Postbus 95928
2509 CX Den Haag

Bezuidenhoutseweg 62
2594 AW Den Haag

Telefoon (070) 3150150
Fax (070) 3150195

Stichting Advisering Bestuursrechtspraak

voor Milieu en Ruimtelijke Ordening

AAN: Het Gerecht in eerste aanleg van de
Nederlandse Antillen
t.a.v. mr. E.P. van Unen
Wilhelminaplein 4
Willemstad
Curaçao

Uw kenmerk	Uw opdracht	Kenmerk	Datum
KG 403/2006	30 juni 2008	StAB/38129/R	23 januari 2009

Onderwerp
Geschil tussen Stichting Humanitaire Zorg Curaçao c.s. en Refineria Isla (Curazao) S.A.

In reactie op uw aanvullende onderzoeksopdracht van 30 juni 2008 ontvangt u hierbij het gevraagde verslag.

De directeur,

mr. G.P.I.M. Wuisman

CONCEPT DESKUNDIGENBERICHT

Opdrachtgever	:	Het Gerecht in eerste aanleg van de Nederlandse Antillen
Kenmerk opdrachtgever	:	KG 403/2006
Datum opdracht	:	30 juni 2008
Kenmerk StAB	:	StAB/38129/R
Opstellers	:	dhr. ing. E.P. Feringa en mw. ing. C.P.J. Weemaes
Datum	:	23 januari 2009

LEESWIJZER

Dit verslag is een aanvulling op het door StAB uitgebrachte verslag (StAB/37939/R) van 16 juni 2008 met de bijbehorende bijlagen 1 t/m 23. Om onduidelijkheden ten aanzien van eventuele verwijzingen door ons of door partijen te voorkomen, worden de bijlagen in dit verslag aansluitend op de bijlagennummering van het verslag van 16 juni 2008 doorgenummerd, beginnend met bijlage 24. Eveneens geldt dit voor de aan het dossier toegevoegde stukken. Deze worden doorgenummerd, beginnend met StAB-11.

In het verslag wordt eerst ingegaan op de SO_2-emissie van Isla. Daarbij komen achtereenvolgens aan de orde:

- De SO_2-emissie volgend uit het verslag van 16 juni 2008 (hoofdstuk 1),
- De nadere vraagstelling betreffende de SO_2-emissie (hoofdstuk 2),
- De procedure en werkwijze (hoofdstuk 3),
- De beantwoording van de vragen betreffende de SO_2-emissie (hoofdstuk 4).

Vervolgens komen in de hoofdstukken 5 t/m 8 de te treffen maatregelen ter beperking van zowel de structurele emissies als de niet structurele (fakkel)emissies aan de orde. Daarbij wordt dezelfde volgorde van beschouwing gehanteerd als voor de structurele SO_2-emissie.

1. VOORGESCHIEDENIS: SO_2-EMISSIE VOLGENS VERSLAG 16 JUNI 2008

1.1 Structurele emissie van SO_2

De maatgevende jaargemiddelde immissienorm voor SO_2 (zwaveldioxide) is in de onderzochte jaren 2001, 2005 en 2007 overschreden als gevolg van de emissies door Isla. Dit volgt uit de vaststelling dat juist ten westen van het raffinaderijterrein op de referentielocatie, te weten: de voor publiek toegankelijke Joodse begraafplaats, een hogere immissieconcentratie optreedt dan maximaal is toegestaan op grond van artikel 6.3 van Attachment F (80 $\mu g/m^3$ jaargemiddeld). Hierbij is uitsluitend uitgegaan van de SO_2-emissie door Isla, dus met buiten beschouwing laten van de andere bronnen: de BOO-centrale van CUC en de centrales van Aqualectra.

1.2 Wijze van beschouwing van de SO_2-emissies

Op basis van de in- en uitgaande stromen blijkt dat van de 202 kiloton zwavel die in het jaar 2007 via de crude de raffinaderij binnen komt, 73% de raffinaderij verlaat als zwavelcomponent in de producten, 20% als elementair zwavel wordt teruggewonnen en 7% naar de lucht geëmitteerd wordt. Deze 7% is gelijk aan 14.2 kiloton zwavel, wat resulteert in een emissie van 28.3 kiloton SO_2. Deze emissie is voor 75% toe te schrijven aan het brandstofgebruik door Isla en voor de overige 25% betreft het procesemissies. Deze emissie is in het verslag van 16 juni vervolgens gedifferentieerd naar de diverse installaties van de raffinaderij. Daarbij is rekening gehouden met:

1. specifieke gegevens als afvoerhoogte, locatie en rookgastemperatuur,
2. terreingegevens met daarin de hoogteverschillen,
3. locale meteorologische omstandigheden.

Na verdeling van de emissie over de diverse installaties is met behulp van een verspreidingsmodel berekend welke immissieniveaus optreden rond de raffinaderij. Dit is weergegeven in een (iso-)contour. Dat is een lijn die de punten van gelijke immissiewaarden verbindt en die zich met de overheersende windrichting mee uitstrekt over de omgeving. Binnen de contour is de immissiewaarde hoger dan de waarde van de contourlijn. Zodoende geeft een grenswaarde-contour duidelijk aan welk gebied zich onder en boven de norm bevindt. Met het Amerikaanse AERMOD model is de iso-contour van de jaargemiddelde immissiewaarde van 80 microgram per m^3 bepaald.

1.3 Meteo-gegevens leiden tot verschillen in uitkomst StAB/Isla

De berekening is zowel door StAB als door Isla uitgevoerd. Daarbij is gebleken dat de omvang van de door StAB respectievelijk Isla berekende immissies en het daaruit volgende gebied waarbinnen de norm wordt overschreden, belangrijk van elkaar verschillen (zie bijlage 24). Na wederzijdse verificatie is vast komen te staan dat het verschil geheel is toe te schrijven aan de gebruikte meteorologische gegevens waarvan het AERMOD programma in de vorm van twee bestanden gebruik maakt. Gebleken is dat in de hiervoor onder 1 en 2 genoemde gegevens en de gebruikte rekenprogrammatuur geen verschillen zitten.

In het verslag StAB/37939/R is vastgesteld dat op basis van de berekening door StAB een reductie met 60% noodzakelijk is, op basis van de Isla-berekening volstaat een reductie met 40%. Op de zitting van 30 juni 2008 heeft de StAB in een presentatie aangegeven dat voor een emissiereductie met 60 in plaats van 40% een investering van rond de 100 miljoen US dollar nodig is. Afhankelijk van de keuze (bronmaatregel in de vorm van schonere brandstoffen danwel het toepassen van een rookgaswasser) zijn dit respectievelijk jaarlijks terugkerende kosten of éénmalige investeringskosten waarbij jaarlijks nog variabele kosten gemaakt dienen te worden.

2. DE NADERE VRAAGSTELLING INZAKE DE SO_2-EMISSIE

Op de zitting van 30 juni 2008 heeft de president, met instemming van partijen, de opdracht aan ons als deskundigen voor wat betreft de structurele SO_2-emissie als volgt uitgebreid:

1. Een onderzoek doen naar en advies geven over de juiste (althans meest plausibele) meteorologische gegevens en de daarbij optredende immissies.
2. Het vaststellen van de uit de (eventueel: aan de hand van de juiste meteorologische gegevens gewijzigde) immissieberekeningen voortvloeiende benodigde emissiereductie van Isla.

3. PROCEDURE EN WERKWIJZE BEANTWOORDING VRAGEN 1 EN 2

3.1 Meteo-gegevens

Met betrekking tot het gebruik van de juiste/meest plausibele meteorologische gegevens hebben wij diverse consultants geraadpleegd. Kortheidshalve verwijzen wij hierover naar de voortgangsrapportages die wij per e-mail aan de president hebben toegestuurd. De consultaties hebben geleid tot de keuze voor het Nederlandse Meteo Consult. Meteo Consult bleek de meest transparante en verifieerbare werkwijze te hanteren. Bovendien zouden de uitkomsten het meest aansluiten bij de lokale waarnemingen betreffende het weer.

3.2 Immisieberekeningen

De immissieberekeningen en het onderzoek voor de beantwoording van de tweede onderzoeksvraag hebben wij zelf uitgevoerd. Naast de meteogegevens bleken er op het gebied van de overige gegevens en methodiek geen verschillen van inzicht tussen StAB en Isla te bestaan.

3.3 Grondslag beantwoording vraag 2

Op 30 augustus 2008, 2 maanden na de zitting, heeft StAB een afschrift ontvangen van een e-mailbericht van de raadsman van Isla, mr. T. Claassens, gericht aan de president. Dit bericht bevat het rapport "SO_2 and flaring reduction short and mid term program" (door ons in het vervolg aangeduid als het emissiereductieprogramma) dat aan het dossier is toegevoegd als StAB-11.
Voor de beantwoording van vraag 2 hebben wij, voor de meest actuele informatie over de voortgang van de te treffen maatregelen, gebruik gemaakt van dit document.

4. BEANTWOORDING VAN DE ONDERZOEKSVRAGEN 1 EN 2

4.1. Herziene meteogegevens

Om de verspreidingsberekeningen te maken, heeft het AERMOD model twee bestanden met meteorologische informatie nodig. Normaal worden deze bestanden met het programma AERMET geproduceerd op basis van observaties. Omdat de kwaliteit van de met AERMET geproduceerde bestanden niet toereikend was hebben wij Meteo Consult verzocht de twee bestanden te produceren. Het betreft een zogenaamd “surface bestand” met de extensie .SFC en een “profile bestand” met de extensie .PFL. Het surface bestand en het profile bestand hebben een vast formaat.

Voor het produceren van de meteorologische bestanden is door Meteo Consult gebruik gemaakt van twee bestanden met observatiewaarden (windrichting, windsnelheid, ballonoplatingen) van het WMO station HATO airport. Om de aanvullende gegevens te berekenen, is gebruik gemaakt van het meteorologische WRF® model. WRF® (Weather Research and Forecast) is een non-hydrostatisch meteorologisch mesoschaal model dat geschikt is voor het 4 dimensionaal modelleren van meteorologische situaties.

Vervolgens zijn methodes bepaald om hiaten in de bestanden met observatiewaarden aan te vullen. Een aantal ontbrekende variabelen waren direct beschikbaar in de WRF® uitvoer. Andere variabelen zijn met behulp van de WRF® uitvoer berekend. Alle beslissingen over de locatiekeuze en de gehanteerde berekeningsmethodes zijn met instemming van StAB genomen.

In de AERMOD bestanden (1x .sfc en 1x .pfl) zijn vervolgens de winddata uit de door StAB geleverde observaties verwerkt, aangevuld met WRF® uitvoer en met WRF® uitvoer berekende waarden. Als laatste stap is de statische AERMOD informatie uit de door StAB geleverde voorbeeld bestanden toegevoegd.

De werkzaamheden zijn door Meteo Consult verantwoord in het rapport "Curaçao Meta Files" van januari 2009 (zie bijlage 25).

4.2 Immissieberekening referentiejaar 2007

Met behulp van de door Meteo Consult vervaardigde meteorologische hulpbestanden zijn opnieuw verspreidingsberekeningen uitgevoerd met het Amerikaanse AERMOD programma. Als eerste is een herberekening gemaakt voor de uitgangssituatie in 2007, te weten de situatie zoals beschouwd in het StAB-verslag van 16 juni 2008 en zoals gepresenteerd tijdens de zitting van 30 juni 2008. Uitgangspunt voor dat jaar is een SO_2-emissie van 28.3 kiloton per jaar[1] welke emissie over de diverse bronnen is verdeeld zoals aangegeven in bijlage 26 van dit

[1] Deze omvang is in de procedure niet door partijen bestreden en zal dienen als referentiesituatie. Na de zitting is Isla met nieuwe informatie over de emissie in 2007 gekomen. Hierop wordt hierna nog ingegaan.

verslag[2]. Om de emissie in het AERMOD programma in te voeren, dient deze te worden omgerekend in gram per seconde. De uitkomst van deze berekening is als een jaargemiddelde contour van 80 microgram/m^3 (80 µg/m^3) weergegeven in bijlage 27 van dit verslag. Deze immissiecontour blijkt een kleiner oppervlakte te hebben dan de in ons verslag van 16 juni 2008 gepresenteerde contour voor het jaar 2007 (zie bijlage 24).

Uit de nieuwe berekening blijkt dat de nieuwe contour, de contour die volgde uit de berekening van Isla benadert (zie bijlage 28). De kleinere contour die volgt uit de nadere StAB-verspreidingsberekening, houdt in dat de concentratie van SO_2 op leefniveau lager is dan eerder is vastgesteld. Op de grens[3] tussen de Joodse begraafplaats en het Isla terrein (locatie x = 49500 en y = 53000) blijkt op basis van de rekenresultaten met AERMOD, een jaargemiddelde SO_2-concentratie op te treden van **99.1 µg/m^3**. Hiermee wordt door Isla, individueel gezien, niet voldaan aan de in Attachment F opgenomen jaargemiddelde norm van 80 µg/m^3.

De hoogst berekende etmaalgemiddelde waarde bedraagt 404 µg/m^3. De tweede hoogste etmaalgemiddelde waarde bedraagt 271 µg/m^3. Voor SO_2 geldt op grond van Attachment F een 24-uursgemiddelde norm van 365 µg/m^3. Deze norm mag maximaal 1x per jaar worden overschreden. Uit de rekenresultaten blijkt dat de etmaalwaarde van 365 µg/m^3 éénmaal wordt overschreden, daarmee wordt aan deze norm voldaan.

Als opgemerkt zijn voorgaande vaststellingen gebaseerd op een jaarlijkse SO_2-emissie van **28.3 kiloton** door Isla. Uit het emissiereductieprogramma (StAB-11) blijkt echter dat Isla uitgaat van een referentiesituatie voor 2007 die afwijkt van de door StAB gehanteerde referentiesituatie. Dit komt doordat men na de zitting heeft geconstateerd dat de SO_2-emissie door de FCCU 2.14 kiloton in plaats van 7.33 kiloton bedraagt. Als gevolg hiervan is de totale emissie door Isla in het referentiejaar 2007 5.2 kiloton SO_2 lager: 28.3 – 5.2 = **23.1 kiloton**.

Om onduidelijkheden ten aanzien van de in het vervolg aan te houden referentiesituatie in 2007 te voorkomen, merken wij dienaangaande het volgende op. Op bladzijde 9 (attachment A) van het emissiereductieprogramma staat over de SO_2-emissie van de FCCU (de katalytische kraker die gold als grootste emissiebron binnen Isla) in vrije vertaling het volgende.

---

2 Deze emissiegegevens zijn gelijk aan de gegevens over 2007 uit bijlage 8 van het eerdere StAB verslag van 16 juni 2008.

3 Deze locatie ligt iets oostelijker dan de locatie die eerder is aangehouden (x = 49250 en y = 53000). Reden hiervoor is dat dit nu de hoogst belaste locatie blijkt te zijn . In beide gevallen betreft het de Joodse begraafplaats Beth Chaim.

