor een 3-tal stromen (vet, meel, en afvalwater). Een relatieve concentratie is een concentratie in een processtroom als fractie van de concentratie in de grondstof. Als de relatieve concentratie in een bepaalde stroom groter dan 1 is betekent dit dat de contaminant daarin accumuleert.

Voorbeeld:

Een lipofiele contaminant (met een hoge vet-water partitiecoëfficiënt) is aanwezig in een grondstof. In deze grondstof zijn de bestanddelen water, vet en overig vaste stof heterogeen verdeeld. Tijdens de scheiding van de stofstromen zal de contaminant als gevolg van zijn chemische eigenschappen zich voornamelijk gaan bewegen naar het vet. Het vet is slechts een fractie van de grondstof. De concentratie in het vet wordt daardoor hoger dan in het totaal van de aangeboden grondstof (dezelfde hoeveelheid contaminant komt terecht in een kleiner volume). Het afgevoerde water daarentegen, wat het grootste deel van de grondstof uitmaakt (zie Tabel 3) zal dan nauwelijks contaminant bevatten. Daardoor is de concentratie t.o.v. de grondstof veel lager (en de relatieve concentratie dus kleiner dan 1). Er treedt als gevolg van de scheiding dus een relatieve verdunning op in het afvalwater.

De resultaten van de berekening zijn weergegeven in Tabellen 6-8. Tabel 6 omvat de percentuele verdeling van de emissies, en de relatieve concentraties voor Proces A (Meel&Vet). Tabel 7 geeft deze informatie voor Proces B (Bloedmeel). Tenslotte laat Tabel 8 de resultaten zien voor de Restex productielijn (Proces C).

4.1 Meel en vet productielijnen

Uit tabel 6 blijkt dat in de Meel&Vet productielijnen er vooral emissie optreedt naar de producten meel en vet, en niet naar het afvalwater en de lucht. In de producten vindt daardoor een behoorlijke concentratieverhoging op t.o.v. het ingangsmateriaal. Uitzondering hierop is het gas blauwzuur. Hoewel dit gas redelijk oplosbaar is zal bij ventilatie het geheel naar de lucht verdwijnen. Andere stoffen die emitteren via de proces- en ventilatielucht zijn naftaleen (15.7%) kwik (4.6%), fluor (2%) en lindaan (1.9%). Emissie naar het afvalwater treedt voor alle doorgerekende stoffen slechts in zeer kleine hoeveelheden op. Dit zijn vooral matig vluchtige stoffen die tijdens het verdampen van water bij ca. 350 K mee worden gevoerd in de waterdampstroom. Ook kunnen sommige stoffen geadsorbeerd aan aerosol worden meegevoerd in de dampstroom. Via beide wegen komen ze dan terecht in het condensaat, dat

wordt afgevoerd naar de afvalwaterzuivering. Bij de emissie naar de producten is er een groot verschil tussen lipofiele en niet-lipofiele stoffen. Zeer lipofiele stoffen met een hoge vet-water partiticoëfficiënt (Tabel 5) zoals dioxines en PCB's komen vooral in het vet terecht (tot 10 keer hogere concentratie dan het ingangsmateriaal). Stoffen zoals endosulfan en teobromine zijn niet lipofiel, en accumuleren daarom in de overgebleven matrix, het meel.

4.2 Bloedmeel productielijn

Bij de bloedmeelproductie (Tabel 7) ontbreekt het vet in de grondstof, bovendien bestaat de grondstof uit veel meer water. Een deel van het water wordt gedecanteerd en afgevoerd naar de afvalwaterzuivering. Dit afvalwater bevat ook gesuspendeerd slib. Met name stoffen die goed oplosbaar zijn of adsorberen aan vaste stof kunnen op deze wijze meegevoerd worden. Hierdoor zijn de emissies naar het afvalwater hoger dan bij de Meel&Vet productielijnen. (centrale trend 4%; maximum 46.8% emissie voor teobromine). In de tweede stap van het proces, waarin water door indampen wordt verwijderd zal een aantal stoffen kunnen vervluchtigen. Stoffen waarvoor enige vervluchtiging werd berekend zijn: blauwzuur (53.2%) naftaleen (10.2 %), lindaan (2.5%), kwik (2.1%) en hexachloorbenzeen (1.3%). Het belangrijkste eindpunt voor emissie in de bloedmeelproductie is het bloedmeel. Hier treedt ook een duidelijke accumulatie op (tot 6 keer concentratieverhoging t.o.v. het ingangsmateriaal).

4.3 Restex productielijn

Tabel 8 laat de emissiestroom zien voor de Restexproductielijn. In vergelijking met de Meel&Vet en bloedmeelproductielijn, zijn de potentiële emissies naar de afvalwaterzuivering aanzienlijk groter (centrale trend: 9%; range: 6.9 tot 79%), terwijl de emissies naar de afgas lager zijn. Dit geldt voor alle doorgeredende stoffen, en wordt veroorzaakt doordat bij het decaneren van water ook een hoeveelheid vet en overig vaste stof wordt meegevoerd. Daardoor worden naast de goed oplosbare stoffen ook stoffen die adsorberen aan organisch C en partitioneren naar vet geloozd op de afvalwaterzuiveringsinstallatie. Desalniettemin blijft de belangrijkste emissie die naar het afgescheiden vet en slib. De relatieve concentraties in deze producten zijn daardoor enige malen hoger dan het ingangsmateriaal (Tabel 8). De lipofiele componenten zijn daarbij net als bij de Meel&Vet productielijnen aanwezig in het (afval)vet (b.v. dioxines), terwijl de niet lipofiele stoffen zich concentreren in het (afval)slib (b.v. zware metalen)

4.4 Overige productielijnen

De productielijnen SRM, verenmeel en haarmeel worden in principe beschreven door Proces A. Voor deze lijnen zijn daarom geen afzonderlijke berekeningen uitgevoerd. Echter, de invoerparameters voor deze productielijnen zijn gedeeltelijk anders dan voor de Meel&Vet productielijn. De uitkomsten kunnen daardoor iets afwijken van die van de Meel&Vet productielijn. Bij de SRM productielijn is het emissiepatroon het meest vergelijkbaar met de Meel&Vet productielijnen, omdat de samenstelling (vet, water en rest) van de grondstoffen en de verwerking vrijwel identiek zijn. Daarentegen is de temperatuur bij het indampen lager, zodat de emissies naar de afgas en het afvalwater lager uitvallen. In deze lijn treedt net als bij

de Meel&Vet productielijn een sterke accumulatie op in de producten (afval)vet en (afval)meel.

Bij de haarmeel en verenmeelproductie is de samenstelling van de grondstof anders dan bij de meel&vet productielijnen (Tabel 3). In deze grondstoffen ontbreekt het vet. Water wordt wel net als bij de Meel&Vet productielijnen in dampvorm verwijderd. Door het ontbreken van vet vindt bij deze productielijnen de grootste emissie waarschijnlijk plaats naar het meel. Ook ligt het in de verwachting dat er een geringe verhoging van de emissie naar het afvalwater plaatsvindt.

4.5 Nageschakelde techniek

In het emissiemodel zijn de nageschakelde technieken niet opgenomen. Nageschakelde technieken worden toegepast voor het geproduceerde SRM vet, de afgas en het afvalwater.

Het SRM vet wordt verbrand in het ketelhuis bij een temperatuur >1250 K. Gezien de hoge temperatuur is het waarschijnlijk dat hierbij alle eventueel aanwezige contaminanten volledig verbrand worden. Een kwantitatieve beoordeling is alleen mogelijk als meer informatie bekend is over de exacte manier van verbranden, de verblijftijd van de gasvormige stoffen tijdens de verbranding en het precieze temperatuurverloop tijdens verbranding en afkoeling (Bremmer et al., 1993).

