

Versluist aan de wj 11/5/01

1164-24

Haalbaarheidsstudie afgasontzwaveling Aldel

11 december 2000

Aluminium Delfzijl bv

Delfzijl

Haalbaarheidsstudie afgasontzwaveling Aldel

opdrachtgever Aluminium Delfzijl bv

project Gasontzwaveling

ordernummer 27564

documentnummer 3212001

revisie D

datum 11 december 2000

auteurs A. Rottier, A. Snuverink, A. Dilweg

Tebodin B.V.

Laan van Nieuw Oost-Indië 25
2593 BJ Den Haag
Postbus 16029
2500 BA Den Haag


telefoon 070 3480294
telefax 070 3480591
e-mail a.rottier@tebodin.nl

autorisatie

opstellers:
A. Rottier, A. Snuverink,
A. Dilweg
Senior Consultants



akkoord voor vrijgave:

A. Oosterbaan 

Manager Adviesgroep Milieutechnologie

	Inhoudsopgave	pagina
	SAMENVATTING	4
1	INLEIDING	9
2	UITGANGSPUNTEN	10
2.1	Algemeen	10
2.2	Definitie afgashoeveelheden en -samenstelling	10
2.3	Emissie-eisen	11
2.4	Bedrijfsmiddelen	12
2.5	Kosten van bedrijfsmiddelen	15
2.6	Rekenmodel	15
3	ONTZWAVELINGSCONCEPTEN	17
3.1	Verwijderingstechnieken	17
3.2	Beschrijving ontzwavelingsconcepten	17
3.3	Uitwerking ontzwavelingsconcepten	26
4	INDICATIE INVESTERINGEN EN EXPLOITATIEKOSTEN	30
4.1	Inleiding	30
4.2	Uitgangspunten	30
4.3	Investerings	31
4.4	Exploitatiekosten	32
5	EVALUATIE	33
5.1	Gevoeligheidsanalyse	33
5.2	Evaluatie technisch concepten	33
5.3	Evaluatie exploitatiekosten	35
5.4	Integrale milieubeoordeling	35
6	CONCLUSIES	39
	Bijlage I Bevindingen analyse Biostar-proces	
	Bijlage II Massabalansen	
	Bijlage III Toelichting verbruikcijfers en investeringsramingen	
	Bijlage IV Cijfermatige integrale milieubeoordeling	

SAMENVATTING

Inleiding

Bij Aluminium Delfzijl wordt uit aluinaarde met een elektrolytisch proces aluminium geproduceerd. De voor dit proces benodigde koolstofanodes bevatten zwavel, dat tijdens het productieproces wordt omgezet in zwaveldioxide (SO₂). De afgassen uit de elektrolyse-ovens worden onder bijmenging van veel buitenlucht afgezogen en behandeld in de gasreinigingsinstallatie (GRI). Injectie van aluinaarde voor het slangenfilter van de GRI verlaagt de emissie van HF en stof. De SO₂ wordt zonder reducerende maatregelen geëmitteerd.

Met het bevoegd gezag is een discussie gaande om de uitstoot van SO₂ te reduceren. Om dit te bereiken zal Aldel maatregelen moeten treffen. In deze studie worden een aantal mogelijke emissiereducerende technieken, zowel technisch als economisch, met elkaar vergeleken.

Ontzwavelingsconcepten

Het verwijderen van SO₂/SO₃ uit (rook)gassen kan gebeuren met behulp van gaswassers, droge (inblazen van kalkdeeltjes of natriumbicarbonaat) of semi-droge technieken (injectie van kalkmelk). Gebleken is dat door de relatief lage temperatuur van de afgassen (semi-)droge technieken niet geschikt zijn voor de situatie bij Aldel.

De natte systemen worden gekenmerkt door wassers voor het verwijderen van SO₂/SO₃. Daarbinnen kan nog onderscheid worden gemaakt in afvalwater producerende systemen en afvalwaterloze systemen.

Bij afvalwaterloze systemen (als lozen niet mogelijk is) wordt het voorbehandelde waswater verdampt in een sproeidroger en worden de zouten verwijderd met een doekfilter of een elektrostatisch filter. Als alternatief kan het waswater met een verdamer en restwarmte worden ingedampt. Door de lage temperatuur van de afgassen en het ontbreken van (rest)stoom/warmte bij Aldel vervallen deze opties. Verder kunnen de neutralisatiemiddelen die aan het waswater worden toegevoegd verschillen. De volgende chemicaliën kunnen worden toegepast:

- kalk (CaO/Ca(OH)₂);
- kalksteen (CaCO₃);
- natronloog (NaOH);
- soda (Na₂CO₃);
- magnesiumhydroxide (Mg(OH)₂).

Ook kan zeewater als wasmedium worden gebruikt. Daar zeewater licht alkalisch is is het toevoegen van alkalische chemicaliën niet nodig. In dat geval zijn de verbruikte waterhoeveelheden wel erg hoog.

Op basis van het bovenstaande zijn zeven afgasreinigingsconcepten gedefinieerd en uitgewerkt met een rekenmodel. Het rekenmodel is gebruikt voor het bepalen van de massa- en energiebalansen, de verbruikscijfers van chemicaliën en de emissies naar de verschillende milieucompartimenten.

Kosten

De directe investeringen zijn ingeschat op basis van budgetprijzen, kentallen en aannames. Uitgegaan is van het plaatsen van de GR-installatie in de open lucht. De nauwkeurigheid van de investeringen bedraagt +/- 25 %. Grondkosten en BTW zijn uitgesloten. De afschrijvingstermijn bedraagt 15 jaar en

de rekenrente bedraagt 8 %.

In Tabel S.1 is een overzicht gegeven van de investeringen van de zeven concepten. Het gedrag van de zware metalen is onzeker. Indien de wasser de zware metalen niet of nauwelijks verwijderd dan is een waterzuiveringsinstallatie niet noodzakelijk. De totale investeringen zijn zonder en met WZI gepresenteerd.

Tabel S.1 Overzicht investeringen (in gulden)

	Concept A zeewater	Concept B kalk	Concept C kalksteen	Concept D Biostar	Concept E soda	Concept F Mg(OH) ₂	Concept G natronloog
<i>Directe investeringen</i>							
modificatie ventilatoren (C/W)	7 672 000	7 672 000	7 672 000	7 672 000	7 672 000	7 672 000	7 672 000
E-aansluitkosten ventilatoren	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000
package unit wasser c.a.	18 500 000	22 000 000	23 500 000	16 500 000	15 500 000	15 500 000	13 000 000
aansluiting utilities	1 000 000	1 000 000	1 000 000	1 000 000	1 000 000	1 000 000	1 000 000
civiel/bouwk. voorzieningen	2 000 000	4 000 000	4 000 000	5 000 000	3 500 000	3 000 000	3 000 000
zeewaterinnamestation	27 000 000	-	-	-	-	-	-
Totale directe investering	56 372 000	34 872 000	36 372 000	30 372 000	27 872 000	27 372 000	24 872 000
Indirecte investering	14 093 000	8 718 000	9 093 000	10 630 200	6 968 000	6 843 000	6 218 000
Totale investering	70 465 000	43 590 000	45 465 000	41 002 200	34 840 000	34 215 000	31 090 000
Investering WZI	-	6 250 000	6 250 000	-	7 500 000	3 750 000	7 500 000
Totale investering incl. WZI	70 465 000	49 840 000	51 715 000	41 002 200	42 340 000	37 965 000	38 590 000

Het overzicht van de jaarlijkse exploitatiekosten (inclusief WZI) voor de GR-concepten staat in Tabel S.2.

Tabel S.2 Jaarlijkse exploitatiekosten (in gulden)

	Concept A	Concept B	Concept C	Concept D	Concept E	Concept F	Concept G
	zeewater	kalk	kalksteen	Biostar	soda	Mg(OH) ₂	natronloog
<i>Variabele kosten</i>							
Elektriciteit	1 256 000	946 000	1 235 000	972 000	1 004 000	946 000	920 000
Water		608 000	609 000	550 000	637 000	558 000	633 000
Kalk		395 000	-	-	-	-	-
Kalksteen		-	297 000	-	-	-	-
Natronloog		7 000	7 000	23 000	-	3 000	1 172 000
Soda		-	-	-	1 295 000	-	-
Magnesiumhydroxide		-	-	-	-	831 000	-
Waterstof		-	-	1 496 000	-	-	-
Aardgas		-	-	85 500	-	-	-
FeCl ₃		5 000	5 000	-	7 000	2 000	7 000
FHM		2 000	2 000	-	3 000	1 000	3 000
TMT15		32 000	32 000	-	41 000	13 000	41 000
Afvoer slib		194 000	204 000	50 000	88 000	122 000	77 000
Lozing/afvoer water	p.m.	8 000	8 000	2 000	12 000	-	13 000
Afvoer gips/zwavel/MgSO ₄		625 000	625 000	534 000	-	396 000	-
Totaal variabele kosten	1 256 000	2 822 000	3 025 000	3 628 000	3 088 000	2 872 000	2 865 000
<i>Vaste kosten</i>							
Personeel	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000
Onderhoud	1 365 000	810 000	855 000	495 000	645 000	555 000	570 000
Kapitaalslasten	7 516 000	5 316 000	5 516 000	4 374 000	4 516 000	4 050 000	4 116 000
Totaal vaste kosten	9 381 000	6 626 000	6 871 000	5 369 000	5 661 000	5 105 000	5 186 000
Totale jaarlijkse kosten	10 637 000	9 449 000	9 897 000	8 997 000	8 749 000	7 977 000	8 051 000

Evaluatie

Tabel S.2 geeft aan dat de jaarlijkse exploitatiekosten van de concepten van dezelfde orde van grootte zijn. Ook de gevoeligheidsanalyse geeft geen significant verschil in de onderlinge verhouding van de opties.

Op basis van de jaarlijkse exploitatiekosten valt daardoor geen duidelijke keuze te maken uit de concepten. Andere criteria zullen de doorslag geven.

In Tabel S.3 is een overzicht gegeven van de kosten en de operationele beheersbaarheid. Tevens is aangegeven naar welke milieucompartimenten de verwijderde zwavel en zware metalen gaan.

Tabel S.3 Evaluatie kosten, bediening en milieu

	Kosten	Operationele beheersbaarheid	Zwavel	Zware metalen
Concept A zeewater	+ / -	+	afvalwater	afvalwater
Concept B kalk	+ / -	-	gips (hergebruik/stort)	chem/fys. slib / gips
Concept C kalksteen	+ / -	-	gips (hergebruik/stort)	chem/fys. slib / gips
Concept D Biostar	+ / -	+ / -	afzet zwavel	anaer. slib / zwavel
Concept E soda	+ / -	+	afvalwater	chem/fys. slib
Concept F Mg(OH) ₂	+ / -	+	afzet MgSO ₄ of afvalwater	chem/fys. slib
Concept G natronloog	+ / -	+	afvalwater	chem/fys. slib

Conclusies

De te selecteren ontzwavelingsinstallatie heeft als kenmerk dat een groot gasdebiet verwerkt dient te worden met een lage concentratie zwaveldioxide en een lage temperatuur. De omstandigheden zijn specifiek en daardoor niet vergelijkbaar met bestaande installaties bij elektriciteitscentrales en afvalverbrandingsinstallaties. Als gevolg blijken daardoor de variabele kosten bij Aldel een veel kleiner aandeel te hebben en de vaste kosten een veel groter dan gebruikelijk. Dit komt doordat relatief weinig chemicaliën nodig zijn in relatie tot het gasdebiet.

De jaarlijkse exploitatiekosten van de onderzochte opties hebben allen dezelfde orde van grootte. Aanbevolen wordt de installatie te selecteren op basis van goede operationele eigenschappen van het proces en te verwachten milieu-effecten.

Bij Concept A is de benodigde zeewater hoeveelheid hoog. Zuivering van dit water is door het hoge debiet en de lage zware metalenconcentratie technisch/economisch niet mogelijk. Uit milieuoogpunt (lozing zware metalen) is dit niet wenselijk.

Concept B (kalk) en C (kalksteen) hebben operationeel minder gunstige eigenschappen, vanwege het gebruik van slurries. Indien het geproduceerde gips vanwege de kwaliteit niet kan worden hergebruikt, ontstaan er grote hoeveelheden te storten vast afval.

Concept F (magnesiumhydroxide) en G (natronloog) hebben operationeel gunstige eigenschappen. Magnesiumhydroxide wordt aangeleverd als suspensie en natronloog als vloeistof. Concept E (soda) is operationeel ook gunstig, maar het chemicalie van deze optie is enigszins duurder en geeft een iets hogere slibproductie.

Concept F (magnesiumhydroxide) heeft daarnaast als voordeel dat het gevormde restproduct, een magnesiumsulfaat oplossing, retour leverancier gaat voor hergebruik en er geen lozing van afvalwater plaatsvindt. Omdat de metaalconcentratie naar verwachting hoog is, dient eerst een chemisch/fysische behandeling plaats te vinden. De retourlevering is niet zeker gesteld.

Bij concept G (natronloog) is het nadeel dat ten opzichte van F wel lozing plaatsvindt en de kosten van natronloog kunnen sterk fluctueren.

Concept D (Biostar) heeft het voordeel dat metalen worden afgescheiden, zodat deze niet met het afvalwater geloosd worden. Bij dit concept wordt zwavelslib als restproduct gevormd. Dit kan bij Aldel of derden worden opgewerkt tot elementair zwavel, echter tegen hoge kosten. Toepassing van het Biostar concept voor de toepassing bij Aldel is nieuw en brengt daardoor risico's met zich mee. Het is niet aan te bevelen om de installatie zonder een voorafgaande pilotfase te realiseren. Het concept zal naar verwachting iets duurder zijn dan concept F (magnesiumhydroxide) en G (natronloog).

De vergelijking tussen de compartimenten met de integrale milieubeoordeling is moeilijk. Getracht is door een vergelijking met de emissies van de industrie een relatief gewicht aan de emissies toe te kennen.

De belangrijkste positieve effecten zijn de reductie van de verzuring en de verspreiding van zware metalen, daarnaast speelt recycling van de zwavel een belangrijke rol.

Negatief zijn de toename van emissies naar het oppervlaktewater en het watergebruik.

Op basis van een vergelijking van alle compartimenten wordt de volgende integrale milieuranking voorgesteld:

1. Concept F ($Mg(OH)_2$ met recycling);
2. Concept D (Biostar);
3. Concepten B (kalk), C (kalksteen);
4. Concepten E (soda) en G (natronloog);
5. Concepten B (kalk) en C (kalksteen), indien gips niet recyclebaar is en $Mg(OH)_2$;
6. Concept A (zeewater);
7. Voortzetten huidige praktijk.

Voor de kosteneffectiviteit van SO_2 -reductie is het criterium dat kosten tot f 5,- per kg vermeden emissie als redelijk worden beschouwd. Op basis van dit criterium valt het alternatief zeewater af. De andere concepten voldoen wel aan dit criterium.

Zowel operationele aspecten als milieuaspecten in beschouwing genomen hebbend kan worden geconcludeerd dat Concepten A (zeewater), B (kalk) en C (kalksteen) afvallen.

Aanbevolen wordt een specificatie op te stellen voor de ontzwavelingsinstallatie en de waterzuivering, zodat de overblijvende concepten op basis van gelijkwaardige offertes meer in detail vergeleken kunnen worden. Geadviseerd wordt de concepten F (magnesiumhydroxide) en G (natronloog) aan te vragen en eventueel daarnaast D (Biostar). Om een goede specificatie op te stellen wordt aanbevolen nader onderzoek naar de hoedanigheid van de zware metalen (oxiden/fluoriden, deeltjesgrootteverdeling). Ervaringen met scrubbers bij aluminiumproducenten in het buitenland en/of enige proefnemingen kunnen mogelijk meer inzicht geven.

Ook kan worden gedacht aan een gefaseerde realisatie, waarbij eerst de wasser wordt gerealiseerd. Tijdens het bedrijven van de wasser kan het gedrag van met name de zware metalen worden bestudeerd. Indien daar aanleiding toe is kan alsnog een waterzuiveringsinstallatie worden gerealiseerd, die dan op praktijkgegevens gebaseerd kan zijn. Als voor een natronloogwasser wordt gekozen zijn meerdere opties voor de waterzuivering mogelijk, waaronder de biologische waterzuivering van Biostar.

1 INLEIDING

Bij Aluminium Delfzijl wordt uit aluinaarde met een elektrolytisch proces aluminium geproduceerd. De voor dit proces benodigde koolstofanodes bevatten zwavel, dat tijdens het productieproces wordt omgezet in zwaveldioxide (SO_2). De afgassen uit de elektrolyse-ovens worden onder bijmenging van veel buitenlucht afgezogen en behandeld in de gasreinigingsinstallatie (GRI). Injectie van aluinaarde voor het slangenfilter van de GRI verlaagt de emissie van HF en stof. De SO_2 wordt zonder reducerende maatregelen geëmitteerd.

Met het bevoegd gezag is een discussie gaande om de uitstoot van SO_2 te reduceren. Om dit te bereiken zal Aldel maatregelen moeten treffen. In deze studie worden een aantal mogelijke emissiereducerende technieken, zowel technisch als economisch, met elkaar vergeleken.

In hoofdstuk 2 zijn de uitgangspunten voor deze studie opgenomen. Een selectie van een aantal alternatieve ontzwavelingsconcepten is te vinden hoofdstuk 3. In dat hoofdstuk worden ook de ontzwavelingsconcepten verder uitgewerkt qua massa- en energiebalansen. In hoofdstuk 4 wordt een indicatie gegeven van de investeringen en exploitatiekosten van de geselecteerde ontzwavelingsconcepten. Hoofdstuk 5 bevat de evaluatie van de ontzwavelingsconcepten, waarbij zowel techniek, milieu als kosten in de beschouwing zijn meegenomen. Tenslotte bevat hoofdstuk 6 de conclusies.