> "*In de periode van 5 – 17 augustus 2008 zijn metingen uitgevoerd aan de rookgassen van de regenerator van de FCCU. In de regenerator worden de cokes verbrand om de gebruikte katalysator terug te winnen (te regenereren). De cokes bevatten zwavel die uit de voeding (feedstock) afkomstig is. Door het verbranden van de cokes verbrandt tevens de aanwezige zwavel. Isla is er op basis van literatuurgegevens altijd vanuit gegaan dat 10% van de zwavel uit de voeding in de cokes terecht komt, hetgeen resulteert in een zwavelgehalte in de cokes van 3.47%.*"

Bij een dergelijk zwavelgehalte bedraagt de jaarlijkse SO_2-emissie van de FCCU 7.33 kiloton. Ten tijde van de zitting gold dit als uitgangspunt. Dit is ook de situatie die wij als de referentiesituatie voor 2007 hanteren. Bij de emissiemeting die in augustus 2008 zijn uitgevoerd door het bedrijf Grace Davidson (leverancier van het ontzwavelingsadditief) bleek, aldus het emissiereductieprogramma van Isla, dat de rookgassen van de regenerator 479 ppm SO_2 bevatten. Dit duidt erop dat de cokes 1.02 % S bevatten en niet 3.47 % S zoals voordien is aangehouden. Dit nieuwe gegeven houdt voor de jaarlijkse SO_2-emissie van de FCCU in dat deze 2.14 kiloton in plaats van 7.33 kiloton bedraagt, ofwel 5.19 kiloton minder als uitgangssituatie. Na reiniging met 83% resteert dan een emissie van 0.17 x 2.14 = 0.4 kiloton SO_2 voor de FCCU.

Ons standpunt in deze is als volgt. Uit het bericht van de President van 5 september 2009 leiden wij af dat niet zonder meer vaststaat dat het emissiereductieprogramma van 30 augustus 2008 bij het proces wordt betrokken. Bovendien betreft het hier resultaten die op grond van de processtukken niet door ons zijn te verifiëren. Om deze reden zullen wij dit stuk voor wat betreft de nieuwe door Isla ingebrachte inzichten te weten, de vermeende lagere SO_2-emissie van de FCCU, niet bij de beoordeling betrekken. Zoals bij de werkwijze is aangegeven hebben wij dit reductieprogramma dan ook slechts bij ons onderzoek betrokken voor zoverre het een rapportage betreft van de voortgang van de te treffen maatregelen die reeds eerder vaststonden. Voor maatregel 3 (FCCU) betekent dit dat wij de uitgangspunten hanteren zoals weergegeven in ons verslag van 16 juni 2008. Dat betreft een ongereinigde FCCU emissie van 7.33 kiloton. Door toevoeging van het DeSOx adsorptiemiddel wordt hierop een reductie van 83% verkregen, ofwel 0.83 x 7.33 = 6.1 kiloton. Dat leidt dan tot een gereinigde FCCU emissie van 1.2 in plaats van 0.4 kiloton per jaar.

4.3 Benodigde emissiereductie door Isla

Bij een hoogste jaargemiddelde SO_2-immissieconcentratie van 99.1 $\mu g/m^3$ buiten het raffinaderijterrein, als hiervoor is vastgesteld, dient deze met 20% te worden verminderd om Isla individueel gezien, juist aan de gestelde norm te laten voldoen.

In het eerder uitgebrachte StAB verslag en tijdens de presentatie op de zitting van 30 juni 2008 zijn een aantal reductiemaatregelen genoemd. De meest kosteneffectieve maatregelen zijn:

a. Rendement SRU's naar 98 % (emissie neemt af van 6 naar 2% = 1.2 kiloton/jaar.
b. Zuurwaterstripper (SWS) stabiel laten opereren: dit levert 2.1 kiloton reductie/jaar.
c. Additief toevoegen bij Cat Cracker: dit levert 6 kiloton reductie/jaar.

De SO_2-emissie neemt hierdoor af van 28.3 naar 18.9 kiloton/jaar. Aanvullend zijn de volgende maatregelen realiseerbaar:

d. Begrenzing zwavelgehalte in de crude tot 1.2% S;
e. Bijmengen van LSFO (laagzwavelige stookolie) voor Isla's eigen brandstofbehoefte;
f. Gas dat nu structureel wordt afgefakkeld, nuttig gebruiken;
g. Diepconversie;
h. Inzet van gaswassers (zeewaterscrubbers) op de grootste emissiebronnen (CD-2, CD-3 en FP-2).

Van deze aanvullende maatregelen blijkt dat:

- optie d op bezwaren van Isla stuit vanwege beschikbaarheid van laagzwavelige crude en de smeerolieproductie (zie bijlage 20, onder I, van het StAB verslag van 16 juni 2008).
- optie e zeer kostbaar is (in juni 2008 bij een hoge olieprijs geschat op 100 miljoen dollar per jaar, bij de huidige lage olieprijs zou dit lager uitvallen maar nog steeds een hoog bedrag dat jaarlijks terugkeert).
- optie f, het hergebruiken van gas dat nu structureel wordt afgefakkeld, evenals de opties a, b, en c, kosteneffectief is omdat hiermee op de inzet van (vloeibare) brandstof wordt bespaard en dus kosten bespaart.
- optie g een miljarden investering vergt en pas op de lange termijn gerealiseerd kan worden.
- optie h weliswaar kostbaar blijkt (30 tot 80 miljoen dollar afhankelijk van het aantal scrubbers), maar dit betreft een eenmalige investering met jaarlijks lagere variabele kosten.

Isla heeft in augustus 2008 in het in §3.3 van dit verslag genoemde emissiereductieprogramma (StAB-11) nader gerapporteerd over de opties a, b, c en f. De meest kosteneffectieve opties a, b en c zijn in het emissiereductierapport measures (maatregelen) 1 – 3 genoemd. Over de maatregelen 1 – 3 is in het emissiereductierapport onder meer het volgende vermeld:

Maatregel 1:
De stabiele bedrijfsvoering van de Super Claus Reactoren van de zwavelterugwinningsinstallaties (sulphur recovery units: SRU's) 3, 4 and 5 is op een zodanig niveau dat voor elke installatie een terugwinningrendement voor zwavel wordt bereikt van 98 %. Dit zal resulteren in een SO_2 emissiereductie van 1.24 kton/jaar.

Maatregel 2:
De stabiele bedrijfsvoering van de zuurwaterstripper (Sour Water Stripping unit: SWS) zodat het zure gas van de SWS afgevoerd wordt naar de SRU's 4 and 5 om daar behandeld te worden. Hiermee wordt vermeden dat zuur gas (H_2S) wordt afgefakkeld in het SRU fakkelsysteem. Dit zal resulteren in een SO_2 emissiereductie van 2.11 kton/jaar.

Maatregel 3:
In aanvulling op voorgaande maatregelen kan een verdere SO_2-reductie bereikt worden door een additief toe te passen bij de katalytische kraakinstallatie (Fluidized Catalytic Cracking Unit: FCCU).

Met betrekking tot de maatregelen 1 en 3 heeft de StAB nader contact opgenomen met Isla. Voor wat betreft maatregel 1 is in het emissiereductieprogramma op bladzijde 2 aangegeven dat de service-factor[4] van SRU-3 Super Claus reactor sinds juli 2008 ongeveer 89% bedraagt. Bij SRU-4 is dat ongeveer 79% sinds juli 2007 en bij SRU-5 ongeveer 40% van juli 2007 tot juli 2008 en daarna 55%. Aan Isla is gevraagd of bij de voorziene reductie van 1.24 kton SO_2 door maatregel 1 rekening is gehouden met het gegeven dat de service-factoren geen 100% bedragen. Uit de metingen blijkt immers dat de Super Claus reactoren die er voor zorgen dat 98% van de H_2S wordt omgezet in elementair zwavel, korter in bedrijf zijn dan de SRU's waar zij onderdeel van zijn. In een reactie hierop heeft Isla aangegeven dat het uitgangspunt een service-factor van (bijna) 100% is. Gelet hierop, achten wij de eerder door ons in het verslag van 16 juni 2008 genoemde reductie met 1.24 kton SO_2 voor de toekomst nog steeds aannemelijk. Er zal echter nog wel een aanzienlijke inspanning verricht moeten worden ten opzichte van de huidige praktijk.

Voor wat betreft maatregel 3 is in het rapport op bladzijde 5 aangegeven dat met de additief toevoeging bij de FCCU uitgegaan wordt van een reductiepercentage van 83%. Aan Isla is gevraagd of dit percentage niet te hoog is ingeschat aangezien in de literatuur lagere rendementen worden aangehouden. EPA houdt een rendement van 45% aan en in het Europese BREF is dat 20 – 60% bij volledige verbranding (full combustion mode). Hierop is door Isla geantwoord dat haar FCCU opereert in "full combustion mode", en dat daarnaast door verbeteringen in de laatste jaren, de werkingsgraad van de additieven is toegenomen.

---

[4] Onder de service-factor van de Super Claus reactor wordt verstaan de tijd dat deze reactor in werking is in verhouding tot de tijd dat de SRU zelf in werking is. Dit wordt uitgedrukt in een percentage.

De eerste resultaten bij de Isla raffinaderij duiden op een reductie met 83%. Testen over een langere periode zullen hierover verder uitsluitsel geven.

Samenvatting emissiemaatregelen en effecten op immissie

Samenvattend hebben de maatregelen 1 en 2, welke zijn te beschouwen als voltooiing van de IRUP maatregelen en maatregel 3, die gezien kan worden als een aanvullende maatregel, de volgende effecten op de SO_2-emissie door Isla. Wellicht ten overvloede wordt opgemerkt dat de referentiesituatie voor het jaar 2007, de situatie betreft zoals gerapporteerd voor 2007 in ons verslag van 16 juni 2008. De genoemde reductie betreft de reductie zoals deze voortkomt uit de voorgestelde maatregelen en waarover ook reeds gerapporteerd is in ons verslag van 16 juni 2008.

Bron	ID	2007 (referentiejaar)	Reductie	SO_2-emissie 2009
Proces-emissies	17/18/18A (SRU stack)	7.0 kt SO_2	- 1.24 kt - 2.11 kt - 3.35 kt	3.7 kt
FCCU	11	7.3 kt SO_2	- 6.1 kt	1.2 kt
FP-1	11	0.7 kt	0.0	0.7 kt
FCCU + FP-1*	11	8.0 kt	- 6.1 kt	2.0 kt
			- 9.5 kt (totaal)	

* De emissie van de FCCU wordt in het bronnenoverzicht in bijlage 26 gecombineerd met die van FP-1 (Feed preparation).

De totale SO_2-emissie na uitvoering van de maatregelen 1 t/m 3 bedraagt 28.3 – 9.5 = 18.8 kiloton SO_2 per jaar. Hierbij zij opgemerkt dat op basis van de lagere referentie situatie voor het jaar 2007 welke momenteel door Isla wordt aangehouden, gekomen zou zijn tot een gesaneerde emissie van 18 kiloton SO_2.

De emissie over de diverse bronnen is verdeeld als aangegeven in bijlage 26 van dit verslag. Om de emissie in het AERMOD programma in te voeren dient deze te worden omgerekend in gram per seconde. De uitkomst van de verspreidingsberekening is als een jaargemiddelde 80 microgram/m^3 contour weergegeven in bijlage 29 van dit verslag. Dit leidt op de referentielocatie, zijnde de Joodse begraafplaats (x = 49500 en y = 53000) op basis van de rekenresultaten met AERMOD, tot een jaargemiddelde SO_2-concentratie van **59.0 µg/m^3**.

In onderstaande tabel zijn de resultaten samengevat voor de twee volgende situaties:

1. De referentie voor het jaar 2007; hiervoor geldt de emissieomvang als tijdens de zitting op 30 juni 2008 bekend was: 28.3 kiloton.
2. De verwachte emissie in het jaar 2009 voor de situatie dat de IRUP maatregelen aan de SRU's en de SWS volledig zijn uitgevoerd: 24.9 kiloton.
3. De verwachte emissie indien aanvullend op 2, de rookgassen van de FCCU regenerator voor 83% ontzwaveld worden: 18.8 kiloton.

De immissies die het gevolg zijn van deze twee emissiesituaties treden op, op het hoogst belaste punt juist buiten het raffinaderijterrein (conform artikel 6.3 in attachment F).

Uitgangssituatie	hoogst berekende waarde overall ex Isla ($\mu g/m^3$)	coördinaten x	y	locatie
28.3 kton SO_2 (referentie 2007)	99.1	49500	53000	Grens Joodse begraafplaats met Isla terrein
24.9 kton SO_2 (1e projectie 2009)	89.1	49500	53000	
18.8 kton SO_2 (2e projectie 2009)	59.0	49500	53000	

Conclusie hierbij is dat afronding van de IRUP maatregelen niet voldoende is om de Isla raffinaderij individueel aan de jaargemiddelde SO_2 norm uit Attachment F te laten voldoen. Om dat te verwezenlijken is aanvullend de door Isla voorgestelde maatregel 3 noodzakelijk, het toevoegen van DeSOx additief bij de FCCU.

5. VOORGESCHIEDENIS FAKKELMAATREGELEN IN VERSLAG VAN 16 JUNI 2008

5.1 Verslag 16 juni 2008

In het verslag van 16 juni 2008 is aangegeven dat naast de overschrijding van de SO_2-immissienorm ook het structureel en incidenteel affakkelen van productiegassen speelt. Hoewel het verminderen van de fakkelemissies vooral een beperking van de emissie van TSP tot gevolg heeft, leidt een aantal van de maatregelen ook tot een beperking van de structurele SO_2-emissie.

Geconstateerd is dat Isla structureel gas affakkelt via de HL-flares, de SRU-flares en de Asiento-flare. Oorzaken hiervan zijn de niet optimale werking, storingen en uitval van de aangesloten installaties. De hoeveelheden gas zijn aanzienlijk waardoor de fakkelsystemen bovenmatig belast worden. Het affakkelen van gas is bovendien niet doelmatig.

De volgende maatregelen leiden tot een beperking van de fakkelemissies:
- het nuttig inzetten van de fakkelgassen in het productieproces waardoor de inzet van beduidend meer vervuilend asphalt kan worden voorkomen;
- het zoveel mogelijk beperken van het fakkelen door productiebeperkingen in het geval van storingen;
- een verbod op het fakkelen van 'zuur gas' hetgeen leidt tot een beperking van de emissie van SO_2;

- beperken van het aantal storingen door:
  - een adequate, verscherpte controle van vooral de oudere apparatuur;
  - goed onderhoud van de installaties;
  - het tijdig vervangen van de apparatuur;
- het in reserve hebben van onderdelen en apparatuur;
- adequater reageren op storingen en tijdig, of sneller de afweging reparatie of vervanging maken en eventueel oplossingen buiten Venezuela zoeken;
- adequate aanpassingen in de procesregeling en procescondities en een gedisciplineerde bedrijfsvoering (operatie) van de proces- en stookinstallaties;
- een beperking van de afhankelijkheid van Isla van CUC in het bijzonder voor wat stoom en elektriciteit betreft.

