

# Methaanemissie van de deponie Nauerna November 1999

A. Hensen

Revisions		
A		
B		
Made by:  A. Hensen	Approved:  J. Slanina	ECN-Fuels Conversion & Environment Air Quality
Checked by:	Issued:  C.A.M. van der Klein	

## Abstract

Methane concentrations in plumes resulting from emissions from a landfill at Nauerna west of Amsterdam were measured in November 1999. This was the third experiment of its kind at the Nauerna landfill. The total methane emission of the landfill was estimated using measurements of the methane concentration in the plume downwind of the landfill. These measurements were performed using a tunable diode laser, mounted in a van. A set of 10 plume measurements was obtained. The emission was estimated by fitting the calculated methane concentrations obtained with a gaussian plume model with the actually observed concentrations along the measurement trajectory. The emission estimated from the plume measurements at Nauerna amounted  $109 \pm 33 \text{ g CH}_4 \text{ s}^{-1}$  this is equivalent to an annual emission level of 3.4 kton  $\text{CH}_4/\text{y}$ . The standard deviation of the 10 different estimates is significantly larger compared to the levels obtained in 1997 and 1998. This is due to the fact that the measurement trajectory had to be changed. Part of the measurement trajectory used in the last two years could not be used anymore because of the development of a new harbour. As a result a part of the measurement trajectory is not perpendicular but parallel to the plume axis. Variations in wind direction have a more pronounced effect on the concentrations on this part of the trajectory which caused the variation in the subsequent emission estimates.

The emission levels in 1999 were significantly higher than obtained in 1997 and 1998. Also the main source area on the landfill changed from the south east to the middle on the south side compared to the previous years. There are three possible reasons that can explain the high emission level :

- \* The fresh waste that is deposited on the landfill shows a relatively high emission.
- \* The air pressure showed a minimum of 1000 mbar the day before measurements. This might have led to enhanced venting of the landfill.
- \* The average temperature was only  $2^\circ\text{C}$  ( compared to about 8-9 degrees during the campaigns in 1997 and 1998). Low temperatures inhibit methane oxidation activity in the top soil of the landfill.

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van N.V. Afvalzorg Noord-Holland.  
ECN projectnummer 8.27 125

# INHOUD

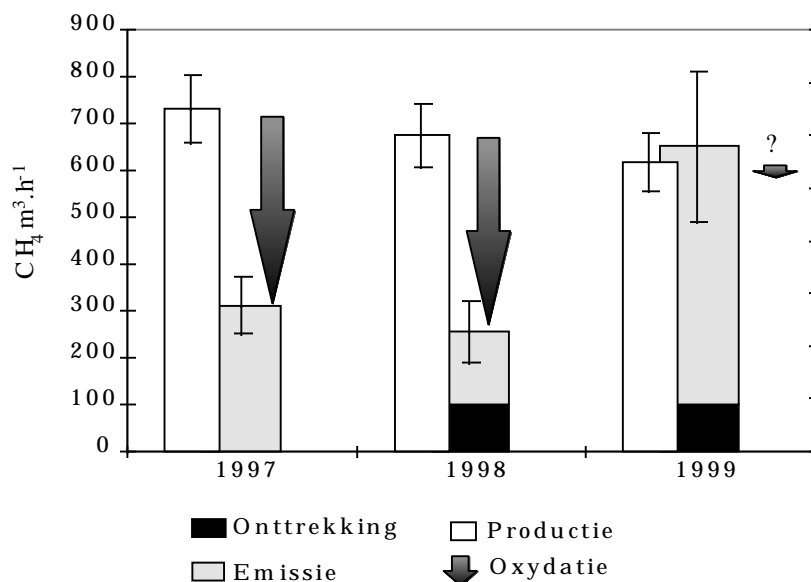
1. SAMENVATTING	5
2. INLEIDING	7
3. METHODE EN MEETTECHNIEK	9
3.1 Emissiebepalingsmethode	9
3.2 Meetmethode	11
3.2.1 Monstername	11
3.2.2 Concentratie meting: de Tunable Diode Laser (TDL)	11
3.2.3 Absorptie in de meetcel: onderdruk nodig	11
3.2.4 Calibratieprocedure en meetnauwkeurigheid	13
3.3 Meteorologische gegevens	13
3.4 Lachgasemissies	13
3.5 Invoer parameters voor het model	15
4. RESULTATEN	17
4.1 Meteorologische condities	17
4.2 Modelberekeningen	17
5. CONCLUSIES	21
6. Literatuur	23
7. APPENDIX A. MEETRESULTATEN PER PLUIM.	25



## SAMENVATTING

Op 19 november 1999 werden metingen verricht van de methaan concentratie rondom de deponie Nauerna ten Westen van Amsterdam. Het betreft hier de derde meet sessie uit een serie. Ook in 1997 en 1998 werden metingen verricht [1],[2]. Doel van de campagnes is te schatten hoe groot de totale bronsterkte voor methaan van deze deponie is. Benedenwinds van de deponie is een pluim van methaan waarneembaar. Aan de randen van de pluim is de concentratie in de lucht nagenoeg gelijk aan de concentratie bovenwinds van de deponie en in het centrum van de pluim is de concentratie maximaal. Met een verspreidingsmodel kan de concentratie in deze pluim berekend worden voor verschillende bronsterkten. De beste schatting voor de bronsterkte geeft een berekende concentratie die gelijk is aan de gemeten concentratie op het meettraject.

De metingen werden uitgevoerd met een tunable diode laser (TDL) systeem aan boord van een meetwagen. Doordat een TDL in staat is relatief lage concentraties methaan met voldoende nauwkeurigheid en hoog tijdsoplossend vermogen te meten kan de dwarsdoorsnede van de methaanpluim met voldoende oplossend vermogen worden geregistreerd. Op de meetdag waren de meteorologische condities redelijk, de windsnelheid nam langzaam af van 6 naar 3.5 m/s. De windrichting was noordoostelijk. De pluim werd gemeten aan de zuidzijde van het Noordzee-kanaal op een afstand van minimaal 780 m van de deponie. Het meettraject dat in 1997 en 1998 werd gebruikt bleek voor 50% opgeslokt in de nieuwe haven die aan de zuidzijde van het kanaal wordt aangelegd. Daardoor moest voor een deel van de metingen gebruik gemaakt worden van een meettraject dat parallel loopt aan de pluimas. Gedurende het eerste deel van de experimentele sessie was de windrichting voldoende oostelijk om de pluimen op het deel van het traject loodrecht op de pluim te meten. Aan het eind van de meet sessie was steeds de helft of meer van de pluim waarneembaar op het gedeelte parallel aan de pluimas. Op de deponie werd N<sub>2</sub>O losgelaten als tracer. De N<sub>2</sub>O pluim bleek goed modellerbaar. Met deze pluim is het dispersie-model gekalibreerd.



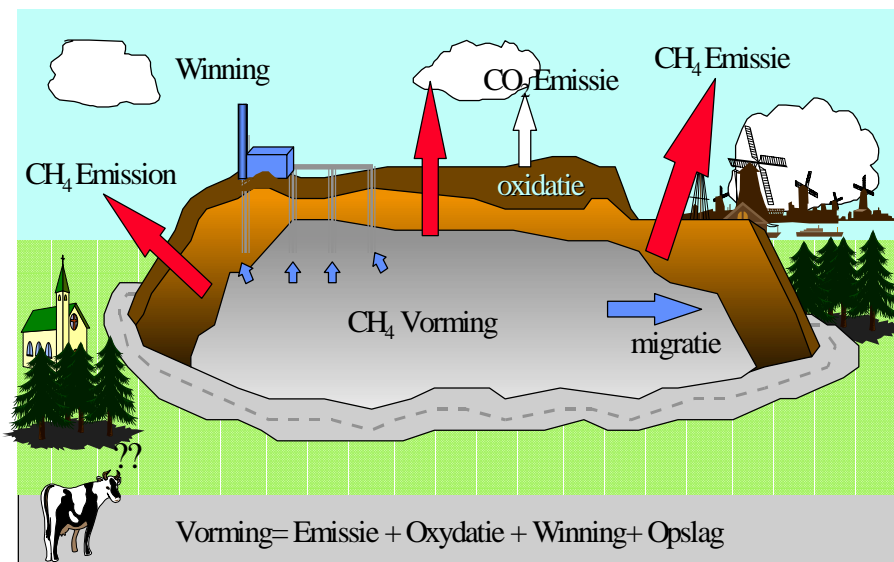
Figuur 1 De resultaten van de verschillende meetcampagnes op Nauerna.

De bronsterkte van de deponie bij Nauerna bedroeg in November 1999  $109 \pm 33$  g CH<sub>4</sub> s<sup>-1</sup>. Dat komt overeen met een jaarlijkse emissie van 3.4 kton CH<sub>4</sub>. De standaarddeviatie in de 10 individuele bepalingen was 30 %. Dat is hoger dan bij de vorige meetcampagnes op Nauerna. Dit is grotendeels te wijten aan het meettraject dat dit keer gedeeltelijk in het verlengde van de pluim ligt.