De afgevoerde contaminanten via de afgas, die voor de meeste geëvalueerde stoffen slecht een zeer kleine fractie vormen, worden op twee manieren verder verwerkt. Een deel van de lucht wordt via biobedden gevoerd om zodoende een biologische zuivering tot stand te brengen. Deze route is in de eerste plaats bedoeld om geurstoffen te elimineren, en niet voor het elimineren/adsorberen van persistente contaminanten. Hoe efficiënt deze nabehandeling zal zijn voor de persistente contaminanten is onbekend. Een ander deel van de gasvormige stoffen ('non-condensables') die ontstaan bij de verdamping van water worden in het ketelhuis verbrand bij een temperatuur van >1250 K. Waarschijnlijk zal de verbranding van eventueel aanwezige persistente contaminanten bij deze hoge temperatuur volledig zijn. Voor een kwantitatieve beoordeling is additionele informatie nodig over het verbrandingsproces en de afkoeling van de verbrandingsproducten.

Het afvalwater wordt gezuiverd in de afvalwaterzuivering. Ook deze is niet in de eerste instantie bedoeld voor de persistente contaminanten, maar voor de organische verbindingen die ontstaan tijdens het productieproces. In het door IWACO uitgevoerde deelonderzoek (Brdjanovic et al., 2000) naar de afvalwaterzuivering van destructiebedrijven wordt de verwijdering van de persistente contaminanten verder behandeld. De door Brdjanovic et al. (2000) gemelde emissiepercentages zijn relatief t.o.v. de imissie via het aangevoerde afvalwater en omvatten de emissies naar het oppervlaktewater (effluent), spuislib en de atmosfeer.

Om deze percentages relatief t.o.v. de binnenkomende grondstoffen te berekenen dient de volgende bewerking uitgevoerd te worden:

- (1) Specificeer de stof en de productielijn.

- (2) Zoek voor de betreffende stof de emissie naar het afvalwater voor de geselecteerde productielijn op in Tabel 6 t/m 8 van dit rapport.
- (3) Zoek in het IWACO rapport (Brdjanovic et al., 2000) in Hoofdstuk 3 de emissiepercentages naar effluent, spuislib en de atmosfeer op voor de betreffende stof.
- (4) Vermenigvuldig het emissiepercentage van de fabriek naar de afvalwaterzuivering (dit rapport) met het emissiepercentages uit de afvalwaterzuivering naar effluent, spuislib of atmosfeer (IWACO rapport).
- (5) Deze getallen geven de emissiepercentages uit de afvalwaterzuivering relatief t.o.v. de emissie via de grondstof die in de fabriek wordt verwerkt.

Om nu een gemiddelde emissie voor alle productielijnen te berekenen dient bekend te zijn hoeveel afvalwater per productielijn wordt verwerkt. Op die manier kan een gewogen gemiddelde berekend worden van de afzonderlijke emissiepercentages voor elke productielijn.

Voorbeeld 1:

In een partij grondstof voor Meel&Vet wordt 2,3,4,7,8-PeCDF aangetroffen. Welk deel van deze stof komt terecht in het effluent dat gespuid wordt op het oppervlaktewater ?

In Tabel 6 van dit rapport vinden we 0.1% emissie naar het afvalwater. In het IWACO rapport wordt 9.8% gemeld voor het deel dat terecht komt in het effluent (Figuur 5 in Brdjanovic et al., 2000).

Het antwoord is dus $0.1\% \times 9.8\% = 0.0098\%$.

Voorbeeld 2:

Welk percentage van zich in alle grondstoffen bevindende cadmium wordt gespuid op het oppervlaktewater ?

Stel dat in een bepaald jaar 80% van het afvalwater vrijkomt bij de Meel&Vet productie , 15% bij de Bloedmeelbereiding en 5% bij Restex. In Tabellen 6 t/m 8 van dit rapport vinden we de emissiepercentages naar de afvalwaterzuivering (Meel&Vet productie: 0.3%, Bloedmeelbereiding: 4.3%, Restex: 6.9%) Uit het IWACO rapport blijkt dat daarvan 11.6% in het effluent terecht komt (Figuur 2 in Brdjanovic et al., 2000).

Het antwoord is dan: $(0.3\% \times 80\% + 4.3\% \times 15\% + 6.9\% \times 5\%) \times 11.6\% = 0.14\%$

Tabel 6 Geschatte emissies en relatieve concentraties bij de Meel&Vet productielijn

Stof(groep)	Emissie (%)				Relatieve concentratie		
	lucht	afval water	vet	meel	afval water	vet	meel
Arseen	0.0	0.4	3.8	95.7	0.0	0.5	4.2
Lood	0.0	0.3	4.4	95.2	0.0	0.6	4.2
Fluor	2.0	0.2	0.0	97.8	0.0	0.0	4.3
Kwik	4.6	1.8	0.2	93.4	0.0	0.0	4.1
Cadmium	0.1	0.3	0.0	99.6	0.0	0.0	4.3
Nikkel	1.0	0.3	0.0	98.7	0.0	0.0	4.3
Chroom	0.0	0.3	0.0	99.6	0.0	0.0	4.3
Zink	1.0	0.3	0.0	98.7	0.0	0.0	4.3
Koper	0.9	0.7	0.1	98.4	0.0	0.0	4.3
Aflatoxin B1	0.0	0.3	15.1	84.7	0.0	1.9	3.7
Blauwzuur	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Vrij Gossypol	0.0	0.1	56.3	43.6	0.0	7.0	1.9
Teobromine	0.0	0.1	11.8	88.0	0.0	1.5	3.8
Aldrin	0.0	0.0	76.5	23.4	0.0	9.6	1.0
Dieldrin	0.0	0.0	73.4	26.6	0.0	9.2	1.2
Chloordaan	0.0	0.0	76.0	24.0	0.0	9.5	1.0
DDT	0.0	0.0	73.7	26.3	0.0	9.2	1.1
Endosulfan	0.0	0.3	9.3	90.4	0.0	1.2	3.9
Endrin	0.3	0.0	73.3	26.5	0.0	9.2	1.2
Heptachloor	0.0	0.0	74.2	25.7	0.0	9.3	1.1
Hexachloorbenzeen	0.2	0.0	79.0	20.8	0.0	9.9	0.9
Lindaan (gamma HCH)	1.9	0.1	54.7	43.4	0.0	6.8	1.9
Naftaleen	15.7	0.2	18.3	65.8	0.0	2.3	2.9
Antraceen	0.2	0.2	25.1	74.5	0.0	3.1	3.3
Fenantreen	0.2	0.2	24.7	74.9	0.0	3.1	3.3
Fluorantheen	0.0	0.2	26.7	73.1	0.0	3.3	3.2
Benzo[a]antraceen	0.0	0.2	29.9	69.9	0.0	3.7	3.0
Chryseen	0.0	0.2	29.5	70.3	0.0	3.7	3.1
Benzo[k]fluorantheen	0.0	0.2	32.4	67.4	0.0	4.1	2.9
Benzo[a]pyreen	0.0	0.2	32.4	67.4	0.0	4.1	2.9
Benzo[ghi]peryleen	0.0	0.2	35.0	64.8	0.0	4.4	2.8
Indeno[1,2,3-cd]pyreen	0.0	0.2	35.0	64.8	0.0	4.4	2.8
2,3,7,8-TCDD	0.0	0.0	76.8	23.2	0.0	9.6	1.0
1,2,3,7,8-PeCDD	0.0	0.0	68.8	31.2	0.0	8.6	1.4
OCDD	0.0	0.0	79.9	20.1	0.0	10.0	0.9
2,3,7,8-TCDF	0.0	0.0	72.7	27.2	0.0	9.1	1.2
2,3,4,7,8-PeCDF	0.0	0.1	58.1	41.8	0.0	7.3	1.8
3,3',4,4'-CB(77)	0.0	0.0	76.2	23.7	0.0	9.5	1.0
3,3',4,4',5-CB(126)	0.0	0.0	78.5	21.5	0.0	9.8	0.9
BBP	0.0	0.1	60.4	39.5	0.0	7.5	1.7
DBP	0.0	0.0	73.7	26.3	0.0	9.2	1.1
DEHP	0.0	0.0	79.9	20.1	0.0	10.0	0.9
4-Nonylphenol	0.0	0.0	69.7	30.2	0.0	8.7	1.3
4-Octylphenol	0.0	0.1	66.9	33.0	0.0	8.4	1.4