2 UITGANGSPUNTEN

2.1 Algemeen

Voor deze studie wordt uitgegaan van een aluminiumproductie van 145.000 ton per jaar, met een stroomsterkte van 150 kA. De productie is volcontinu en er is nagenoeg geen stilstand (mogelijk). De productiecapaciteit geldt na het uitbreiden van het aantal elektrolyse-ovens met 44 tot uiteindelijk 348. Het maximale zwavelgehalte in de anodes zal 2 % bedragen (momenteel 1,25 %). Het anodeverbruik is 430 kg per ton aluminium.

Op de locatie is geen stoom beschikbaar.

De huidige vier ventilatoren hebben onvoldoende capaciteit om de afgastoename door de uitbreiding te verwerken. Door het bijplaatsen van een vijfde ventilator kan dit probleem worden opgelost. Tevens zullen de bestaande ventilatoren worden verplaatst en zullen de bijbehorende rookgaskanalen moeten worden aangepast. Echter de productie dient zo min mogelijk te worden verlaagd door deze werkzaamheden. Momenteel wordt door Tebodin in een andere studie gekeken hoe dit het beste (technisch en economisch) kan worden gedaan. In de eindsituatie is het de bedoeling dat de vijf ventilatoren per elektrolyse-oven 5000 Nm³/u afvoeren, bij 348 elektrolyse-ovens is dit in totaal 1.740.000 Nm³/u. Indien één ventilator uit bedrijf is c.q. moet vanwege een storing of onderhoud wordt het afvoerdebiet per elektrolyse-oven teruggebracht tot 4750 Nm³/u, bij 348 elektrolyse-ovens is dit in totaal 1.653.000 Nm³/u.

Daarnaast kunnen de bestaande vier ventilatoren momenteel onvoldoende druk leveren om de drukval over de toekomstige wasser(s) te compenseren. Dit probleem kan worden opgelost door deze ventilatoren te voorzien van een andere waaier.

2.2 Definitie afgashoeveelheden en -samenstelling

In Tabel 2.1 staat een overzicht met het afgasdebiet en de samenstelling van de afgassen na de bestaande gasreinigingsinstallatie (GRI) na uitbreiding van het aantal elektrolyse-ovens.

Tabel 2.1 Afgasdebiet en –samenstelling na bestaande GRI

Omschrijving	Eenheid	Minimaal	Maximaal	Piek	Aantal	Totaal op jaarbasis
Afgasdebiet	Nm ³ /u	1 653 000	1 740 000			
Temperatuur	°C	50	80			
Druk	Pa	1000	1200			
H ₂ O	g/Nm ³	10	20			
O ₂	vol. %, nat		20			
N ₂	vol. %, nat		76.2			
CO ₂	mg/Nm ³	10 000	14 000			
CO	mg/Nm ³	375	1 000			
totaal stof	mg/Nm ³	0.5	5	20-200	5-10%	80 ton
HF	mg/Nm ³	0.2	3	25-250	5-10%	
F stof	mg/Nm ³	0.5	1			20 ton
F totaal						2375 ton
SO ₂	mg/Nm ³	70	200	400		
NO _x	mg/Nm ³	2	5	10		
Zn	µg/Nm ³	<21	54			253 kg
Ni	µg/Nm ³	<3.2	9			126 kg
Pb	µg/Nm ³	2.3	109			189 kg
Cu	µg/Nm ³	0.8	32.6			89 kg
Sb	µg/Nm ³	<1.5	<2.4			126 kg
As	µg/Nm ³	<1.4	<2.4			126 kg
Cd	µg/Nm ³	<0.07	<0.14			19 kg
Cr	µg/Nm ³	<1.0	3.2			19 kg
PAK's 16 EPA	µg/Nm ³	0.0006	0.01			8 kg

De stofpieken worden veroorzaakt door gescheurde slangen in het slangenfilter. Het doorgeslagen stof bevat voornamelijk Al₂O₃, dat hoog abrasief is.

De vrachten in de laatste kolom zijn bepaald door cijfers behorend bij de huidige productie te extrapoleren naar de toekomstige situatie. Daarbij is de factor 145.000/108.000=1,34 (toekomstige/huidige aluminiumproductie) gebruikt.

De uitstoot van zware metalen via de schoorsteen naar de atmosfeer zal circa 946 kg per jaar bedragen.

2.3 Emissie-eisen

2.3.1 Lucht

Momenteel is het emissieplafond van SO₂ volgens de vergunning 1350 ton per jaar bij een aluminiumproductie van 100.000 ton per jaar en 1,5 % zwavel in de anodes. De actuele jaarlijkse emissie van SO₂ is 108.000 ton Al x 430 kg anode/ton Al x 1,25 % S = 1160 ton SO₂.

Uitgangspunt is dat de vergunde SO₂ jaarvracht met minimaal 70 % wordt gereduceerd. De maximale emissie na het uitbreiden van de productie en het realiseren van emissiebeperkende maatregelen is dan 30 % x 1350 = 405 ton SO₂ per jaar. De diffuse emissie via het dak bedraagt dan 125 ton per jaar.

Dit betekent dat via de schoorsteen maximaal 280 ton per jaar mag worden geëmitteerd. Na het uitbreiden van de aluminiumproductie en gebruik van anodes met meer zwavel (2 %) komt jaarlijks 145.000 ton Al x 430 kg anode/ton Al x 2 % S = 2500 ton SO₂ vrij. De uit het afgas te verwijderen hoeveelheid SO₂ dient dan 2500 - 125 - 280 = 2095 ton te bedragen. De emissiebeperkende techniek dient dus een verwijderingsrendement van minimaal 2095 / (2500 - 125) = 88 % te hebben. De aluminiumproductie is volcontinu. Bij het plaatsen van één wasser moet rekening worden gehouden met een onderhoudsstop van ongeveer drie weken per jaar. Indien de afgassen gedurende die tijd ongereinigd worden geëmitteerd zal het verwijderingsrendement minimaal 94 % moeten bedragen om binnen het voornoemde emissieplafond te blijven. Als er vijf wassers zouden worden geplaatst kan het verwijderingsrendement lager zijn.

Om de emissie van Aldel in een breder perspectief te plaatsen worden enige cijfers gepresenteerd van kolengestookte elektriciteitscentrales. De rookgassen (circa 2.400.000 Nm³/u) vóór ontzwaveling bevatten ongeveer 2000 tot 3000 mg SO₂/Nm³. De emissie-eis voor bestaande stookinstallaties (Bees A) is 400 mg SO₂/Nm³ (droog rookgas en bij een zuurstofgehalte van 6 %). Een 600 MW centrale emitteert na reiniging jaarlijks ongeveer 5400 ton SO₂.

2.3.2 Water

Momenteel zijn er geen vergunningseisen voor het lozen van eventueel waswater. In deze studie zullen de vrachten en concentraties van te lozen componenten worden aangegeven.

2.4 Bedrijfsmiddelen

Voor de nieuwe gasreinigingsinstallatie (GRI) is voldoende elektrisch vermogen, perslucht en aardgas beschikbaar.

Als waswater kan mogelijk zeewater worden toegepast. De samenstelling is vermeld in Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Samenstelling zeewater (bron: Aldel)

	Waarde	Eenheid
Zuurgraad	7.8	
Soortelijke geleiding	30	mS/cm
F oplosbaar	1.0	mg/l
F stofgebonden	0.1	mg/l
CN vrij	<2	mg/l
Zwevend stof	10-80	mg/l
Chloride	12.5	g/l
CZV	40	mg/l
N-kjeldahl	1.5	mg/l
Arseen	10	µg/l
Cadmium	<2	µg/l
Chroom	15	µg/l
Koper	50	µg/l
Kwik	<0.3	µg/l
Lood	<15	µg/l
Nikkel	<25	µg/l
Zink	<40	µg/l
Pak-EPA	0.01	µg/l

De samenstelling van het drinkwater bij Aldel is vermeld in Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Samenstelling drinkwater (bron: Aldel)

	Waarde	Eenheid
Zuurgraad	7.80	
T Alkalinity	125	ppm
Totaal hardheid	200	ppm
Calcium als CaCO ₃	175	ppm
Magnesium als CaCO ₃	35	ppm
Chloride als Cl	70	ppm
Geleidbaarheid	480	µS/cm
IJzer	<0.2	ppm

Op het terrein is een mogelijkheid tot het realiseren van een bron met een capaciteit van 2500 m³ grondwater per dag. De samenstelling van het bronwater is vermeld in Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Samenstelling bronwater (bron: Aldel)

	Meting 21/10/98	Eenheid
B.Z.V.	<5	mg/l
C.Z.V.	47	mg/l
N-kjeldahl	3.8	mg/l
Chloride	7100	mg/l
Fosfor	<0.050	mg/l
Sulfaat	370	mg/l
Onopgelost zwevende stof	46	mg/l
TOC	11	mg/l
Carbonaat	<0.50	mg/l
Bicarbonaat	110	mg/l
Arseen	<0.0020	mg/l
Barium	0.74	mg/l
Calcium	420	mg/l
Magnesium	450	mg/l
Mangaan	1.7	mg/l
Natrium	3500	mg/l
Nikkel	<0.005	mg/l
IJzer	40	mg/l
Zink	<0.020	mg/l
Silicium	7.9	mg/l

2.5 Kosten van bedrijfsmiddelen

In Tabel 2.5 is een overzicht gegeven van de kosten van bedrijfsmiddelen. De kosten zijn gebaseerd op informatie van leveranciers en van Aldel en bij Tebodin bekende gegevens.

Tabel 2.5 Overzicht kosten bedrijfsmiddelen

Bedrijfsmiddel	Kosten	Eenheid	Bron
Elektriciteit	0.06	ct/kWh	Aldel
Aardgas	0.30	fl/Nm ³	Tebodin
NaOH 50%	215	fl/ton	Akzo
Mg(OH) ₂ (53% suspensie)	218	fl/ton	Nedmag
Na ₂ CO ₃	360	fl/ton	Brunner Mond
Kalk (CaO)	195	fl/ton	Carmeuse
Kalksteen	82	fl/ton	Carmeuse
Waterstof	0.50	fl/m ³	Aldel
FeCl ₃ (40%)	335	fl/ton	Tebodin
Polyelektroiet (vlokhulpmiddel)	6.35	fl/kg	Tebodin
TMT15 (coagulant voor Hg en Cd)	4900	fl/ton	Tebodin
Drinkwater ¹⁾	1.49	fl/m ³	Aldel
Industriewater	1.40	fl/m ³	Aldel
Lozingsheffing	0.14	fl/m ³	Tebodin
Afvoer slib (C3)	270	fl/ton	Tebodin
Afvoer zwavel ²⁾	300	fl/ton	BRCC
Afvoer gips ³⁾	100	fl/ton	Vliegasunie
Afvoer MgSO ₄	15	fl/ton	Nedmag

¹⁾ Vastrecht fl 120.000 per jaar

²⁾ De kosten zijn afhankelijk van de zuiverheid en hoeveelheid

³⁾ De kosten/opbrengsten zijn afhankelijk van met name het chloridegehalte en het watergehalte, opbrengst fl 10,- per ton tot fl 100,- per ton kosten

2.6 Rekenmodel

Bij het uitwerken van de GR-concepten is gebruik gemaakt van een rekenmodel. Met dit model is het mogelijk om aan de hand van de rookgassamenstelling en -debiet te bepalen wat de emissies en operationele kosten zijn.

In Tabel 2.6 zijn de rendementen voor het verwijderen van de verontreinigende componenten met een natte wasser, zoals gebruikt in het rekenmodel, weergegeven. Deze rendementen zijn gebaseerd op gegevens uit literatuur, budgetoffertes en ontwerpgegevens van gerealiseerde installaties.

Tabel 2.6 Verwijderingsrendementen per component

	η alkalische wasser (%)
totaal stof	80
HCl	86
HF	80
SO ₂	90
NO _x	0
zware metalen	80

De rendementen voor het verwijderen van zware metalen en zwevende stof uit het waswater met behulp van een chemisch/fysische waterzuivering zijn opgenomen in Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Verwijderingsrendementen voor de waterzuiveringsinstallatie

	verwijderingsrendement (%)
Zn	90
Ni	50
Pb	95
Cu	95
Sb	95
As	50
Cr	95
Cd	95
zwevende stof	99

De verwijderingsrendementen uit de verschillende bronnen lopen voor sommige componenten nogal uiteen. De verwijderingsrendementen zijn afhankelijk van de ingangconcentraties, fysische en chemische hoedanigheid van de componenten en de emissie-eisen. Per project zullen deze verwijderingsrendementen verschillen daar er geen standaard ontwerp wordt gebruikt. De hier gepresenteerde waarden zijn gebruikt om systemen te kunnen vergelijken. Na een meer gedetailleerde projectdefinitie/specificatie zal een leverancier een maatwerk ontwerp maken met mogelijk afwijkende verwijderingsrendementen.

De rendementen voor het verwijderen van stof en zware metalen met een natte wasser zijn optimistisch gekozen. Het gedrag van stof en zware metalen in de wasser en de waterzuiveringsinstallatie is nog onduidelijk. Daardoor is een verschuiving van zware metalen van water/slib richting lucht mogelijk. Nader onderzoek naar de hoedanigheid van de zware metalen (oxiden/fluoriden, deeltjesgrootteverdeling) en proeven kunnen mogelijk meer inzicht geven.

3 ONTZWAVELINGSCONCEPTEN

In dit hoofdstuk zullen een aantal alternatieve ontzwavelingsconcepten worden gedefinieerd. Eerst zullen de geschikte verwijderingstechnieken kort worden aangeduid.

3.1 Verwijderingstechnieken

Voor het verwijderen van SO_2/SO_3 uit rookgassen van elektriciteitscentrales en afvalverbrandingsinstallaties worden in Nederland voornamelijk tegenstroom wassers gebruikt. Afhankelijk van de lozingseisen wordt het waswater ingedampt of na het verwijderen van zware metalen op oppervlaktewater geloosd. Indien het afvalwater op zee of op brak oppervlaktewater kan worden geloosd zal in de regel natronloog worden gebruikt in de SO_2 -wasser. De sulfaten blijven op deze wijze in het water opgelost en worden geloosd. Sulfaten hoeven op deze manier niet als vaste stof tegen hoge kosten worden gestort. Bij gebruik van kalkmelk of kalksteen wordt gips gevormd dat als rookgasreinigingsresidu moet worden gestort. Bij voldoende zuiverheid en afzetmarkt kan het gips ook worden hergebruikt, zoals bij elektriciteitscentrales gebruikelijk is.

Voordelen van (semi)droge technieken zijn de lagere investeringen en het ontbreken van een afvalwaterstroom. Nadeel van deze technieken is de grotere hoeveelheid reststoffen, als gevolg van de hogere benodigde overmaat kalk of natriumbicarbonaat, ten opzichte van wassers.

Elders in Europa zijn diverse installaties in bedrijf waarbij gebruik wordt gemaakt van droge (inblazen van kalkdeeltjes of natriumbicarbonaat) en semi-droge technieken (injectie van kalkmelk). Een doekfilter verwijdert de gevormde zouten. Om het kalkverbruik te beperken wordt een deel van de afgescheiden kalk/zouten gerecirculeerd. Het verwijderingsrendement bij (semi-)droge technieken is bij hoge SO_2 -concentraties 80-90 %. Om dit verwijderingsrendement te bereiken dienen de afgassen geconditioneerd te worden. Voor het natriumbicarbonaatproces dient de temperatuur minimaal $140^\circ C$ te zijn om een zekere dissociatie te krijgen. Bij gebruik van kalk dient het afgas bovendien een zekere vochtigheid te hebben voor een goede reactie met de kalkdeeltjes.

Door de relatief lage temperatuur van de afgassen en lage concentraties zijn (semi-)droge technieken niet geschikt voor de situatie bij Aldel (informatie van Solvay en Lurgi Bischoff).

3.2 Beschrijving ontzwavelingsconcepten

3.2.1 Inleiding

Door de conditie van de afgassen bij Aldel (lage temperatuur en lage concentraties) kunnen (semi-)droge systemen niet worden toegepast voor het verwijderen van SO_2 met het gewenste rendement.

De natte systemen worden gekenmerkt door wassers voor het verwijderen van SO_2/SO_3 . Daarbinnen kan nog onderscheid worden gemaakt in afvalwater producerende systemen en afvalwaterloze systemen.

Bij afvalwaterloze systemen (als lozen niet mogelijk is) wordt het voorbehandelde waswater verdampt in een spreedroger en worden de zouten verwijderd met een doekfilter of een elektrostatisch filter. Als alternatief kan het waswater met een verdamer en restwarmte worden ingedampt. Door de lage temperatuur van de afgassen en het ontbreken van (rest)stoom/warmte bij Aldel vervallen deze opties.

Verder kunnen de neutralisatiemiddelen die aan het waswater worden toegevoegd verschillen. De volgende chemicaliën kunnen worden toegepast:

- kalk ($\text{CaO}/\text{Ca}(\text{OH})_2$);
- kalksteen (CaCO_3);
- natronloog (NaOH);
- soda (Na_2CO_3);
- magnesiumhydroxide ($\text{Mg}(\text{OH})_2$).

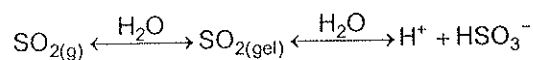
Ook kan zeewater als wasmedium worden gebruikt. Daar zeewater licht alkalisch is is het toevoegen van alkalische chemicaliën niet nodig. In dat geval zijn de verbruikte waterhoeveelheden wel erg hoog.

Bij natte systemen is het technisch mogelijk om gips uit het afvalwater terug te winnen. Dit is onafhankelijk van de in deze paragraaf besproken concepten.

In principe treden bij contact van SO_2 -houdende gassen met een wasvloeistof de volgende evenwichtsreacties op:

Absorptie

Komt SO_2 in contact met water, dan lost dit gedeeltelijk op onder vorming van H^+ en HSO_3^- ionen.