De emissie in 1999 is aanzienlijk hoger als in de campagnes in 1997 en 1998. Figuur 1 laat de resultaten van de verschillende campagnes zien. Aangegeven zijn de schattingen van de methaanproductie zoals die door Afvalzorg zijn berekend voor de verschillende campagnes. De som van de hoeveelheid gewonnen gas en de in dit onderzoek bepaalde emissie lag zowel in 1997 als in 1998 duidelijk onder de productieschatting. De conclusie was toen dat de oxydatie van methaan in de toplaag van de deponie bijzonder effectief was (50-60% van de hoeveelheid geproduceerd methaan). Dat is hoog vergeleken met het percentage van 10 % dat voor oxydatie gehanteerd wordt bij de berekeningen van de nationale emissie niveaus. In 1999 zijn de som van gemeten emissie en onttrekking min of meer gelijk aan het berekende productie niveau. Met andere woorden, de oxydatie lijkt verwaarloosbaar. Inderdaad is te verwachten dat de oxydatie minder effectief is in november bij een temperatuur van rond de 2 °C. Lab metingen in België en de VS laten ook zien dat de bacteriële activiteit in de toplaag van de deponie dan tot bijna nul daalt. Maar het verschil met de metingen in april 1997 en mei 1998 is wel erg groot. Andere oorzaken die het verschil in emissie kunnen verklaren zijn :

- \* Het recent opgebrachte afval op de compartimenten aan de zuidzijde, ongeveer midden op de deponie emitteert meer CH<sub>4</sub> dan berekend wordt met het productie model.
- \* De luchtdruk tijdens de metingen in 1997 en 1998 was relatief hoog: 1025 en 1027 mbar en redelijk stabiel in de voorafgaande 24 uur. In 1999 was de luchtdruk met name de dag voor de metingen aanzienlijk lager, 1000 mbar. Deze lage druk in de buitenlucht kan zorgen voor een extra transport van gas uit het stortlichaam naar de atmosfeer.

De campagne in 1999 laat zien dat het voor een goede kwantificering van de emissie van een deponie nodig is om in verschillende seizoenen metingen te verrichten.



Figuur 2. Emissie van CH<sub>4</sub> uit stortplaatsen.

# 1. INLEIDING

Methaan ( $\text{CH}_4$ ) is een belangrijk broeikasgas. De concentratie van methaan in de buitenlucht stijgt, evenals die van andere broeikas-gassen zoals kooldioxide ( $\text{CO}_2$ ) en lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Het gevolg van de toename van deze gassen in de atmosfeer is, dat een groter gedeelte van de infrarode straling die de aarde uitzendt wordt opgevangen. In principe betekent dat, dat het systeem aarde-atmosfeer warmer zal worden. Het is niet precies bekend hoe de atmosfeer zal reageren op de verstoring van de stralingsbalans, maar duidelijk is dat de gevolgen in termen van een verandering van het klimaat groot kunnen zijn. Gedurende de laatste jaren is veel onderzoek verricht op dit gebied, niet alleen aan de klimaatkant, maar ook aan de verschillende gassen zelf die immers het broeikaseffect veroorzaken. Er is uitgebreid geïnventariseerd waar de verschillende gassen vrijkomen en wat de belangrijkste bronnen zijn. Nederland blijkt met een emissie van methaan van  $24.5 \text{ kg CH}_4$  per  $\text{km}^2$  per jaar de koploper in Europa [3]. Dat komt voor een gedeelte door lekken van aardgas maar met name door methaan emissie veroorzaakt door koeien en de emissies van stortplaatsen. De onzekerheid in de verschillende bronnen van methaan is nog steeds groot. De emissies van methaan door de stortplaatsen wordt geschat op basis van kennis van het aanwezige afval in de verschillende deponieën. Met methaan-vormingsmodellen kan berekend worden hoeveel methaan ontstaat (figuur 2). Een deel van het gevormde methaan ontsnapt uit de deponie door scheuren en poriën in de grond. Op weg naar de buitenlucht kan het methaan gedeeltelijk oxyderen waarbij weer  $\text{CO}_2$  ontstaat. Deze oxydatie wordt meestal op ongeveer 20% geschat maar deze is afhankelijk van de soort afdekking op de deponie, van het vochtgehalte van de afdeklaag en van de lokale meteorologische condities. Van Amstel [3] en Van der Born [4] geven schattingen voor de totale emissie van de stortplaatsen in Nederland van respectievelijk 190-320 en 168-576 Gg  $\text{CH}_4$ /jaar. Op mondiale schaal verwacht men een toename van de emissies van  $\text{CH}_4$  uit stortplaatsen maar in Nederland zal door het veranderend stortbeleid en door het aanbrengen van gasonttrekkingsinstallaties het belang van de emissies van  $\text{CH}_4$  door de stortplaatsen in de komende decennia afnemen.

Naast de invloed van het  $\text{CH}_4$  op het mondiaal milieu kunnen bij deponieën ook lokale milieuproblemen ontstaan. Naast het reukloze methaan, ontsnappen ook andere gassen uit de deponie. Deze kunnen lokaal aanleiding geven tot stankoverlast. Afvalzorg, de beheerder van de deponie heeft in het kader van haar ISO-14001 certificering het op zich genomen om onder andere de emissie naar lucht in kaart te brengen en continu te streven naar het reduceren van negatieve milieueffecten. Daartoe wordt nauwkeurig bijgehouden waar welke afvalstroom op de deponie terecht komt. In totaal worden 60 verschillende afvalstromen bijgehouden in een 3D database. Op basis van deze informatie worden met methaan-vormingsmodellen schattingen gemaakt van de methaan emissie die op kan treden. Deze berekeningen zijn ook gebruikt voor de dimensionering van het, op de deponie aangelegde stortgasonttrekkingsysteem. De emissieschatting die volgt uit de berekeningen met het productiemodel kan vergeleken worden met de schatting op basis van de hier gepresenteerde metingen.





## 2. METHODE EN MEETTECHNIEK

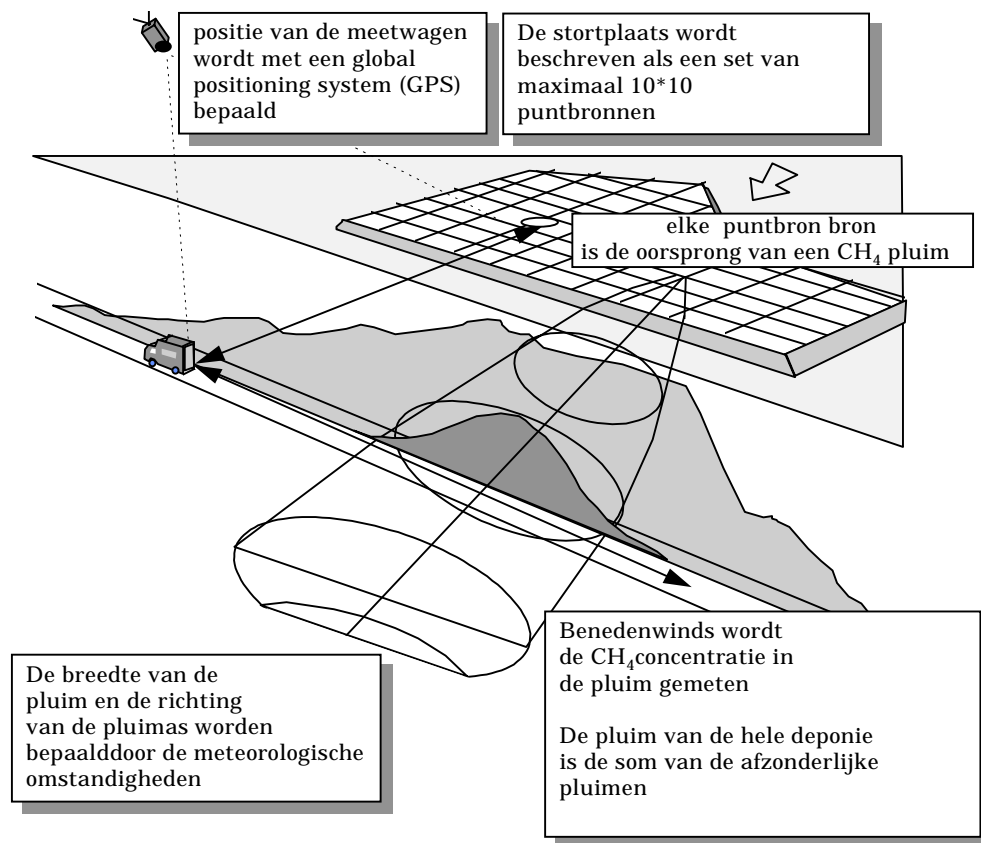
### 2.1 Emissiebepalingsmethode

De meting van de emissie van een inhomogene bron zoals een stortlocatie is moeilijk. De  $\text{CH}_4$  concentraties op de deponie zelf zijn vaak wel hoog genoeg om met eenvoudige middelen te detecteren, maar de inhomogeniteit van de stort maakt interpretatie van deze puntmetingen in termen van een totale emissie moeilijk. Toch wordt deze methode vooralsnog het meest gebruikt [5], [6], [7], [8].

De emissieschatting van de gehele deponie kan ook geschieden door de doorsnede van de  $\text{CH}_4$  pluim te meten die op enige afstand van de deponie (een paar honderd meter tot 1 km) ontstaat als gevolg van de totale emissie van de stortplaats. Hierbij wordt de concentratie als functie van de positie bepaald. De concentratiemetingen worden verricht met een tunable diode laser systeem (TDL) dat hieronder verder beschreven wordt. Met een Global Positioning System (GPS, Garmin type survey II) wordt de positie van de meetwagen geregistreerd. Elke seconde wordt de positie van de meetwagen met een resolutie van enkele meters bepaald. Om de nauwkeurigheid van de GPS metingen te vergroten wordt gemeten ten opzichte van een basisstation. Dit basisstation staat op de deponie zelf en ontvangt dezelfde satelliet gegevens als de rijdende GPS. De 'ruis' in de positie, zoals die op het basisstation wordt bepaald, wordt gebruikt om de metingen van de rijdende GPS te corrigeren. Op het basisstation worden ook de meteorologische metingen verricht die nodig zijn voor de interpretatie van de metingen. Tenslotte wordt vanaf het basisstation lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) met een bekend debiet losgelaten. De puntbron van lachgas die hiermee gevormd is geeft, net als de deponie voor  $\text{CH}_4$ , een pluim op het meettraject.