Tabel 7 Geschatte emissies en relatieve concentraties bij de bloedmeel productielijn

Stof(groep)	Emissie (%)			Relatieve concentratie	
	lucht	afval water	meel	afval water	meel
Arseen	0.0	11.9	88.1	0.1	5.7
Lood	0.0	12.1	87.9	0.1	5.7
Fluor	1.0	4.3	94.7	0.1	6.2
Kwik	2.1	10.0	87.8	0.1	5.7
Cadmium	0.0	4.3	95.6	0.1	6.2
Nikkel	0.5	4.4	95.1	0.1	6.2
Chroom	0.0	4.9	95.1	0.1	6.2
Zink	0.5	4.4	95.1	0.1	6.2
Koper	0.4	6.4	93.2	0.1	6.1
Aflatoxin B1	0.0	13.6	86.4	0.2	5.6
Blauwzuur	53.2	46.8	0.0	0.6	0.0
Vrij Gossypol	0.0	3.7	96.3	0.0	6.3
Teobromine	0.0	59.1	40.9	0.7	2.7
Aldrin	0.1	1.7	98.2	0.0	6.4
Dieldrin	0.0	2.5	97.5	0.0	6.3
Chloordaan	0.0	1.9	98.1	0.0	6.4
DDT	0.0	2.4	97.6	0.0	6.3
Endosulfan	0.0	4.3	95.7	0.1	6.2
Endrin	0.8	2.4	96.8	0.0	6.3
Heptachloor	0.1	2.3	97.7	0.0	6.4
Hexachloorbenzeen	1.3	0.6	98.1	0.0	6.4
Lindaan (gamma HCH)	2.5	3.8	93.7	0.0	6.1
Naftaleen	10.2	4.3	85.5	0.1	5.6
Antraceen	0.1	4.1	95.7	0.0	6.2
Fenantreen	0.1	4.1	95.7	0.0	6.2
Fluorantheen	0.0	4.2	95.8	0.0	6.2
Benzo[a]antraceen	0.0	4.1	95.9	0.0	6.2
Chryseen	0.0	4.1	95.9	0.0	6.2
Benzo[k]fluorantheen	0.0	4.1	95.9	0.0	6.2
Benzo[a]pyreen	0.0	4.1	95.9	0.0	6.2
Benzo[ghi]peryleen	0.0	4.1	95.9	0.0	6.2
Indeno[1,2,3-cd]pyreen	0.0	4.1	95.9	0.0	6.2
2,3,7,8-TCDD	0.0	1.6	98.4	0.0	6.4
1,2,3,7,8-PeCDD	0.0	3.0	97.0	0.0	6.3
OCDD	0.0	0.1	99.9	0.0	6.5
2,3,7,8-TCDF	0.0	2.5	97.4	0.0	6.3
2,3,4,7,8-PeCDF	0.0	3.6	96.4	0.0	6.3
3,3',4,4'-CB(77)	0.1	1.8	98.2	0.0	6.4
3,3',4,4',5-CB(126)	0.0	0.9	99.1	0.0	6.4
BBP	0.0	3.6	96.4	0.0	6.3
DBP	0.0	2.5	97.5	0.0	6.3
DEHP	0.0	0.1	99.9	0.0	6.5
4-Nonylphenol	0.0	2.9	97.1	0.0	6.3
4-Octylphenol	0.0	3.2	96.8	0.0	6.3

Tabel 8 Geschatte emissies en relatieve concentraties bij de Restex productielijn

Stof(groep)	Emissie (%)				Relatieve concentratie		
	lucht	afval water	vet	slib	afval water	afval vet	afval slib
Arseen	0.0	18.3	4.6	77.0	0.2	0.7	5.7
Lood	0.0	18.6	5.3	76.1	0.2	0.9	5.7
Fluor	0.0	7.0	0.0	93.0	0.1	0.0	6.9
Kwik	0.0	15.0	0.2	84.8	0.2	0.0	6.3
Cadmium	0.0	6.9	0.0	93.1	0.1	0.0	6.9
Nikkel	0.0	7.1	0.0	92.9	0.1	0.0	6.9
Chroom	0.0	7.9	0.0	92.1	0.1	0.0	6.9
Zink	0.0	7.1	0.0	92.9	0.1	0.0	6.9
Koper	0.0	9.9	0.1	90.0	0.1	0.0	6.7
Aflatoxin B1	0.0	19.1	17.0	63.9	0.2	2.7	4.8
Blauwzuur	1.0	67.7	1.1	30.2	0.8	0.2	2.3
Vrij Gossypol	0.0	8.7	57.2	34.0	0.1	9.2	2.5
Teobromine	0.0	79.3	5.5	15.2	1.0	0.9	1.1
Aldrin	0.0	9.2	71.4	19.5	0.1	11.4	1.4
Dieldrin	0.0	9.1	69.3	21.6	0.1	11.1	1.6
Chloordaan	0.0	9.2	71.0	19.8	0.1	11.4	1.5
DDT	0.0	9.1	69.5	21.4	0.1	11.1	1.6
Endosulfan	0.0	7.3	11.9	80.8	0.1	1.9	6.0
Endrin	0.0	9.1	69.3	21.6	0.1	11.1	1.6
Heptachloor	0.0	9.1	69.9	21.0	0.1	11.2	1.6
Hexachloorbenzeen	0.0	9.2	73.0	17.8	0.1	11.7	1.3
Lindaan (gamma HCH)	0.0	8.7	56.5	34.8	0.1	9.0	2.6
Naftaleen	0.0	7.8	24.3	67.9	0.1	3.9	5.1
Antraceen	0.0	7.8	29.7	62.5	0.1	4.7	4.7
Fenantreen	0.0	7.8	29.3	62.9	0.1	4.7	4.7
Fluorantheen	0.0	7.9	31.3	60.8	0.1	5.0	4.5
Benzo[a]antraceen	0.0	8.0	34.5	57.5	0.1	5.5	4.3
Chryseen	0.0	8.0	34.1	57.9	0.1	5.5	4.3
Benzo[k]fluorantheen	0.0	8.1	36.9	55.0	0.1	5.9	4.1
Benzo[a]pyreen	0.0	8.1	36.9	55.0	0.1	5.9	4.1
Benzo[ghi]peryleen	0.0	8.1	39.4	52.5	0.1	6.3	3.9
Indeno[1,2,3-cd]pyreen	0.0	8.1	39.4	52.5	0.1	6.3	3.9
2,3,7,8-TCDD	0.0	9.2	71.5	19.3	0.1	11.4	1.4
1,2,3,7,8-PeCDD	0.0	9.0	66.2	24.8	0.1	10.6	1.8
OCDD	0.0	9.3	73.5	17.3	0.1	11.8	1.3
2,3,7,8-TCDF	0.0	9.1	68.9	22.0	0.1	11.0	1.6
2,3,4,7,8-PeCDF	0.0	8.8	58.6	32.7	0.1	9.4	2.4
3,3',4,4'-CB(77)	0.0	9.2	71.2	19.6	0.1	11.4	1.5
3,3',4,4',5-CB(126)	0.0	9.2	72.6	18.2	0.1	11.6	1.4
BBP	0.0	8.8	60.3	30.9	0.1	9.6	2.3
DBP	0.0	9.2	69.5	21.4	0.1	11.1	1.6
DEHP	0.0	9.3	73.4	17.3	0.1	11.8	1.3
4-Nonylphenol	0.0	9.0	66.9	24.1	0.1	10.7	1.8
4-Octylphenol	0.0	9.0	64.9	26.1	0.1	10.4	1.9