Des te hoger de H^+ -ionen concentratie is, des te minder SO_2 er in het water kan worden opgenomen. De toenemende H^+ -ionen concentratie veroorzaakt een verlaging van de pH-waarde (de oplossing reageert zuur). Om meer SO_2 in de oplossing te kunnen opnemen, is het noodzakelijk de H^+ -ionen uit de oplossing te nemen. Omdat het ionenproduct $K = [\text{H}^+] \cdot [\text{HSO}_3^-]$ constant is, kan hiermee meer SO_2 in oplossing gaan.

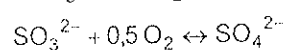
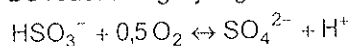
Neutralisatie

De verwijdering van H^+ -ionen vindt plaats door neutralisatie. Als neutralisatiemiddel kunnen de hiervoor opgesomde chemicaliën dienen. Deze worden in het onderste gedeelte van de wastoren gedoseerd. De aanwezigheid of gevormde OH^- -ionen neutraliseren de bij SO_2 -absorptie gevormde H^+ -ionen.

Oxidatie

De in de absorptiezone gesproeiende wasvloeistof verzamelt zich in het onderste gedeelte van de wastoren. Bij een aantal systemen wordt in dit gedeelte via een luchtverdelingssysteem oxidatielucht door de wasvloeistof geleid. In het geval van Aldel is dit waarschijnlijk niet nodig daar de afgassen een hoog gehalte zuurstof hebben en de wasvloeistof door circulatie over de waskolom intensief met zuurstof in contact komt.

De reactievergelijkingen luiden:



Bij het gebruik van kalk, kalksteen en magnesiumhydroxide zal er slecht oplosbaar gips en magnesiumsulfaat worden gevormd.

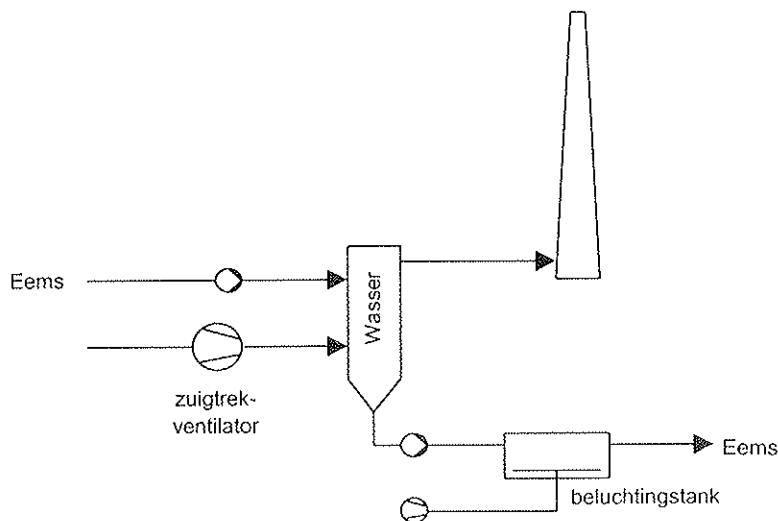
De afgasstroom van de vijf ventilatoren kan naar één wastoren worden gevoerd. Door de beperkte beschikbaarheid zal in dit geval een gedeelte van het jaar de afgasstroom ongezuiverd worden geëmitteerd.

Het alternatief is één wastoren per ventilator. In dat geval kan bij storing of onderhoud van één lijn het afvoerdebiet per elektrolyse-oven worden teruggebracht. Het resulterende afgasdebiet kan dan door de vier resterende wassers worden verwerkt. De gasreiniging is dan in principe 100 % beschikbaar.

3.2.2 GR-concept A (zeewater)

Het in Figuur 3.1 weergegeven concept bestaat uit een wasser met zeewater als wasmedium. Het zeewater wordt ingenomen en verpompt naar een tegenstroomwasser. De afgassen treden aan de onderkant de waskolom binnen. Aan de bovenzijde van de waskolom, die pakkingmateriaal bevat, wordt het zeewater versproeid. Het zeewater absorbeert de SO_2 en aan de onderzijde van de kolom stroomt het waswater naar een beluchtingstank. Met een ventilator wordt via luchtverdelingssysteem het waswater belucht. Na beluchting, waarbij sulfiet in sulfaat wordt omgezet, wordt het water weer geloosd. Er wordt dus geen water gerecirculeerd over de wastoren. De afgassen verlaten de waskolom aan de bovenzijde via een druppelafscheider en worden via een schoorsteen naar de atmosfeer geëmitteerd.

Gedeeltelijk afgevangen zware metalen worden geloosd. De afgevangen SO_2 wordt geloosd als sulfaat. Doordat het waswater niet wordt gerecirculeerd is het debiet ingenomen en te lozen water erg hoog (ongeveer 4500 m^3 per uur, met lage concentraties zware metalen). Daardoor is een waterzuiveringsinstallatie voor het verwijderen van zware metalen technisch en economisch gezien geen optie.

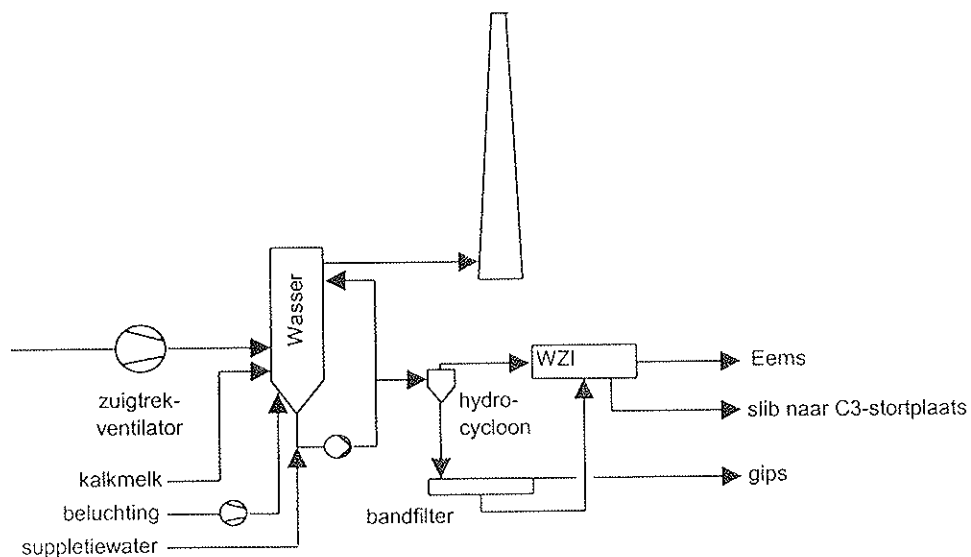


Figuur 3.1 GR-concept A

3.2.3 GR-concept B (kalk)

Het in Figuur 3.2 weergegeven concept bestaat uit een wasser met kalkmelk ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) als neutralisatiemiddel. De afgassen treden aan de onderkant de wastoren binnen. In het bovenste gedeelte van de wastoren bevinden zich in een aantal lagen leidingen met sproeikoppen. Met een recirculatiepomp wordt vanuit het onderste gedeelte van de kolom waswater verspreid. Het waswater koelt door verdamping de afgassen af tot de verzadigingstemperatuur en absorbeert de SO_2 . De afgassen verlaten de wastoren aan de bovenzijde via een druppelafscheider en worden via een schoorsteen naar de atmosfeer geëmitteerd.

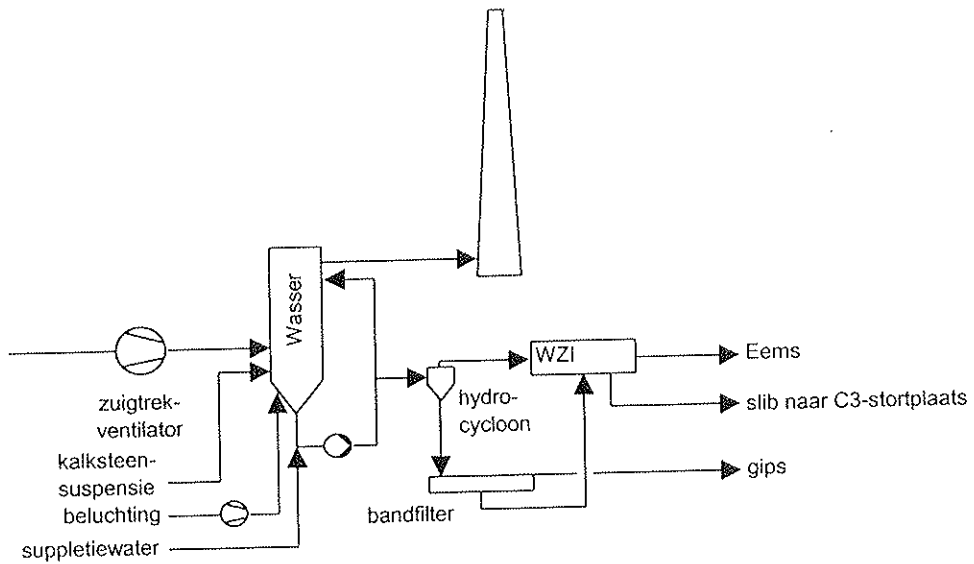
Kalkmelk wordt ter plekke aangemaakt met aangevoerde ongebluste kalk en water. Het waswater verzamelt zich in het onderste gedeelte van de wastoren. Hier wordt suppletiewater en kalkmelk als neutralisatiemiddel toegevoegd. In dit gedeelte wordt het waswater belucht om sulfiet in sulfaat om te zetten. Hierdoor vormen zich gipskristallen. Uit het onderste gedeelte van de wastoren wordt de spuistroom (pH = 4-6) door hydrocyclonen geleid. De gipsuspensie wordt hiermee ingedikt en vervolgens verder ontwaterd met een vacuümfilterband. De waterige stromen uit de hydrocyclonen en de vacuümfilterband worden naar een waterzuiveringsinstallatie (WZI) geleid. In de WZI worden zware metalen verwijderd door het verhogen van de pH (vorming slecht oplosbare metaalhydroxiden) en het toevoegen van coagulatie- en flocculatiemiddelen. Na sedimentatie en eventueel zandfiltratie wordt het water geloosd. Het afgescheiden slib wordt verder ontwaterd met een filterpers. De filterkoek (circa 800 ton/jaar) wordt afgevoerd naar een stortplaats voor C3-afval. De afgevangen SO_2 wordt, afhankelijk van de kwaliteit, verkocht of gestort als gips (circa 6000 ton/jaar).



Figuur 3.2 GR-concept B

3.2.4 GR-concept C (kalksteen)

Het in Figuur 3.3 weergegeven concept bestaat uit een wasser met kalksteensuspensie (CaCO_3) als neutralisatiemiddel. Kalksteen wordt met de juiste korrelgrootte aangevoerd en ter plekke wordt de suspensie aangemaakt. Het omzettingsrendement van kalksteen in gips is lager dan in B. Verder is het concept gelijk aan GR-concept B.



Figuur 3.3 GR-concept C

3.2.5 GR-concept D (Biostar)

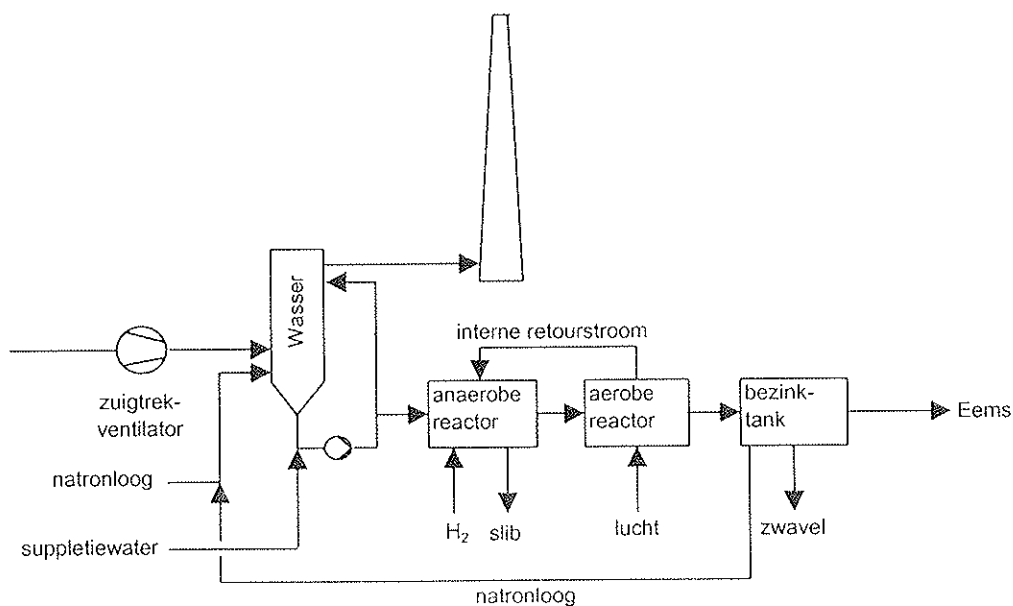
Het in Figuur 3.4 weergegeven concept bestaat uit een wasser met natronloog (NaOH) als neutralisatiemiddel.

De spuistroom uit de wasser wordt naar een biologische WZI geleid. Het debiet van de spuistroom wordt geregeld op de sulfaat/sulfietconcentratie. De optimale temperatuur voor het biologische proces is 30-37 °C. Dit betekent dat onder bepaalde omstandigheden (afhankelijk van temperatuur en vochtigheid van de rookgassen) de spuistroom van de wasser moet worden voorverwarmd (winterperiode).

In een anaërobe reactor worden de sulfieten/sulfaten door micro-organismen onder toevoeging van waterstof omgezet naar sulfiden. Zware metalen worden in deze reactor neergeslagen als sulfiden. Door groei van de micro-organismen dient een gedeelte van het biologische slib uit deze reactor te worden gespuid. Vervolgens worden in een aërobe reactor de sulfiden omgezet tot elementair zwavel. Bij deze reactie ontstaan ook hydroxide-ionen. Na afscheiding van zwavel in een lamellenbezinker kan het alkalische effluent worden toegevoegd aan het waswater, hierdoor wordt het loogverbruik tot een minimum beperkt. Een deelstroom hiervan wordt geloosd om de concentratie opgeloste zouten constant te houden.

Een slibindikker en een decanteercentrifuge zorgen voor verdere ontwatering van de afgescheiden zwavelslurry. De afgevangen SO₂ kan na bewerking (bij Aldel of elders) worden verkocht als elementair zwavel.

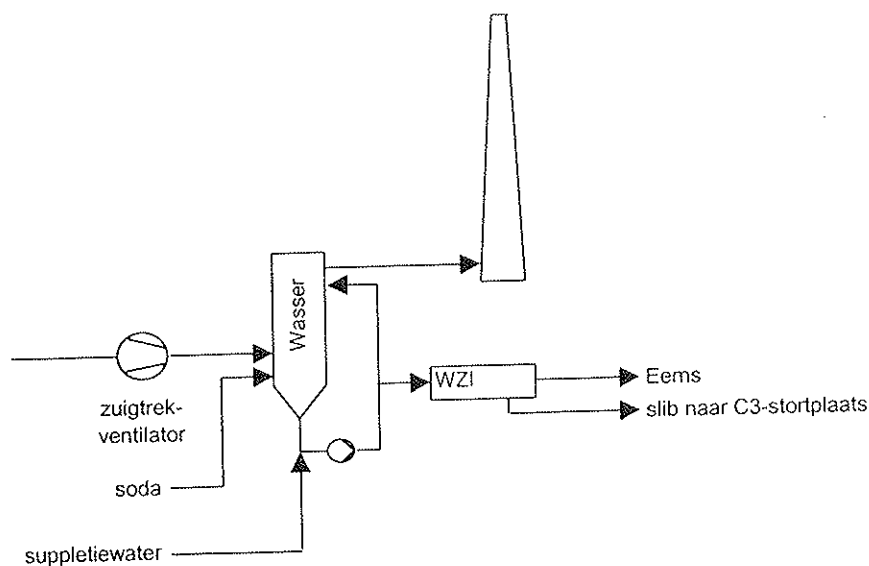
In bijlage I zijn de bevindingen van het analyseren van het Biostar-proces opgenomen.



Figuur 3.4 GR-concept D

3.2.6 GR-concept E (soda)

Het in Figuur 3.5 weergegeven concept bestaat uit een wasser met soda (NaCO_3) als neutralisatiemiddel. De aangevoerde vaste soda wordt ter plekke opgelost. De spuistroom uit de wasser wordt naar een WZI geleid. Deze WZI is gelijk aan die van GR-concept B. De afgevangen SO_2 wordt geloosd in de vorm van sulfieten/sulfaten.

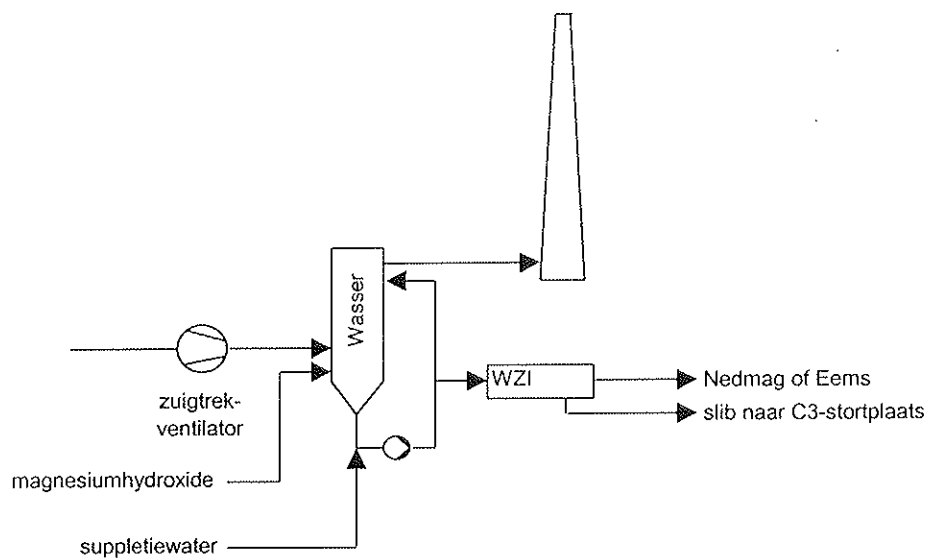


Figuur 3.5 GR-concept E

3.2.7 GR-concept F (magnesiumhydroxide)

Het in Figuur 3.6 weergegeven concept bestaat uit een wasser met magnesiumhydroxide ($Mg(OH)_2$) als neutralisatiemiddel. De magnesiumhydroxide wordt als suspensie aangevoerd.