De TDL is in staat om simultaan zowel de  $\text{CH}_4$  als de  $\text{N}_2\text{O}$  concentratie te bepalen. In de aanwezigheid van andere methaan bronnen kan de  $\text{N}_2\text{O}$  pluim gebruikt worden om de pluim van de stortplaats te scheiden van de andere pluimen. Bovendien kan, omdat de bronsterkte van het  $\text{N}_2\text{O}$  bekend is, het gebruikte model gevalideerd worden. Een overzicht van de opzet van de metingen is weergegeven in figuur 3.

Het bepalen van de emissie van een deponie met micro-meteorologische metingen of boxmetingen is een probleem omdat het stortoppervlak zo inhomogeen is. De  $\text{CH}_4$  emissie, gemeten op twee plekken 5 tot 10 meter uit elkaar kan makkelijk een factor 10-100 verschillen. Bij de hier gebruikte methode, waarbij op afstand van de bron gemeten wordt, is die inhomogeniteit veel minder een probleem. De methode is niet overal bruikbaar, zo moeten er geen andere grote  $\text{CH}_4$ -bronnen in de directe omgeving van de deponie zijn. In het buitenland maakt de ligging van deponieën in heuvelachtig terrein pluimmetingen en de interpretatie ervan soms onmogelijk, maar in Nederland is dat meestal geen probleem.



Figuur 3 *Overzicht van de meetopzet*

Voor het goed kunnen berekenen van de concentratie in de doorsnede van een pluim van een deponie moet de afstand van de deponie tot het meettraject voldoende groot zijn. Vlak onder de deponie zal de gemeten concentratie een hele reeks aan hoge en lage pieken te zien geven waaruit onmogelijk een integrale bronafschatting te maken is. Op een afstand van een paar honderd meter echter zijn al de individuele pieken gemengd in één luchtpakket.

De pluim is daar ook constanter in tijd meetbaar. De concentraties zijn, door het mengen van het CH<sub>4</sub> met achtergrond-lucht wel lager geworden. Uit eerdere metingen blijkt dat na 400-500 meter benedenwinds van de deponie echt sprake te zijn van één pluim. De concentraties in de lucht variëren van achtergrond waarden aan de randen van de pluim, (1.8 ppm CH<sub>4</sub>) tot enkele ppm's in het centrum van de pluim. De pluimas verplaatst zich met de gemiddelde windrichting, daarom moet, bij mobiele metingen, een meettraject door een pluim heen niet veel langer als enkele minuten duren. Is de meettijd te lang dan kan de pluimas met de rijrichting mee bewegen waardoor eigenlijk een te brede pluim gemeten wordt of, tegen de rijrichting in, waardoor de pluim veel smaller lijkt. De meetmethode moet dus in staat zijn om de relatief lage concentraties die optreden zodra de pluim goed gemengd is, snel te meten. Daarom is bij het meten van dit soort pluimen de TDL het aangewezen meetapparaat. De conventioneel beschikbare meettechnieken voor CH<sub>4</sub> hebben ofwel een te lage resolutie in de concentratie metingen (bijv. on line FID of infra rood detectie) of de meettijd is te lang is voor het goed karakteriseren van een pluim (bijv. GC metingen).

## 2.2 Meetmethode

### 2.2.1 Monstername

Boven op het dak van de meetwagen wordt buitenlucht aangezogen. Om de vertraging tussen de concentratie metingen en de metingen van de positie zo klein mogelijk te maken wordt de lucht met een hoge flow naar de TDL gezogen. De monster lucht voor de spectroscopie wordt hieruit afgetapt. De gebruikte pomp die de laser op onderdruk houdt geeft bij de lage druk een relatief klein debiet. Met deze configuratie wordt de vertragingstijd tussen de 5 en 10 seconden. De responstijd (90% voor een staprespons) wordt bepaald door menging in het systeem, deze bedroeg ongeveer 2 seconden.

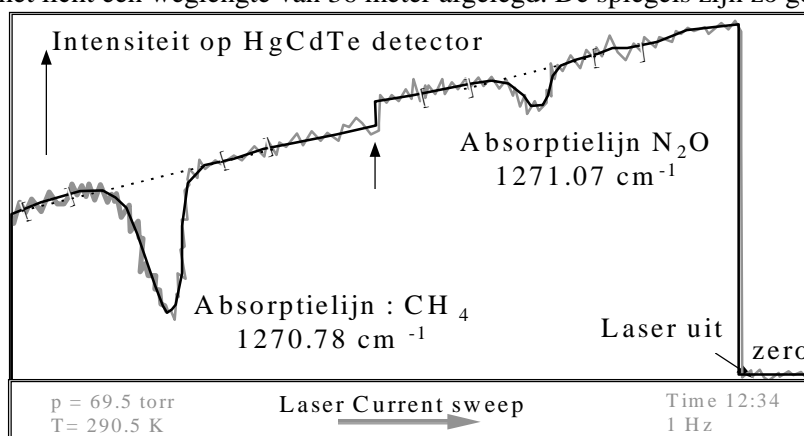
### 2.2.2 Concentratie meting: de Tunable Diode Laser (TDL)

De term tunable diode laser slaat op de lichtbron die gebruikt wordt bij deze spectroscopische meetmethode. De lichtbron in het systeem is een vaste stof laser met een omvang van  $0.2 \times 0.2 \times 0.2$  mm zoals ook in CD spelers wordt gebruikt. Deze wordt op ongeveer 80K (-190 °C) gehouden. De temperatuur en de stroom door de laser bepalen samen de grootte van het kristal en daarmee de golflengte van het uitredende licht.

Deze golflengte is dermate goed gedefinieerd dat de "breedte" ervan, in het spectrum gezien veel kleiner is dan de breedte van een absorptielijn van een gas.  $\text{CH}_4$  en  $\text{N}_2\text{O}$  hebben beide een groot aantal absorptielijnen in het infrarood. De laser is in staat in een heel nauw golflengte gebied in het IR licht te produceren. De golflengte van het uitgaande laserlicht wordt gevarieerd door de stroom door de diode met een zaagtand te laten variëren. De intensiteit van het laserlicht wordt gedurende deze verandering steeds gemeten. Indien in het gebied tussen de start golflengte en de eind golflengte van de sweep een absorptielijn van de te bemeten component aanwezig is zal deze zichtbaar worden op de uitgang van de detector. De computer unit die de laser bestuurt en de detectoren uitleest geeft op het scherm de absorptie lijn weer. Zie figuur 4.

### 2.2.3 Absorptie in de meetcel: onderdruk nodig

Het te bemeten gas wordt in een meetcel gezogen. Aan de uiteinden van deze cel zijn spiegels gemonteerd. In een van de twee spiegels zit in het midden een opening. De lichtbundel komt door de opening tussen de twee spiegels terecht. Na 180 reflecties heeft het licht een weglengte van 36 meter afgelegd. De spiegels zijn zo gevormd dat de bundel

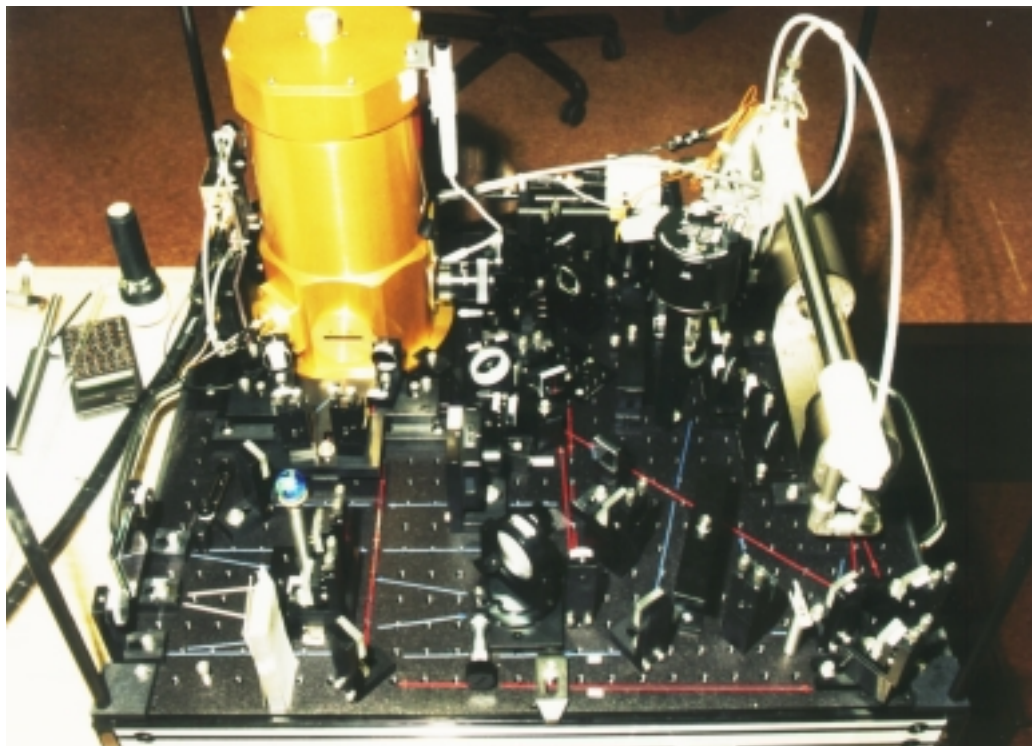


Figuur 4 Voorbeeld van een absorptiemeting

weer uittreedt door de opening in de ingang-spiegel. Het te bemeten gas wordt door de cel heen geleid en afhankelijk van de concentratie van de component zal meer of minder absorptie optreden.