5. Conclusies en aanbevelingen

RIVM heeft een generiek model ontwikkeld om de fluxen van persistente contaminanten in het Rendac productieproces te kwantificeren. Ook berekent het model relatieve concentraties in de stofstromen t.o.v. het ingangsmateriaal. Het model omvat alleen de stofstromen in het productieproces (vet, meel, afvalwater, afgezogen proces/ventilatielucht) en niet de nageschakelde techniek voor de zuivering van afvalwater en afgezogen proces/ventilatielucht (afgas).

Toepassing

Het model werd toegepast voor enige tientallen persistente contaminanten, om zo de potentiële emissies in kaart te brengen en uitspraken te doen over de accumulatie van deze contaminanten in de verschillende product- en afvalstromen (meel, vet, afvalwater en afgas). Bij de keuze van de contaminanten ging men uit van een zeer brede veterinaire milieuhygiënische context. De onderzochte contaminanten komen niet noodzakelijkerwijs voor in de grondstoffen van Rendac. Deze modeloefening is daarom uitsluitend een theoretische analyse.

Emissies

Uit de berekeningen blijkt dat in de modelsystemen de meeste onderzochte contaminanten emitteren naar de eindproducten vet en meel, en niet zo zeer naar de afvalstromen (afvalwater en afgas). De exacte verhoudingen zijn stofafhankelijk.

De omvang van de geschatte emissie naar het afvalwater en de afgas hangt daarnaast sterk samen met de wijze waarop in elk productieproces ontwaterd wordt. Als dit wordt gerealiseerd door decantering dan komen kleine hoeveelheden gesuspendeerde organische stof (slib) en vet in het afvalwater terecht. Vet is een belangrijke drager van lipofiele stoffen zoals b.v. dioxine en PCB's. Daarnaast kan het slib ook bepaalde geadsorbeerde contaminanten bevatten. Bij het decanteren is de emissie naar de lucht minimaal. Als het water uit de productstroom wordt verwijderd door verdamping, dan blijft het verlies van vet en overig vaste stof beperkt tot datgene dat als aërosol wordt meegevoerd in de verdampingsstroom. Dit aërosol (met geadsorbeerde contaminanten) komt na condensatie terecht in het afvalwater. Ook worden bij het verdampen contaminanten in de gasvorm meegevoerd. Een deel daarvan komt in het afvalwater terecht, een deel in de afgas. De emissies naar het afvalwater zijn bij het verdampen kleiner dan bij het decanteren. De emissies naar de afgas zijn daarentegen hoger dan bij het decanteren.

Perspectieven

Omdat het model generiek is kan het in principe voor elke willekeurige contaminant worden toegepast waarvan partiticoëfficiënten bekend zijn (vet-water; gas-water, organisch C-water):

- (1) Het model is geschikt om bij acute problemen van contaminanten in landbouwhuisdieren te gebruiken om een schatting te maken van de verdeling van de contaminanten in het productieproces.
- (2) Het is mogelijk om met het model terug te rekenen wat de concentratie van de grondstoffen dient te zijn om tot een aanvaardbaar product te komen dat voldoet aan de veterinaire eisen.
- (3) Het model kan gebruikt worden om te onderzoeken in welke afvalstroom het best gemeten kan worden als men besluit een contaminant te gaan monitoren. Het model voorspelt in welke afvalstroom de hoogste concentraties verwacht worden. Op deze wijze kan per afvalstroom afgewogen worden hoe de te verwachten concentraties zich verhouden tot de meetresolutie van de apparatuur.

Onzekerheden

Bij de interpretatie van de uitkomsten van het model heeft men met een tweetal onzekerheden te maken:

- (1) De kwaliteit van de stofeigenschappen die in de huidige berekeningen zijn gebruikt is onzeker. De invloed hiervan op de uitkomsten zou onderzocht kunnen worden d.m.v. een gevoeligheidsanalyse en een uitgebreidere studie naar de stofeigenschappen.
- (2) Om enig vertrouwen te krijgen in de uitkomsten van het model dient er in de toekomst aandacht te zijn voor een toetsing van de resultaten aan praktijkervaringen en metingen van contaminant concentraties in de stofstromen.

Referenties

Brdjanovic, D, Loo, HHN van het, Doelman, P. 2000. Afvalwaterzuivering destructiebedrijven Rendac, IWACO projectrapportage 70727A0.100, IWACO Rotterdam.

Bremmer, HJ, Troost, LM, Kuipers, G, Koning, J de, Sein, AA. 1993. Emissies van dioxinen in Nederland. RIVM Rapport No 770501003, TNO en RIVM, Bilthoven.

Meylan, W. 1997. Epiwin v2.3.

Slooff, W, Janus, JA, Matthijsen, AJCM, Montizaan, GK, Ros, JPM. 1989. Basisdocument polycyclische aromatische koolwaterstoffen. Rapport nr. 8. Serie basisdocumenten publikatiereeks milieubeheer, VROM, Zoetermeer.

Veterinaire Inspectie van de Volksgezondheid, 1992. Veterinaire milieuhygienuijzer, Ministerie van VWS, Rijswijk.

Appendix 1 Notatie

Symbolen

A	contactoppervlak grondstof en lucht	$[L^2]$
C	concentratie van contaminant in een bepaalde matrix	$[M L^{-3}]$
C_{susp}	concentratie gesuspendeerd materiaal (slib)	$[L^3 L^{-3}]$
C_{vet}	concentratie vet in afvalwater	$[L^3 L^{-3}]$
D_g	diffusiecoëfficiënt in lucht	$[L^2 T^{-1}]$
F	vervluchtigingsflux	$[M T^{-1}]$
L	afstand waarover concentratiegradient wordt gemeten	$[L]$
P	partitiecoëfficiënt	$[L^3 L^{-3}]$
Q	afvoerdebiet	$[L^3 T^{-1}]$
V	volume	$[L^3]$
M	massa (contaminant)	$[M]$
N	emissie (contaminant)	$[M]$
k	gasuitwisselingscoëfficiënt	$[L^3 T^{-1}]$
t, τ	tijd	$[T]$
T	temperatuur	$[\theta]$

Subscripten

T	totaal
v	vet
vs	vet in afvalwater
w	water
cw	condenswater
g	gas
ae	aërosol
s	vaste stof zonder vet
l	luchtafvoer
dl	gedroogde lucht
$susp$	gesuspendeerd vast materiaal in afvalwater
vet	vet in afvalwater

Appendix 2 Analytische oplossing Proces A

De differentiaalvergelijkingen voor elke massabalans kunnen eenvoudig analytisch worden opgelost, zodat voor elke processtap en elke matrix de concentratie als functie van de tijd kan worden uitgerekend:

Processtap 1 Voorbehandeling

Gebruik makende van de relaties voor de partiele concentraties kunnen we (16) schrijven als

$$\frac{d(V_T C_T)}{dt} = - \frac{V_T C_T P_{gw}}{V_w + V_v P_{vw} + V_s P_{sw}} k \quad (36)$$

Definitie van een constante α

$$\alpha = \frac{P_{gw}}{V_w + V_v P_{vw} + V_s P_{sw}} \quad (37)$$

en

$$M_T = C_T V_T \quad (38)$$

$$\frac{dM_T}{dt} = -\alpha k M_T \quad (39)$$

Integreren geeft

$$\int \frac{1}{M_T} dM_T = -\alpha k \int dt \quad (40)$$

$$\ln |M_T| = -Q_g k t + C_1^* \quad (41)$$

$$M_T = C_1 \exp(-k\alpha t) \quad (42)$$

De initiële conditie luidt:

$$M_T = M_T^0 = C_1, \quad t = 0 \quad (43)$$

zodat de volgende oplossing wordt gevonden

$$M_T = M_T^0 \exp(-k\alpha t) \quad (44)$$

De emissie via de ventilatielucht is complementair aan de concentratieafname in de hoofdstroom

$$N_g = k \int_0^\tau C_g dt = M_T^0 - M_T(\tau) \quad (45)$$

Processtap 2 Behandeling: water verdampen, steriliseren en vetscheiding

Gebruik makende van de relaties voor de partiele concentraties kunnen we (19) schrijven als

$$\frac{dV_T}{dt} = -Q_v - Q_w - Q_g C_{ae}, \quad V_T = V_0 - (Q_v + Q_w + Q_g C_{ae})t \quad (46)$$

en

$$V_v = V_v^0 - Q_v t \quad (47)$$

$$V_w = V_w^0 - Q_w t \quad (48)$$

$$V_s = V_s^0 - Q_g C_{ae} t \quad (49)$$

$$\frac{d(V_T C_T)}{dt} = - \frac{V_T C_T P_{gw}}{V_w + V_v P_{vw} + V_s P_{sw}} k - \frac{V_T C_T P_{vw}}{V_w + V_v P_{vw} + V_s P_{sw}} Q_v - \frac{V_T C_T P_{sw} C_{ae}}{V_w + V_v P_{vw} + V_s P_{sw}} Q_g \quad (50)$$

$$\begin{aligned} \frac{dM_T}{dt} = & -\frac{M_T P_{gw}}{\gamma - (Q_w + Q_v P_{vw} + Q_g C_{ae} P_{sw})t} k \\ & - \frac{M_T P_{vw}}{\gamma - (Q_w + Q_v P_{vw} + Q_g C_{ae} P_{sw})t} Q_v - \frac{M_T P_{sw} C_{ae}}{\gamma - (Q_w + Q_v P_{vw} + Q_g C_{ae} P_{sw})t} Q_g \end{aligned} \quad (51)$$

$$\frac{dM_T}{dt} = -\frac{M_T (P_{vw} Q_v + P_{gw} k + P_{sw} C_{ae} Q_g)}{\gamma - (Q_w + Q_v P_{vw} + Q_g C_{ae} P_{sw})t} \quad (52)$$

waar

$$\gamma = V_w^0 + V_v^0 P_{vw} + V_s^0 P_{sw} \quad (53)$$

Integreren geeft

$$\int \frac{1}{M_T} dM_T = \int \frac{-(P_{vw} Q_v + P_{gw} k + P_{sw} C_{ae} Q_g)}{\gamma - (Q_w + Q_v P_{vw} + Q_g C_{ae} P_{sw})t} dt \quad (54)$$

$$\ln |M_T| = \frac{(P_{vw} Q_v + P_{gw} k + P_{sw} C_{ae} Q_g)}{Q_w + Q_v P_{vw} + Q_g C_{ae} P_{sw}} \ln |(Q_w + Q_v P_{vw} + Q_g C_{ae} P_{sw})t - \gamma| + C_1^* \quad (55)$$

$$M_T = C_1 \{(Q_w + Q_v P_{vw} + Q_g C_{ae} P_{sw})t - \gamma\}^\beta \quad (56)$$

met

$$\beta = (P_{vw} Q_v + P_{gw} k + P_{sw} C_{ae} Q_g) / (Q_w + Q_v P_{vw} + Q_g C_{ae} P_{sw}) \quad (57)$$

De initiële conditie luidt:

$$M_T = M_T^0 = -C_1 \gamma^\beta, \quad t = 0 \quad (58)$$

$$C_1 = -M_T^0 \gamma^{-\beta} \quad (59)$$

hetgeen de volgende oplossing geeft

$$M_T = M_T^0 \frac{\{\gamma - (Q_w + Q_v P_{vw} + Q_g C_{ae} P_{sw})t\}^\beta}{\gamma^\beta} \quad (60)$$

De som van de emissies naar aerosol, vet en ventilatielucht is gegeven als:

$$N_g + N_v + N_s = k \int_0^\tau C_g dt + Q_v \int_0^\tau C_v dt + Q_g \int_0^\tau C_{ae} C_s dt = M_T^0 - M_T(\tau) = \lambda \quad (61)$$

en als gevolg van de evenwichtsconditie

$$\frac{P_{gw} N_v}{\int_0^\tau Q_v dt} = \frac{P_{vw} N_g}{\int_0^\tau k dt} = \frac{P_{gw} N_v}{Q_v \tau} = \frac{P_{vw} N_g}{k \tau} \quad (62)$$

en

$$\frac{P_{vw} N_s}{\int_0^\tau C_{ae} Q_g dt} = \frac{P_{sw} N_v}{\int_0^\tau Q_v dt} = \frac{P_{vw} N_s}{C_{ae} Q_g \tau} = \frac{P_{sw} N_v}{Q_v \tau} \quad (63)$$

zodat

$$\frac{\lambda - N_g - N_s}{P_{vw} Q_v \tau} = \frac{N_g}{P_{gw} k \tau} \quad (64)$$

$$N_g = \frac{(\lambda - N_s) P_{gw} k}{(P_{gw} k + P_{vw} Q_v)} \quad (65)$$

en ook

$$\frac{N_s}{P_{sw} C_{ae} Q_g \tau} = \frac{\lambda - N_g - N_s}{P_{vw} Q_v \tau} \quad (66)$$

$$N_s = \frac{(\lambda - N_g) P_{sw} C_{ae} Q_g}{P_{vw} Q_v + P_{sw} C_{ae} Q_g} \quad (67)$$

Combinatie van (65) en (67) geeft:

$$N_g = \frac{\lambda P_{gw} k P_{vw} Q_v}{(P_{gw} k + P_{vw} Q_v)(P_{vw} Q_v + P_{sw} C_{ae} Q_g) - P_{gw} k P_{sw} C_{ae} Q_g} \quad (68)$$