Voor noodsituaties en calamiteiten waarbij het fakkelen onvermijdelijk is, is het van belang dat de gassen in een fakkel schoon verbrand worden. De volgende maatregelen leiden tot een verbetering van het verbrandingsproces en daarmee een afname van de emissie van roet (TSP):
- toevoeging van genoeg zuurstof in de vorm van stoom of lucht in relatie tot de doorzet; daartoe dient een uitbreiding van de stoominjectie of een herverdeling van de afgassen over de verschillende fakkels plaats te vinden;
- toereikende capaciteit van de flares in relatie tot de aangevoerde hoeveelheid gas uit de aangesloten installaties.

In het StAB-verslag van 16 juni 2008 is aangegeven dat wij het niet opportuun achten om alle opties met bijbehorende investeringen, onderhoudskosten en technische implicaties, nader uit te werken. Om te garanderen dat de mogelijkheden op korte termijn onderzocht worden, zou Isla opgedragen kunnen worden een dergelijk onderzoek binnen een vast te stellen termijn te initiëren en daarover te rapporteren.

5.2 Presentatie 30 juni 2008

Tijdens de zitting van 30 juni 2008 is een totaaloverzicht van de maatregelen ter beperking van de structurele SO_2-emissie gepresenteerd (zie bijlage 30). Voor de fakkelemissies is aangegeven dat een aantal maatregelen ook een positief effect heeft op de beperking van de (structurele) SO_2-emissie.

6. DE NADERE VRAAGSTELLING INZAKE DE GECOMBINEERDE SO_2 EN FAKKELMAATREGELEN

Op de zitting van 30 juni 2008 heeft de president, met instemming van partijen, de opdracht aan ons als deskundigen voor wat betreft het overzicht van de maatregelen als volgt uitgebreid:

3. Het opstellen van een totaaloverzicht van de voorgestelde maatregelen, en de kosten en het tijdsbeslag daarvan, voor de reductie van de (reguliere) SO_2-emissies en de fakkelemissies van Isla.

7. PROCEDURE EN WERKWIJZE BEANTWOORDING VRAAG 3

Het onderzoek voor de beantwoording van de derde onderzoeksvraag hebben wij zelf uitgevoerd. Wij hebben voor de meest actuele weergave van de emissiesituatie, gebruik gemaakt van het document "SO_2 and flaring reduction short and mid term program" (hierna: het emissierductieprogramma) dat door Isla is toegestuurd op 30 augustus 2008 (StAB-11).

8. BEANTWOORDING VAN ONDERZOEKSVRAAG 3

8.1 Reductiemaatregelen structureel fakkelen

Isla fakkelt structureel veel gas af. Indien dit gas nuttig wordt ingezet als brandstof in de procesfornuizen of de stookinstallaties, zou dit naast het vermijden van hinder door het fakkelen tevens leiden tot een lager verbruik aan asphalt of stookolie. Omdat deze vloeibare brandstoffen veel zwavel bevatten, zou het vermeden verbruik hiervan leiden tot een reductie van de SO_2-emissie. In het emissiereductieprogramma is deze optie op blz. 5 t/m 8 uitgewerkt in vier te nemen maatregelen (measures 4 – 7).

Maatregel 4 betreft de verbetering van het Tail Gas Compressor station. Door uitval van de compressor die nodig is om de gassen te comprimeren die bij het raffinageproces vrijkomen, kunnen deze niet op de juiste druk gebracht worden die nodig is om in de procesfornuizen te worden verstookt. Ook de reserve compressor is langdurig buiten bedrijf geweest. Voor een gedetailleerde beschrijving van de problematiek wordt verwezen naar bladzijde 58 van het StAB-verslag van 16 juni 2008.

De door Isla voorgestelde verbeteringen zijn als volgt:

- op korte termijn zorgen voor een reserve compressor voor compressor K-1104 waarmee de beschikbaarheid van middelen om gas te comprimeren toeneemt;
- op de middellange termijn een nieuwe compressor in bedrijf nemen die K-1104 vervangt waardoor K-1104 als reserve kan dienen. De nieuwe compressor is ontworpen om laag moleculair gas te comprimeren, waardoor geen butaangas meer behoeft te worden bijgemengd.

De vermeden hoeveelheid fakkelgas bedraagt 6.5 ton per dag. De volledige implementatie is voorzien in 2012. De ingebruikname van reservecompressor K/1105 is begin 2009 voorzien.

Maatregel 5 omvat de reparatie en het beter beschermen tegen uitval van compressor K-101. Deze compressor perst de niet-condenseerbare dampen samen die afkomstig zijn van de Crude destilleerkolom 2 (CD-2). Verdere inzet in het productieproces is alleen mogelijk nadat de dampen gecomprimeerd zijn. Frequente uitval van de compressor K-101 leidt er toe dat deze dampen afgefakkeld dienen te worden.

Voor een gedetailleerde beschrijving van de problematiek wordt verwezen naar bladzijde 57 van het StAB-verslag van 16 juni 2008. Door de getroffen maatregel behoeven de lichte gasvormige koolwaterstoffen niet meer te worden afgefakkeld via de Asiento flare. De vermeden hoeveelheid fakkelgas bedraagt 20 tot 25 ton per dag. De implementatie is voorzien in maart 2009.

Maatregel 6 gaat over het installeren van een extra "knock-out" vat vóór de drie bestaande "knock-out" vaten in de hoge drukleiding voor het stookgas. Het betreft de toevoerleiding waarin kraakgassen afkomstig van de FCCU naar de drie gasturbines van CUC worden getransporteerd. Indien in deze gasstroom tevens condensaat wordt meegesleurd is het ongeschikt om in de gasturbines verstookt te worden en wordt het afgefakkeld via de Asiento-flare. De "knock-out" vaten dienen om in het gas aanwezige condensaat af te scheiden. Omdat de 3 bestaande vaten echter ondergedimensioneerd zijn, stijgt het vloeistofpeil daarin te snel en bestaat de kans dat het condensaat alsnog in de gasstroom terecht komt. Omdat de gasturbines hiervan schade ondervinden, houden de operators de afvoerleidingen naar de flare continu open teneinde de condensaatopbouw tegen te gaan. Door het bijplaatsen van een extra "knock-out" vat wordt het affakkelen van 10 ton stookgas voorkomen. De maatregel is voorzien in 2010.

Maatregel 7 voorziet in het opnieuw in bedrijf nemen van een "Refinery Fuel Gas Balancing System" zoals gebruikt werd in de periode dat Isla beschikte over eigen stookinstallaties. Met dit systeem, dat voorafgaand aan de overdracht van de boilers 74 en 75 naar CUC werd gebruikt, werd het fuel gas in periodes van productieoverschot gebruikt voor de boilers 74 en 75. In het emissiereductieprogramma is aangegeven dat Isla en CUC overeengekomen zijn dat het "Fuel Gas Balancing System" terug in gebruik zal worden genomen. Voor boiler 75 was deze maatregel voorzien in december 2008. Voor boiler 74 is deze maatregel voorzien in juni 2009. De verwachting is dat dit leidt tot een emissiereductie van 6.0 ton/dag aan koolwaterstoffen die momenteel nog wordt afgefakkeld.

De effecten van deze maatregelen op de SO_2-emissie zijn als volgt te berekenen. Per maatregel volgt de hoeveel gas die niet meer afgefakkeld wordt. Aan de hand van de warmte-inhoud (calorische waarde), die afhankelijk is van de samenstelling, kan berekend worden met hoeveel asphalt of stookolie het gas overeenkomt. Op deze hoeveelheid asphalt of stookolie kan derhalve bespaard worden. In de volgende tabel is dit uitgewerkt voor de vier maatregelen:

Maatregel	**Vermeden hoeveelheid fakkelgas (ton/dag)**	**Warmte inhoud (Btu/lb)***	**Equivalent aan asphalt (ton/dag)**	**Equivalent aan fuel oil (ton/dag)**
4	6.5	19,320	7.2	6.9
5	25 (maximaal)	20,889	29.9	28.5
6	10	23,092	13.2	12.6
7	6.0	23,092	7.9	7.6
4 t/m 7	47.5		58.2	55.6

*Btu/lb = British thermal units per pound; 1 btu/lb = 0,556 kcal/kg= 2,326 kJ/kg

Aan de hand van bovenstaande gegevens kan vervolgens uitgerekend worden hoeveel SO_2-emissie vermeden wordt door het gas te verstoken in plaats van af te fakkelen. Omdat asphalt meer zwavel bevat (3.1% S) dan fuel oil (ca 2.4% S) is de keuze om asphalt te vervangen het gunstigst. De maximaal te vermijden emissie is als volgt:

Maat -regel	**Vermeden hoeveelheid fakkelgas (ton/dag)**	**Jaar**	**Equivalent aan asphalt (ton/dag)**	**S (ton/dag) (asphalt x 0.031)**	**SO_2 (ton/dag) (S x 2)**	**SO_2 (kton/jaar) (SO_2 x 365/1000)**
4	6.5	2012	7.2	0.22	0.45	0.16
5	25	2009	29.9	0.93	1.85	0.68
6	10	2010	13.2	0.41	0.82	0.30
7	6.0	2009	7.9	0.25	0.49	0.18
4 - 7	47.5	2012	58.2	1.81	3.62	1.32

Totale vermeden emissie = 365 x 3.62 = 1320 ton SO_2 per jaar (1.32 kton/jaar).

8.2 Totaaloverzicht maatregelen reguliere emissies, uitvoeringstermijnen en kosten

In onderstaande tabel zijn de op korte en middellange termijn uitvoerbare maatregelen voor de reductie van de (reguliere) SO_2-emissies beschreven. De optie van begrenzing van het zwavelgehalte in de crude is hierin niet meegenomen omdat dit problematisch bleek vanwege de productie van smeeroliën door de Isla raffinaderij waarvoor bij CD-2 een hoog naftenisch gehalte benodigd is. Hoog naftenische crude is echter tevens hoogzwavelig. Ter compensatie zou voor de crude verwerking in CD-3 gebruik moeten worden gemaakt van zeer laagzwavelige crude, die zeer schaars is.
Ook de optie van diepconversie is niet meegenomen. Weliswaar levert deze lange termijn optie, die een miljardeninvestering vergt, het hoogste milieuvoordeel. In het kader van deze procedure is de lange realisatietermijn echter reden om de optie nu niet mee te beschouwen. Van de overige maatregelen is per maatregel aangegeven wat de te verwachten emissiereductie zal zijn in kiloton SO_2 per jaar.

De geschatte kosten die hiermee gemoeid zijn, zijn in een presentatie tijdens de zitting op 30 juni 2008 getoond. De kosten die gemaakt worden om de SRU's op een rendement van 98% te krijgen, alsmede de kosten voor een adequate werking van de SWS, hebben wij niet meegenomen als (extra) kostenpost omdat deze maatregelen in feite al veel eerder hadden moeten zijn uitgevoerd in het kader van de IRUP operatie. Vanwege de meeropbrengst aan zwavel, wat als commercieel product kan worden afgezet, hebben wij de IRUP maatregelen daarom als een positief financieel effect voor Isla beoordeeld. Ook het nuttig gebruik van gassen die anders afgefakkeld worden heeft een meeropbrengst voor Isla. De meeropbrengsten zijn aangegeven met een +. De overige maatregelen kosten meer geld dan dat ze eventueel opbrengen. Het

(positief of negatief) financieel effect is uitgedrukt in dollar per vermeden ton SO_2 door de kosten te delen door de emissie die door de maatregel wordt voorkomen. Voor wat betreft de hoogte van de bedragen merken wij op dat deze als indicatief moeten worden gezien[5]. De termijnen die met de uitvoering van de maatregelen gepaard gaan, zijn voor zover genoemd in het emissiereductieprogramma, van Isla afkomstig. Voor het overige zijn deze door ons ingeschat. Tenslotte is per maatregel uitgerekend welke immissieconcentratie zal optreden op de terreingrens van de raffinaderij met de Joodse begraafplaats (x = 49500 en y = 53000). Daardoor wordt duidelijk (in de laatste kolom) in welke mate de immissieconcentratie aldaar kan worden gereduceerd.
Het overzicht is als volgt:

Maatregel	**SO_2-reductie per jaar**	**Financieel effect per ton vermeden SO_2**	**Jaar van realisatie**	**Berekende SO_2-immissie op terreingrens (in µg/m^3)**	**Immissie-reductie op terreingrens door maatregel (in µg/m^3)**
Geen	0	Geen	Referentie 2007	99.1	0
SRU's naar 98%	3.35 kt	+ $250/ton	2009	89.1	- 10
SWS stabiel					
Additief FCCU	6.1 kt	- $500/ton	2009	69.0	- 30.1
Gas nuttig inzetten	1.32 kt	+ $4,500/ton	2009 - 2012	94.5	- 4.6*
Bijmengen LSFO	16 kt	- $6,200/ton	2009	56.1	- 43
RGR** op CD-3	3.5 kt	- $8,700/ton	2011	93.1	- 6
RGR op CD-2/3 en FP-2	7.2 kt	-$11,100/ton	2011	81.5	- 17.6

* indien dit gas bij Isla wordt ingezet en asphalt vervangt.

** RGR = rookgasreiniging (zeewaterscrubber)

[5] Vanwege de grote schommelingen in valuta en grondstoffenprijzen zijn geen vaststaande bedragen te geven.

Met de inhaalslag van de IRUP maatregelen neemt de immissie op de toetslocatie met 10 $\mu g/m^3$ af van 99.1 naar 89.1 $\mu g/m^3$. De goedkoopste maatregel zou dan het nuttig inzetten van fakkelgas zijn. Dit is echter niet afdoende en de volledige afronding daarvan duurt nog enkele jaren. Tevens bleek uit contact met Isla dat het fakkelgas deels bedoeld is voor de CUC centrale. Voor wat betreft aanvullende SO_2 reductie op de korte termijn blijkt de additief toevoeging bij de FCCU het meest kosteneffectief. Uit de door Isla toegestuurde documenten blijkt overigens dat deze drie maatregelen reeds zijn getroffen. Met deze aanvullende maatregel aan de FCCU neemt de immissie op de toetslocatie met 30.1 $\mu g/m^3$ verder af van 89.1 naar 59 $\mu g/m^3$. Daarmee wordt door Isla individueel gezien, aan de norm van 80 $\mu g/m^3$ voldaan. Deze conclusie is gelijk aan die in hoofdstuk 4 van dit verslag, maar is nu in een breder kader vastgesteld. Ook andere combinaties zijn te maken, maar die zijn veel duurder en vergen meer tijd om uit te voeren.