De uitgaande lichtbundel wordt naar een detector geleid en daar wordt de intensiteit gemeten. De druk in de meetcel wordt laag gehouden, ongeveer 100 mbar. Hierdoor treden minder botsingen op tussen verschillende moleculen, dat heeft als gevolg dat de absorptielijn smal blijft en dus goed te scheiden is van absorptielijnen van andere gassen. Ook worden daardoor invloeden van de concentratie van het te meten gas op en om de optische tafel (dus in de meetauto of het laboratorium zelf) verwaarloosbaar ten opzichte van effecten van concentratie variaties in de monsterlucht.

De meervoudige-reflectie cel, met een weglengte van 36 meter is naast de laser het meest belangrijke deel van de spectroscop. Doordat een lange weglengte beschikbaar is, kunnen lage concentraties goed bemeten worden. Bovendien kan de monsterlucht in de cel, die slechts een inhoud van 300 ml heeft, snel verversen worden. Een schematisch overzicht van de TDL is weergegeven in figuur 5. Het TDL systeem is speciaal ontworpen voor veldmetingen en werd geleverd door Aerodyne Research Inc. Billerica, MA, USA.



Figuur 5 *De optische tafel van de Tunable Diode Laser*

## 2.2.4 Calibratieprocedure en meetnauwkeurigheid

Bij de mobiele metingen kan de respons van het TDL systeem op de aangeboden concentratie door allerlei invloeden veranderen. Hiervoor moet gecorrigeerd worden. Voor en na elke pluimmeting werden monsters genomen uit een gaszak met een bekende concentratie. De gemeten waarden werden met deze calibratiemetingen gecorrigeerd. Een correctie voor veranderingen in de basislijn werd verricht op basis van metingen met een lage standaard.

De gebruikte concentraties voor de standaarden werden met een GC bepaald t.o.v de ECN werkstandaarden die op hun beurt weer gerelateerd zijn aan NOAA station standaarden. Deze standaarden worden internationaal gebruikt voor atmosferische CH<sub>4</sub> metingen. De in het veld gebruikte standaarden hadden de volgende concentraties:

CH<sub>4</sub> 1812 ± 20 ppb  
 N<sub>2</sub>O 310 ± 10 ppb  
 en  
 CH<sub>4</sub> 3601 ± 20 ppb  
 N<sub>2</sub>O 397 ± 10 ppb

Naast de pluim van de deponie verwachten we een achtergrondwaarde voor zowel N<sub>2</sub>O als CH<sub>4</sub>. Voor de verschillende meetseries (pluimen) werden individuele correctiefactoren berekend op basis van de calibratiemetingen. De onzekerheid in de hier gerapporteerde concentraties en piekhoogten wordt geschat op 15%.

## 2.3 Meteorologische gegevens

De meteorologische gegevens, die nodig zijn voor deze metingen, zijn windrichting en windsnelheid. Deze worden gemeten met een ultrasonische windsnelheidsmeter. Deze meter bepaald zowel de horizontale als de verticale component van de windsnelheid. De meetgegevens zijn beschikbaar met een frequentie van 10 Hz, en brengen daarmee de turbulentiegraad van de atmosfeer in beeld. De mate van turbulentie is van belang, omdat deze bepaalt hoe het geëmitteerde stortgas zich zal verspreiden. Turbulentie neemt toe bij toenemende windsnelheid maar ook bij toenemende convectie: verwarmde lucht die opstijgt van het aardoppervlak. Een bron met een constante bronsterkte zal bij een verhoging van de turbulentiegraad in de atmosfeer een grotere verspreiding laten zien met lagere concentraties. Voor de analyse van de gegevens werden de meteorologische gegevens met een resolutie van 1 minuut gebruikt.

## 2.4 Lachgasemissies

De emissie van lachgas werd op Nauerna verricht door N<sub>2</sub>O uit een gasfles af te blazen waarbij het gewicht van de gasfles gemeten werd. Voor de uiteindelijke emissieafschatting is de onzekerheid in de N<sub>2</sub>O emissie-sterkte in de orde van 10%. Bij de pluimmetingen die verricht werden terwijl er geen N<sub>2</sub>O werd losgelaten, werd ook inderdaad geen N<sub>2</sub>O pluim gemeten.

### 3.6 Dataverwerking en modelberekeningen

Bij de verwerking van de gegevens worden alle meetwaarden gecombineerd en vindt selectie plaats van de bruikbare pluimmetingen. De op deze wijze verkregen data worden gebruikt in een atmosferisch model waarin de deponie beschreven wordt als 60-100 puntbronnen. Tevens wordt de N<sub>2</sub>O pluim met het model doorgerekend. Deze pluimmeting wordt gebruik om een aantal invoer parameters voor het model te specificeren het model. Het gebruikte model is gebaseerd op de veel gebruikte veronderstelling dat gas, geëmitteerd uit een puntbron, zich in de vrije atmosfeer volgens een Gaussische pluim zal verspreiden. Dat wil zeggen dat op voldoende afstand van de bron de concentratie gemeten in het vlak loodrecht op de pluimas, zowel in de verticaal als in de horizontaal beschreven kan worden met een Gauss curve

$$\text{Concentratie}(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} e^{-y^2/(2\sigma_y)^2} \cdot ( e^{-(z-H)^2/(2\sigma_z)^2} + e^{-(z+H)^2/(2\sigma_z)^2} ) \quad (1)$$

Hierin is de x-coördinaat langs de pluimas, de y-as loodrecht daarop en de z-as in de verticaal gekozen, Q is de bronsterkte van de puntbron, u is de windsnelheid, H de hoogte waarop de emissie plaatsvindt.  $\sigma_y$  en  $\sigma_z$  zijn de dispersie parameters, deze bepalen de breedte van de pluim en zijn afhankelijk van x, de afgelegde afstand vanaf de bron:

$$\sigma_y = A \cdot x^B \cdot z_0^{0.2} \cdot T^{0.35} \quad (2)$$

$$\sigma_z = C \cdot x^D \cdot (10 \cdot z_0)^{0.53 \cdot E} \quad (3)$$

Hierin zijn A, B, C en D constanten die afhankelijk zijn van de stabiliteitsklasse en  $E = x^{-0.22}$ .  $Z_0$  (in m) is een maat voor de ruwheid van het oppervlak. T is de middelingstijd waarop de pluim wordt bekeken.

Deze dispersie is dus afhankelijk van de meteorologische condities. De horizontale dispersie is met name gekoppeld aan veranderingen in de windrichting en de gemiddelde windsnelheid. De verticale dispersie wordt met name bepaald door de stabiliteit van de atmosfeer, de ruwheid van het oppervlak, die mede bepaald wordt door de aanwezigheid van obstakels. Omdat de pluim die van een puntbron afkomstig is niet in de aarde kan verdwijnen is in het laatste deel van (1) een correctie toegepast. Er treedt als het ware reflectie op, waardoor de concentratie aan het oppervlak hoger wordt. Eenzelfde reflectie kan optreden, indien er in de atmosfeer een inversielaag aanwezig is. Bij de metingen, zoals die hier uitgevoerd werden, op redelijk korte afstand van de bron, overdag, en met bronnen op grondniveau is alleen de reflectie aan het oppervlak van belang.

De stortplaats kan niet beschreven worden als een puntbron, althans niet op een afstand die in dezelfde orde grootte ligt als de afmetingen van het brongebied. Daarom wordt in het model gewerkt met een raster van 10 \* 10 punten. Dit raster wordt zo gedimensioneerd dat het van bovenaf gezien de deponie geheel omvat. Afhankelijk van de opbouw van de deponie kunnen we op voorhand verwachten, dat het ene stuk van de deponie een hogere emissie zal geven dan een ander stuk. Dit is afhankelijk van de aanwezigheid van een afdeklaag, van gasonttrekkingsputten, en van actieve stort.