De spuistroom uit de wasser wordt naar een WZI geleid. Deze is gelijk aan die van GR-concept B. De afgevangen SO_2 wordt geloosd in de vorm van sulfieten/sulfaten. Ook indien de mogelijkheid bestaat om de magnesiumsulfaatoplossing af te voeren naar Nedmag voor hergebruik zal een WZI nodig zijn om zware metalen af te scheiden om aan de specificatie van Nedmag te voldoen. In dit rapport is uitgegaan van een retourlevering aan Nedmag.

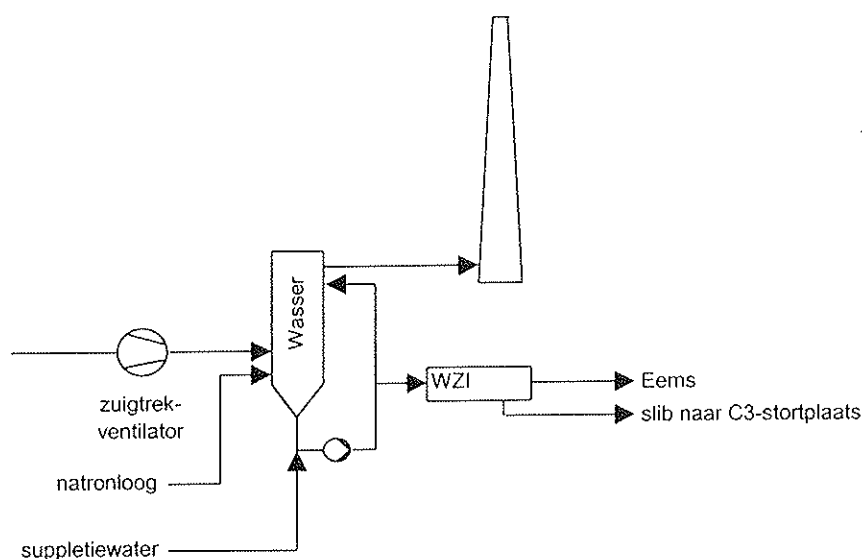


Figuur 3.6 GR-concept F

3.2.8 GR-concept G (natronloog)

Het in Figuur 3.7 weergegeven concept bestaat uit een wasser met natriumhydroxide (NaOH) als neutralisatiemiddel.

De spuistroom uit de wasser wordt naar een WZI geleid. Deze is gelijk aan die van GR-concept B. De afgevangen SO₂ wordt geloosd in de vorm van sulfieten/sulfaten.



Figuur 3.7 GR-concept G

3.3 Uitwerking ontzwavelingsconcepten

In deze paragraaf worden de GR-concepten uitgewerkt. Het rekenmodel is gebruikt voor het bepalen van de massa- en energiebalans en van de verbruikcijfers van chemicaliën.

3.3.1 Massa- en energiebalansen

Op basis van de gegevens uit Tabel 2.1 zijn met het rekenmodel de massa- en energiebalansen van de zeven GR-concepten bepaald. Voor de rookgastemperatuur is 80 °C genomen, dit is de worst case voor het waterverbruik en afgasdebiet. Voor de SO₂-concentratie is een gemiddelde waarde (156 mg/Nm³) genomen. Uitgaande van een gemiddeld debiet van 1.740.000 Nm³/u en een bedrijfstijd van 8760 uur per jaar wordt de jaarvracht SO₂ naar de ontzwavelingsinstallatie dan 2375 ton. Dit is gelijk aan 145.000 ton Al x 430 kg anode/ton Al x 2 % S –125 ton diffuse emissie = 2375 ton SO₂ (zie ook 2.3.1). De gemiddelde concentraties van stof, fluoriden en zware metalen zijn ook bepaald aan de hand van de jaarvracht, uitgaande van een gemiddeld debiet van 1.740.000 Nm³/u en een bedrijfstijd van 8760 uur per jaar.

In bijlage II zijn de massabalansen van de zeven GR-concepten opgenomen.

3.3.2 Verbruikcijfers/residuproductie

3.3.2.1 Algemeen

Met behulp van het rekenmodel zijn verbruikcijfers van de energie, utilities, chemicaliën en reststoffen van de zeven GR-concepten bepaald. Uitgegaan is van een bedrijfstijd van 8760 uur per jaar.

3.3.2.2 Verbruik utilities en chemicaliën

In Tabel 3.1 is een overzicht gegeven van het jaarlijks verbruik aan utilities en chemicaliën. In bijlage III is de basis van deze cijfers toegelicht.

Tabel 3.1 Jaarlijks verbruik utilities en chemicaliën

	Zuiverheid/ concentratie	Eenheid	Concept A zeewater	Concept B kalk	Concept C kalksteen	Concept D Biostar	Concept E soda	Concept F Mg(OH) ₂	Concept G natronloog
elektriciteit		kWh	20 936 400	15 768 000	20 586 000	16 206 000	16 731 600	15 768 000	15 330 000
aardgas		Nm ³				285 000			
kalk	94%	ton		2 024					
kalksteen	96%	ton			3 626				
natronloog	50%	ton		32	32	108		13	5 450
soda	100%	ton					3 597		
magnesiumhydroxide	53%	ton						3 813	
waterstof		ton				269			
water		m ³		434 363	434 737	392 512	455 161	398 262	451 827
zeewater		m ³	40 286 565						
FeCl ₃	40%	ton		16	16		21	7	21
FHM	100%	kg		386	388		507	160	507
TMT15	15%	ton		6	6		8	3	8

3.3.2.3 Reststoffen

In Tabel 3.2 is een overzicht gegeven van de jaarlijkse productie aan reststoffen voor de GR-concepten.

Tabel 3.2 Jaarlijkse productie reststoffen

	Eenheid	Concept A zeewater	Concept B kalk	Concept C kalksteen	Concept D Biostar	Concept E soda	Concept F Mg(OH) ₂	Concept G natronloog
MgSO ₄ afvoer (15%)	ton						26 411	
slib (35% d.s.)	ton		718	757	186	326	452	283
biol. slib (35% d.s.)	ton				214			
gips (90% d.s.)	ton		6 252	6 252				
zwavel (60% d.s.)	ton				1 781			
waterlozing	m ³	39 914 861	57 843	58 194	17 574	84 773		89 567

In Tabel 3.3 is een overzicht gegeven van de te verwachten vrachten zware metalen en sulfaat die met het gereinigde afvalwater worden geloosd. Voor concept A moet worden opgemerkt dat de te lozen

vracht zware metalen exclusief de zware metalen in het ingenomen zeewater is. Het verwijderingsrendement van zware metalen uit de rookgassen is gesteld op 80 %. Dit is aan de optimistische kant. Hierdoor kunnen de emissies naar water en slib als een maximum worden beschouwd.

Tabel 3.3 Jaarlijkse emissie zware metalen en sulfaat met het afvalwater

	Eenheid	Concept A zeewater	Concept B kalk	Concept C kalksteen	Concept D Biostar	Concept E soda	Concept F Mg(OH) ₂	Concept G natronloog
Zn	g/jaar	202 261	20 226	20 226	367	20 226	20 226	20 226
Ni	g/jaar	100 757	50 379	50 379	1 620	50 379	50 379	50 379
Pb	g/jaar	151 509	7 575	7 575	130	7 575	7 575	7 575
Cu	g/jaar	70 903	3 545	3 545	61	3 545	3 545	3 545
Sb	g/jaar	100 757	5 038	5 038	87	5 038	5 038	5 038
As	g/jaar	100 757	50 379	50 379	1 620	50 379	50 379	50 379
Cd	g/jaar	14 927	746	746	13	746	746	746
Cr	g/jaar	14 927	746	746	13	746	746	746
SO ₄ ²⁻	t/jaar	3 206	61	62	0	3 198	3 171	3 199

* Indien water niet retour gaat naar Nedmag; anders geen lozing.

De concentraties stof, zware metalen en sulfaat in het afvalwater zijn in Tabel 3.4 gegeven.

Tabel 3.4 Concentraties in te lozen afvalwater

	Eenheid	Concept A zeewater	Concept B kalk	Concept C kalksteen	Concept D Biostar	Concept E soda	Concept F Mg(OH) ₂	Concept G natronloog
stof	mg/l	12	11	11	1	8	285	8
Zn	mg/l	0.046	0.350	0.348	0.021	0.253	0.901	0.253
Ni	mg/l	0.028	0.873	0.867	0.092	0.630	2.245	0.629
Pb	mg/l	0.019	0.131	0.130	0.007	0.095	0.338	0.095
Cu	mg/l	0.052	0.061	0.061	0.003	0.044	0.158	0.044
Sb	mg/l	0.003	0.087	0.087	0.005	0.063	0.224	0.063
As	mg/l	0.013	0.873	0.867	0.092	0.630	2.245	0.629
Cd	mg/l	0.002	0.013	0.013	0.001	0.009	0.033	0.009
Cr	mg/l	0.016	0.013	0.013	0.001	0.009	0.033	0.009
SO ₄ ²⁻	mg/l	81	1 063	1 060	-	39 972	141 278	39 971

In Tabel 3.5 is een overzicht gegeven van de te verwachten vrachten zware metalen die met het afvalwaterzuiverings-slib worden gestort.

Tabel 3.5 Jaarlijkse emissie zware metalen met het slib

	Eenheid	Concept A zeewater	Concept B kalk	Concept C kalksteen	Concept D Biostar	Concept E soda	Concept F Mg(OH) ₂	Concept G natronloog
Zn	g/jaar		182 035	182 035	201 894	182 035	182 035	182 035
Ni	g/jaar		50 379	50 379	99 137	50 379	50 379	50 379
Pb	g/jaar		143 934	143 934	151 379	143 934	143 934	143 934
Cu	g/jaar		67 358	67 358	70 842	67 358	67 358	67 358
Sb	g/jaar		95 720	95 720	100 671	95 720	95 720	95 720
As	g/jaar		50 379	50 379	99 137	50 379	50 379	50 379
Cd	g/jaar		14 181	14 181	14 914	14 181	14 181	14 181
Cr	g/jaar		14 181	14 181	14 914	14 181	14 181	14 181

Een overzicht van de jaarlijkse maximale en minimale emissie van zware metalen naar de atmosfeer is in Tabel 3.6 gegeven. Dit is voor alle concepten gelijk daar het verwijderingsrendement voor alle concepten gelijk is gekozen.

Tabel 3.6 Jaarlijkse emissie zware metalen naar de atmosfeer

	Eenheid	Maximaal ¹⁾	Minimaal ²⁾
Zn	g/jaar	253 000	50 565
Ni	g/jaar	126 000	25 189
Pb	g/jaar	189 000	37 877
Cu	g/jaar	89 000	17 726
Sb	g/jaar	126 000	25 189
As	g/jaar	126 000	25 189
Cd	g/jaar	19 000	3 732
Cr	g/jaar	19 000	3 732

¹⁾ In het geval dat het verwijderingsrendement van de wasser 0 % is.

²⁾ In het geval dat het verwijderingsrendement van de wasser 80 % is.

4 INDICATIE INVESTERINGEN EN EXPLOITATIEKOSTEN

4.1 Inleiding

Op basis van budgetprijzen van de GR-concepten en kosten van aanvullende voorzieningen zijn de indicatieve investeringen bepaald.

Met de verbruikcijfers uit paragraaf 3.3.2 zijn de operationele kosten bepaald op basis van bij Aldel geldende kosten. Tezamen met de kapitaalslasten zijn de totale jaarlijkse kosten bepaald. De berekende jaarlijkse kosten zijn exclusief toeslagen zoals rendement op investering, belasting, etc.

4.2 Uitgangspunten

Van de verschillende onderdelen, te weten:

- procesinstallaties GR;
- afvalwaterbehandeling (optioneel);
- infrastructuur/utilities;
- civiele/bouwkundige voorzieningen;

zijn de kosten, de zogenoemde directe investeringen, ingeschat op basis van budgetprijzen, kentallen en aannames. Uitgegaan is van het plaatsen van de GR-installatie in de open lucht. In bijlage III is een toelichting op investeringsraming gegeven.

De nauwkeurigheid van de investeringen bedraagt ± 25 %. Grondkosten en BTW zijn uitgesloten.

De indirecte investeringen zijn als percentage van de directe investeringen ingeschat. Onder de indirecte investeringen wordt verstaan:

- reservedelen (2 %);
- kosten voor projectmanagement (EPCM-diensten) (3 %);
- voorbereidings-/begeleidingskosten Aldel (2 %);
- verzekeringen (1 %);
- bouwrente (4 %);
- prijsescalatie (3 %);
- onvoorzien (10 %).

De afschrijvingstermijn bedraagt 15 jaar. De rekenrente bedraagt 8 %. Uitgegaan wordt van een lineaire afschrijving en een gemiddelde jaarlijkse rente over de afschrijvingstermijn. De kapitaalslasten kunnen in formulevorm als volgt worden beschreven:

$$A = K/n + i/100 \times K/2$$

waarin: A = jaarlijkse kapitaalslasten
K = investering
n = afschrijvingstermijn
i = rentepercentage

De onderhoudskosten zijn als percentage (3 %) van de directe investeringen voor de wasser en WZI package units en het zeewaterpompstation (Concept A) ingeschat.

Voor het bedienend personeel is uitgegaan van 5 functieplaatsen (f 100.000,- per functieplaats).

De eenheidskosten van de bedrijfsmiddelen zijn in paragraaf 2.5 opgenomen. Voor gips is uitgegaan van hergebruik.

4.3 Investerings

In Tabel 4.1 is een overzicht gegeven van de investeringen voor de GR-concepten. In bijlage III is een toelichting op de investeringsraming gegeven. De post 'Indirecte investering' is gesteld op 25 % van de directe investering. Alleen bij Concept D is dit percentage op 35 % gesteld, vanwege een grotere ingeschatte onzekerheid. Het biologische gedeelte van Concept D is voor een dergelijke toepassing nog niet gerealiseerd.

Zoals eerder uiteengezet is het gedrag van de zware metalen onzeker. Indien de wasser de zware metalen niet of nauwelijks verwijderd dan is een waterzuiveringsinstallatie niet noodzakelijk. De totale investeringen zijn zonder en met WZI gepresenteerd.

Tabel 4.1 Overzicht investeringen (in guldens)

	Concept A zeewater	Concept B kalk	Concept C kalksteen	Concept D Biostar	Concept E soda	Concept F Mg(OH) ₂	Concept G natronloog
<i>Directe investeringen</i>							
modificatie ventilatoren (CW)	7 672 000	7 672 000	7 672 000	7 672 000	7 672 000	7 672 000	7 672 000
E-aansluitkosten ventilatoren	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000
package unit wasser c.a.	18 500 000	22 000 000	23 500 000	16 500 000	15 500 000	15 500 000	13 000 000
aansluiting utilities	1 000 000	1 000 000	1 000 000	1 000 000	1 000 000	1 000 000	1 000 000
civiel/bouwk. voorzieningen	2 000 000	4 000 000	4 000 000	5 000 000	3 500 000	3 000 000	3 000 000
zeewaterinnamestation	27 000 000	-	-	-	-	-	-
Totale directe investering	56 372 000	34 872 000	36 372 000	30 372 000	27 872 000	27 372 000	24 872 000
Indirecte investering	14 093 000	8 718 000	9 093 000	10 630 000	6 968 000	6 843 000	6 218 000
Totale investering	70 465 000	43 590 000	45 465 000	41 002 000	34 840 000	34 215 000	31 090 000
Investering WZI	-	6 250 000	6 250 000	-	7 500 000	3 750 000	7 500 000
Totale investering incl. WZI	70 465 000	49 840 000	51 715 000	41 002 000	42 340 000	37 965 000	38 590 000

4.4 Exploitatiekosten

In Tabel 4.2 is een overzicht gegeven van de jaarlijkse exploitatiekosten (inclusief WZI) voor de GR-concepten.

Tabel 4.2 Jaarlijkse exploitatiekosten (in guldens)

	Concept A zeewater	Concept B kalk	Concept C kalksteen	Concept D Biostar	Concept E soda	Concept F Mg(OH) ₂	Concept G natronloog
<i>Variabele kosten</i>							
Elektriciteit	1 256 000	946 000	1 235 000	972 000	1 004 000	946 000	920 000
Water		608 000	609 000	550 000	637 000	558 000	633 000
Kalk		395 000	-	-	-	-	-
Kalksteen		-	297 000	-	-	-	-
Natronloog		7 000	7 000	23 000	-	3 000	1 172 000
Soda		-	-	-	1 295 000	-	-
Magnesiumhydroxide		-	-	-	-	831 000	-
Waterstof		-	-	1 496 000	-	-	-
Aardgas		-	-	85 500	-	-	-
FeCl ₃		5 000	5 000	-	7 000	2 000	7 000
FHM		2 000	2 000	-	3 000	1 000	3 000
TMT15		32 000	32 000	-	41 000	13 000	41 000
Afvoer slib		194 000	204 000	50 000	88 000	122 000	77 000
Lozing/afvoer water	p.m.	8 000	8 000	2 000	12 000	-	13 000
Afvoer gips/zwavel/MgSO ₄		625 000	625 000	534 000	-	396 000	-
Totaal variabele kosten	1 256 000	2 822 000	3 025 000	3 628 000	3 088 000	2 872 000	2 865 000
<i>Vaste kosten</i>							
Personeel	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000
Onderhoud	1 365 000	810 000	855 000	495 000	645 000	555 000	570 000
Kapitaalslasten	7 516 000	5 316 000	5 516 000	4 374 000	4 516 000	4 050 000	4 116 000
Totaal vaste kosten	9 381 000	6 626 000	6 871 000	5 369 000	5 661 000	5 105 000	5 186 000
Totale jaarlijkse kosten	10 637 000	9 449 000	9 897 000	8 997 000	8 749 000	7 977 000	8 051 000

5 EVALUATIE

5.1 Gevoeligheidsanalyse

In hoofdstuk 4 zijn de exploitatiekosten voor de GR-concepten bepaald. Ter bepaling van de gevoeligheid van de berekende financieel/economische variabelen zijn enkele parameters gevarieerd. Tevens is een indicatie gegeven van de gevolgen voor het plaatsen van vijf lijnen in plaats van één lijn. Uitgangspunt hierbij is dat de variabele kosten gelijk blijven, daar de meeste verbruiken afhankelijk zijn van de massabalans. Voor elektriciteit is dat discutabel, maar gezien de nauwkeurigheid in deze projectfase, acceptabel. De hogere investering voor vijf lijnen is een grove inschatting, die in een volgende projectfase nader zou moeten worden bekeken (zie bijlage III voor een toelichting).