9. REACTIES OP HET CONCEPT-DESKUNDIGENBERICHT

PM

10. BEHANDELING REACTIES OP HET CONCEPT - DESKUNDIGENBERICHT

PM

11. TOEGEVOEGDE STUKKEN

StAB-11 Emissiereductieprogramma Isla van 30 augustus 2008

12. BIJLAGEN

Bijlage 24 Immissiecontouren StAB/Isla uit verslag 16 juni 2008.
Bijlage 25 Rapport "Curaçao Meta Files" van Meteo Consult.
Bijlage 26 Emissieverdeling 2007 over de verschillende bronnen.
Bijlage 27 Immissieconcentratie 2007 berekend met file Meteo Consult.
Bijlage 28 Vergelijking immissiecontouren StAB/Isla/Meteo Consult.
Bijlage 29 Immissieconcentratie 2009 berekend met file Meteo Consult
Bijlage 30 Overzicht van maatregelen ter beperking van de SO_2-emissie

Opgemaakt te 's-Gravenhage (Nederland), 23 januari 2009

ing.E.P. Feringa
Senior Adviseur

mevrouw ing. C.P.J. Weemaes
Senior Adviseur

SAB 02

INHOUDSOPGAVE

LEESWIJZER 3

1. VOORGESCHIEDENIS: SO_2-EMISSIE VOLGENS VERSLAG 16 JUNI 2008 3

1.2 Wijze van beschouwing van de SO_2-emissies 2
1.3 Meteo-gegevens leiden tot verschillen in uitkomst StAB/Isla 2

2. DE NADERE VRAAGSTELLING INZAKE DE SO_2-EMISSIE 3

3. PROCEDURE EN WERKWIJZE BEANTWOORDING VRAGEN 1 EN 2 3

3.1 Meteo-gegevens 3
3.2 Immisieberekeningen 3
3.3 Grondslag beantwoording vraag 2 3

4. BEANTWOORDING VAN DE ONDERZOEKSVRAGEN 1 EN 2 4

4.1. Herziene meteogegevens 4
4.2 Immissieberekening referentiejaar 2007 4
4.3 Benodigde emissiereductie door Isla 6

5. VOORGESCHIEDENIS FAKKELMAATREGELEN IN VERSLAG VAN 16 JUNI 2008 10

5.1 Verslag 16 juni 2008 10
5.2 Presentatie 30 juni 2008 11

6. DE NADERE VRAAGSTELLING INZAKE DE GECOMBINEERDE SO_2 EN FAKKELMAATREGELEN 11

7. PROCEDURE EN WERKWIJZE BEANTWOORDING VRAAG 3 12

8. BEANTWOORDING VAN ONDERZOEKSVRAAG 3 12

8.1 Reductiemaatregelen structureel fakkelen 12
8.2 Totaaloverzicht maatregelen reguliere emissies, uitvoeringstermijnen en kosten 14

9. REACTIES OP HET CONCEPT-DESKUNDIGENBERICHT 16

10. BEHANDELING REACTIES OP HET CONCEPT -DESKUNDIGENBERICHT 16

11. TOEGEVOEGDE STUKKEN 16

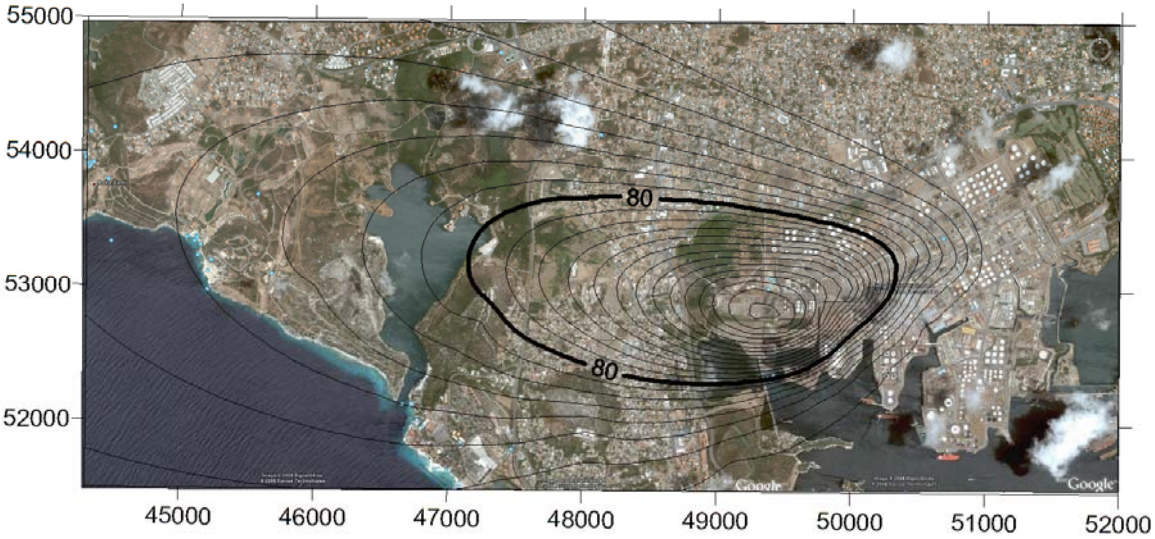
12. BIJLAGEN 16

INHOUDSOPGAVE 17

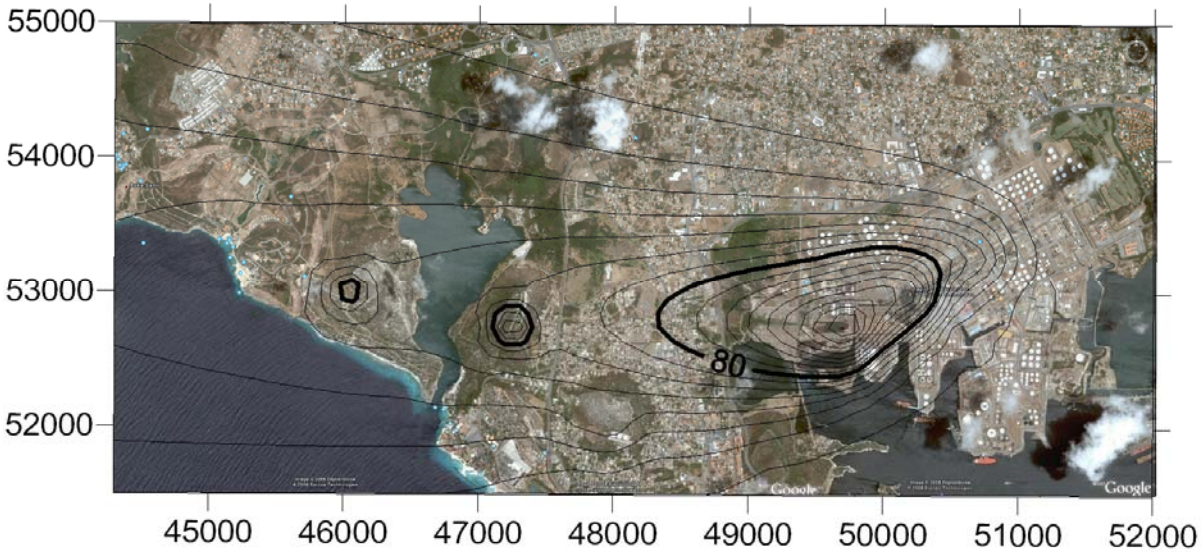
BIJLAGEN

Behorende bij StAB verslag 38129/R

BIJLAGE 24: SO_2-immissiecontouren bij gebruik van verschillende meteo bestanden door StAB/Isla uit verslag 16 juni 2008



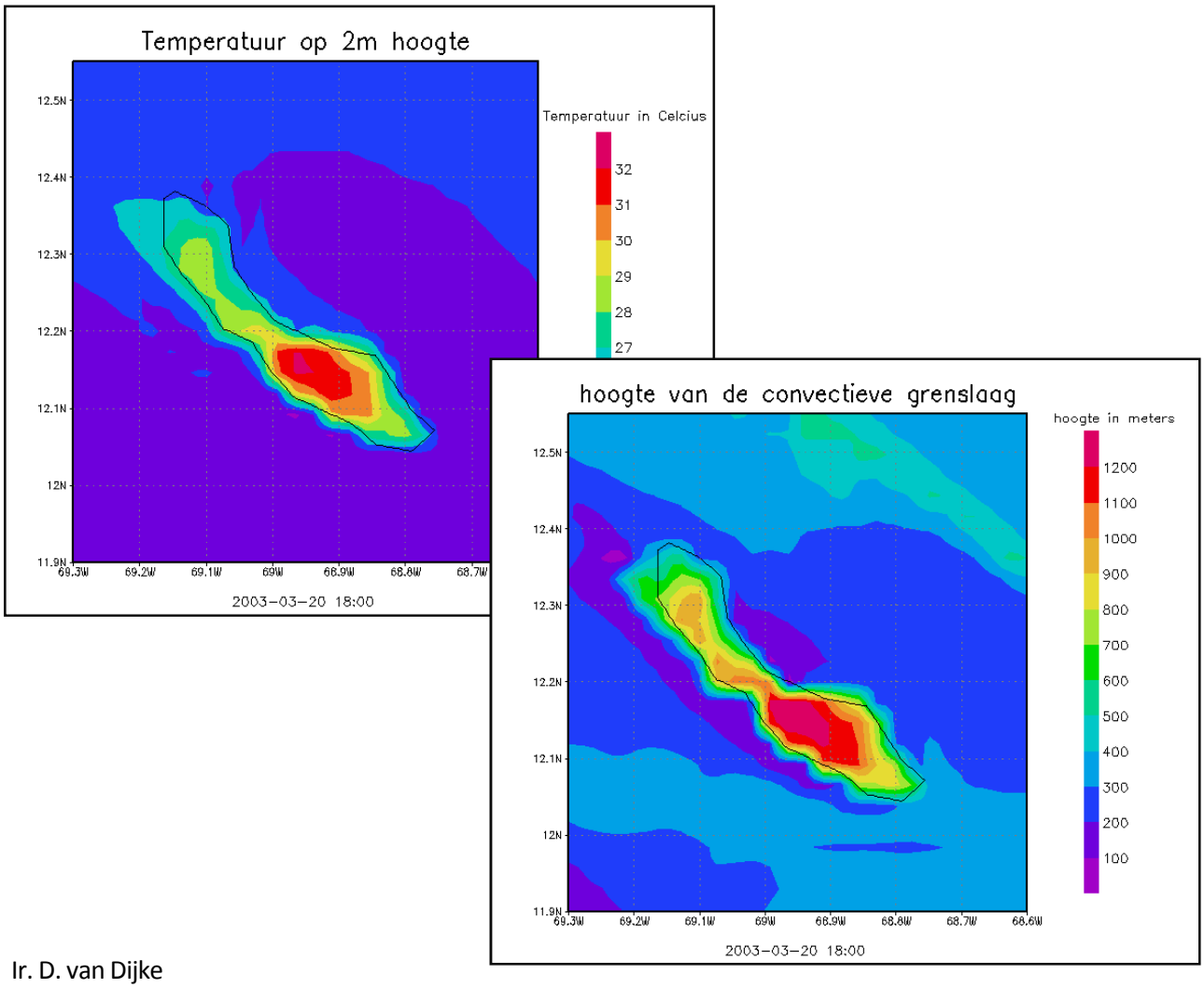
SO_2-contour in 2007 met gebruik van de surface file “Aermod.sfc” als ontvangen van de Milieudienst. Zie ook bijlage 12 behorende bij het StAB verslag van 16 juni 2008.



SO_2-contour in 2007 met gebruik van de surface file “Hato03.sfc” als gebruikt door Isla (gegenereerd door Trinity Consultants met Airmet). Zie ook bijlage 23 behorende bij het StAB verslag van 16 juni 2008.

MeteoConsult
A MeteoGroup Company

Curaçao Meta Files



Ir. D. van Dijke
Dr. W.D. van den Berg
Januari 2009

Meteo Consult bv
Agro Business Park 99-101

Postbus 617
6700 AP Wageningen

Telefoon +31 (0)317 399800
Fax +31 (0)317 423164

e-mail: info@weer.nl

www.weer.nl

Inhoudsopgave

1 Inleiding 3
1.1 Omschrijving opdracht 3
1.2 Werkzaamheden 3
2 Model specificatie 4
2.1 Inleiding WRF® 4
2.2 Input data 4
2.3 Instellingen WRF® 5
2.4 Aanpassingen initialisatie 6
2.4.1 Initialisatie zeewatertemperatuur 6
2.4.2 Initialisatie bodemparameters 6
2.4.3 Initialisatie landgebruik 7
2.5 Controle 7
3 Output 8
3.1 Output formaat 8
3.1.1 Surface bestand 8
3.1.2 Profile bestand 8
3.2 Invulling bestanden 9
3.3 Berekende variabelen 9
3.3.1 Convectieve-snelheidsschaal 9
3.3.2 Verticale potentiële temperatuurgradiënt boven de PBL 10
3.3.3 Hoogte van de mechanische grenslaag 10
3.4 Opvullen missende observaties 11
3.5 Voorbeelden 12
3.6 Levering 13
Referentielijst 14
Persoonlijke communicatie 15
Bijlage A 16

1 Inleiding

1.1 Omschrijving opdracht

De Stichting Advisering Bestuursrechtspraak, verder vermeld als StAB, is door de rechtbank op Curaçao verzocht een technisch advies te geven in een geschil. Voor dit advies maakt StAB gebruik van het AERMOD model om verspreidingsberekeningen uit te voeren voor het jaar 2003. Om de verspreidingsberekeningen te maken heeft het AERMOD model twee bestanden met meteorologische informatie nodig.

Normaal worden deze bestanden met het programma AERMET geproduceerd op basis van observaties. Omdat de kwaliteit van de met AERMET geproduceerde bestanden naar de mening van StAB echter niet toereikend bleek, heeft StAB Meteo Consult verzocht de twee bestanden te produceren.

1.2 Werkzaamheden

StAB heeft Meteo Consult twee bestanden met observatiewaarden geleverd. Het eerste bestand bevat de windrichting en windsnelheidsdata van het WMO station HATO airport (WMO nr. 78988 gelegen op 68˚58' W en 12˚12' N). Het tweede bestand bevat de ballonoplatingen van het WMO station Hato airport.
Verder heeft StAB Meteo Consult een tweetal voorbeeldbestanden gestuurd van AERMET uitvoer.

Voor het produceren van de AERMET bestanden zijn meer variabelen nodig dan de door StAB aangeleverde observaties bevatten. Om deze aanvullende gegevens te berekenen, is gebruik gemaakt van het meteorologische WRF® model[1].

Tijdens de opdracht is ten eerste de juiste locatie van het meetstation Hato uitgezocht. Hiervoor is contact gelegd met dhr. Martis, Directeur Meteorologische Dienst Nederlandse Antillen & Aruba. Deze exacte locatiegegevens waren onder andere nodig om WRF® zo in te stellen dat de berekeningen representatief zijn voor de locatie Hato airport *[zie hoofdstuk. 2]*.

Vervolgens zijn methodes bepaald om hiaten in de door StAB aangeleverde bestanden aan te vullen. Een aantal ontbrekende variabelen waren direct beschikbaar in de WRF® uitvoer. Andere variabelen zijn met behulp van deze WRF® uitvoer berekend *[zie hst. 3]*. Alle beslissingen die genomen zijn omtrent de locatiekeuze en de gehanteerde berekeningsmethodes zijn met instemming van StAB gedaan.