N_s kan daarna afgeleid worden uit (67) en N_v volgt uit (61):

$$N_v = \lambda - N_g - N_s \quad (69)$$

De via de ventilatielucht afgevoerde contaminant zal zich eveneens volgens de evenwichtspartitionering over de restlucht, het condenswater en aërosol verdelen. De som van de emissie naar het condensaat, aërosol en de luchtafvoer (gedroogde lucht, na condensatie waterdamp) volgt uit (65) en (67)

$$N_g + N_s = N_{dl} + N_{cw} + N_s^* \quad (70)$$

waar N_s^* de emissie via aërosol aanduidt na herverdeling als gevolg van de condensatie. De evenwichts aanname schrijft voor dat:

$$\frac{P_{gw} N_{cw}}{\int_0^\tau Q_w dt} = \frac{N_{dl}}{\int_0^\tau Q_g dt} = \frac{P_{gw} N_{cw}}{Q_w \tau} = \frac{N_{dl}}{Q_g \tau} \quad (71)$$

en

$$\frac{N_s^*}{\int_0^\tau C_{ae} Q_g dt} = \frac{P_{sw} N_{cw}}{\int_0^\tau Q_w dt} = \frac{N_s^*}{C_{ae} Q_g \tau} = \frac{P_{sw} N_{cw}}{Q_w \tau} \quad (72)$$

zodat

$$\frac{N_g + N_s - N_s^* - N_{dl}}{Q_w \tau} = \frac{N_{dl}}{P_{gw} Q_g \tau} \quad (73)$$

$$N_{dl} = \frac{(N_g + N_s - N_s^*) P_{gw} Q_g}{(P_{gw} Q_g + Q_w)} \quad (74)$$

en ook

$$\frac{N_s^*}{P_{sw} C_{ae} Q_g} = \frac{N_g + N_s - N_s^* - N_{dl}}{Q_w} \quad (75)$$

$$N_s^* = \frac{(N_g + N_s - N_{dl}) P_{sw} C_{ae} Q_g}{Q_w + P_{sw} C_{ae} Q_g} \quad (76)$$

Combinatie van (74) en (76) geeft:

$$N_s^* = \frac{(N_g + N_s) P_{sw} C_{ae} Q_g Q_w}{(Q_w + P_{sw} C_{ae} Q_g)(P_{gw} Q_g + Q_w) - P_{gw} Q_g P_{sw} C_{ae} Q_g} \quad (77)$$

N_{dl} kan daarna afgeleid worden uit (74) en N_{cw} volgt uit (70)

$$N_{cw} = N_g + N_s - N_{dl} - N_s^* \quad (78)$$

Appendix 3 Analytische oplossing Proces B

Bij de oplossing van de differentiaalvergelijkingen worden dezelfde methoden gebruikt als bij Proces A:

Processtap 1 Decaneren bloedwater

De analytische oplossingen voor Proces B zijn als volgt. Allereerst, voor de volumeveranderingen geldt:

$$\frac{dV_T}{dt} = -Q_w - C_{susp} Q_w, \quad V_T = V_0 - Q_w(1 + C_{susp})t \quad (79)$$

en

$$V_w = V_w^0 - Q_w t \quad (80)$$

$$V_s = V_s^0 - Q_w C_{susp} t \quad (81)$$

Voor de concentratie geldt:

$$\frac{d(V_T C_T)}{dt} = -\frac{V_T C_T}{V_w + V_v P_{vw} + V_s P_{sw}} Q_w - \frac{V_T C_T P_{sw} C_{susp}}{V_w + V_v P_{vw} + V_s P_{sw}} Q_w \quad (82)$$

$$\frac{dM_T}{dt} = -\frac{M_T}{\gamma - (1 + P_{sw} C_{susp}) Q_w t} Q_w - \frac{M_T P_{sw} C_{susp}}{\gamma - (1 + P_{sw} C_{susp}) Q_w t} Q_w \quad (83)$$

$$\frac{dM_T}{dt} = -\frac{M_T Q_w (1 + P_{sw} C_{susp})}{\gamma - Q_w t (1 + P_{sw} C_{susp})} \quad (84)$$

met

$$\gamma = V_w^0 + V_s^0 P_{sw} + V_v P_{vw} \quad (85)$$

Integreren geeft

$$\int \frac{1}{M_T} dM_T = \int \frac{-Q_w (1 + P_{sw} C_{susp})}{\gamma - Q_w t (1 + P_{sw} C_{susp})} dt \quad (86)$$

$$\ln |M_T| = \frac{Q_w (1 + P_{sw} C_{susp})}{Q_w (1 + P_{sw} C_{susp})} \ln |Q_w (1 + P_{sw} C_{susp}) t - \gamma| + C_1^* \quad (87)$$

$$M_T = C_1 (Q_w t + P_{sw} C_{susp} Q_w t - \gamma) \quad (88)$$

De initiële conditie:

$$M_T = M_T^0 = -C_1 \gamma, \quad t = 0 \quad (89)$$

$$C_1 = -M_T^0 / \gamma \quad (90)$$

zodat de volgende oplossing gevonden wordt

$$M_T = M_T^0 (\gamma - Q_w t - P_{sw} C_{susp} Q_w t) / \gamma \quad (91)$$

De som van emissie naar afvalwaterzuivering via slib en water is:

$$N_w + N_s = Q_w \int_0^\tau C_w dt + C_s C_{susp} dt = M_T^0 - M_T(\tau) = \lambda \quad (92)$$

Als gevolg van de evenwichtsconditie geldt:

$$\frac{P_{sw} N_w}{\int_0^\tau Q_w dt} = \frac{N_s}{\int_0^\tau Q_w C_{susp} dt} = \frac{P_{sw} N_w}{Q_w \tau} = \frac{N_s}{C_{susp} Q_w \tau} \quad (93)$$

zodat

$$\frac{\lambda - N_s}{Q_w \tau} = \frac{N_s}{P_{sw} C_{susp} Q_w \tau} \quad (94)$$

$$N_s = \frac{\lambda P_{sw} C_{susp}}{1 + P_{vw} C_{susp}} \quad (95)$$

en volgens (61)

$$N_w = \lambda - N_s \quad (96)$$

Processtap 2 Verdampen resterende water

Voor de volumeverandering geldt:

$$\frac{dV_T}{dt} = -Q_w - Q_g C_{ae}, \quad V_T = V_0 - (Q_w + Q_g C_{ae})t \quad (97)$$

en

$$V_w = V_w^0 - Q_w t \quad (98)$$

$$V_s = V_s^0 - Q_g C_{ae} t \quad (99)$$

$$\frac{d(V_T C_T)}{dt} = -\frac{V_T C_T P_{gw}}{V_w + V_v P_{vw} + V_s P_{sw}} k - \frac{V_T C_T P_{sw} C_{ae}}{V_w + V_v P_{vw} + V_s P_{sw}} Q_g \quad (100)$$

$$\frac{dM_T}{dt} = -\frac{M_T P_{gw}}{\gamma - (Q_w + Q_g C_{ae} P_{sw})t} k - \frac{M_T P_{sw} C_{ae}}{\gamma - (Q_w + Q_g C_{ae} P_{sw})t} Q_g \quad (101)$$

$$\frac{dM_T}{dt} = -\frac{M_T (P_{gw} k + P_{sw} C_{ae} Q_g)}{\gamma - (Q_w + Q_g C_{ae} P_{sw})t} \quad (102)$$

waar

$$\gamma = V_w^0 + V_v P_{vw} + V_s^0 P_{sw} \quad (103)$$

Integreren geeft

$$\int \frac{1}{M_T} dM_T = \int \frac{-(P_{gw} k + P_{sw} C_{ae} Q_g)}{\gamma - (Q_w + Q_g C_{ae} P_{sw})t} dt \quad (104)$$

$$\ln |M_T| = \frac{(P_{gw} k + P_{sw} C_{ae} Q_g)}{Q_w + Q_g C_{ae} P_{sw}} \ln |(Q_w + Q_g C_{ae} P_{sw})t - \gamma| + C_1^* \quad (105)$$

$$M_T = C_1 \{(Q_w + Q_v P_{vw} + Q_g C_{ae} P_{sw})t - \gamma\}^\beta \quad (106)$$

met

$$\beta = (P_{gw} k + P_{sw} C_{ae} Q_g) / (Q_w + Q_g C_{ae} P_{sw}) \quad (107)$$