Op basis van de kennis van de deponie en op basis van concentratiemetingen op de deponie zelf kunnen we min of meer bepalen waar de meest actieve gebieden zich bevinden. Voor elk punt van het raster wordt nu een gewichtsfactor toegekend. deze varieert van 0, voor gebieden die buiten de deponie vallen en waarvan geen emissies verwacht worden, tot bijvoorbeeld 5, 10 of 20 voor de meest actieve gebieden. In het

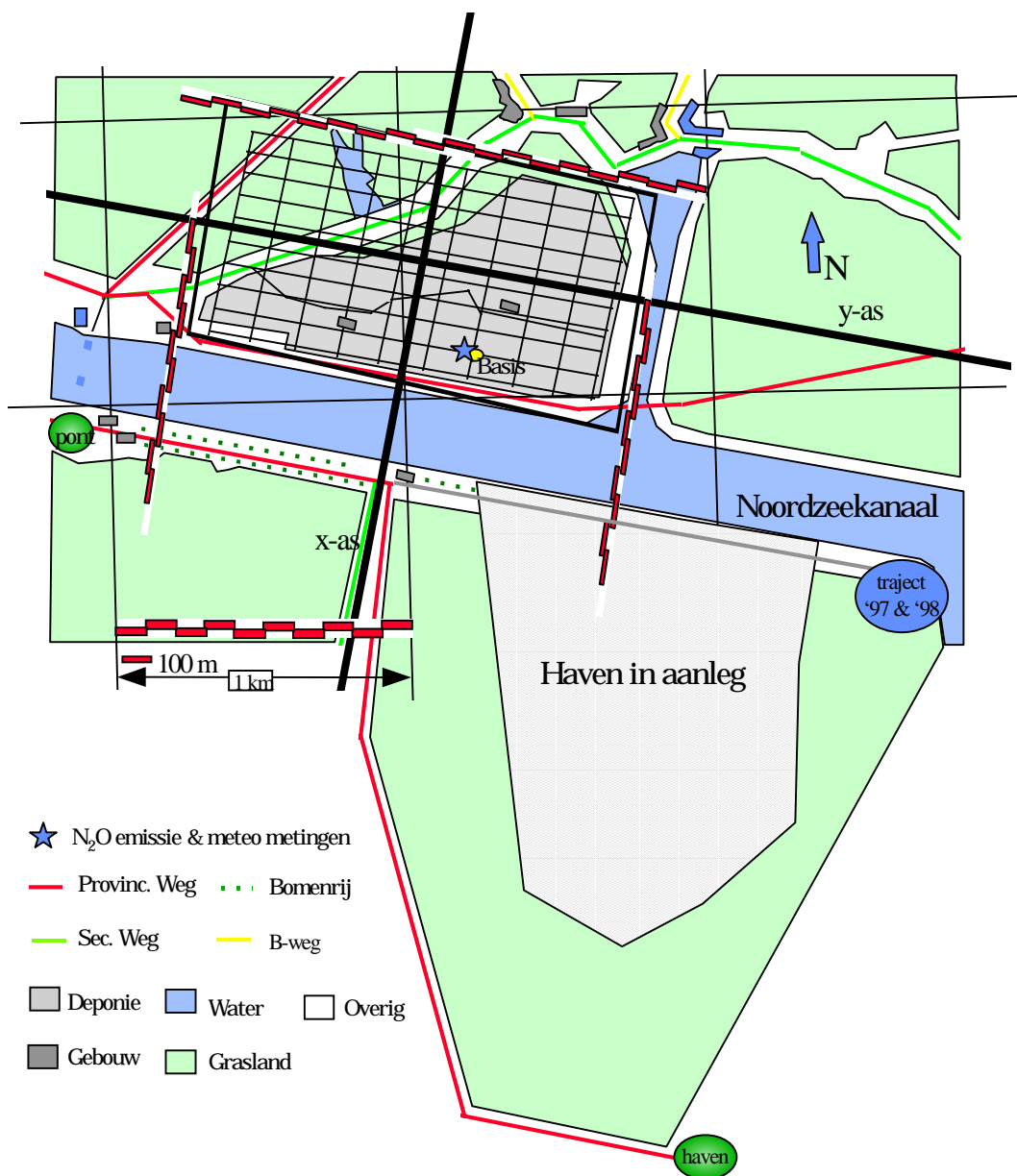
model wordt een assenstelsel gebruikt dat loodrecht op het meettraject staat. In het model worden de gewichtsfactoren van alle punten binnen het raster opgeteld (zie figuur 8). De som van alle factoren voor het raster bij Nauerna is bijvoorbeeld 116. In het model voeren we ook de totale bronsterkte in voor de deponie Q. Vervolgens berekent het model voor elk rasterpunt (i,j) een Gaussische pluim die start op de locatie van het rasterpunt met een bronsterkte van  $w_{ij}/116 * Q$ , waarbij  $w_{ij}$  de toegekende gewichtsfactor is voor het betreffende punt.

In figuur 6 is een overzicht gegeven van de meetlocatie bij Nauerna, het emissieraster is weergegeven en de begin- en eindpunten van het meettraject. De grijze lijn die langs het kanaal loopt geeft het meettraject dat in 1997 en 1998 gebruikt werd aan. Op het traject tussen de circels met 'pont' en 'haven', benedenwinds van de deponie zijn met het model de methaanconcentraties berekend. De berekende concentraties kunnen met de gemeten concentraties kunnen vergeleken worden. De bronsterkte Q van de deponie, maar ook de verdeling van de gewichtsfactoren kunnen nu zo aangepast worden dat een optimale overeenkomst met de metingen bereikt wordt.

## 2.5 Invoer parameters voor het model

Het pluimmodel werd gebruikt voor de berekening van de op het meettraject te verwachten concentraties. De data die het model nodig heeft om de berekeningen uit te voeren zijn in twee groepen te verdelen. De ene groep wordt gevormd door gegevens die per pluim verschillend kunnen zijn. Het gaat dan om de windsnelheid, windrichting en in mindere mate de stabiliteit. Windsnelheidsmetingen zijn bepalend voor de dispersie, de windrichting bepaald met name hoe de pluimas loopt.

De tweede groep gegevens die het model gebruikt is specifiek voor het terrein. Het gaat dan om de afmetingen van de deponie en de afstand van de deponie tot het meettraject. Ook de hoogte van het emitterend oppervlak is een vaste parameter voor alle modelberekeningen. De ruwheidslengte ( $z_0$ ) is, samen met de integratietijd en de windsnelheid, bepalend voor de mate van dispersie.



Figuur 6 *Overzicht van de meetlocatie bij Nauerna*



### 3. RESULTATEN

#### 3.1 Meteorologische condities

Bij Nauerna werden metingen verricht op 19 november 1999 bij noordoostelijke aanstroming. Het beoogde meettraject was identiek aan het traject dat bij de experimenten in 1997 en 1998 werd gebruikt. Helaas bleek de helft van dit traject opgeslokt in de nieuwe haven die aan de zuidzijde van het Noordzeekanaal wordt aangelegd. Daardoor moesten bij de pluimen 6 tot en met 10 ook metingen gebruikt worden op een trajectdeel dat loodrecht op de richting van het kanaal staat. De windsnelheden gemeten op de deponie, namen langzaam af van ongeveer 6 naar 3.5 m/s. De waarden voor de individuele pluimen staan weergegeven in tabel 4.1 De windrichting is weergegeven ten opzichte van de lijn loodrecht op het meettraject. Optimale metingen werden verkregen voor de pluimen 1 tot en met 5, hierbij zijn de windrichtingen  $>20^\circ$  waardoor de gehele pluim op het deel van het traject langs het kanaal bemeetbaar is. De stabiliteit varieert. Bij de eerste vijf pluimen kan stabiliteitsklasse D gebruikt worden. Bij de pluimen 6 tot en met 10 E of D.

Tabel 4.1 Meteorologische omstandigheden bij de verschillende pluimmetingen.

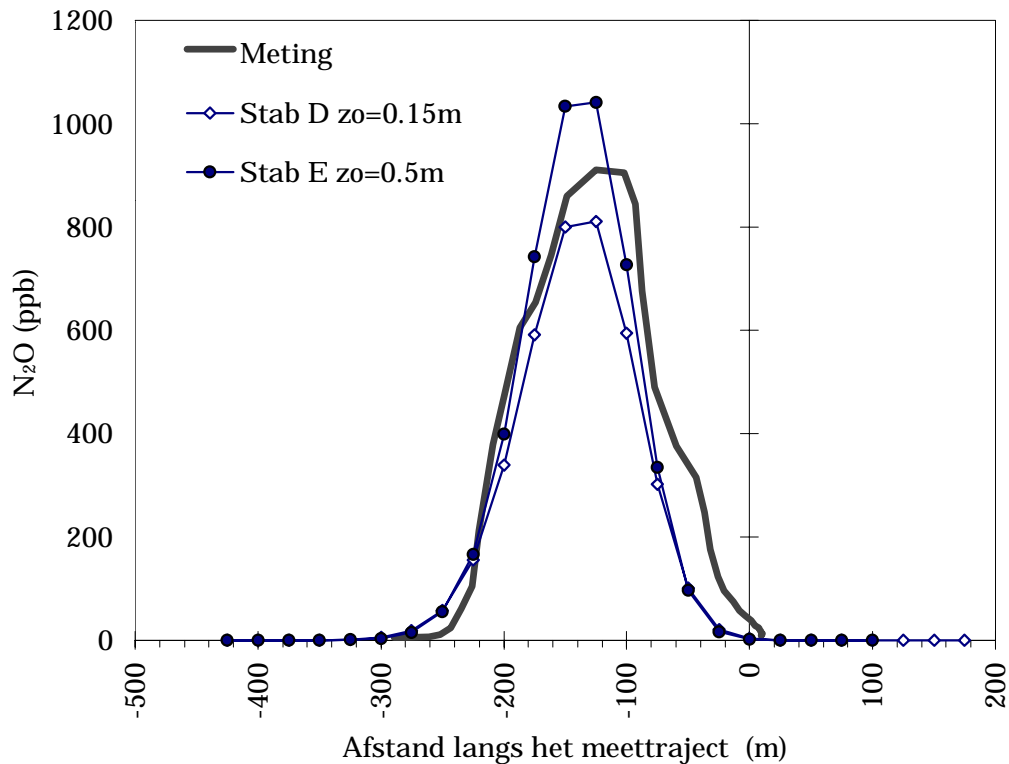
	Start	End	U(m/s)	Wd °	u* (m/s)	H (W/m <sup>2</sup> )	L(m)
Pluim 1	13:07	13:09	6.0	26	0.55	34	-552
Pluim 2	13:15	13:17	6.4	27	0.45	14	-1631
Pluim 3	13:24	13:26	5.3	28	0.36	2	-1551
Pluim 4	13:32	13:35	4.9	31	0.41	-2	-2685
Pluim 5	13:43	13:47	4.5	24	0.28	-1	1722
Pluim 6	14:05	14:09	3.6	21	0.17	-4	29
Pluim 7	14:13	14:16	5.0	16	0.29	-2	793
Pluim 8	14:18	14:21	3.6	13	0.20	-2	381
Pluim 9	14:25	14:28	3.9	12	0.20	-7	177
Pluim 10	14:32	14:34	3.5	8	0.26	3	-900

#### 3.2 Modelberekeningen

De waarden in het model voor de afmetingen van de deponie werden uit 1:25000 kaarten bepaald. De hoogte van het emitterend oppervlak werd op 15 meter aangenomen. De keuze van dit niveau maakt overigens nauwelijks uit voor de berekende concentraties op het meettraject. Een hoogte van 10 meter levert dezelfde concentraties op (binnen 1-2%). Net als bij de vorige experimenten werd de in het model gebruikte middelingstijd op 3 minuten gezet, dit komt overeen met de tijdsduur die nodig is voor transport van een luchtpakketje vanaf de deponie naar het meettraject.