In de AERMOD bestanden (1x .sfc en 1x .pfl) zijn vervolgens de winddata uit de door StAB geleverde observaties verwerkt, aangevuld met WRF® uitvoer en met WRF® uitvoer berekende waarden. Als laatste stap is de statische AERMOD informatie uit de door StAB geleverde voorbeeld bestanden toegevoegd.

Naast de twee geleverde AERMOD bestanden is er ook een bestand geleverd waarin per variabele en per tijdseenheid vermeld wordt of de waarde een observatie is, of de waarde WRF® uitvoer is en of de waarde met WRF® uitvoer berekend is.

Tijdens het uitvoeren van de opdracht zijn verschillende tussentijdse controles uitgevoerd. Deze controles staan in paragraaf 2.5 beschreven.

In het vervolg van deze rapportage wordt aangegeven hoe de geleverde bestanden tot stand zijn gekomen.

[1] *WRF® is a registered trademark of the University Corporation for Atmospheric Research (UCAR)*

2 Model specificatie

2.1 Inleiding WRF®

WRF® (Weather Research and Forecast) is een non-hydrostatisch meteorologisch mesoschaal model dat geschikt is voor het 4 dimensionaal modelleren van meteorologische situaties. Het WRF® model is ontwikkeld door het National Centre for Atmospheric Research (NCAR), het Forecast Systems Laboratory (FSL), het National Centers for Environmental Prediction van de National Oceanic and Atmospheric Administration (NCEP/NOAA) en het Centre for Analysis and Prediction of Storms (CAPS) van de Universiteit van Oklahoma.

Er zijn twee versies van WRF® , namelijk WRF-NMM (Nonhydrostatic Mesoscale Model) en WRF-ARW (Advanced Research WRF). Voor deze opdracht is de ARW versie (nummer 3.0.1.1) gebruikt.

2.2 Input data

Om een mesoschaal model te voeden, is inputdata nodig van een globaal meteorologisch model. Voor deze opdracht is gekozen voor het ECMWF model. Dit model had in 2003 een horizontale resolutie van ongeveer 0.4x0.4 graden. Voor de initialisatie van het WRF® model zijn de gearchiveerde oppervlakte data en de data op modelniveaus van 2003 gebruikt.

Voor elke te berekenen dag zijn de ECMWF analyse van 0 UTC en de ECMWF verwachtingen tot en met +30 (=30 uur vooruit) gebruikt voor de initialisatie van WRF® . Omdat er sprake is van een opstartperiode van het WRF® model worden alleen de uitkomsten van de +6 t/m +30 gebruikt voor de output bestanden. Voor elke dag van het jaar is een losse run gedraaid. Vervolgens zijn alle losse dagen samengevoegd tot één bestand. Om de benodigde dataset van het gehele jaar 2003 te krijgen waren 366 runs nodig.

Naast het gebruik van het globale model ECMWF zijn er ook observaties aan het model toegevoegd. Aangezien het station waarvan de observaties gebruikt zijn, station Hato WMO nr. 78988, vlakbij zee ligt, is het belangrijk om de locatie van het meetpunt zo precies mogelijk te weten. Hiervoor is contact opgenomen met de operationele dienst van Curaçao. Hieruit bleek dat de exacte locatie van het WMO meetstation Hato 12° 11’ 27’’ N en 68° 57’ 49’’ W is *[Martis, persoonlijke communicatie]*. De per uur beschikbare oppervlakte druk, 2m temperatuur, 2m dauwpunt, 2m relatieve vochtigheid, windsnelheid en windrichting zijn gebruikt.

Naast deze observaties zijn ook de door StAB aangeleverde ballonoplatingen toegevoegd aan het model. Deze zijn ook van het meetstation Hato, maar de ballonnen worden op een andere locatie opgelaten dan waar de overige observaties gedaan zijn. Dit punt ligt ongeveer 1300m ten zuidoosten van en ongeveer 46m hoger dan het officiële WMO meetveld, namelijk 12° 10’ 47’’ N en 68° 57’ 33’’ W *[Martis, persoonlijke communicatie]*. De gebruikte variabelen van de ballonoplatingen zijn windsnelheid, windrichting en temperatuur op vijf verschillende niveaus: oppervlakte, 300m, 600m, 900m en 1500m. De ballonoplatingen betroffen het 12 UTC tijdstip.

2.3 Instellingen WRF®

Meteo Consult heeft WRF® gedraaid voor twee verschillende domeinen. Het grote domein heeft een horizontale resolutie van 9 km en het kleine domein heeft een horizontale resolutie van 3 km, zie figuur 2.1 en 2.2.

Fig. 2.1 Het grote WRF® domein

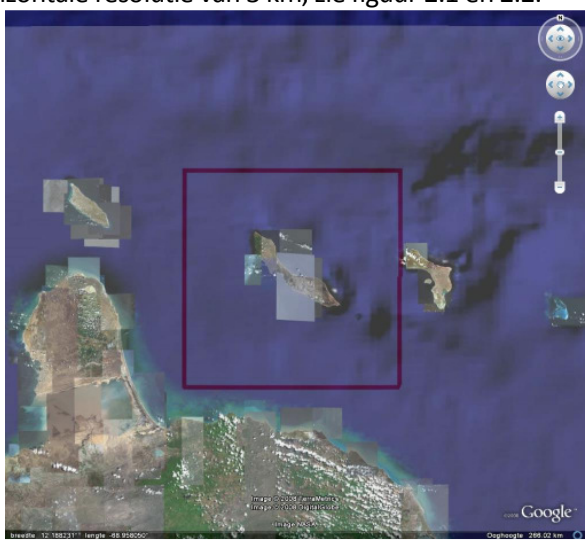


Fig. 2.2 Het kleine WRF® domein

Het grote domein van WRF® is daarbij aan de randen gevoed met het globale ECMWF model en het kleine domein met de data vanuit het grote domein.

Voor alle processen die binnen een gridbox plaatsvinden heeft WRF® verschillende parameterisatieschema's die ingesteld dienen te worden. Aan de hand van voorgaande studies is besloten om de volgende combinatie van schema's te gebruiken: WSM6 microphysics *[Hong et al., 1998] [Hong et al., 2004] [Skamarock et al., 2005]*, Yonsei University grenslaag schema *[Skamarock et al., 2005]*, 5-laags thermisch diffusie bodem schema *[Skamarock et al., 2005]*, Monin-Obukhov oppervlakte schema *[Monin et al., 1954]*, Grell-Devenyi cumulus schema *[Grell et al., 2002]*, RRTM langgolvige stralingsschema *[Mlawer et al., 1997]* en het Goddard kortgolvige stralingsschema *[Chou et al., 1994]*.

2.4 Aanpassingen initialisatie

Ter verbetering van de initialisatie is gebruik gemaakt van een op Meteo Consult ontwikkeld algoritme dat corrigeert voor de foute initialisatie van de bodem- en de oppervlaktetemperatuur bij de kust. Daarnaast is het landgebruik van het WRF® model aangepast.

2.4.1 Initialisatie zeewatertemperatuur

Aangezien het globale model ECMWF een grovere resolutie heeft dan het mesoschaal model WRF® ontstaan er bij de kust mogelijk fouten *[Zuurendonk et.al., 2007]*, omdat de landtemperatuur aanzienlijk kan verschillen van de zeetemperatuur. In figuur 2.3 is het verschil in resolutie weergegeven. Door dit verschil zouden zeepunten in WRF® geïnitialiseerd worden met een landtemperatuur. Hierdoor ontstaan er mogelijk fouten in de uitvoer van het model. Om deze mogelijke fout in de initialisatie te voorkomen, is van alle waterpunten langs de kust gecontroleerd of zij niet te veel afwijken van het gebiedsgemiddelde. Hoe dit gebiedsgemiddelde is bepaald is in figuur 2.4 visueel aangegeven door het geel gekleurde gebied.

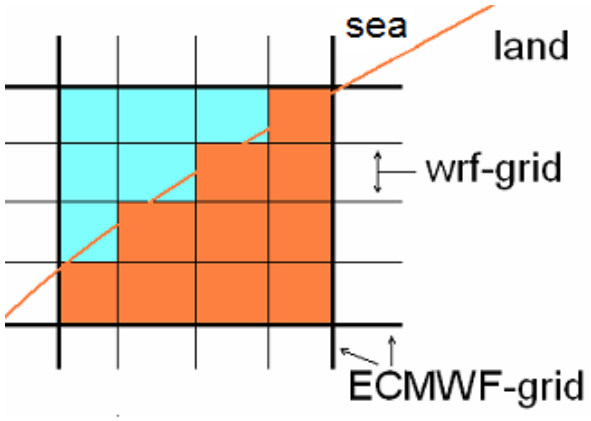


Fig. 2.3 ECMWF land punt en WRF® zee/land punten.

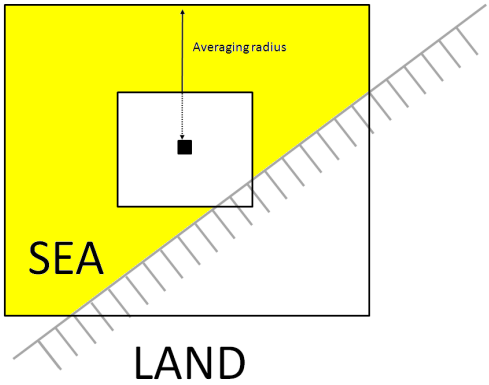


Fig. 2.4 Methode om gemiddelde waarden voor zeepunten te bepalen.

Indien de waarde van het punt meer dan 1 Kelvin afweek van het gebiedsgemiddelde dan werd deze vervangen door de waarde van het gebiedsgemiddelde. Via een iteratief proces is deze methode uitgevoerd totdat er geen punten meer zijn die meer dan 1 Kelvin afweken van het gebiedsgemiddelde.

2.4.2 Initialisatie bodemparameters

Op eenzelfde wijze is de initialisatie van de bodemparameters aangepast. Dit was nodig omdat het ECMWF model boven water een bodemvochtigheid van 100% heeft en de bodemtemperatuur daarmee gelijk is aan de zeewatertemperatuur hetgeen in de praktijk niet het geval is. Aangezien het globale model ECMWF een grovere resolutie heeft dan het mesoschaal model WRF® ontstaan er bij de kust mogelijk fouten met de initialisatie van de bodemparameters in het WRF® model.

Om dit op te lossen wordt eenzelfde methode als bij de zeewatertemperatuur *[zie paragraaf 2.4.1]* toegepast. In dit geval wordt echter niet naar de waterpunten langs de kust gekeken maar juist naar de landpunten.

2.4.3 Initialisatie landgebruik

Om het WRF® model met een zo representatief mogelijke ondergrond te laten rekenen, is het landgebruik van alle land-gridboxen van het eiland aangepast naar het type dat het meest overeenkomt met de werkelijkheid. In figuur 2.5 zijn alle verschillende landgebruiken per gridbox weergegeven. Donkerblauw is bebouwing, groen is akkerland/weiland en donkergroen zijn struikgewassen.

De uiteindelijke uitvoer berekeningen met WRF® *[zie hoofdstuk 3]* zijn geinitialiseerd aan de hand van de waarden van één gridbox van het kleine domein. In figuur 2.5 is de gridbox die representatief is voor de locatie van het meetstation Hato geel ingekaderd.

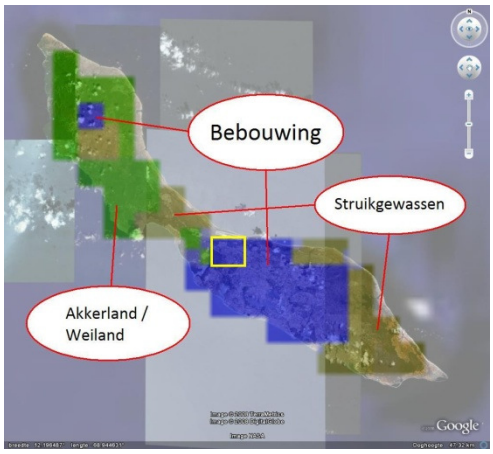


Fig. 2.5 Verschillende landgebruiken van het kleine domein van WRF® en de representatieve gridbox voor station Hato.

2.5 Controle

Tijdens het uitvoeren van de opdracht zijn er verschillende controles uitgevoerd om te verifiëren of de met WRF® berekende waarden meteorologisch gezien representatief zijn voor het opgetreden weer ter plaatse. Daarvoor zijn de uitkomsten per element in kaart- en grafiek presentaties met behulp van de meteorologische kennis binnen Meteo Consult gecontroleerd.

Enkele variabelen die nodig zijn in de levering zijn niet direct in de WRF® uitvoer voorhanden, maar kunnen wel met behulp van de beschikbare parameters berekend worden. Daarvoor zijn verschillende methoden mogelijk, welke zijn getest en geëvalueerd. De uiteindelijke berekeningsmethoden zijn uiteengezet in paragraaf 3.3.

Aangezien de door StAB aangeleverde observaties niet altijd compleet waren zijn deze aangevuld. Hoe dit is gebeurd, staat beschreven in paragraaf 3.4.

Alle output variabelen waarvoor observaties aanwezig zijn, zowel directe WRF® uitvoer als de daarmee berekende waardes, zijn vergeleken met de observaties. Vervolgens is uitgebreid gekeken naar de consistentie tussen de verschillende runs. Tussen de runs mogen immers geen sprongen ontstaan. Enkele voorbeelden van dergelijke vergelijkingen zijn te vinden in paragraaf 3.5.

3 Output

3.1 Output formaat

Meteo Consult heeft twee bestanden geproduceerd. Een zogenaamd “surface bestand” met de extensie .SFC en een “profile bestand” met de extensie .PFL. Het surface bestand en het profile bestand hebben een vast formaat *[Paumier et al., 2004]* zoals onderstaand weergegeven.

3.1.1 Surface bestand

Jaar	= nummer van jaar sinds 2000 in locale tijd ,<3>
Maand	= nummer van de maand in locale tijd <1-12>
Dag	= nummer van de dag in locale tijd <1-31>
Julian dag	= nummer van de Julian dag van het jaar in locale tijd <1-365>
Uur	= nummer van het uur van de dag in locale tijd <1-24>
H	= voelbare warmteflux (W m^{-2})
u_*	= wrijvingssnelheid (m s^{-1})
w_*	= convectieve snelheidsschaal (m s^{-1})
VPTG	= verticale potentiele temperatuurs gradiënt boven de PBL (K m^{-1})
PBL	= hoogte van de convectieve grenslaag (m)
SBL	= hoogte van de mechanische grenslaag (m)
L	= Monin-Obukhov lengte (m)
Z_0	= ruwheidslengte (m)
B_0	= Bowen ratio (-)
r	= Albedo (-)
W_s	= windsnelheid (m s^{-1})
W_d	= windrichting (degrees)
Z_{ref}	= referentie hoogte van meeting windrichting en windsnelheid (m)
Temp	= Temperatuur (K)
z_{temp}	= referentie hoogte van temperatuur (m)

3.1.2 Profile bestand

Jaar	= nummer van jaar sinds 2000 in locale tijd ,<3>
Maand	= nummer van de maand in locale tijd <1-12>
Dag	= nummer van de dag in locale tijd <1-31>
Uur	= nummer van het uur van de dag in locale tijd <1-24>
Height	= meethoogte (m)
Top	= 1, als dit het laatste/hoogste level van het uur is, anders 0
WDnn	= windrichting op het huidige level (degrees)
WSnn	= windsnelheid op het huidige level (m s^{-1})
TTnn	= temperatuur op het huidige level (°C)
SAnn	= σ_θ (degrees)
SWnn	= σ_w (m s^{-1})

3.2 Invulling bestanden

De verschillende variabelen in het surface bestand en het profile bestand zijn uit verschillende bronnen gekomen.