Met de initiële conditie:

$$M_T = M_T^0 = -C_1 \gamma^\beta, \quad t = 0 \quad (108)$$

$$C_1 = -M_T^0 \gamma^{-\beta} \quad (109)$$

komen we tot

$$M_T = M_T^0 \frac{\{\gamma - (Q_w + Q_g C_{ae} P_{sw})t\}^\beta}{\gamma^\beta} \quad (110)$$

Emissie via ventilatielucht:

De som van de emissies naar aerosol, en ventilatielucht is gegeven als:

$$N_{dl} + N_{cw} + N_s = k \int_0^\tau C_g dt + Q_g \int_0^\tau C_{ae} C_s dt = M_T^0 - M_T(\tau) = \lambda \quad (111)$$

De evenwichtsaanname schrijft voor dat:

$$\frac{P_{gw} N_{cw}}{\int_0^\tau Q_w dt} = \frac{N_{dl}}{\int_0^\tau Q_g dt} = \frac{P_{gw} N_{cw}}{Q_w \tau} = \frac{N_{dl}}{Q_g \tau} \quad (112)$$

en

$$\frac{N_s}{\int_0^\tau C_{ae} Q_g dt} = \frac{P_{sw} N_{cw}}{\int_0^\tau Q_w dt} = \frac{N_s}{C_{ae} Q_g \tau} = \frac{P_{sw} N_{cw}}{Q_w \tau} \quad (113)$$

zodat

$$\frac{\lambda - N_s - N_{dl}}{Q_w \tau} = \frac{N_{dl}}{P_{gw} Q_g \tau} \quad (114)$$

$$N_{dl} = \frac{(\lambda - N_s) P_{gw} Q_g}{(P_{gw} Q_g + Q_w)} \quad (115)$$

en ook

$$\frac{N_s}{P_{sw} C_{ae} Q_g} = \frac{\lambda - N_s - N_{dl}}{Q_w} \quad (116)$$

$$N_s = \frac{(\lambda - N_{dl}) P_{sw} C_{ae} Q_g}{Q_w + P_{sw} C_{ae} Q_g} \quad (117)$$

Combinatie van (115) en (117) geeft:

$$N_s = \frac{\lambda P_{sw} C_{ae} Q_g Q_w}{(Q_w + P_{sw} C_{ae} Q_g)(P_{gw} Q_g + Q_w) - P_{gw} Q_g P_{sw} C_{ae} Q_g} \quad (118)$$

N_{dl} kan daarna afgeleid worden uit (115) en N_{cw} volgt uit (111)

$$N_{cw} = \lambda - N_{dl} - N_s \quad (119)$$

Appendix 4 Analytische oplossing Proces C

De differentiaalvergelijkingen voor elke massabalans kunnen wederom eenvoudig analytisch worden opgelost, zodat voor elke processtap en elke matrix de concentratie als functie van de tijd kan worden uitgerekend:

Processtap 1 Voorbehandeling

Gebruik makende van de relaties voor de partiele concentraties kunnen we (16) schrijven als

$$\frac{d(V_T C_T)}{dt} = - \frac{V_T C_T P_{gw}}{V_w + V_v P_{vw} + V_s P_{sw}} k \quad (120)$$

Definitie van een constante α

$$\alpha = \frac{P_{gw}}{V_w + V_v P_{vw} + V_s P_{sw}} \quad (121)$$

$$\frac{dM_T}{dt} = -\alpha k M_T \quad (122)$$

Integreren geeft

$$\int \frac{1}{M_T} dM_T = -\alpha k \int dt \quad (123)$$

$$\ln |M_T| = -\alpha k t + C_1^* \quad (124)$$

$$M_T = C_1 \exp(-\alpha k t) \quad (125)$$

De initiële conditie luidt:

$$M_T = M_T^0 = C_1, \quad t = 0 \quad (126)$$

zodat de volgende oplossing wordt gevonden

$$M_T = M_T^0 \exp(-\alpha k t) \quad (127)$$

De emissie via de ventilatielucht is complementair aan de concentratieafname in de hoofdstroom

$$N_g = k \int_0^\tau C_g dt = M_T^0 - M_T(\tau) \quad (128)$$

Processtap 2 Behandeling: water verdampen, steriliseren en vetscheiding

Gebruik makende van de relaties voor de partiele concentraties kunnen we (19) schrijven als

$$\frac{dV_T}{dt} = -Q_v - Q_w - Q_w C_{susp} - Q_w C_{vet}, \quad V_T = V_0 - \{Q_v + Q_w(C_{susp} + C_{vet} + 1)\}t \quad (129)$$

en

$$V_v = V_v^0 - Q_v t - Q_w C_{vet} t \quad (130)$$

$$V_w = V_w^0 - Q_w t \quad (131)$$

$$V_s = V_s^0 - Q_w C_{susp} t \quad (132)$$

$$\begin{aligned} \frac{d(V_T C_T)}{dt} = & - \frac{V_T C_T P_{vw} C_{vet}}{V_w + V_v P_{vw} + V_s P_{sw}} Q_w - \frac{V_T C_T P_{vw}}{V_w + V_v P_{vw} + V_s P_{sw}} Q_v \\ & - \frac{V_T C_T P_{sw} C_{susp}}{V_w + V_v P_{vw} + V_s P_{sw}} Q_w - \frac{V_T C_T}{V_w + V_v P_{vw} + V_s P_{sw}} Q_w \end{aligned} \quad (133)$$

$$\begin{aligned}
\frac{dM_T}{dt} = & - \frac{M_T P_{vw} C_{vet}}{\gamma - \{Q_w(1 + C_{vet} P_{vw} + C_{susp} P_{sw}) + Q_v P_{vw}\}t} Q_w \\
& - \frac{M_T P_{vw}}{\gamma - \{Q_w(1 + C_{vet} P_{vw} + C_{susp} P_{sw}) + Q_v P_{vw}\}t} Q_v \\
& - \frac{M_T P_{sw} C_{susp}}{\gamma - \{Q_w(1 + C_{vet} P_{vw} + C_{susp} P_{sw}) + Q_v P_{vw}\}t} Q_w \\
& - \frac{M_T}{\gamma - \{Q_w(1 + C_{vet} P_{vw} + C_{susp} P_{sw}) + Q_v P_{vw}\}t} Q_w
\end{aligned} \tag{134}$$

$$\frac{dM_T}{dt} = - \frac{M_T \{P_{vw}(Q_w + C_{vet} Q_v) + P_{sw} C_{susp} Q_w + Q_w\}}{\gamma - \{Q_w(1 + C_{vet} P_{vw} + C_{susp} P_{sw}) + Q_v P_{vw}\}t} \tag{135}$$

waar

$$\gamma = V_w^0 + V_v^0 P_{vw} + V_s^0 P_{sw} \tag{136}$$

Integreren geeft

$$\int \frac{1}{M_T} dM_T = \int \frac{-\{P_{vw}(Q_w + C_{vet} Q_v) + P_{sw} C_{susp} Q_w + Q_w\}}{\gamma - \{Q_w(1 + C_{vet} P_{vw} + C_{susp} P_{sw}) + Q_v P_{vw}\}t} dt \tag{137}$$

$$\ln |M_T| = \frac{\{P_{vw}(Q_w + C_{vet} Q_v) + P_{sw} C_{susp} Q_w + Q_w\}}{\{Q_w(1 + C_{vet} P_{vw} + C_{susp} P_{sw}) + Q_v P_{vw}\}} \times \tag{138}$$

$$\ln |\{Q_w(1 + C_{vet} P_{vw} + C_{susp} P_{sw}) + Q_v P_{vw}\}t - \gamma| + C_1^* \\
M_T = C_1 [\{Q_w(1 + C_{vet} P_{vw} + C_{susp} P_{sw}) + Q_v P_{vw}\}t - \gamma]^\beta \tag{139}$$

met

$$\beta = \frac{P_{vw}(Q_w + C_{vet} Q_v) + P_{sw} C_{susp} Q_w + Q_w}{Q_w(1 + C_{vet} P_{vw} + C_{susp} P_{sw}) + Q_v P_{vw}} = 1 \tag{140}$$