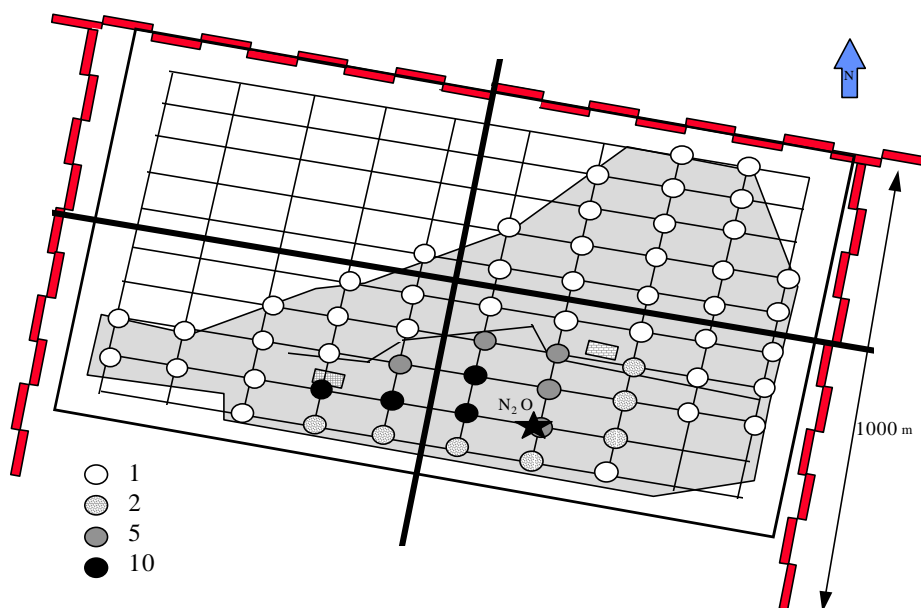
Door op een punt een bekende hoeveelheid N<sub>2</sub>O los te laten werd een pluim gegenereerd waarmee het dispersiemodel gecalibreerd kan worden. Vergeleken met de vorige experimenten op Nauerna werd er dit keer aanzienlijk meer N<sub>2</sub>O losgelaten (33 gN<sub>2</sub>O /s  $\pm$  10%, gedurende pluimrit 3). De N<sub>2</sub>O concentraties in de pluim waren dan ook makkelijk meetbaar. Bij de evaluatie van deze pluim blijkt dat de modelberekening en de metingen

het beste met elkaar overeenkomen indien stabiliteitsklasse E wordt gebruikt in combinatie met een ruwheidslengte  $z_0=0.5$  m. De meteorologische metingen geven voor deze pluim eigenlijk aan dat stabiliteitsklasse D geldt. Indien we echter de  $N_2O$  pluim modelleren met stabiliteitsklasse D (op basis van de meteorologische metingen) en een ruwheidslengte van 0.15 m, (de waarde die we ook vorige jaren hebben gebruikt) dan geeft het model een emissieniveau aan dat 20 % ligt boven het feitelijke niveau. De stabiliteit ligt als het ware in tussen de klassen D en E. Door het gebruik van klasse E in combinatie met de relatief grote waarde voor  $z_0$  ( $=0.5$  m) wordt dit in het model benaderd. Deze instelling is voor alle pluimen gebruikt.



Figuur 7. De gemeten en gemodelleerde  $N_2O$  pluimen. De twee model berekeningen (voor stabiliteitsklasse D en voor stabiliteitsklasse E) gaan beide uit van de bronsterkte van  $33 \text{ gN}_2\text{O/s}$ . De pluim berekend met stabiliteit E &  $z_0=0.5$  m is wat betreft de vorm weliswaar scherper als de gemeten pluim. De integraal van beide pluimen komt echter goed overeen. Indien stabiliteit D in het model gebruikt wordt dan komt de integraal over de pluim 20% lager uit.

Met de keuze voor stabiliteit,  $z_0$  en de integratietijd zijn alle gebieds-specifieke parameters vastgelegd. Voor de pluim berekeningen voor de methaan-concentraties kunnen nu de bronsterkte en de bronverdeling nog gevarieerd worden. Windsnelheid en windrichting zijn per pluim bekend. Hiervoor worden de gemiddelde waarde gebruikt voor het interval van de pluimmeting. Het bepalen van de bronverdeling is een iteratief proces. De bronsterkte die gekozen wordt bepaald min of meer de totale 'inhoud' van de pluim, terwijl de bronverdeling juist de pluimvorm beïnvloed. De pluimen zijn afzonderlijk doorgerekend en een emissie raster is zo gekozen de pluimvorm voor 10 pluimen gemiddeld een acceptabele representatie vormt. Bij de gekozen matrix wordt tenslotte de bronsterkte per pluim gevarieerd zodat de gemeten en de berekende pluim bij integratie langs het traject een zelfde waarde opleveren.



Figuur 8 Verdeling van de gewichtsfactoren op Nauerna. De verschillende puntbronnen worden met deze factoren t.o.v. elkaar gewogen.

Een overzicht van de resultaten van de metingen en van de modelberekeningen is weergegeven in Appendix A. De bijbehorende schattingen van het de emissie zijn weergegeven in tabel 4.2.

Tabel 4.2 Resultaten van de verschillende pluimmetingen te Nauerna.

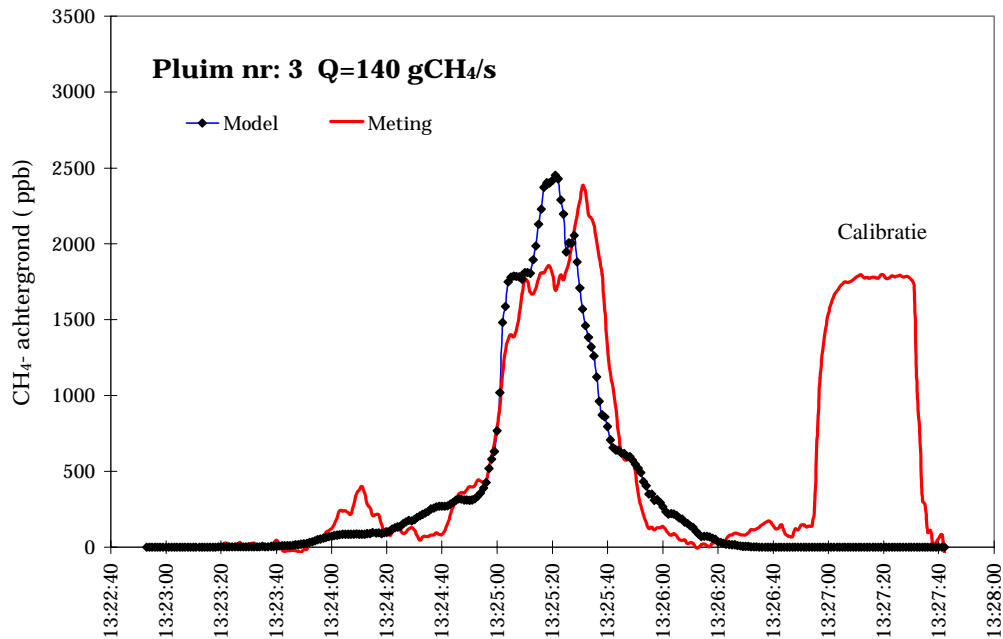
Pluim	Start	End	U(m/s)	Wd °	Emissie Deponie ( $\text{gCH}_4\cdot\text{s}^{-1}$ )
Pluim 1	13:07	13:09	6.0	26	123
Pluim 2	13:15	13:17	6.4	27	120
Pluim 3	13:24	13:26	5.3	28	140
Pluim 4	13:32	13:35	4.9	31	100
Pluim 5	13:43	13:47	4.5	24	108
Pluim 6	14:05	14:09	3.6	21	63
Pluim 7	14:13	14:16	5.0	16	162
Pluim 8	14:18	14:21	3.6	13	72
Pluim 9	14:25	14:28	3.9	12	133
Pluim 10	14:32	14:34	3.5	8	72
Totaal				Gemiddeld	109
				Standaard deviatie	33

#### Opmerkingen bij de resultaten.

De berekende pluimvorm en de gemeten pluimvorm komen bij de ene meting beter overeen als bij de andere meting (zie Appendix A). Voor de schatting van de totale emissie van de deponie maakt de verdeling van de emissie over de matrix echter niet veel uit (maximaal 10 %) [4]. Er is dus gekozen voor een matrix met de emissieverdeling over het deponieoppervlak die een goede overeenkomst geeft voor de hele set pluimmetingen. De juiste waarde voor de totale emissiesterkte wordt gevonden door over het meettraject