De windrichting en windsnelheid op 10m zijn uit de door StAB geleverde observatie bestanden *[Feringa, persoonlijke communicatie]* gedestilleerd.

Andere variabelen waren direct beschikbaar in de uitvoer van het WRF® model of waren met de wel beschikbare uitvoer variabelen te berekenen. De variabelen die direct uit het model komen, zijn: de voelbare warmteflux, wrijvingssnelheid, hoogte van de convectieve grenslaag, Monin-Obukhov lengte en temperatuur (op 2m). Daarbij is de hoogte van de convectieve grenslaag -999 als de voelbare warmteflux negatief of nul is.
De convectieve-snelheidsschaal, verticale potentiële temperatuurgradiënt boven de PBL en de hoogte van de mechanische grenslaag zijn berekend met behulp van de wel beschikbare WRF® uitvoer variabelen. In paragraaf 3.3 wordt uitgelegd hoe elke variabele is bepaald.

De overige variabelen zijn op verzoek van StAB gekopieerd uit de door StAB geleverde Aermod.sfc en Aermod.pfl bestanden *[Feringa, persoonlijke communicatie]*. Deze bestanden zijn gemaakt door het AERMET programma.

In Bijlage A is een voorbeeld van een gedeelte van de .SFC en .PFL bestanden.

3.3 Berekende variabelen

In deze paragraaf wordt de berekeningsmethode van de verschillende variabelen die berekend zijn aan de hand van de WRF® uitvoer uiteengezet.

3.3.1 Convectieve-snelheidsschaal

De volgende formule wordt hiervoor gebruikt *[Stull, 1988]*:

$$w_* = \left(\frac{g \cdot H \cdot z_{ic}}{\rho \cdot c_p \cdot T}\right)^{1/3} \qquad (3.1)$$

g = zwaartekrachtsversnelling (m s^{-2})
H = voelbare warmte flux (W m^{-2})
Z_{ic} = convectieve grenslaaghoogte (m), met een maximum van 4000m en gelijk gesteld aan de PBL hoogte van WRF®
ρ = dichtheid van droge lucht (kg m^{-3})
Dit wordt gedaan door alle ρ's per modelniveau in de grenslaag uit te rekenen. Vervolgens wordt de ρ op de grenslaaghoogte bepaald door naar boven te interpoleren met behulp van de gradiënt van de twee modelniveaus onder de grenslaaghoogte. Met al deze ρ's wordt een gemiddelde ρ voor de grenslaag berekend.
c_p = specifieke warmte capaciteit van lucht (J kg^{-1} K^{-1})
T = Gemiddelde absolute temperatuur van de grenslaag (K)
Deze wordt berekend door op alle modelniveaus in de grenslaag de temperatuur uit te rekenen. Vervolgens wordt de temperatuur op de grenslaaghoogte bepaald door naar boven te interpoleren met behulp van de gradiënt van de twee modelniveaus onder de grenslaaghoogte. Met al deze temperaturen wordt een gemiddelde temperatuur voor de grenslaag berekend.

Deze variabele kan alleen bestaan als er sprake is van convectie, dus wanneer H groter is dan nul. Daarom is deze variabele -999 als H gelijk of kleiner is dan nul.

3.3.2 Verticale potentiële temperatuurgradiënt boven de PBL

De volgende formule wordt hiervoor gebruikt:

$$VPTG = \frac{\theta_{PBL_{top}} - \theta_{PBL_{top+500}}}{Z_{PBL_{top}} - Z_{PBL_{top+500}}} \quad (3.2)$$

θ_{PBL_top} = Temperatuur op het eerste modelniveau boven de PBL hoogte. Als de absolute temperatuur nog steeds toeneemt in de hoogte boven dit level wordt het hoger level gekozen. Dit wordt herhaald totdat de absolute temperatuur niet meer toeneemt in de hoogte. (K)

$\theta_{PBL_top+500}$ = Temperatuur op het eerste model level boven de PBL hoogte + 500 meter (K)

Z_{PBL_top} = Hoogte van het eerste modelniveau boven de PBL hoogte. Als de absolute temperatuur nog steeds toeneemt in de hoogte boven dit level wordt het hoger level gekozen. Dit wordt herhaald totdat de absolute temperatuur niet meer toeneemt in de hoogte. (m)

$Z_{PBL_top+500}$ = Hoogte van het eerste modelniveau boven de PBL hoogte + 500 meter (m)

3.3.3 Hoogte van de mechanische grenslaag

De door de AERMET *[Paumier et al., 2004]* voorgestelde methode is als volgt:

$$SBL = 0.4 \cdot \left(\frac{u_* \cdot L}{f}\right) \quad (3.3)$$

u* = wrijvingssnelheid (m s^{-1})
L = Monin Obukhov lengte (m)
f = coriolis kracht (s^{-1})
0.4 = von Karman constante

Deze komt niet overheen met de literatuur *[Zilitinkevich, 1972]* want hier staat:

$$SBL = 0.4 \cdot \left(\frac{u_*}{f}\right) \quad (3.4)$$

Als gekeken wordt naar de dimensies is al duidelijk dat formule 3.3 niet klopt. Vergelijking 3.3 zou een lengte van m^2 geven en vergelijking 3.4 van *m*. De mechanische grenslaaghoogte moet echter een hoogte in meters hebben. Daarnaast is deze formule niet toepasbaar op lagere breedtegraden *[Samah, 1997]* zoals op de breedtegraad waar Curaçao gelegen is. Richting de evenaar gaat de Coriolis parameter namelijk richting 0 en dit veroorzaakt mechanische grenslaaghoogtes die in de tropen onrealistisch hoog zijn.

Daarnaast is het moeilijk om het verschil tussen de mechanische en convectieve grenslaag te bepalen, omdat het overdag niet mogelijk is om te bepalen of de grenslaag ontstaan is door mechanische wrijving of door convectie. Hier is al veel wetenschappelijk onderzoek naar gedaan, maar de resultaten zijn nog niet consistent.

Aangezien de standaard formule niet werkt en het dus moeilijk is om het verschil tussen de mechanische en convectieve grenslaag te bepalen, is gekozen om voor de mechanische grenslaaghoogte de grenslaaghoogte uit het WRF® model te gebruiken.

Het is logisch dat wanneer boven land tijdens de nacht de voelbare warmteflux nul of negatief is, er geen convectie kan zijn en daardoor de convectieve grenslaaghoogte niet te bepalen is. De grenslaaghoogte uit het WRF® model is tijdens de nacht daarom per definitie gelijk aan de mechanische grenslaaghoogte. Overdag is de grenslaaghoogte uit het WRF® model een combinatie van de mechanische en convectieve grenslaag. De overgang van een mechanische grenslaag naar een combinatie van een mechanische en convectieve grenslaag kan kort na zonsopkomst voor onnatuurlijke sprongen zorgen. Om deze te voorkomen is een smoothing in de tijd toegepast over de mechanische grenslaaghoogte.

3.4 Opvullen missende observaties

Voor de windrichting en windsnelheid in de output bestanden worden de door StAB geleverde observaties gebruikt *[Feringa, persoonlijke communicatie]*. Deze observaties waren echter niet volledig en zijn met de twee onderstaande methodes aangevuld.

- Als de observaties van één enkel uurvak ontbreken, wordt er interpolatie toegepast. In dat geval wordt de waarde opgevuld met het gemiddelde tussen het uur ervoor en het uur erna.
- Als de observaties van meerdere opeenvolgende uurvakken ontbreken, is besloten de reeks aan te vullen met WRF® output. De windsnelheid en windrichting op 10m zijn daarvoor berekend met de u en v componenten van de wind, die standaard model output variabelen zijn *[zie vergelijkingen 3.5 en 3.6]*.

$$w_s = (u^2 + v^2)^{1/2} \tag{3.5}$$

$$w_d = 90° - \arctan\left(\frac{\mathrm{v}}{\mathrm{u}}\right) + \propto \qquad \propto = 180° \text{ als u} > 0, anders \ \propto = 0 \tag{3.6}$$

3.5 Voorbeelden

Om te controleren of de output van het WRF® model valide is, zijn verschillende variabelen in een grafiek geplot. In deze paragraaf is een voorbeeld gegeven van de periode van 2003-03-19 00:00 t/m 2003-03-21 23:00 LT. Tijdens deze periode ontbreken de observaties van de windrichting en windsnelheid van 2003-03-20 08:00 t/m 2003-03-21 08:00 LT en daarom wordt deze periode als voorbeeld getoond.

In figuren 3.1 en 3.2 zijn twee variabelen weergeven, welke beide uit de WRF® uitvoer afkomstig zijn. Tussen de periode dat het model niet met observaties is gevoed, tussen de rode lijnen, en de periode dat er wel observaties in het WRF® model zijn meegenomen, is geen significant verschil te zien. Zowel de luchttemperatuur als de grenslaaghoogte vertonen op alle dagen een goede dagelijkse gang.

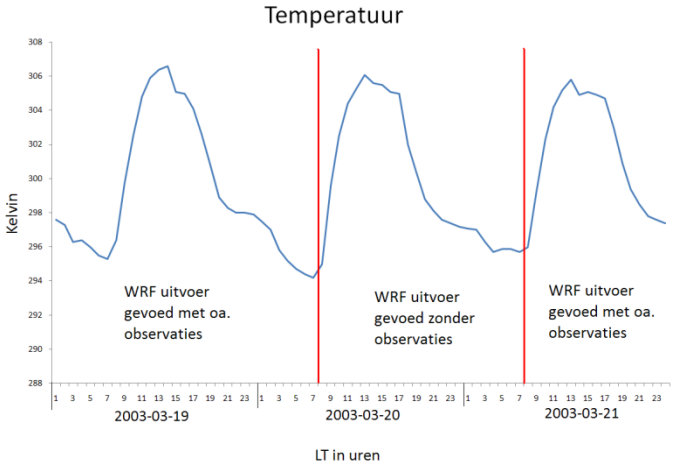


Fig. 3.1 Temperatuur

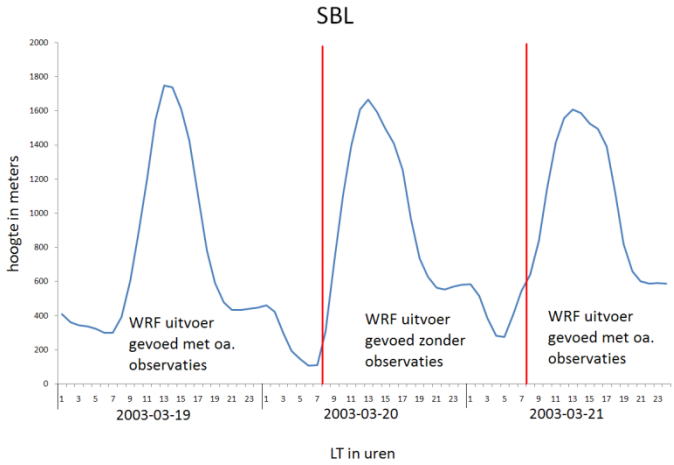


Fig. 3.2 Mechanische grenslaaghoogte

In figuren 3.3 en 3.4 zijn twee variabelen weergegeven welke direct uit de observaties komen. Aangezien deze over een periode, tussen de rode lijnen, ontbreken is daar WRF® uitvoer voor gebruikt. In de figuren is te zien dat de WRF® uitvoer eenzelfde patroon vertoont als de observaties van de dag ervoor en erna.

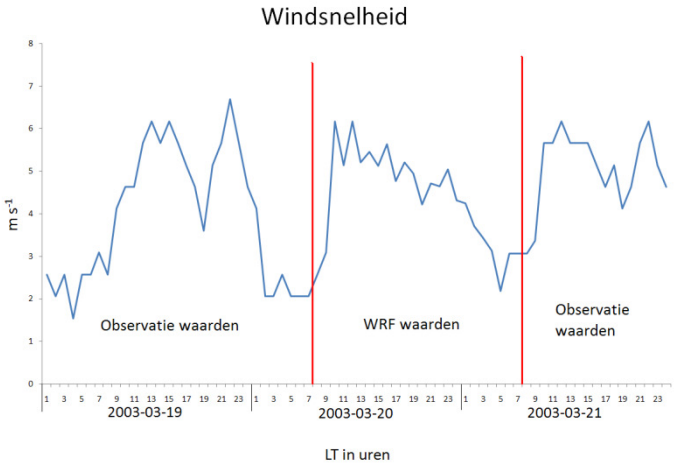


Fig. 3.3 Windsnelheid

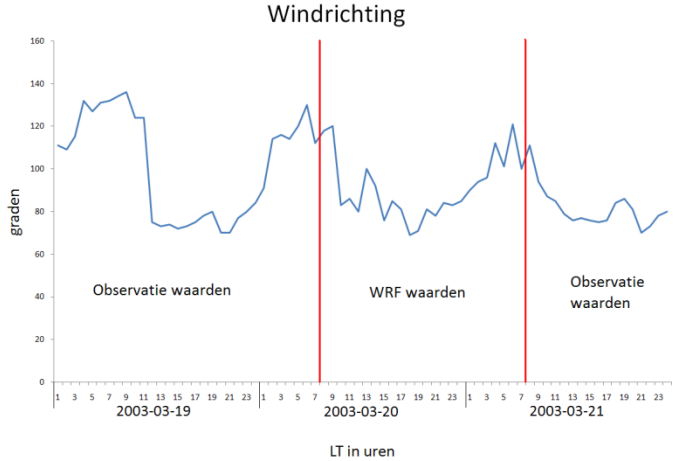


Fig. 3.4 Windrichting

3.6 Levering

Na de verschillende controles zijn er drie bestanden aan StAB geleverd. De eerste twee ("HATO03_MC.SFC" & "HATO03_MC.PFL") zijn per email geleverd op 21 December 2008 *[Feringa, persoonlijke communicatie]*. Een voorbeeld van de inhoud van deze bestanden is te zien in bijlage A.

In het derde geleverde bestand wordt per tijdseenheid en per geleverd element gespecificeerd volgens welke methode een waarde tot stand is gekomen. Dit bestand ("herkomst data Meteofiles Curacao 20090108.xlsx") is per email geleverd op 8 januari 2009 *[Feringa, persoonlijke communicatie]*.

De levering is gedaan conform de algemene leveringsvoorwaarden van Meteo Consult. In het bijzonder wordt erop gewezen dat Meteo Consult niet aansprakelijk gesteld kan worden voor het niet uitkomen van verwachtingen.