De resultaten van de gevoeligheidsanalyse zijn in Tabel 5.1 weergegeven. De veranderingen zijn uitgedrukt als percentage ten opzichte van de exploitatiekosten in Tabel 4.2.

Tabel 5.1 Resultaten gevoeligheidsanalyse

		A	B	C	D	E	F	G
Rente	8 -> 7%	-3%	-3%	-3%	-2%	-2%	-2%	-2%
Afschrijvingstermijn	15 -> 10 j	+22%	+18%	+17%	+15%	+16%	+16%	+16%
Investering	+30%	+21%	+15%	+15%	+15%	+13%	+14%	+12%
Bedrijfsuren	8760 -> 8256	-1%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%
S-gehalte anodes	2% -> 1,25%	+0%	-5%	-4%	-8%	-6%	-6%	-6%
Aantal lijnen	1-> 5	+16%	+21%	+21%	+18%	+16%	+17%	+14%

5.2 Evaluatie technisch concepten

In Tabel 5.2 is een overzicht gegeven van de kosten en de operationele beheersbaarheid. Tevens is aangegeven naar welke milieucompartimenten de verwijderde zwavel en zware metalen gaan.

Tabel 5.2 Evaluatie kosten, bediening en milieu

	Kosten	Operationele beheersbaarheid	Zwavel	Zware metalen
Concept A zeewater	+ / -	+	afvalwater	afvalwater
Concept B kalk	+ / -	-	gips (hergebruik/stort)	chem/fys. slib / gips
Concept C kalksteen	+ / -	-	gips (hergebruik/stort)	chem/fys. slib / gips
Concept D Biostar	+ / -	+ / -	afzet zwavel	anaer. slib / zwavel
Concept E soda	+ / -	+	afvalwater	chem/fys. slib
Concept F Mg(OH) ₂	+ / -	+	afzet MgSO ₄ of afvalwater	chem/fys. slib
Concept G natronloog	+ / -	+	afvalwater	chem/fys. slib

In Tabel 5.3 is een overzicht gegeven van de voor- en nadelen van de verschillende concepten, tevens is aangegeven wat de onzekerheden zijn.

Voor alle concepten geldt dat het gedrag van de pluim nog niet duidelijk is. Mogelijk is opwarming

noodzakelijk om uittegenen bij bepaalde weersomstandigheden te voorkomen. Doordat de lozingseisen nog niet bekend zijn en het gedrag van de zware metalen onzeker is, is het niet duidelijk of een chemisch/fysische waterzuivering noodzakelijk is. Alleen voor Concept D (Biostar) is duidelijk dat dit niet hoeft, daar zware metalen in de biologische zuivering worden verwijderd.

Tabel 5.3 Overzicht voor- en nadelen en onzekerheden

	Voordelen	Nadelen	Onzekerheden
Concept A zeewater	<ul style="list-style-type: none"> • geen chemicaliënverbruik • eenvoudige bediening 	<ul style="list-style-type: none"> • hoge investering (door zeewaterpompstation) • energieverbruik pompen • lozing metalen • biologische vernietiging water 	
Concept B kalk	<ul style="list-style-type: none"> • goedkoop chemicalie 	<ul style="list-style-type: none"> • kalkslurry operationeel lastig • kans op verstoppingen • afzetkosten gips 	<ul style="list-style-type: none"> • investering ingeschat • werkzaamheid kalk bij lage SO₂-concentraties • verontreiniging in gips (zware metalen, fluoride) en daarmee afzetkosten gips
Concept C kalksteen	<ul style="list-style-type: none"> • goedkoop chemicalie 	<ul style="list-style-type: none"> • kalksteenslurry operationeel lastig • kans op verstoppingen • afzetkosten gips 	<ul style="list-style-type: none"> • investering ingeschat • werkzaamheid kalksteen bij lage SO₂-concentraties • verontreiniging in gips (zware metalen, fluoride) en daarmee afzetkosten gips
Concept D Biostar	<ul style="list-style-type: none"> • geen lozing (behalve kleine spui) • recycle van natronloog • duurzame technologie 	<ul style="list-style-type: none"> • hoge kosten waterstof • opwarming reactoren nodig 	<ul style="list-style-type: none"> • nieuwe technologie, nog niet bewezen voor deze toepassing • zware metalen gehalte in slib • afzet(kosten) zwavel • H₂S-emissie
Concept E soda	<ul style="list-style-type: none"> • chemicalie operationeel goed hanteerbaar (lost op) • gevormd product is oplosbaar 	<ul style="list-style-type: none"> • lozing sulfaat • chemicalie duur 	
Concept F magnesiumhydroxide	<ul style="list-style-type: none"> • chemicalie operationeel goed hanteerbaar • gevormd product is oplosbaar • mogelijkheid tot terugname product (dan geen lozing) 	<ul style="list-style-type: none"> • chemicalie relatief duur • lozing sulfaat, indien product niet wordt teruggenomen 	<ul style="list-style-type: none"> • beschikbaarheid magnesiumhydroxide in markt • afzet magnesiumsulfaat vanwege zware metalen • afzet magnesiumsulfaat alleen bij Nedmag mogelijk
Concept G natronloog	<ul style="list-style-type: none"> • chemicalie operationeel goed hanteerbaar (oplossing) • installatie relatief eenvoudig 	<ul style="list-style-type: none"> • lozing sulfaat • kosten chemicalie • fluctuatie natronloogkosten 	

5.3 Evaluatie exploitatiekosten

Tabel 4.2 geeft aan dat de jaarlijkse exploitatiekosten van de concepten van dezelfde orde van grootte zijn. Ook de gevoeligheidsanalyse geeft geen significant verschil in de onderlinge verhouding van de opties.

Op basis van de jaarlijkse exploitatiekosten valt daardoor geen duidelijke keuze te maken uit de concepten. Andere criteria zullen de doorslag geven.

5.4 Integrale milieubeoordeling

In bijlage IV wordt de integrale milieubeoordeling voor de investering met cijfers weergegeven. In deze paragraaf wordt deze cijfermatige beoordeling vertaald in een kwalitatieve beoordeling.

5.4.1 Toelichting bij de opzet van de integrale beoordeling

In eerste instantie is gedacht om met de hulp van het REIM model of met behulp van de getallen over Environmental Burden (EB) een vergelijking op te zetten. Uiteindelijk is gekozen om de aspecten en vergelijkingsmethodiek van het RIVM voor de landelijke emissie beoordeling toe te passen, waarbij een vergelijking met de totale emissie van de industrie kan worden gemaakt. Dit is gebeurd om de volgende redenen:

1. er is nog geen (inter)nationaal model beschikbaar voor het vertalen van milieueffecten naar een eenduidige noemer;
2. het REIM model en EB-model geven alleen getallen voor een vergelijking per compartiment, echter de gewenste onderlinge vergelijking tussen compartimenten is niet mogelijk;
3. de door RIVM gebruikte methodiek laat een vergelijking met beschikbare getallen in Nederland toe;
4. het was mogelijk om een (weliswaar subjectieve) vergelijkingsbasis te vinden in de beschikbare emissie getallen van de industrie in Nederland.

5.4.2 Uitvoering van de beoordeling

Voor de beoordeling zijn de volgende milieucompartimenten beschouwd:

positief voor het milieu:

- verzuring, de winst die wordt geboekt door een verminderde zwaveldioxide uitstoot, gecompenseerd voor de extra zwavel emissie door extra energieopwekking;
- verspreiding van toxisch stof naar de lucht, door de gaswassing worden ook stof, fluoriden en zware metalen afgevangen;
- recycling, de nuttige toepassing van het vrijgekomen zwavel;

negatief voor het milieu:

- broeikas effect, extra CO₂-productie door extra energiegebruik;
- verdroging, door extra wateronttrekking uit schaarse bronnen;
- verspreiding van toxische stof naar het water, door een toename van de lozing aan zware metalen naar het oppervlaktewater;
- afval, toename van de afvalproductie.

Getracht is om voor alle compartimenten een vergelijking te maken met de emissies van de industrie in 1995. Voor afval was dit slechts beperkt mogelijk en voor de recycling en verdroging was dit niet mogelijk.

5.4.3 Kwalitatieve en kwantitatieve beoordeling

In Tabel 5.4 is een kwantitatieve en kwalitatieve beoordeling gegeven.

Tabel 5.4 Beoordeling van de milieueffecten per activiteit

Compartiment	Broeikaseffect		Verzuring		Verspreiding lucht zw.met. (fluoriden)		Verspreiding water**		Totaal plussen en minnen
	%	+/-	%	+/-	%	+/-	%	+/-	
Huidige bijdrage	0	0	2.9	-	6 (2)	-	0	0	--
Alternatief			Reductie		Reductie		Toename		
A. Zeewater	0.027	-	2.6	+++	5 (2)	+++	19.1	---	++
B. Kalk	0.020	-	2.6	+++	5 (2)	+++	2.3	--	+++
C. Kalksteen	0.027	-	2.6	+++	5 (2)	+++	2.3	--	+++
D. Biostar	0.022	-	2.6	+++	5 (2)	+++	0.07	-	++++
E. Soda	0.022	-	2.6	+++	5 (2)	+++	2.3	--	+++
F. Mg(OH) ₂ ***	0.020	-	2.6	+++	5 (2)	+++	2.3 / 0	-- / 0	+++ / +++++
G. Natronloog	0.020	-	2.6	+++	5 (2)	+++	2.3	--	+++

*) maximum waarde (antimoon)

***) maximum waarde (antimoon voor Zeewater, arseen voor de overige)

***) in geval van lozen / in geval van afvoer MgSO₄

Bij de beoordeling van de milieucompartmenten is het percentage bijdrage (of reductie) aan de emissie van de industrie bepaald. Voor de kwalitatieve beoordeling is een factor 10 per plus of min teken toegepast.

De zwavelreductie en de reductie van de emissie van zware metalen naar de lucht leveren een verhoudingsgewijs belangrijker bijdrage aan de reductie van de emissie van de industrie, dan het broeikaseffect en de emissie van zware metalen naar water.

Doordat er bij de emissie van zware metalen naar water een verschil bestaat tussen de systemen leidt dit tot de volgende ranking:

1. Concept F (Mg(OH)₂ met recycling)
2. Concept D (Biostar)
3. Concepten B (kalk), C (kalksteen), E (soda), F (Mg(OH)₂) en G (natronloog)
4. Concept A (zeewater)
5. voortzetten huidige praktijk

Bij de beoordeling van de compartimenten recycling, afval en verdroging is een directe vergelijking niet mogelijk. Toch is er geplust en gemind met de volgende onderbouwing:

- recycling van zwavel heeft de voorkeur (+) boven verplaatsing van de problematiek (-);
- afvalproductie is negatief (-) ook als er wordt uitgegaan van gecontroleerde stort;
- verdroging is negatief (-).

Tabel 5.5 Beoordeling van de compartimenten recycling, afval en verdroging

Compartiment	Recycling		Afval		Verdroging		Totaal plussen en minnen
	ton/jaar	+/-	ton/jaar	+/-	kton	+/-	
Huidig	Geen	-	0	0	0	0	-
Alternatief							
A. Zeewater	Geen	-	0	0	0	0	-
B. Kalk (rec.)	6252	+	831	-	434	-	-
B. Kalk	Geen	-	6970	--	434	-	----
C. Kalksteen (rec.)	6252	+	870	-	435	-	-
C. Kalksteen	Geen	-	7009	--	435	-	----
D. Biostar	1781	+	400	-	393	-	-
E. Soda	Geen	-	326	-	455	-	----
F. Mg(OH) ₂	26411	+	452	-	398	-	-
G. Natronloog	Geen	-	283	-	452	-	----

Er heeft geen verdere weging plaatsgevonden en de plussen en minnen zijn simpelweg opgeteld. Dit leidt tot de volgende ranking:

1. Concepten B (kalk), C (kalksteen), D (Biostar) en F (Mg(OH)₂) (alle recycling opties);
2. Voortzetten huidige praktijk en Concept A (zeewater) (als tweede omdat er niet gerecycled wordt);
3. Concepten E (soda) en G (natronloog);
4. Concepten B (kalk) en C (kalksteen), indien gips niet recyclebaar is.

5.4.4 Kosteneffectiviteit

Bij de bepaling van de kosteneffectiviteit is uitgegaan van de VROM publicatie 'Methodiek Milieukosten'. In bijlage IV is een toelichting op de berekeningsmethodiek en een overzicht van de exploitatiekosten gegeven.

De resultaten van de kosteneffectiviteitsberekening zijn in Tabel 5.6 opgenomen.

Tabel 5.6 Kosteneffectiviteit SO₂-verwijdering

	Kosten per kg vermeden SO ₂ -emissie in guldens
A. Zeewater	5,6
B. Kalk	4,7
C. Kalksteen	5,0
D. Biostar	4,4
E. Soda	4,4
F. Mg(OH) ₂	4,0
G. Natronloog	4,0

Voor de reductie van SO₂ wordt een aantal vuistregels gebruikt. De belangrijkste is dat kosten tot f 5,- per kg vermeden emissie als redelijk worden beschouwd. Op basis van dit criterium valt het alternatief zeewater af.

Overigens is het verschil tussen de alternatieven zeer gering. Als het alternatief zeewater buiten

beschouwing wordt gelaten dan is het verschil tussen de hoogste en laagste kosten per kg vermeden SO₂ 20%. Dit verschil is kleiner dan de onzekerheid van de aan de kosten ten grondslag liggende budgetramingen en kan daarom niet tot een conclusie ten gunste van één van de alternatieven leiden.

6 CONCLUSIES

De te selecteren ontzwavelingsinstallatie heeft als kenmerk dat een groot gasdebiet verwerkt dient te worden met een lage concentratie zwaveldioxide en een lage temperatuur. De omstandigheden zijn specifiek en daardoor niet vergelijkbaar met bestaande installaties bij elektriciteitscentrales en afvalverbrandingsinstallaties. Als gevolg blijken daardoor de variabele kosten bij Aldel een veel kleiner aandeel te hebben en de vaste kosten een veel groter dan gebruikelijk. Dit komt doordat relatief weinig chemicaliën nodig zijn in relatie tot het gasdebiet.

De jaarlijkse exploitatiekosten van de onderzochte opties hebben allen dezelfde orde van grootte. Aanbevolen wordt de installatie te selecteren op basis van goede operationele eigenschappen van het proces en te verwachten milieu-effecten.

Bij Concept A is de benodigde zeewater hoeveelheid hoog. Zuivering van dit water is door het hoge debiet en de lage zware metalenconcentratie technisch/economisch niet mogelijk. Uit milieuoogpunt (lozing zware metalen) is dit niet wenselijk.

Concept B (kalk) en C (kalksteen) hebben operationeel minder gunstige eigenschappen, vanwege het gebruik van slurries. Indien het geproduceerde gips vanwege de kwaliteit niet kan worden hergebruikt, ontstaan er grote hoeveelheden te storten vast afval.

Concept F (magnesiumhydroxide) en G (natronloog) hebben operationeel gunstige eigenschappen. Magnesiumhydroxide wordt aangeleverd als suspensie en natronloog als vloeistof. Concept E (soda) is operationeel ook gunstig, maar het chemicalie van deze optie is enigszins duurder en geeft een iets hogere slibproductie.

Concept F (magnesiumhydroxide) heeft daarnaast als voordeel dat het gevormde restproduct, een magnesiumsulfaat oplossing, retour leverancier gaat voor hergebruik en er geen lozing van afvalwater plaatsvindt. Omdat de metaalconcentratie naar verwachting hoog is, dient eerst een chemisch/fysische behandeling plaats te vinden. De retourlevering is niet zeker gesteld.

Bij concept G (natronloog) is het nadeel dat ten opzichte van F wel lozing plaatsvindt en de kosten van natronloog kunnen sterk fluctueren.

Concept D (Biostar) heeft het voordeel dat metalen worden afgescheiden, zodat deze niet met het afvalwater geloosd worden. Bij dit concept wordt zwavelslib als restproduct gevormd. Dit kan bij Aldel of derden worden opgewerkt tot elementair zwavel, echter tegen hoge kosten. Toepassing van het Biostar concept voor de toepassing bij Aldel is nieuw en brengt daardoor risico's met zich mee. Het is niet aan te bevelen om de installatie zonder een voorafgaande pilotfase te realiseren. Het concept zal naar verwachting iets duurder zijn dan concept F (magnesiumhydroxide) en G (natronloog).

De vergelijking tussen de compartimenten met de integrale milieubeoordeling is moeilijk. Getracht is door een vergelijking met de emissies van de industrie een relatief gewicht aan de emissies toe te kennen.

De belangrijkste positieve effecten zijn de reductie van de verzuring en de verspreiding van zware metalen, daarnaast speelt recycling van de zwavel een belangrijke rol.

Negatief zijn de toename van emissies naar het oppervlaktewater en het watergebruik.