## Resultaten

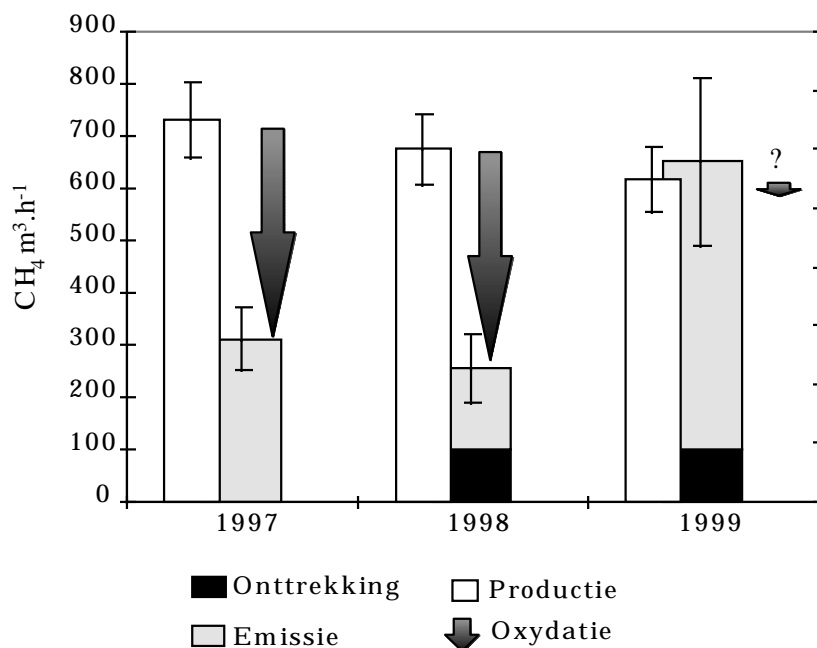
zowel de gemeten als de berekende concentratie te integreren. Indien oppervlak onder beide curves identiek is in het model gebruikte emissie optimaal gekozen.



Figuur 10 Voorbeeld van een pluimmeting. Het model dat gebruikt wordt om de modelberekening uit te voeren werd aangepast zodat het langs elk willekeurig meettraject de concentratie kan berekenen. Zo doende kan hier de gemodelleerde concentratie en de berekende concentratie versus het tijdstip van meting vergeleken worden.

## 4. DISCUSSIE & CONCLUSIES

Op basis van de metingen wordt de emissie van de deponie bij Nauerna op 19 November 1999 geschat op  $103 \pm 30 \text{ gCH}_4 \text{ s}^{-1}$ . Deze schatting werd bepaald uit 10 verschillende pluimmetingen. De spreiding tussen de individuele schattingen is relatief groot. Deze spreiding treedt met name op bij de pluimmetingen 6 tot en met 10. Het is opmerkelijk te zien dat de pluimen 6 tot en met 10 wel ongeveer het zelfde gemiddelde hebben als de set 1 tot en met 5 maar dat de spreiding in de individuele schattingen veel groter is. Bij deze set metingen werd een groot deel van de pluim waargenomen op het meettraject dat parallel aan de windrichting (dus langs de pluimas) loopt. Er werd dan relatief lang gemeten op één deel van de flank van de pluim. Indien de wind in de tijd iets draaid of de pluim meanderde dan zal dit relatief grote impact op het berekende emissiegetal hebben.



Figuur 11 De resultaten van de verschillende meetcampagnes op Nauerna. de Emissie in 1999 is hoog vergeleken met 1998. Rekening houdend met de foutenmarge op beide schattingen kunnen we zeggen dat orde grootte van de de som van onttrekking en gemeten emissie gelijk is aan de geschatte productie van de deponie. De oxydatie van het gevormde methaan kan klein zijn vergeleken met de andere jaren doordat de temperatuur lager is.

In 1997 werd gemeten voordat een gasonttrekkingsinstallatie in gebruik werd genomen. De gemeten emissie bedroeg toen  $310 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \text{ h}^{-1}$ . Dit was ongeveer de helft van de op dat moment geschatte productie. Blijkbaar werd toen 50 % van het geproduceerde  $\text{CH}_4$  in de toplaag van de deponie geoxideerd:  $340 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \text{ h}^{-1}$  [1]. In 1998 werkte het onttrekkings-systeem en werd er ongeveer  $100 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \text{ h}^{-1}$  gewonnen. De emissie metingen lieten een significante daling zien. Met  $155 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \text{ h}^{-1}$  is het in 1998 gemeten emissieniveau ongeveer de helft van het niveau in 1997. Dat is niet alleen het gevolg van de onttrekking, De productie van de deponie zelf was ook gezakt van  $650 \text{ m}^3$  in 1997 naar  $600 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \text{ h}^{-1}$ . Het verschil tussen de productie en de som van emissie plus onttrekking is  $345 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \text{ h}^{-1}$ , deze hoeveelheid methaan moet dus geoxideerd zijn [2]. Het is opmerkelijk dat dit niveau bijna gelijk was aan dat van 1997. Een mogelijke verklaring daarvoor is dat de bacterie populatie die de oxydatie bewerkstelligd een bepaalde capaciteit heeft en dus heel goed constant kan blijven zolang er voldoende

aanbod van CH<sub>4</sub> is. Het gevonden percentage voor oxydatie van 50-60% van het productieniveau was overigens aanzienlijk groter als het niveau van 10% dat in de nationale emissieberekeningen wordt gehanteerd.

In 1999 zag het plaatje er dus anders uit. De onttrekking was nog steeds 100 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> h<sup>-1</sup> de geschatte productie was nog verder gezakt naar 550 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> h<sup>-1</sup>. Daarmee hadden we maximaal een emissie van 450 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> h<sup>-1</sup> verwacht. Het in dit experiment bepaalde niveau van 550 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> h<sup>-1</sup> ligt daarboven. Gezien de onzekerheden in zowel de berekende productieniveaus en in de hier gepresenteerde emissieschatting is het beter te concluderen dat de som van emissie en onttrekking overeen komt met de productie. In ieder geval is duidelijk dat de oxydatie van ongeveer 350 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> h<sup>-1</sup> zoals die in 1997 en 1998 werd geschat, in 1999 blijkaar niet functioneerde.

Een lager oxydatieniveau lag trouwens in de lijn der verwachting. In 1997 en 1998 werd gemeten in april bij temperaturen van rond de 8°C. In 1999 zijn de temperaturen lager waardoor oxydatie in de toplaag kleiner zal zijn (15 en 16 november lagen de temperaturen bijvoorbeeld op het vriespunt). Lab-metingen in de VS en België laten zien dat de oxydatie bij temperaturen onder de 5 graden inderdaad snel stopt [9].

Verschillen in atmosferische luchtdruk kunnen ook een reden zijn geweest waardoor het in 1999 gevonden emissieniveau aanzienlijk hoger lag vergeleken met het niveau in 1997 en 1998. In 1997 en 1998 was het op beide dagen mooi weer met een (hoge) luchtdruk van 1025 of 1027 mbar. In november was net een dag voor de metingen de druk tot 1000 mbar gedaald. De lage druk in de buitenlucht kan zorgen voor een toename van de emissie. Omdat op de 19de november de druk overdag weer snel begon te stijgen verwachtten we dat de emissie snelheid af zou nemen, dat vonden we in de metingen niet terug.

Tabel 4.3 : *Temperatuur en luchtdruk op de verschillende meetdagen*

Datum	Temperatuur	Luchtdruk	Druk verandering
15 april 1997	8	1025	+ 2 mbar/12 uur
4 mei 1998	8	1027	+ 2 mbar/12 uur
19 november 1999	2	1012	+ 9 mbar/12 uur

Al met al is de conclusie dat door de lage temperatuur de oxydatie erg klein geweest zal zijn in 1999. Daarom was het te verwachten dat de som van emissie en onttrekking met het productieniveau overeen komt. De, vergeleken met de productieschattingen, lage emissieniveaus van 1997 en 1998 zijn wellicht niet alleen een resultaat van de effectievere oxydatie (gekoppeld aan de temperatuur) maar ook van een (tijdelijke) opslag van CH<sub>4</sub> in de deponie doordat de luchtdruk relatief hoog was. De serie metingen geeft aan dat het zinnig is om in meerdere seizoenen emissiemetingen te verrichten.