Additioneel is overeengekomen dat de door Meteo Consult aangeleverde files mogen worden gebruikt door de partijen die een rol hebben in het in paragraaf 1.1 genoemde geschil en door de partijen te bepalen derden die een rol hebben of krijgen in het in paragraaf 1.1 genoemde geschil. Meteo Consult kan daarbij als bron vermeld worden waar het gaat om de aangevulde waardes in de geleverde bestanden.

Referentielijst

Chou, M.D., Suarez, M.J., Liang, X.Z., Yan, M., 1994. An Efficient Thermal Infrared Radiation Parameterization for Use in General Circulation Models, Technical Report Series on Global Modeling and Data Assimilation, NASA Technical Memorandum 104606, 3.

Grell, G.A., Devenyi, D., 2002. A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques. Geophysical Research Letters, 29, 1693.

Hong, S.Y., Juang, H.M.H., Zhao, Q., 1998. Implementation of prognostic cloud scheme for a regional spectral model, Monthly Weather Review, 126, 2621-2639.

Hong, S.Y., Dudhia, J., Chen, S.H., 2004. A Revised Approach to Ice Microphysical Processes for the Bulk Parameterization of Clouds and Precipitation, Monthly Weather Review, 132, 103-120.

Mlawer, E.J., Taubman, S.J., Brown, P.D., Iacono, M.J., Clough, S.A., 1997. Radiative transfer for inhomogeneous atmosphere. RRTM, a validated correlated-k model for the longwave, Journal of Geophysical Research - Atmospheres, 102, 16663–16682.

Monin, A.S., Obukhov, A.M., 1954. Osnovnye zakonomernosti turbulentnogo peremeshivaniia v prizemnom sloe atmosfery, Akademii´a nauk SSSR, Geofizicheskii institute, USSR, Translated version by; Miller, J., 1959. Basic laws of turbulent mixing in the ground layer of the atmosphere, American meteorological Society, Cambridge, Boston, 42pp, USA

Paumier, J.O., Brode, R.W., 2004: User's guide for the aermod meteorological preprocessor (AERMET), U.S. Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards Emissions, Monitoring, and Analysis Division Research Triangle Park, North Carlina 27711

Samah, A.A., 1997: Modelling the development of mixing height near in near equatorial region in S.E Gryning, F Beyrich and E Bachnorova (Eds) The Determination of Mixing Height- Current progress and problems. EURASAP Workshop Proceeding 1-3 October 1997, Riso National Lab. Pp 31-34.

Skamarock, W.C., Klemp, J.B., Dudhia, J., Gill, D.O., Barker, D.M., Wang, W., Powers, J.G., 2005. A Description of the Advanced Research WRF Version 2, NCAR Technical Note, June 2005.

Stull, R.B., 1988. An Introduction to Boundary Layer Meteorology, Kluwer Academic Publishers, Norwell, 618pp, USA.

Zilitinkevich, S.S., 1972: On the determination of the height of the ekman boundary layer, boundary layer meteorology, 3, 141-145.

Zuurendonk, I.W., van Dijke D., van den Berg W.D., 2007: Importance of a good model initialisation – Demonstrated with WRF-ARW. 07th International SRNWP-Workshop on Non-Hydrostatic Modelling, Bad Orb, 05 - 07 November 2007.

Persoonlijke communicatie

Feringa, E.P., Senior Adviseur, StAB gerechtelijke omgevingsdeskundigen, Den Haag, Nederland.
Martis, A.A.E., Directeur Meteorologische Dienst Nederlandse Antillen & Aruba, Curaçao, Nederlandse Antillen.

Bijlage A

Een voorbeeld van het .SFC bestand

```
    12.2N    68.97W          UA_ID: 00011641  SF_ID:    78988  OS_ID:        0      VERSION: 06341
3  1  1   1  1  -86.1  0.951 -9.000 -9.000 -999.  891.    163.9  1.000    4.00    1.00    7.20  100.     10  298.9    2.0    0  0.00    0.     0.     0
3  1  1   1  2  -75.7  0.966 -9.000 -9.000 -999.  924.    166.7  1.000    4.00    1.00    6.69  102.     10  298.7    2.0    0  0.00    0.     0.     0
3  1  1   1  3  -70.3  0.818 -9.000 -9.000 -999.  972.    120.5  1.000    4.00    1.00    7.20   97.     10  298.6    2.0    0  0.00    0.     0.     0
3  1  1   1  4  -65.9  0.775 -9.000 -9.000 -999. 1021.    107.5  1.000    4.00    1.00    5.66   99.     10  298.5    2.0    0  0.00    0.     0.     0
3  1  1   1  5  -65.7  0.763 -9.000 -9.000 -999. 1059.    103.1  1.000    4.00    1.00    6.69   97.     10  298.6    2.0    0  0.00    0.     0.     0
3  1  1   1  6  -65.6  0.783 -9.000 -9.000 -999. 1080.    109.9  1.000    4.00    1.00    6.17   99.     10  298.6    2.0    0  0.00    0.     0.     0
3  1  1   1  7  -70.1  0.815 -9.000 -9.000 -999. 1084.    117.6  1.000    4.00    1.00    7.72   92.     10  298.6    2.0    0  0.00    0.     0.     0
3  1  1   1  8  -72.4  0.888 -9.000 -9.000 -999.  921.    138.9  1.000    4.00    0.47    8.23   92.     10  298.6    2.0    0  0.00    0.     0.     0
3  1  1   1  9   43.3  1.014  0.797  0.006  426.  749.  -2000.0  1.000    4.00    0.24    7.20   98.     10  299.9    2.0    0  0.00    0.     0.     0
3  1  1   1 10  171.5  1.356  1.722  0.006 1054. 1019.  -1250.0  1.000    4.00    0.18    7.72   93.     10  301.5    2.0    0  0.00    0.     0.     0
3  1  1   1 11  300.6  1.206  2.370  0.006 1543. 1453.   -555.6  1.000    4.00    0.17    8.23   92.     10  303.1    2.0    0  0.00    0.     0.     0
3  1  1   1 12  402.2  1.177  2.694  0.006 1672. 1635.   -370.4  1.000    4.00    0.16    8.23   91.     10  304.1    2.0    0  0.00    0.     0.     0
3  1  1   1 13  458.0  1.233  2.802  0.006 1655. 1663.   -370.4  1.000    4.00    0.16    9.26   96.     10  304.7    2.0    0  0.00    0.     0.     0
3  1  1   1 14  473.2  1.233  2.841  0.006 1671. 1646.   -357.1  1.000    4.00    0.16    8.75   90.     10  304.7    2.0    0  0.00    0.     0.     0
3  1  1   1 15  440.8  1.263  2.716  0.006 1588. 1580.   -416.7  1.000    4.00    0.17    9.26   89.     10  304.4    2.0    0  0.00    0.     0.     0
3  1  1   1 16  351.0  1.238  2.453  0.006 1473. 1448.   -500.0  1.000    4.00    0.18    8.75   91.     10  303.9    2.0    0  0.00    0.     0.     0
3  1  1   1 17  233.0  1.195  2.030  0.006 1260. 1245.   -666.7  1.000    4.00    0.22    8.75   94.     10  303.0    2.0    0  0.00    0.     0.     0
3  1  1   1 18   97.6  1.112  1.394  0.006  988. 1057.  -1250.0  1.000    4.00    0.36    7.72   96.     10  301.7    2.0    0  0.00    0.     0.     0
3  1  1   1 19  -17.8  0.822 -9.000 -9.000 -999.  959.    138.9  1.000    4.00    1.00    6.17   95.     10  300.0    2.0    0  0.00    0.     0.     0
…
…
…
3 12 31 365 13  373.4  1.204  2.743  0.007 1884. 1809.   -416.7  1.000    4.00    0.16    8.23   56.     10  301.7    2.0    0  0.00    0.     0.     0
3 12 31 365 14  400.4  1.309  2.697  0.007 1675. 1704.   -500.0  1.000    4.00    0.16    7.72   50.     10  302.1    2.0    0  0.00    0.     0.     0
3 12 31 365 15  332.2  1.163  2.474  0.007 1581. 1660.   -434.8  1.000    4.00    0.17    6.17   57.     10  301.9    2.0    0  0.00    0.     0.     0
3 12 31 365 16  374.1  1.064  2.701  0.007 1802. 1706.   -294.1  1.000    4.00    0.18    5.14   72.     10  302.7    2.0    0  0.00    0.     0.     0
3 12 31 365 17  271.0  1.035  2.350  0.007 1639. 1583.   -370.4  1.000    4.00    0.22    6.17   86.     10  301.9    2.0    0  0.00    0.     0.     0
3 12 31 365 18  127.2  1.005  1.660  0.007 1253. 1332.   -714.3  1.000    4.00    0.37    6.17   68.     10  300.5    2.0    0  0.00    0.     0.     0
3 12 31 365 19  -20.6  0.906 -9.000 -9.000 -999. 1192.    175.4  1.000    4.00    1.00    7.20   75.     10  299.1    2.0    0  0.00    0.     0.     0
3 12 31 365 20  -55.1  0.846 -9.000 -9.000 -999. 1150.    138.9  1.000    4.00    1.00    8.23   92.     10  298.5    2.0    0  0.00    0.     0.     0
3 12 31 365 21  -62.5  0.855 -9.000 -9.000 -999. 1120.    138.9  1.000    4.00    1.00    7.72   84.     10  298.4    2.0    0  0.00    0.     0.     0
3 12 31 365 22  -64.2  0.904 -9.000 -9.000 -999. 1106.    153.8  1.000    4.00    1.00    7.20   63.     10  298.3    2.0    0  0.00    0.     0.     0
3 12 31 365 23  -62.3  0.891 -9.000 -9.000 -999. 1102.    149.3  1.000    4.00    1.00    6.69   45.     10  298.5    2.0    0  0.00    0.     0.     0
3 12 31 365 24  -77.1  0.961 -9.000 -9.000 -999. 1124.    169.5  1.000    4.00    1.00    8.23   85.     10  298.5    2.0    0  0.00    0.     0.     0
```

Een voorbeeld van het .PFL bestand

```
  3  1  1  1   10.0 1  100.    7.20    25.7   99.0   99.00
  3  1  1  2   10.0 1  102.    6.69    25.5   99.0   99.00
  3  1  1  3   10.0 1   97.    7.20    25.4   99.0   99.00
  3  1  1  4   10.0 1   99.    5.66    25.4   99.0   99.00
  3  1  1  5   10.0 1   97.    6.69    25.4   99.0   99.00
  3  1  1  6   10.0 1   99.    6.17    25.4   99.0   99.00
  3  1  1  7   10.0 1   92.    7.72    25.4   99.0   99.00
  3  1  1  8   10.0 1   92.    8.23    25.5   99.0   99.00
  3  1  1  9   10.0 1   98.    7.20    26.8   99.0   99.00
  3  1  1 10   10.0 1   93.    7.72    28.3   99.0   99.00
  3  1  1 11   10.0 1   92.    8.23    29.9   99.0   99.00
  3  1  1 12   10.0 1   91.    8.23    31.0   99.0   99.00
  3  1  1 13   10.0 1   96.    9.26    31.5   99.0   99.00
  3  1  1 14   10.0 1   90.    8.75    31.6   99.0   99.00
  3  1  1 15   10.0 1   89.    9.26    31.2   99.0   99.00
  3  1  1 16   10.0 1   91.    8.75    30.7   99.0   99.00
  3  1  1 17   10.0 1   94.    8.75    29.9   99.0   99.00
  3  1  1 18   10.0 1   96.    7.72    28.6   99.0   99.00
  3  1  1 19   10.0 1   95.    6.17    26.8   99.0   99.00
…
…
…
 3 12 31 13   10.0 1   56.    8.23    28.5   99.0   99.00
 3 12 31 14   10.0 1   50.    7.72    28.9   99.0   99.00
 3 12 31 15   10.0 1   57.    6.17    28.8   99.0   99.00
 3 12 31 16   10.0 1   72.    5.14    29.5   99.0   99.00
 3 12 31 17   10.0 1   86.    6.17    28.8   99.0   99.00
 3 12 31 18   10.0 1   68.    6.17    27.4   99.0   99.00
 3 12 31 19   10.0 1   75.    7.20    25.9   99.0   99.00
 3 12 31 20   10.0 1   92.    8.23    25.4   99.0   99.00
 3 12 31 21   10.0 1   84.    7.72    25.3   99.0   99.00
 3 12 31 22   10.0 1   63.    7.20    25.2   99.0   99.00
 3 12 31 23   10.0 1   45.    6.69    25.3   99.0   99.00
 3 12 31 24   10.0 1   85.    8.23    25.3   99.0   99.00
```

BIJLAGE 26: Invoergegevens Aermod berekeningen

		Referentie 2007 (als bekend t.t.v. zitting)		Situatie 2009: SRU's op 98% en SWS stabiel (Referentie 2007 – 3.35 kt)		Situatie 2009: additief DeSOx bij FCCU (Referentie 2007 – 6.1 kt)		Situatie 2009: SRU's + SWS + FCCU gesaneerd (Referentie 2007 – 9.45 kt)	
ID	Process plants	2007 (kton/y)	2007 (gram/s)	2009 (kton/y)	2009 (gram/s)	2009 (kton/y)	2009 (gram/s)	2009 (kton/yr)	2009 (gram/s)
21	CD-2	2.62	82.94	2.62	82.94	2.62	82.94	2.62	82.94
22	CD-3	3.84	121.75	3.84	121.75	3.84	121.75	3.84	121.75
23	HV-6 + FEU-2	0.55	17.50	0.55	17.50	0.55	17.50	0.55	17.50
24	HV-7	0.89	28.15	0.89	28.15	0.89	28.15	0.89	28.15
43	HV-8	0.36	11.41	0.36	11.41	0.36	11.41	0.36	11.41
41/42	FEU-1	0.05	1.52	0.05	1.52	0.05	1.52	0.05	1.52
44	MDU	0.24	7.61	0.24	7.61	0.24	7.61	0.24	7.61
12	FP-2	1.51	47.94	1.51	47.94	1.51	47.94	1.51	47.94
11	FCCU + FP-1	8.04	254.91	8.04	254.91	1.96	62.02	1.96	62.02
14	TC-1	0.43	13.70	0.43	13.70	0.43	13.70	0.43	13.70
10	TC-2	0.12	3.80	0.12	3.80	0.12	3.80	0.12	3.80
32	HF-Alky	0.10	3.04	0.10	3.04	0.10	3.04	0.10	3.04
31	Platformer + HDS + VGO-HDT/Mild HT + LVI-HF + CR.LT.Dist.HDT	2.47	78.38	2.47	78.38	2.47	78.38	2.47	78.38
17/18/18a	SRU-Stack*	7.0	221.94	3.65	115.72	7.0	221.94	3.65	115.72
21 - 43	ISLA	**28.22**	894.6	**24.9**	788.4	**22.14**	702.1	**18.8**	595.8