De initiële conditie luidt:

$$M_T = M_T^0 = -C_1 \gamma^\beta, \quad t = 0 \tag{141}$$

$$C_1 = -M_T^0 \gamma^{-\beta} \tag{142}$$

hetgeen de volgende oplossing geeft

$$M_T = M_T^0 [\gamma - \{Q_w(1 + C_{vet} P_{vw} + C_{susp} P_{sw}) + Q_v P_{vw}\}t] / \gamma \tag{143}$$

De som van de emissies naar vet, water en in water meegevoerd vet en vaste stof is als volgt:

$$\begin{aligned}
N_w + N_v + N_{vs} + N_s = \\
Q_w \int_0^\tau C_w dt + Q_v \int_0^\tau C_v dt + Q_w \int_0^\tau C_{susp} C_s dt + Q_w \int_0^\tau C_{vet} C_v dt \\
= M_T^0 - M_T(\tau) = \lambda
\end{aligned} \tag{144}$$

Om een scheiding te maken tussen datgene dat emitteert naar het vet en het deel dat emitteert naar het afvalwater (inclusief gesuspenseerd vast materiaal en vet) kunnen de volgende gelijkheden gebruikt worden:

$$\frac{N_v}{\int_0^\tau Q_v dt} = \frac{P_{vw} N_w}{\int_0^\tau Q_w dt} = \frac{N_v}{Q_v \tau} = \frac{P_{vw} N_w}{Q_w \tau} \tag{145}$$

$$\frac{N_{vs}}{\int_0^\tau Q_w C_{vet} dt} = \frac{N_v}{\int_0^\tau Q_v dt} = \frac{N_{vs}}{Q_w C_{vet} \tau} = \frac{N_v}{Q_v \tau} \quad (146)$$

$$\frac{N_s}{\int_0^\tau Q_w C_{susp} dt} = \frac{P_{sw} N_w}{\int_0^\tau Q_w dt} = \frac{N_s}{Q_w C_{susp} \tau} = \frac{P_{sw} N_w}{Q_w \tau} \quad (147)$$

Gebruik makend van (144) krijgen we

$$\frac{N_v}{Q_v \tau} = \frac{P_{vw} (\lambda - N_v - N_{vs} - N_s)}{Q_w \tau} \quad (148)$$

$$\frac{N_{vs}}{Q_w C_{vet} \tau} = \frac{N_v}{Q_v \tau} \quad (149)$$

$$\frac{N_s}{Q_w C_{susp} \tau} = \frac{P_{sw} (\lambda - N_v - N_{vs} - N_s)}{Q_w \tau} \quad (150)$$

zodat:

$$N_v = \frac{(\lambda - N_{vs} - N_s) Q_v P_{vw}}{Q_w + Q_v P_{vw}} \quad (151)$$

$$N_{vs} = \frac{N_v Q_w C_{vet}}{Q_v} \quad (152)$$

$$(153)$$

$$N_s = \frac{(\lambda - N_v - N_{vs}) Q_w C_{susp} P_{sw}}{Q_w + Q_w C_{susp} P_{sw}} \quad (154)$$

Combinatie van (151) en geeft:

$$N_v = \frac{\lambda Q_w Q_v P_{vw}}{(Q_w + Q_v P_{vw})(Q_w + Q_w C_{susp} P_{sw}) + Q_v P_{vw} (Q_w \frac{Q_w C_{vet}}{Q_v} - Q_w C_{susp} P_{sw})} \quad (155)$$

Met behulp van (144) kan nu ook de restemissie worden uitgerekend.

Appendix 5 Verzendlijst

- 1 Mr. G.J.R. Wolters, Hoofdinspecteur Inspectie Milieuhygiene, Den Haag
- 2 Dr. F.H. Kesselaar, plv. Hoofdinspecteur Inspectie Milieuhygiene, Den Haag
- 3 Mr. J. Tesink, Regionaal Inspecteur Milieuhygiene Noord, Groningen
- 4 Ing. G. van der Meij Msc, Inspectie Milieuhygiene Noord, Groningen
- 5 B.R. Ruessink, Inspectie Milieuhygiene Noord, Groningen
- 6 Ir. W. Klein, Regionaal Inspecteur Milieuhygiene Oost, Arnhem
- 7 Ir. A.H. Bussemaker, Regionaal Inspecteur Milieuhygiene Noord-West, Haarlem
- 8 Dr. J.H. Dewaide, Regionaal Inspecteur Milieuhygiene Zuid, Eindhoven
- 9 Mr. W.J.K. Brugman, Regionaal Inspecteur Milieuhygiene Zuid-West, Rijswijk
- 10 W. Niessen, Inspectie Milieuhygiene Zuid, Eindhoven
- 11 Dr. C.J.M. van den Bogaard, Hoofdinspectie Milieuhygiene, Den Haag
- 12 D. Hornung, Inspectie Milieuhygiene Zuid, Eindhoven
- 13 F. Peen, Inspectie Milieuhygiene Noord, Groningen
- 14 Keuringsdienst van Waren Noord, Groningen
- 15 E. Klöpping, Keuringsdienst van Waren Zuid, Den Bosch
- 16 R. Herbes, Keuringsdienst van Waren, Den Haag
- 17 Rijksdienst voor de keuring van Vee en Vlees (RVV), Gorinchem
- 18 J.L.M. Hambeukers, RVV, Son
- 19 Provincie Fryslân, Leeuwarden
- 20 Wetterskip Fryslân, Leeuwarden
- 21 Waterschap de Dommel, Boxtel
- 22 G. Stekhuizen, Provincie Noord-Brabant
- 23 Gemeente Tysjerksteradiel
- 24 Rendac Bergum BV
- 25 Rendac Son BV
- 26 Dr. M.J.B. Mengelers, RIKILT
- 27 J. den Hartog, Productschap Diervoeder
- 28 F. Duijm, GGD Groningen
- 29 Bibliotheek VROM (DDI)
- 30 Depot Nederlandse Publikaties en Nederlandse Bibliografie
- 31 Directie RIVM
- 32 Dr. ir. G. De Mik
- 33 Dr. ir. E. Lebret, LBM
- 34 Dr.ir. A.M. Henken, MGB
- 35 Dr. W.H.M. van der Poel, MGB
- 36 Ir. A.H.M. Bresser, LWD
- 37 Dr. W.H. Könemann, CSR
- 38 Dr. P. van Zoonen, LOC
- 39 Ir. H.J. van de Wiel, LAC
- 40 Dr. ir. J.F. van Sonderen, LGM

41	Ir. R.G. Geertsma, LGM
42	Prof. Dr. J.G. Vos, LPI
43	Dr. P.W. Wester, LPI
44	Dr. M.G. Mennen, IEM
45-47	Auteurs
48	SBD/Voorlichting & Public Relations
49	Bureau rapportenregistratie
50-51	Bibliotheek RIVM
52-77	Reserve exemplaren Bureau rapportenbeheer
78-90	Reserve exemplaren IEM