Op basis van een vergelijking van alle compartimenten wordt de volgende integrale milieuranking voorgesteld:

1. Concept F ($Mg(OH)_2$ met recycling);
2. Concept D (Biostar);
3. Concepten B (kalk), C (kalksteen);
4. Concepten E (soda) en G (natronloog);
5. Concepten B (kalk) en C (kalksteen), indien gips niet recyclebaar is en $Mg(OH)_2$;
6. Concept A (zeewater);
7. Voortzetten huidige praktijk.

Voor de kosteneffectiviteit van SO_2 -reductie is het criterium dat kosten tot f 5,- per kg vermeden emissie als redelijk worden beschouwd. Op basis van dit criterium valt het alternatief zeewater af. De andere concepten voldoen wel aan dit criterium.

Zowel operationele aspecten als milieuaspecten in beschouwing genomen hebbend kan worden geconcludeerd dat Concepten A (zeewater), B (kalk) en C (kalksteen) afvallen.

Aanbevolen wordt een specificatie op te stellen voor de ontzwavelingsinstallatie en de waterzuivering, zodat de overblijvende concepten op basis van gelijkwaardige offertes meer in detail vergeleken kunnen worden. Geadviseerd wordt de concepten F (magnesiumhydroxide) en G (natronloog) aan te vragen en eventueel daarnaast D (Biostar). Om een goede specificatie op te stellen wordt aanbevolen nader onderzoek naar de hoedanigheid van de zware metalen (oxiden/fluoriden, deeltjesgrootteverdeling). Ervaringen met scrubbers bij aluminiumproducenten in het buitenland en/of enige proefnemingen kunnen mogelijk meer inzicht geven.

Ook kan worden gedacht aan een gefaseerde realisatie, waarbij eerst de wasser wordt gerealiseerd. Tijdens het bedrijven van de wasser kan het gedrag van met name de zware metalen worden bestudeerd. Indien daar aanleiding toe is kan alsnog een waterzuiveringsinstallatie worden gerealiseerd, die dan op praktijkgegevens gebaseerd kan zijn. Als voor een natronloogwasser wordt gekozen zijn meerdere opties voor de waterzuivering mogelijk, waaronder de biologische waterzuivering van Biostar.

Bijlage I Bevindingen analyse Biostar-proces

Voor het analyseren van het Biostar-proces is gebruik gemaakt van (oude) offertes van Paques en HTS. Deze offertes zijn summiere budgetoffertes. De omvang van de scope is niet duidelijk. Daarnaast is bij de analyse gebruikt gemaakt van brochures over de werking van het Biostar proces die Paques heeft gestuurd.

Voor een aantal inhoudelijke onduidelijkheden over de werking van het systeem zijn vragen gesteld aan Paques. Relevante bevindingen zijn in deze bijlage opgenomen.

De belangrijkste bevindingen bij de analyse van het proces zijn:

- Volgens Paques waren de aanbiedingen uit het verleden maar globaal en is een verdere detaillering nodig om goede conclusies over de kosten te kunnen maken.
- Waterstof, de elektronendonor voor de micro-organismen, blijkt een hoge kostenpost voor verbruiksmiddelen. Wel is waterstof een stuk goedkoper dan ethanol, die in het verleden voor het systeem werd aanbevolen. Waterstof geeft in de anaërobe reactor wel slib van lagere kwaliteit, maar gezien de metalen die daar ook worden afgescheiden, kan het slib toch niet worden verkocht en zal als gevaarlijk afval moeten worden afgevoerd.
- De zuiverheid van waterstof is van belang. Wanneer ook inerte gassen in de waterstof aanwezig zijn, dient een gedeelte te worden gespuid om ophoping te voorkomen. Dit brengt extra waterstof verbruik en extra kosten met zich mee.
- Behalve waterstof als elektronendonor is ook nog een koolstofbron nodig voor de micro-organismen in de anaërobe reactor. In hoeveelheid is dit maar 1% van de benodigde waterstof, in kostenopzicht zal dit wat meer zijn, maar Paques kon hierover nog niet voldoende duidelijkheid geven.
- De anaërobe reactor dient een temperatuur tussen 30 °C en 40 °C te hebben. Dit betekent dat de anaërobe reactor in de winter verwarmd dient te worden. Dit brengt extra kosten mee. Het is eventueel mogelijk een minimumtemperatuur van 20 °C aan te houden, maar dan dient de reactor groter te worden uitgevoerd. Dit brengt een hogere investering met zich mee. De aërobe reactor produceert warmte. Paques zal moeten onderzoeken of dit bij Aldel voldoende temperatuur genereert in de winter.
- Opstarten van het systeem tot 100 % capaciteit duurt twee weken. Tijdens deze periode zal een deel van de wasvloeiwater uit de natronloogwasser ongezuiverd dienen te worden geloosd.

Onzekerheden van het proces zijn met name:

- Het gedrag van de metalen in de loogwasser en anaërobe reactor. Belangrijk is dat bekend is welke (hoeveelheid) metalen aanwezig zijn en in welke vorm (oxiden, fluoriden etc.)
- De grootte van de spuistroom. De grootte van de spui is afhankelijk van inerte stoffen die zich in het systeem ophopen. Bij spui wordt ook de geregenereerde natronloog geloosd. Dit leidt tot extra kosten voor looggebruik.
- De afzetkosten van zwavel. Mogelijk is het aantrekkelijk op het eigen terrein nog bewerkingen te doen, maar dit vergt wel extra investeringen en operationele handelingen.

De punten die besproken zijn met Paques betreffen:

1. De zwavel dat gevormd wordt in de aërobe reactor kan globaal op twee manieren worden afgezet. De zwavel wordt gecentrifugeerd en bevat daarna nog 40-50 % vocht. De zwavel kan als reststof aan PVS in Amsterdam worden aangeboden, die het gebruikt als grondstof voor

zwavelzuurproductie. Afhankelijk van de kwaliteit (o.a. watergehalte) zal hiervoor aan PVS f 300,- per ton dienen te worden betaald. Wanneer de kwaliteit beter is kan dit bedrag lager zijn. Sommige bedrijven hebben door goed onderhandelen zelfs een vergoeding van f 50,- per ton kunnen afspreken. Het watergehalte kan worden verlaagd door de zwavel te drogen. Paques heeft een onderzoek gedaan welke drogers geschikt zijn.

Een andere mogelijkheid is dat de zwavel in een smelter wordt opgewerkt, waarbij zwavel met exportkwaliteit wordt geproduceerd. Paques bestudeert dit momenteel voor een andere klant. Consequentie is dat meer apparatuur nodig is dan tot nu toe is aangenomen.

Er is ook een gebruiker die zwavel afzet als schimmelverdelger in de kunstmestindustrie. Dit levert een hoge opbrengst op.

2. Stof dat afgevangen wordt met de natronloogwasser zal bezinken in de anaërobe reactor en zal samen met gevormd slib en neergeslagen metalen dienen te worden verwijderd. Bij grotere hoeveelheden stof (bijvoorbeeld stofdoorslag filters) kan een gedeelte naar de volgende reactor worden uitgespoeld en zal in de gevormde zwavel terecht komen. Het is te overwegen om daarom een stofafscheider tussen de anaërobe en aërobe reactor te plaatsen. De zwaveldioxide / stofverhouding in het te reinigen gas bepaald waar het stof terechtkomt.
3. Fluoride kan via de spui worden geloosd of met kalk in de anaërobe reactor worden neergeslagen.
4. Bij Paques is weinig kennis aanwezig over de natronloogwasser. Betreffen het afvangen van metalen zal de vorm belangrijk zijn. In geval van oxiden gedragen de metalen zich als stof en bezinken in de anaërobe reactor, in geval van ionen zullen deze neerstaan als sulfiden in de anaërobe reactor.
5. Het rendement van de omzetting van sulfaat / sulfiet naar sulfide in de anaërobe reactor en van sulfide naar zwavel in de aërobe reactor is niet van belang. Belangrijk is dat de capaciteit van het systeem voldoende is.
6. De concentratie van sulfaat / sulfiet in de anaërobe reactor dient 800 – 900 mg/l te zijn. De omzettingssnelheid van sulfiet is iets groter dan van sulfaat. Door interne circulatie tussen de aërobe en anaërobe reactor wordt deze concentratie ingesteld. Zodoende kunnen deze reactoren onafhankelijk van de loogwasser bedreven worden.
7. De grootte van de spuiroom wordt bepaald door zuren die zouten vormen. De belangrijkste is HCl die als NaCl zich ophoopt. Alle componenten die inert zijn voor het systeem hopen zich op. De grootte van de spui dient hierop te worden afgestemd.
8. Het toegevoerde waterstof wordt maar voor een gedeelte benut. De overige waterstof borrelt uit de reactoren en zal met een compressor worden gerecirculeerd. De inerte gassen die daarbij aanwezig zijn (stikstof, methaan) hopen zich op. Hiervoor is spui nodig. Zo bepalen de inerte gassen de efficiency van de waterstof. Bij het gebruik van een aardgasinstallatie zal een grote spui nodig zijn (stikstof), waardoor een extra waterstofverbruik optreedt.
9. Het opstarten van het Paques systeem (normale opstart, dus niet de eerste opstart na bouw) duurt circa twee weken. Na 1 dag is de capaciteit 20 %, na 2 dagen 50 %. Het waswater dat niet kan worden behandeld zal moeten worden geloosd.
10. Volgens Paques zal het systeem niet snel 'onderuit gaan'. De micro-organismen zijn moeilijk te vermoorden. Hoogstens kan de activiteit worden beïnvloed, maar na korte tijd (1 uur) zullen ze weer op oude activiteit zijn.
11. De waterstofproductie is het meest kritische onderdeel van de installatie. Wanneer de waterstoftoevoer hapert zullen de micro-organismen afsterven.
12. Referenties met dit systeem inclusief gaswassing zijn de slibverbranding Boeldershoek en een proefinstallatie bij de Amercentrale. Volgens Paques waren de ervaringen bij de Amer goed. Deze installatie met een capaciteit van 6000 Nm³/uur heeft twee jaar gedraaid. Momenteel staat deze

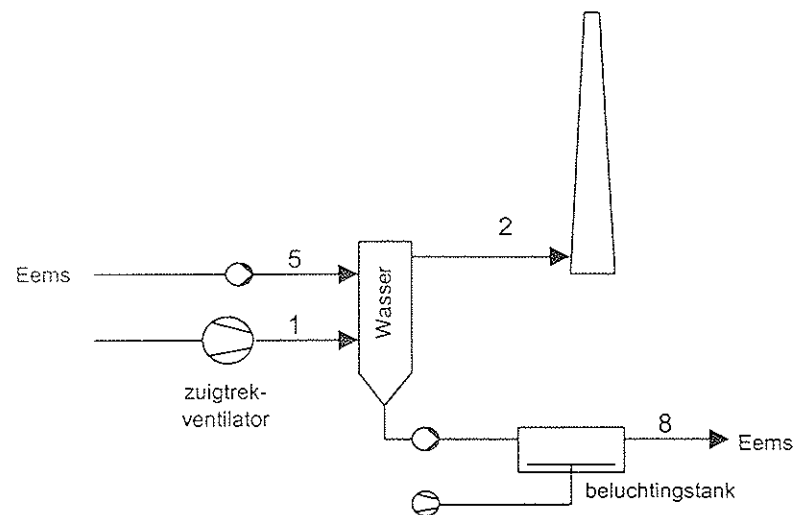
Haalbaarheidsstudie afgasontzwaveling Aldel

installatie op het terrein van Paques. Het Biostar-proces zou geen last hebben van fluoride, chloride en koolwaterstoffen.

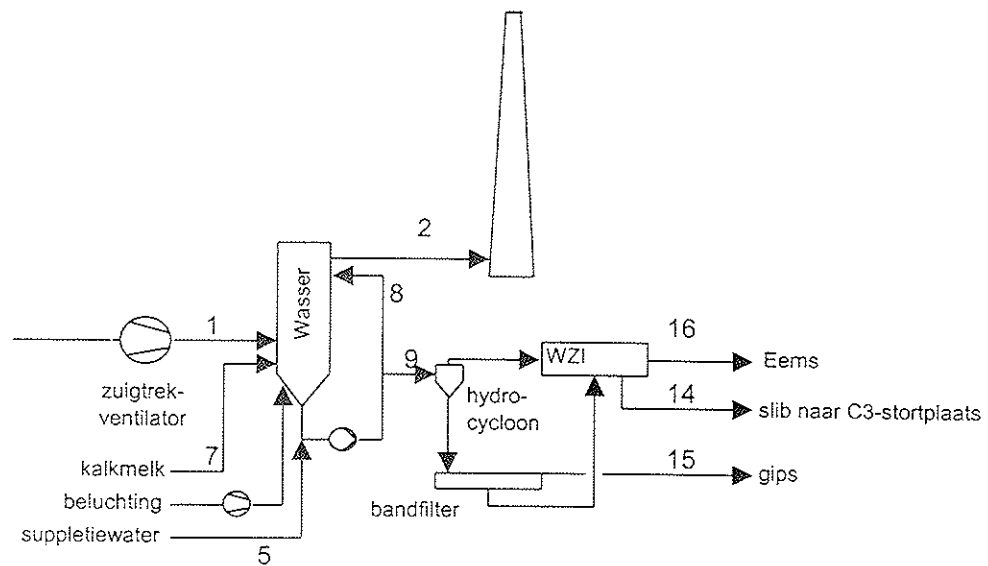
Bij Boeldershoek zijn veel problemen geweest. Dit kwam doordat bepaalde organische verbindingen in het gas zaten. De installatie voorafgaand aan het Biostar-proces is aangepast en Paques zal binnenkort het systeem weer opstarten. Binnen 3 maanden worden meetgegevens verwacht.

Bijlage II Massabalansen

GR-concept A



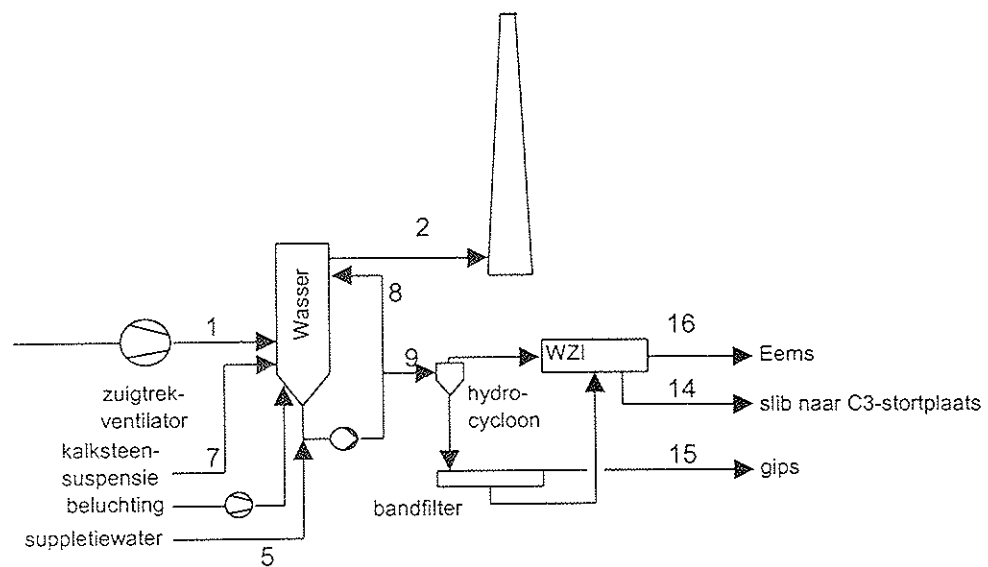
GR-concept B



Concept B (CaO wassing)

Stroomnummer		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
		vuil gas	schoon gas	water	aanmaakwater	waswater in	kalk	kalkmelk	circ water	waswater uit	NaOH	FeCl3	FHM	TMT15	slib	gips	effluent
Massastroom	van naar	2 211 426.7	2 254 233.9	49 534.2	1 663.7	47 870.5	231.1	1 894.8	7 439 571.1	7 342.9	3.7	7.3	44.1	0.7	82.0	713.7	6 603.0
Dichtheid	kg/h																
Dichtheid	kg/Nm ³	1.3	1.3														
Volumestroom	Nm ³ /h nat	1 740 000.0	1 791 394.3														
Volumestroom	Nm ³ /h dr.	1 703 460.0															
Volumestroom	m ³ /h	2 249 610.1	2 006 502.8														
Temperatuur	°C	80.0	32.8														
N ₂	kg/h	1 657 780.5	1 657 780.5														
O ₂	kg/h	506 008.2	506 008.2														
CO ₂	kg/h	17 203.1	17 203.1														
H ₂ O damp	kg/h	30 434.9	73 242.1														
SO ₂	kg/h	271.1	27.1														
HCl	kg/h	-	-														
HF	kg/h	2.3	0.5														
NO _x	kg/h	8.7	8.7														
totaal stof	kg/h	9.1	1.8						7 402.1	7.3					7.2		0.07
Zn	g/h	28.9	5.8						23 393.1	23.1					20.8		2.31
Ni	g/h	14.4	2.9						11 653.4	11.5					5.8		5.75
Pb	g/h	21.6	4.3						17 523.2	17.3					16.4		0.86
Cu	g/h	10.1	2.0						8 200.5	8.1					7.7		0.40
Sb	g/h	14.4	2.9						11 653.4	11.5					10.9		0.58
As	g/h	14.4	2.9						11 653.4	11.5					5.8		5.75
Cd	g/h	2.1	0.4						1 726.4	1.7					1.6		0.09
Cr	g/h	2.1	0.4						1 726.4	1.7					1.6		0.09
H ₂ O vloeistof	kg/h			49 534.2	1 663.7	47 870.5		1 594.2	6 748 830.3	6 661.2	1.8	6.6	44.0	0.6	53.2	70.7	6 590.4
CaO	kg/h						216.1	285.5									
Ca(OH) ₂	kg/h																
CaCO ₃	kg/h																
Mg(OH) ₂	kg/h																
Na ₂ CO ₃	kg/h																
met	kg/h						15.0	15.0	15 218.1	15.0					15.0		
NaOH	kg/h										1.8						
CaF ₂ vast	kg/h								3 608.5	3.6					3.6		
CaSO ₄ 2 H ₂ O totaal	kg/h								664 399.5	656.8					0.2	643.1	12.6
CaSO ₄ 2 H ₂ O opgelost	kg/h								19 932.0	19.7					0.2	7.0	12.6
CaSO ₄ 2 H ₂ O vast	kg/h								644 467.5	636.1						636.1	-
MgSO ₄	kg/h																
FeCl ₃	kg/h											0.7					
FHM	kg/h												0.0				
TMT15	kg/h													0.1			
Cl ⁻	kg/h																
F ⁻	kg/h																
Na ⁺	kg/h																
Totaal vast	kg/h								670 808.8	662.1					28.6	636.1	0.1
Totaal opgelost	kg/h								19 932.0	19.7					0.2	7.0	12.6
suspensie	g/kg								99.4	99.4							
opgelost	g/kg								3.0	3.0							