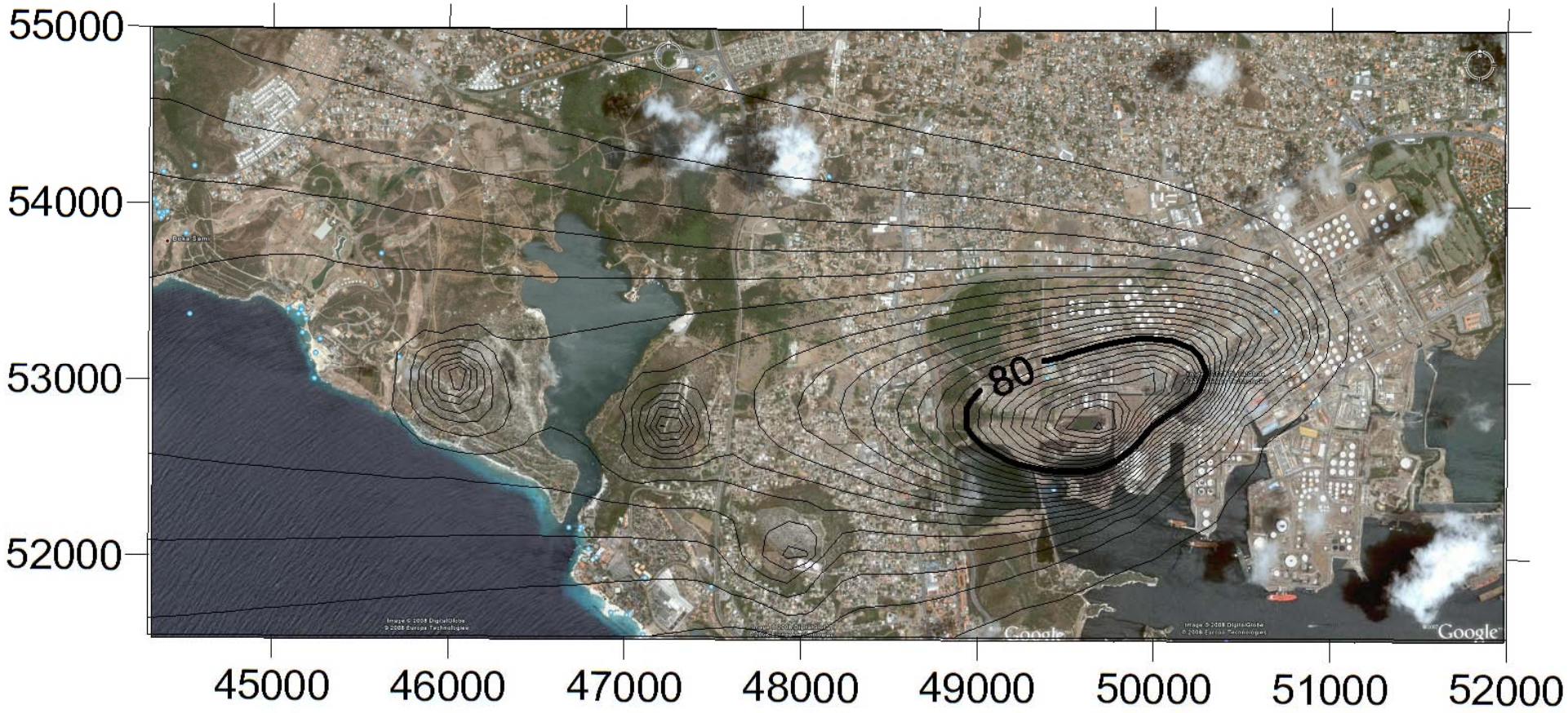
* Procesemissies van de SRU's en SWS

BIJLAGE 26: Invoergegevens Aermod berekeningen

		Referentie 2007 (als bekend t.t.v. zitting)		Situatie 2011: Rookgasreiniging op CD-3 (Referentie 2007 – 3.5 kt)		Situatie 2011: Rookgasreiniging op CD-2/3, FP-2 (Referentie 2007 – 7.2 kt)	
ID	Process plants	2007 (kton/y)	2007 (gram/s)	2011 (kton/y)	2011 (gram/s)	2011 (kton/y)	2011 (gram/s)
21	CD-2	2.62	82.94	2.62	82.94	0.26	8.24
22	CD-3	3.84	121.75	0.35	11.10	0.35	11.10
23	HV-6 + FEU-2	0.55	17.50	0.55	17.50	0.55	17.50
24	HV-7	0.89	28.15	0.89	28.15	0.89	28.15
43	HV-8	0.36	11.41	0.36	11.41	0.36	11.41
41/42	FEU-1	0.05	1.52	0.05	1.52	0.05	1.52
44	MDU	0.24	7.61	0.24	7.61	0.24	7.61
12	FP-2	1.51	47.94	1.51	47.94	0.15	4.80
11	FCCU + FP-1	8.04	254.91	8.04	254.91	8.04	254.91
14	TC-1	0.43	13.70	0.43	13.70	0.43	13.70
10	TC-2	0.12	3.80	0.12	3.80	0.12	3.80
32	HF-Alky	0.10	3.04	0.10	3.04	0.10	3.04
31	Platformer + HDS + VGO-HDT/Mild HT + LVI-HF + CR.LT.Dist.HDT	2.47	78.38	2.47	78.38	2.47	78.38
17/18/18a	SRU-Stack*	7.0	221.94	7.0	115.72	7.0	221.94
21 - 43	ISLA	**28.22**	894.6	**24.7**	784.2	**21.0**	666.2

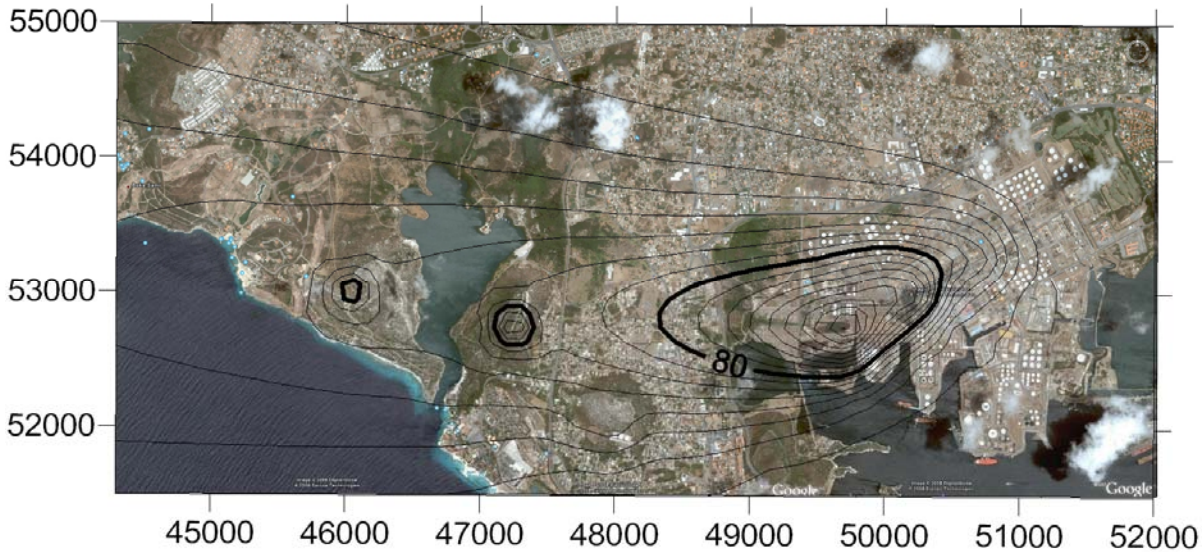
* Procesemissies van de SRU's en SWS

BIJLAGE 27: SO_2-immissieconcentratie in referentiejaar 2007 berekend met file Meteo Consult

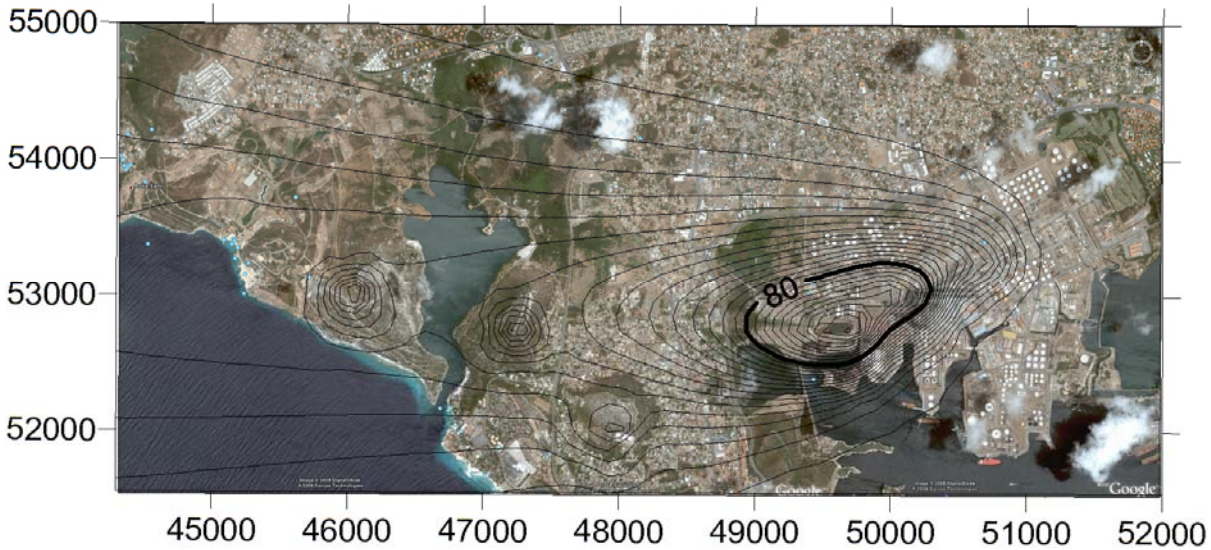


De 80 µg/m^3 SO_2-contour in 2007 (op basis van emissie van 28.3 kiloton per jaar) met gebruik van de meteofile "WRF08.sfc"

BIJLAGE 28: Vergelijking SO_2-contouren voor het jaar 2007 bij gebruik van meteo bestanden Isla en Meteo Consult

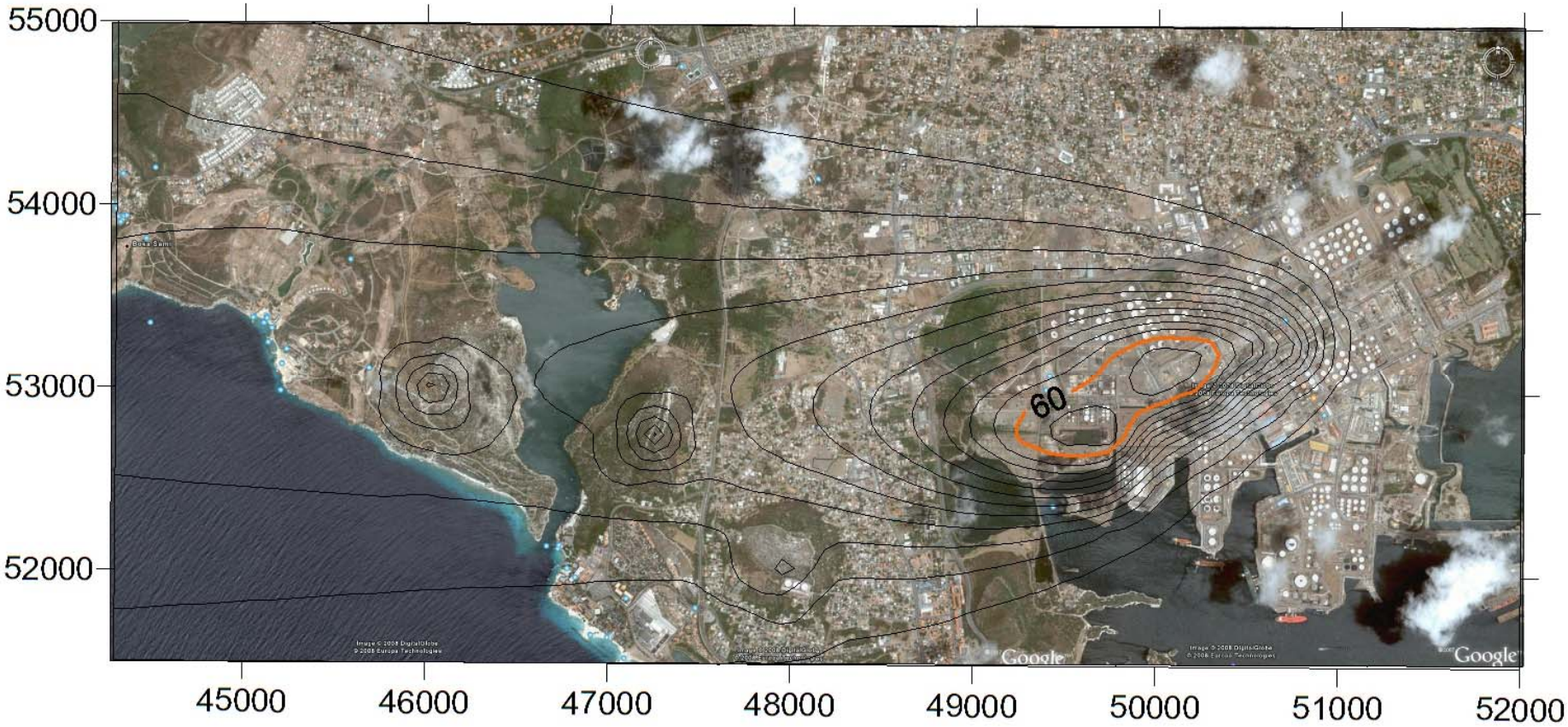


SO_2-contour in 2007 met gebruik van de surface file “Hato03.sfc” als gebruikt door Isla (gegenereerd door Trinity Consultants met Airmet).



SO_2-contour in 2007 met gebruik van de surface file “WRF08.sfc” als geleverd door Meteo Consult (gegenereerd met WRF).

BIJLAGE 29: SO_2-immissieconcentratie in 2009 na sanering SRU's, SWS en FCCU



De 60 µg/m^3 SO_2-contour in 2009 (op basis van emissie van 18.8 kiloton per jaar) met gebruik van de meteofile "WRF08.sfc"

BIJLAGE 30: Overzicht van maatregelen ter beperking van de SO_2-emissie (tijdens zitting op 30 juni 2008)

Maatregel	Termijn (jaar)	Geschat financieel effect
SRU's naar 98%	0.2	+ 0.5 M$/jaar
SWS stabiel	0.2	+ 0.3 M$/jaar
Additief Cat Cracker	0.5	- 2 à 3 M$/jaar
S in crude begrenzen	0.2	Verschil crude prijs
Bijmengen LSFO	0.2	- 100 M$/jaar
Gas nuttig inzetten	0.2	+ 6 M$/jaar
Diepconversie	7	- 2 mld $
Rookgasontzwaveling CD-2/3 en FP-2	2	- 80 M$/jaar
Rookgasontzwaveling CD-3	2	- 30 M$/jaar