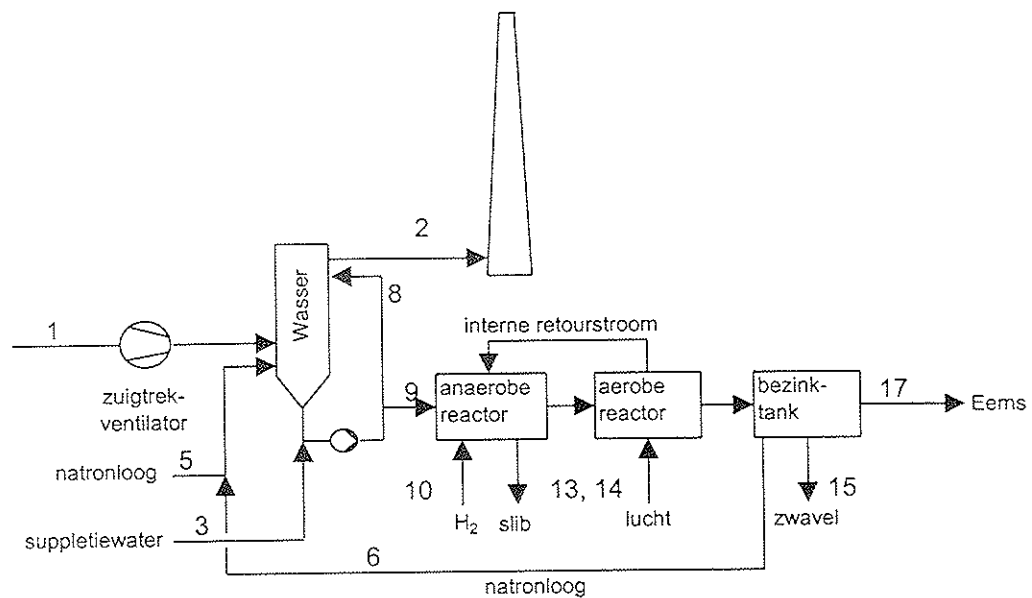
GR-concept C



Concept C (CaCO₃ wassing)

Stroomnummer		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
		vuil gas	schoon gas	water	aanmaakwater	waswater in	kalksteen	kalkst. susp.	circ. water	waswater uit	NaOH	FeCl ₃	FHM	TMT15	slib	gips	effluent
	van																
	naar																
Massastroom	kg/h	2 211 426,7	2 254 233,9	49 576,6	1 061,1	48 515,5	414,0	1 475,0	17 600 247,4	7 387,1	3,7	7,4	44,3	0,7	86,4	713,7	6 643,2
Dichtheid	kg/Nm ³	1,3	1,3														
Volumestroom	Nm ³ /h nat	1 740 000,0	1 791 394,3														
Volumestroom	Nm ³ /h dr	1 703 480,0															
Volumestroom	m ³ /h	2 249 610,1	2 006 502,8														
Temperatuur	°C	80,0	32,8														
N ₂	kg/h	1 657 780,5	1 657 780,5														
O ₂	kg/h	506 008,2	506 008,2														
CO ₂	kg/h	17 203,1	17 203,1														
H ₂ O damp	kg/h	30 434,9	73 242,1														
SO ₂	kg/h	271,1	27,1														
HCl	kg/h	-	-														
HF	kg/h	2,3	0,6														
NO _x	kg/h	8,7	8,7														
totaal stof	kg/h	9,1	1,8						17 406,8	7,3					7,2		0,07
Zn	g/h	28,9	5,8						55 011,3	23,1					20,8		2,31
Ni	g/h	14,4	2,9						27 404,2	11,5					5,8		6,75
Pb	g/h	21,6	4,3						41 207,7	17,3					16,4		0,86
Cu	g/h	10,1	2,0						19 284,4	8,1					7,7		0,40
Sb	g/h	14,4	2,9						27 404,2	11,5					10,9		0,58
As	g/h	14,4	2,9						27 404,2	11,5					5,8		5,75
Co	g/h	2,1	0,4						4 059,9	1,7					1,6		0,09
Cr	g/h	2,1	0,4						4 059,9	1,7					1,6		0,09
H ₂ O vloeistof	kg/h			49 576,6	1 061,1	48 515,5		1 061,1	15 972 231,7	6 703,8	1,8	6,6	44,3	0,6	56,1	70,7	6 630,5
CaO	kg/h																
Ca(OH) ₂	kg/h																
CaCO ₃	kg/h						397,4	397,4	28 405,0	11,9						11,9	
Mg(OH) ₂	kg/h																
Na ₂ CO ₃	kg/h																
merit	kg/h						16,6	16,6	39 451,4	16,6					16,6		
NaOH	kg/h										1,8						
CaF ₂ vast	kg/h								8 485,8	3,6					3,6		
CaSO ₄ 2 H ₂ O totaal	kg/h								1 562 407,0	655,8					0,2	643,0	12,8
CaSO ₄ 2 H ₂ O opgelost	kg/h								46 872,2	19,7					0,2	6,9	12,6
CaSO ₄ 2 H ₂ O vast	kg/h								1 515 534,6	636,1						636,1	
MgSO ₄	kg/h																
FeCl ₃	kg/h											0,7					
FHM	kg/h												0,0				
TMT15	kg/h													0,1			
Cl ⁻	kg/h																
F ⁻	kg/h																
Na ⁺	kg/h																
Totaal vast	kg/h						414,0	414,0	1 581 143,5	663,6					30,2	636,1	0,1
Totaal opgelost	kg/h								46 872,2	19,7					0,2	6,9	12,6
suspensie	g/kg							390,1	99,0	99,0							
opgelost	g/kg								2,9	2,9							

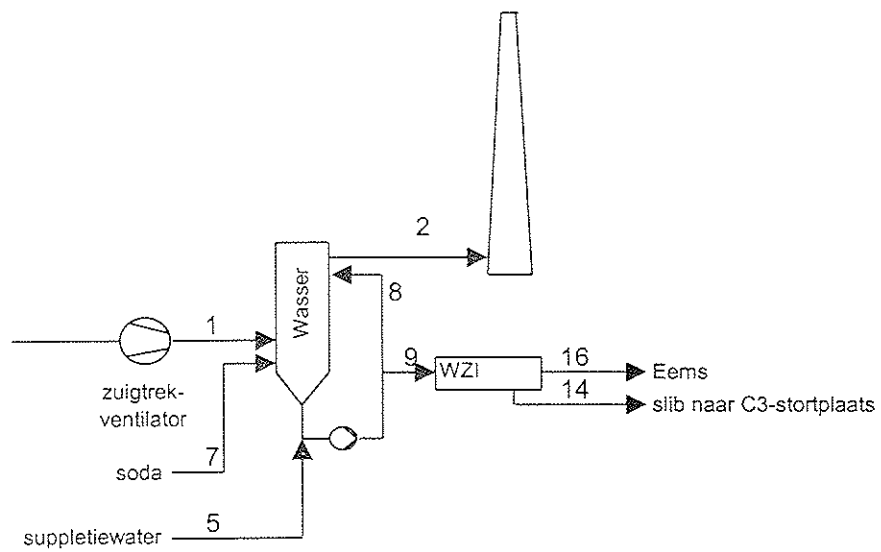
GR-concept D



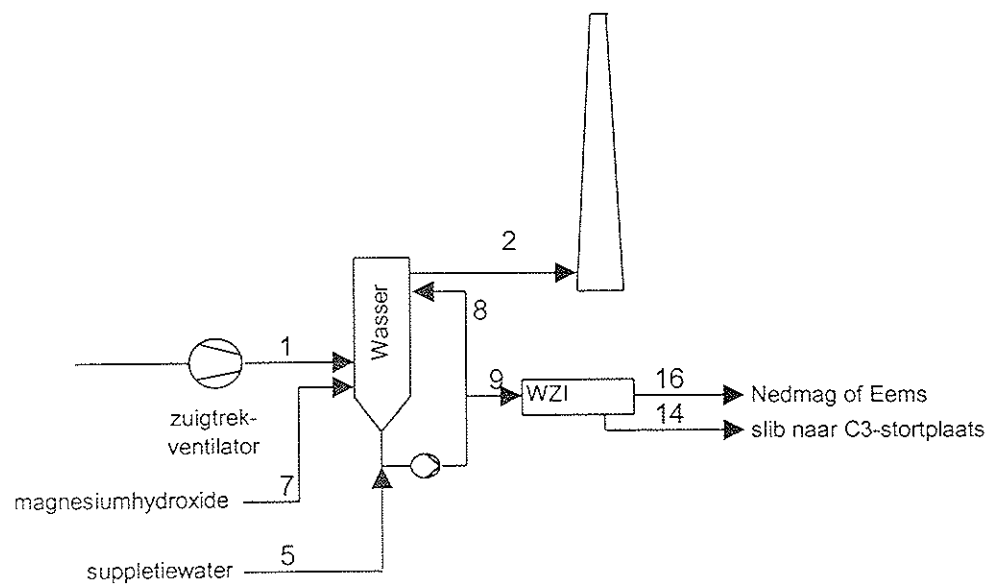
Concept D (Biestar)

Stroomnummer		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
		vuil gas	schoon gas	water		NaOH suppl	recirc WZI	benodigd NaOH	circ. water	waswater uit	H ₂	FeCl ₃	FHM	biof. slib	slib	zwavel	uit WZI	effluent	
van naar																			
Massastroom	kg/h	2 211 426.7	2 254 233.9	44 807.3		12.3	120 727.8	156.2	6 338 774.0	122 921.1	30.7	-	-	24.4	21.2	203.3	122 734.0	2 006.2	
Dichtheid	kg/Nm ³	1.3	1.3																
Volumestroom	Nm ³ /h nat	1 740 000.0	1 791 394.3																
Volumestroom	Nm ³ /h dr	1 703 460.0																	
Volumestroom	m ³ /h	2 249 610.1	2 006 502.8																
Temperatuur	°C	80.0	32.8																
N ₂	kg/h	1 657 780.5	1 657 780.5																
O ₂	kg/h	506 008.2	506 008.2																
CO ₂	kg/h	17 203.1	17 203.1																
H ₂ O damp	kg/h	30 434.9	73 242.1																
SO ₂	kg/h	271.1	27.1																
HCl	kg/h	-	-																
HF	kg/h	2.3	0.5																
NO _x	kg/h	8.7	8.7																
Totaal stof	kg/h	9.1	1.8				0.1		380.5	7.4					7.3		0.07	0.00	
Zn	g/h	28.9	5.8				2.5		1 320.6	25.6					23.0		2.56	0.04	
Ni	g/h	14.4	2.9				11.1		1 167.2	22.6					11.3		11.32	0.18	
Pb	g/h	21.6	4.3				0.9		938.0	18.2					17.3		0.91	0.01	
Cr	g/h	10.1	2.0				0.4		439.0	8.5					8.1		0.43	0.01	
Sn	g/h	14.4	2.9				0.6		623.8	12.1					11.5		0.60	0.01	
As	g/h	14.4	2.9				11.1		1 167.2	22.6					11.3		11.32	0.18	
Cd	g/h	2.1	0.4				0.1		92.4	1.8					1.7		0.09	0.00	
Cr	g/h	2.1	0.4				0.1		92.4	1.8					1.7		0.09	0.00	
H ₂ O vloeistof	kg/h			44 807.3		6.1	120 357.5		6 298 908.3	122 148.1					13.8	81.3	122 357.5	2 000.0	
CaO	kg/h						-												
Ca(OH) ₂	kg/h						-												
CaCO ₃	kg/h						-												
Mg(OH) ₂	kg/h						-												
Na ₂ CO ₃	kg/h						-												
H ₂	kg/h						-				30.7								
NaOH	kg/h					6.1	150.0	156.2										152.5	2.5
CaF ₂ vast	kg/h						-												
Na ₂ SO ₄	kg/h						-		27 918.3	541.4									
S ₂	kg/h						-									122.0			
CaSO ₄ 2 H ₂ O vast	kg/h						-												
MgSO ₄	kg/h						-												
FeCl ₃	kg/h						-												
FHM	kg/h						-												
FMT15	kg/h						-												
Cl ⁻	kg/h						-												
NaF	kg/h						220.3		11 559.2	224.2					0.0	0.1	224.0	3.7	
Na ⁺	kg/h						-		388.1	7.5					7.4	122.0			
Totaal vast	kg/h						-		38 477.5	765.5					0.0	0.1	376.5	6.2	
Totaal opgelost	kg/h						370.3		0.1	0.1									
suspensie	g/kg						3.0		6.3	6.3									
opgelost	g/kg						-											3.1	0.1

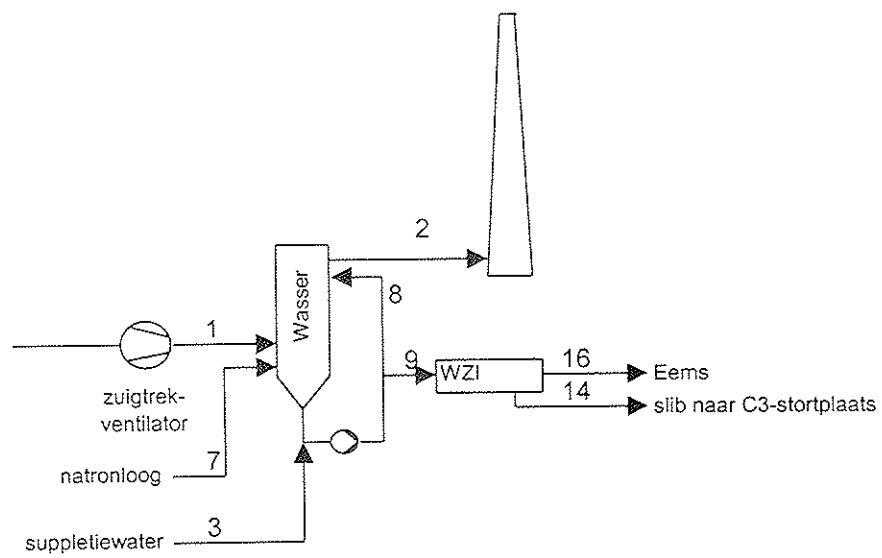
GR-concept E



GR-concept F



GR-concept G



Concept G (NaOH wassing chem/fys)

Stroomnummer		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
		vuil gas	schoon gas	water				tot NaOH	circ. water	waswater uit	NaOH	FeCl3	FHM	TMT15	slib	gips	effluent
van																	
naar																	
Massastroom	kg/h	2 211 426.7	2 254 233.9	51 511.9				617.3	6 681 984.1	9 639.7	4.8	9.6	57.8	1.0	32.3	-	10 224.6
Dichtheid	kg/Nm ³	1.3	1.3														
Volumestroom	Nm ³ /h nat	1 740 000.0	1 791 394.3														
Volumestroom	Nm ³ /h dr	1 703 460.0															
Volumestroom	m ³ /h	2 249 610.1	2 006 502.8														
Temperatuur	°C	80.0	32.8														
N ₂	kg/h	1 657 780.5	1 657 780.5														
O ₂	kg/h	506 008.2	506 008.2														
CO ₂	kg/h	17 203.1	17 203.1														
H ₂ O damp	kg/h	30 434.9	73 242.1														
SO ₂	kg/h	271.1	27.1														
HCl	kg/h	-	-														
HF	kg/h	2.3	0.5														
NO _x	kg/h	8.7	8.7														
Totaal stof	kg/h	9.1	1.8						5 064.3	7.3					7.2		0.07
Zn	g/h	28.9	5.8						16 004.7	23.1					20.6		2.31
Ni	g/h	14.4	2.9						7 972.8	11.5					5.8		5.75
Pb	g/h	21.6	4.3						11 988.8	17.3					16.4		0.86
Cu	g/h	10.1	2.0						5 610.5	8.1					7.7		0.40
Sb	g/h	14.4	2.9						7 972.8	11.5					10.9		0.58
As	g/h	14.4	2.9						7 972.8	11.5					5.8		5.75
Cd	g/h	2.1	0.4						1 181.2	1.7					1.6		0.09
Cr	g/h	2.1	0.4						1 181.2	1.7					1.6		0.09
H ₂ O vloeistof	kg/h			51 511.9				308.7	6 298 908.3	9 087.1	2.4	8.7	57.8	0.8	20.2		9 136.5
CaO	kg/h																
Ca(OH) ₂	kg/h																
CaCO ₃	kg/h																
Mg(OH) ₂	kg/h																
Na ₂ CO ₃	kg/h																
vert	kg/h							308.7			2.4						
NaOH	kg/h																
CaF ₂ vast	kg/h																
Na ₂ SO ₄	kg/h								375 275.8	541.4					1.2		540.2
CaSO ₄ 2 H ₂ O opgelost	kg/h																
CaSO ₄ 2 H ₂ O vast	kg/h																
MgSO ₄	kg/h																
FeCl ₃	kg/h											1.0					
FHM	kg/h												0.1				
TMT15	kg/h													0.1			
Cl ⁻	kg/h																
NaF	kg/h								2 658.7	3.8							3.8
Na ⁺	kg/h																
Totaal vast	kg/h								5 141.3	7.4					10.9	-	0.1
Totaal opgelost	kg/h							308.7	377 934.5	545.2					1.2	-	544.0
suspensie	g/kg								0.8	0.8							
opgelost	g/kg								60.0	60.0							

Bijlage III Toelichting verbruikcijfers en investeringsramingen

Verbruikcijfers

Het elektriciteitsverbruik van concept A is gebaseerd op een budgetprijs offerte van Alstom Power, concepten D en E zijn gebaseerd op budgetprijs offertes van HTS. De overige concepten zijn hiervan afgeleid. De grootste elektriciteitsverbruikers zijn de circulatiepompen van de wasser. Het circulatiedebiet wordt bepaald door de L/G-verhouding in de wasser. De L/G-verhouding is afhankelijk van het toegepaste neutralisatiemiddel. Bij concept D zijn de voedingspomp van de WZI en de beluchtingscompressoren grote verbruikers.

Om het drukverlies van de wasser te compenseren dienen de vijf ventilatoren meer vermogen te leveren. Het extra elektriciteitsverbruik is geschat op 250 kW per ventilator, in totaal dus 1250 kW. De wasser van concept A bevat een pakking en zal derhalve een groter drukverlies hebben. Het verbruikcijfer van de boosterfan, zoals vermeld in de offerte, is hiervoor gekozen. Een andere grote verbruiker bij concept A is de pomp van het zeewaterinnamestation. Het verbruik van deze pomp is geschat op 500 kW, gebaseerd op een leiding van 600 m en een statische opvoerhoogte van 5 m.

Tabel III-1 geeft een overzicht van het elektriciteitsverbruik per component.

Tabel III-1 Elektriciteitsverbruik per concept

	Elektriciteitsverbruik (kWh/h)
Concept A (zeewater)	2390
Concept B (kalk)	1800
Concept C (kalksteen)	2350
Concept D (Biostar)	1850
Concept E (soda)	1910
Concept F (magnesiumhydroxide)	1800
Concept G (natronloog)	1750

In de winter kan het voorkomen dat het te behandelen waswater kouder wordt dan 30 °C. Bij concept D (Biostar) dient het biologisch te behandelen water een minimale temperatuur van 30 °C te hebben. Dit betekent dat gedurende die periode het water verwarmd dient te worden. Gekozen is om dit te doen met aardgas. Om het aardgasverbruik in te schatten is van het volgende scenario uitgegaan:

- 123 m³/uur te verwarmen water;
- 26 °C watertemperatuur;
- 5 °C opwarming;
- 3000 uur per jaar bedrijfstijd.

Dit resulteert in een benodigd gasverbruik van 95 Nm³/uur of 285.000 Nm³/jaar.

De mogelijkheid bestaat misschien om warmte die ontstaat in de aërobe reactor te gebruiken voor het verwarmen van het waswater (zie bijlage I). Ook is aan te bevelen om te zoeken naar restwarmtebronnen.

Industriewater is gekozen als suppletiewater. Het aanwezige (brakke) bronwater heeft een hoog chloridegehalte. Het hoge chloridegehalte en het indikkingseffect in de wasser heeft een groter waterverbruik tot gevolg en daardoor zal de WZI ook groter moeten worden gedimensioneerd.

Investeringsramingen

De post 'modificatie ventilatoren (CW)' is gebaseerd op een kostenraming (Optie-2) van Tebodin van september 2000 en omvat werktuigbouwkundige en civiel/bouwkundige werken voor het modificeren van vier bestaande ventilatoren en het in lijn plaatsen van een nieuwe ventilator met de vier bestaande ventilatoren. De post 'E-aansluitkosten ventilatoren' is gebaseerd op een opgave van Aldel.

Diverse leveranciers zijn benaderd voor budgetprijzen voor de diverse concepten. Alleen Alstom Power was bereid om een aanbieding te doen voor het zeewaterproces. Andere leveranciers waren niet geïnteresseerd om in dit stadium een aanbieding te doen, mede doordat HTS en Aldel beide onderdeel zijn van Corus.

De investering voor Concept A is gebaseerd op een budgetprijsofferte van Alstom Power. Voor aansluiting van utilities (water, E/I, lucht) is een bedrag geraamd van DFL 1.000.000,-. Dit is overigens voor alle concepten gelijk gesteld.

Voor de fundering van de wastoren en de pompen is DFL 2.000.000,- geraamd.

Op basis van gegevens van Aldel is de investering van het zeewaterinnamestation geraamd op DFL 27.000.000,-.

De investering voor Concept D is gebaseerd op een budgetprijsofferte van HTS/Paques van 5 januari 1998. Het offertebedrag was DFL 12.000.000,- +/- 30 %. Vergeleken met de andere offertes lijkt dit bedrag aan de lage kant. Daarom is het bedrag met 30 % verhoogd en is rekening gehouden met een prijsescalatie van 3 % per jaar. Door de grote biologische reactoren is de investering voor de civiel/bouwkundige voorzieningen hoger geraamd dan voor de andere concepten.

De investering voor Concept E is gebaseerd op een budgetprijsofferte van HTS van 1 december 1999. Het offertebedrag was DFL 15.000.000,-. Het bedrag is 3 % verhoogd vanwege prijsescalatie. De investering voor de civiel/bouwkundige voorzieningen is hoger dan voor concept A vanwege de chemisch/fysische waterzuiveringsinstallatie en opslag- en oplosfaciliteiten voor soda.

De investeringen voor de chemisch/fysische waterzuiveringsinstallatie voor Concepten B, C, E, F en G zijn gebaseerd op een kostenmodel voor afvalverbrandingsinstallaties (inclusief RGR en WZI) dat Tebodin voor TNO heeft gemaakt. De input voor de kostenfunctie is het ingangsbied dat volgt uit de massabalansen.

De investeringen voor Concepten B, C, F en G zijn afgeleid van de andere concepten. Daarbij is rekening gehouden met meer-/minderkosten ten gevolge van andere apparaten (onder andere opslag- en aanmaakvoorzieningen, gipsafscheiding, pompcapaciteit).

Bij de gevoeligheidsanalyse is de invloed van het plaatsen van vijf kleinere wassers ten opzichte van één wasser aangegeven. Dit is op de volgende manier tot stand gekomen.

De post 'modificatie ventilatoren (CW)' is gebaseerd op een kostenraming (Optie-4) van Tebodin van september 2000.

Verder is alleen de post 'package unit wasser c.a.' gewijzigd.

Bij kostenramingen voor het op/afschalen van procesinstallaties wordt de volgende formule gehanteerd: $I_2/I_1 = (C_2/C_1)^R$, waarin I_2 en I_1 de kosten zijn en C_2 en C_1 de corresponderende capaciteiten. De factor R kan worden bepaald aan de hand van gegevens van gerealiseerde installaties. In de literatuur zijn van allerlei procesinstallaties factoren te vinden. Voor rookgasontzwaveling ligt deze factor rond de 0,72¹.

De nieuwe investeringen zijn berekend door de oude investeringen af te schalen en te vermenigvuldigen met 5. De uitkomsten zijn in tabel III-2 weergegeven. De resulterende jaarlijkse exploitatiekosten zijn te vinden in tabel III-3.

Tabel III-2 Overzicht investeringen gebaseerd op vijf wassers

	Concept A zeewater	Concept B kalk	Concept C kalksteen	Concept D Biostar	Concept E soda	Concept F Mg(OH) ₂	Concept G natronloog
<i>Directe investeringen</i>							
modificatie ventilatoren (C/W)	7 672 000	7 672 000	7 672 000	7 672 000	7 672 000	7 672 000	7 672 000
E-aansluitkosten ventilatoren	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000	200 000
package unit wasser c.a.	28 675 000	34 100 000	36 425 000	25 575 000	24 025 000	24 025 000	20 150 000
aansluiting utilities	1 000 000	1 000 000	1 000 000	1 000 000	1 000 000	1 000 000	1 000 000
civiel/bouwk. voorzieningen	2 000 000	4 000 000	4 000 000	5 000 000	3 500 000	3 000 000	3 000 000
zeewaterinnamestation	27 000 000	-	-	-	-	-	-
Totale directe investering	66 547 000	46 972 000	49 297 000	39 447 000	36 397 000	35 897 000	32 022 000
Indirecte investering	16 636 750	11 743 000	12 324 250	13 806 450	9 099 250	8 974 250	8 005 500
Totale investering	83 183 750	58 715 000	61 621 250	53 253 450	45 496 250	44 871 250	40 027 500
Totale investering (incl. WZI)	83 183 750	64 965 000	67 871 250	53 253 450	52 996 250	48 621 250	47 527 500

¹ Donald S. Remer and Lawrence H. Chai, Chemical Engineering, April 1990

Estimate costs of scaled-up process plants

Tabel III-3 Jaarlijkse exploitatiekosten gebaseerd op vijf wassers

	Concept A zeewater	Concept B kalk	Concept C kalksteen	Concept D Biostar	Concept E soda	Concept F Mg(OH) ₂	Concept G natronloog
<i>Variabele kosten</i>							
Elektriciteit	1 256 000	946 000	1 235 000	972 000	1 004 000	946 000	920 000
Water		608 000	609 000	550 000	637 000	558 000	633 000
Kalk		395 000	-	-	-	-	-
Kalksteen		-	297 000	-	-	-	-
Natronloog		7 000	7 000	23 000	-	3 000	1 172 000
Soda		-	-	-	1 295 000	-	-
Magnesiumhydroxide		-	-	-	-	831 000	-
Waterstof		-	-	1 496 000	-	-	-
Aardgas		-	-	85 500	-	-	-
FeCl ₃		5 000	5 000	-	7 000	2 000	7 000
FHM		2 000	2 000	-	3 000	1 000	3 000
TMT15		32 000	32 000	-	41 000	13 000	41 000
Afvoer slib		194 000	204 000	50 000	88 000	122 000	77 000
Lozing/afvoer water	p.m.	8 000	8 000	2 000	12 000	-	13 000
Afvoer gips/zwavel/MgSO ₄		625 000	625 000	534 000	-	396 000	-
Totaal variabele kosten	1 256 000	2 822 000	3 025 000	3 628 000	3 088 000	2 872 000	2 865 000
<i>Vaste kosten</i>							
Personeel	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000
Onderhoud	1 670 250	1 173 000	1 242 750	767 250	900 750	810 750	784 500
Kapitaalslasten	8 873 000	6 930 000	7 240 000	5 680 000	5 653 000	5 186 000	5 070 000
Totaal vaste kosten	11 043 000	8 603 000	8 982 000	6 948 000	7 054 000	6 497 000	6 354 000
Totale jaarlijkse kosten	12 299 000	11 425 000	12 007 000	10 576 000	10 142 000	9 369 000	9 219 000

Bijlage IV Cijfermatige integrale milieubeoordeling

In de tabel op de volgende pagina's is een overzicht gegeven van de cijfermatige milieubeoordeling.

Haalbaarheidsstudie afgasontzwaveling Aidel

	Eenheid	Vergelijkende waarde industrie	Concept A zeewater	Concept B kalk	Concept C kalksteen	Concept D Biostar	Concept E soda	Concept F Mg(OH) ₂	Concept G natronloog	Actueel
Broeikaseffect										
Elektriciteitsverbruik	kWh/jaar		20 936 400	15 768 000	20 586 000	16 206 000	16 731 600	15 768 000	15 330 000	
Aardgas verbruik	m ³					285 000				
Productie CO ₂	ton eq	0,57 kg/kWh	11 934	8 988	11 734	9 802	9 537	8 988	8 738	
Gewicht industrie	%	44,2 Mton	-0.027	-0.020	-0.027	-0.022	-0.022	-0.020	-0.020	
Verzuring										
			reductie	reductie	reductie	reductie	reductie	reductie	reductie	emissie
Productie SO ₂	ton/jaar	0,21 kg/kWh	4	3	4	3	4	3	3	
Verwijderd SO ₂	ton/jaar		2138	2138	2138	2138	2138	2138	2138	2375
SO ₂ emissie lucht	ton/jaar		238	238	238	238	238	238	238	
SO ₂ eq. water	ton/jaar		2138	41	41	0	2132	0	2133	
Besparing verzuring	Aeq	0,0313 Aeq	67	67	67	67	67	67	67	74
Gewicht industrie	%	2600 Aeq	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.9
Verdroging										
waterverbruik	m ³ /jaar		40 286 565	434 363	434 737	392 512	455 161	398 262	451 827	
afvalwater	m ³ /jaar		39 914 861	57 843	58 194	17 574	84 773	0	89 567	
Balans oppervlaktewater	m ³ /jaar		-371 705	57 843	58 194	17 574	84 773	0	89 567	
Balans drinkwaterwinning	m ³ /jaar			-434 363	-434 737	-392 512	-455 161	-398 262	-451 827	

Haalbaarheidsstudie afgasontzwaveling Aldel

	Eenheid	Vergelijkende waarde industrie	Concept A zeewater	Concept B kalk	Concept C kalksteen	Concept D Biostar	Concept E soda	Concept F Mg(OH) ₂	Concept G natronloog	Actueel
Verspreiding water			emissie	emissie	emissie	emissie	emissie	emissie	emissie	
Zw.met toename water	kg/jaar		757	139	139	4	139	139	139	139
Zn	kg/jaar		202	20	20	0	20	20	20	20
Ni	kg/jaar		101	50	50	2	50	50	50	50
Pb	kg/jaar		152	8	8	0	8	8	8	8
Cu	kg/jaar		71	4	4	0	4	4	4	4
Sb	kg/jaar		101	5	5	0	5	5	5	5
As	kg/jaar		101	50	50	2	50	50	50	50
Cd	kg/jaar		15	1	1	0	1	1	1	1
Cr	kg/jaar		15	1	1	0	1	1	1	1
Zn	%	74 400	-0.27	-0.03	-0.03	0.00	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03
Ni	%	23 600	-0.43	-0.21	-0.21	-0.01	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21
Pb	%	9 110	-1.66	-0.08	-0.08	0.00	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08
Cu	%	21 500	-0.33	-0.02	-0.02	0.00	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02
Sb	%	527	-19.12	-0.96	-0.96	-0.02	-0.96	-0.96	-0.96	-0.96
As	%	2 210	-4.56	-2.28	-2.28	-0.07	-2.28	-2.28	-2.28	-2.28
Cd	%	641	-2.33	-0.12	-0.12	0.00	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12
Cr	%	27 800	-0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Recycling										
hergebruik gips (90% ds)	ton/jaar			6252	6252					
hergebruik zwavel (60% ds)	ton/jaar					1781				
hergebruik MgSO ₄ (15%)	ton/jaar							26 411		

Haalbaarheidsstudie afgasontzwaveling Aldel

	Eenheid	Vergelijkende waarde industrie	Concept A zeewater	Concept B kalk	Concept C kalksteen	Concept D Biostar	Concept E soda	Concept F Mg(OH) ₂	Concept G natronloog	Actueel
Afvai										
te storten slib (35% ds)	ton/jaar			718	757	186	326	452	283	
te storten biol.slib (35% ds)	ton/jaar					214				
Gewicht (Gestort in 1995)	%	3 050 000		0.00024	0.00025	0.00013	0.00011	0.00015	0.00009	

Kosteneffectiviteitsberekeningen

De berekening van de operationele kosten is in principe gelijk als de methode die is toegepast in hoofdstuk 4. Alleen de methode van het berekenen van kapitaalslasten is anders. De afschrijvingstermijnen volgens de 'Methodiek Milieukosten' van het Ministerie van VROM zijn voor het elektromechanische gedeelte 10 jaar en voor het bouwkundig gedeelte 25 jaar. Voor de rentevoet dient de reële kapitaalmarktrente plus opslag worden aangehouden, deze is op 5 % gesteld. De kapitaalslasten worden op basis van de annuïteitenmethode berekend. De resultaten zijn in de onderstaande tabel weergegeven.

	Concept A zeewater	Concept B kalk	Concept C kalksteen	Concept D Biostar	Concept E soda	Concept F Mg(OH) ₂	Concept G natronloog
<i>Variabele kosten</i>							
Elektriciteit	1 256 184	946 080	1 235 160	972 360	1 003 896	946 080	919 800
Water	-	608 108	608 632	549 516	637 226	557 567	632 557
Chemicaliën	-	441 008	343 906	1 519 400	1 346 604	850 432	1 223 411
Afvoer slib	-	193 836	204 358	50 170	88 035	121 962	76 502
Lozing/afvoer water	p.m.	8 098	8 147	2 460	11 868	-	12 539
Afvoer gips/zwavel/MgSO ₄	-	625 228	625 189	534 375	-	396 166	-
Totaal variabele kosten	1 256 184	2 822 359	3 025 392	3 628 281	3 087 628	2 872 206	2 864 809
<i>Vaste kosten</i>							
Personeel	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000
Onderhoud	1 365 000	810 000	855 000	495 000	645 000	555 000	570 000
Kapitaalslasten E/M	8 478 017	5 483 224	5 726 045	4 086 154	4 592 880	4 107 238	4 188 178
Kapitaalslasten C/B	354 762	532 143	532 143	670 501	487 798	443 453	443 453
Totaal vaste kosten	10 697 779	7 325 367	7 613 188	5 751 655	6 225 678	5 605 690	5 701 631
Totale jaarlijkse kosten	11 953 963	10 147 726	10 638 580	9 379 936	9 313 306	8 477 897	8 566 440

Per jaar wordt er 2140 ton SO₂ verwijderd door de verschillende concepten. Dit resulteert in de volgende kosten per ton vermeden SO₂.

	Kosten per kg vermeden SO ₂ -emissie in guldens
A. Zeewater	5,6
B. Kalk	4,7
C. Kalksteen	5,0
D. Biostar	4,4
E. Soda	4,4
F. Mg(OH) ₂	4,0
G. Natronloog	4,0