## 5. Literatuur

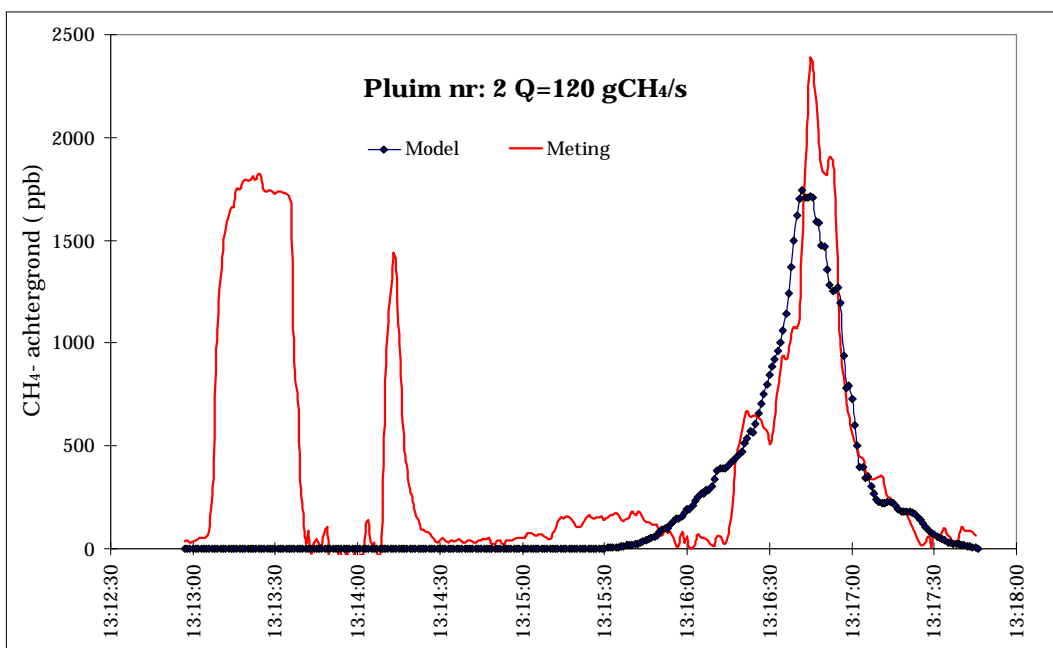
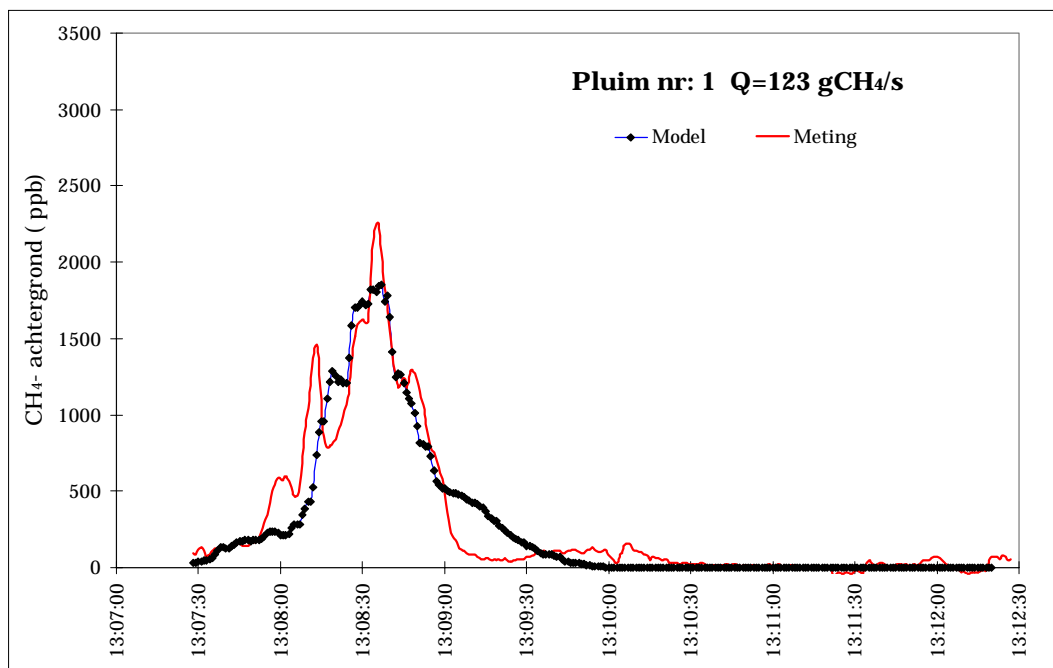
- [1] Hensen A, 1997, Evaluatie van de methaanemissie van de deponie bij Nauerna en Hollandse brug. ECN rapport ECN-C--97-062
- [2] Hensen A, 1998, Validatie van de methaan emissie reductie op stortplaats Nauerna. ECN rapport ECN-C--98-052
- [3] A.R. van Amstel, et al: *Methane the other greenhouse gas, research and policy in The Netherlands*. RIVM rapport nr. 481507001, 1993
- [4] Van der Born et al: *The emissions of greenhouse gases in the Netherlands*. RIVM, 1991
- [5] Bergamashi et al: *Emission of Methane IsoTopomers due to Production and Oxidation in Landfills*. EMITPOL, Final Report to the European Commission, Max Planck Institute for Chemistry, Mainz, 1997
- [6] K.A. Smith, J. Borger (eds): *Joint North American-European Workshop on Measurement and Modelling of Methane Fluxes from Landfills*. IGAC-IGBP, Cambridge Mass. USA, 1997
- [7] A.J.L. Verhage, R.A. Rooth, L.W. Wouters: *Emissie van broeikasgassen uit een afvalstortplaats*. Metingen op de "Keyenberg" te Wageningen, zomer 1992. KEMA, 82107-FPP 92-3060
- [8] C. Verschut, J. Oonk, W.M. Mulder: *Broeikasgassen uit vuilstorts in Nederland*. TNO rapport 91-444, 1991
- [9] P.M. Czepiel, B. Mosher, C. Harriss, J.H. Shorter, J.B. McManus, C.E. Kolb, E. Allewine, B.K. Lamb: *Landfill methane emissions measured by enclosure and atmospheric tracer methods*. JGR,101, D11, 16711-16719, 1996





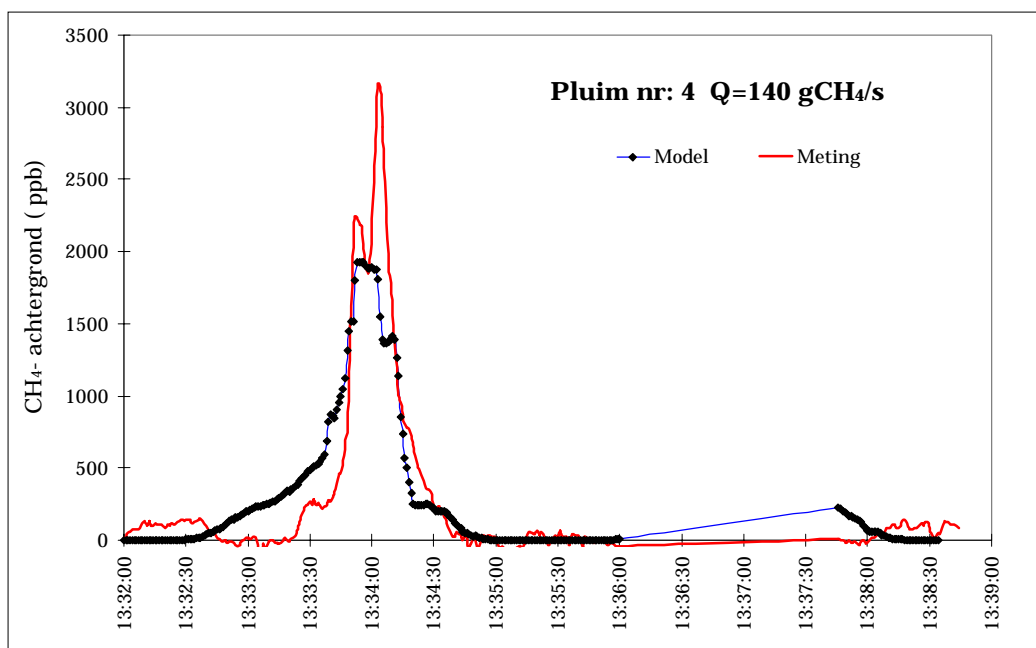
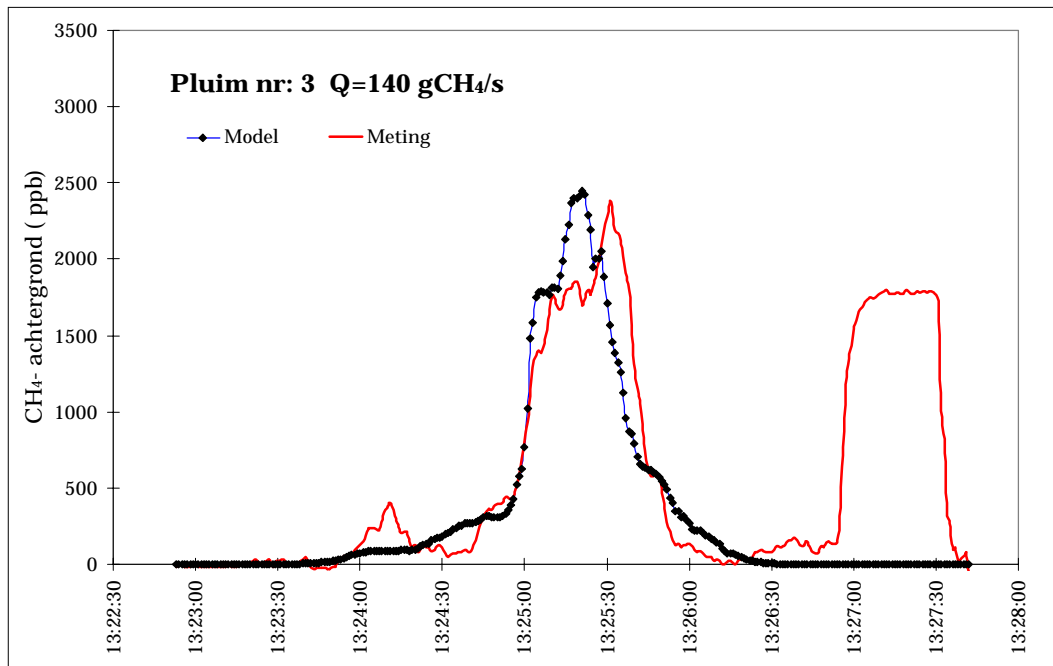
## 6. APPENDIX A. MEETRESULTATEN PER PLUIM.

Weergegeven zijn de concentraties gemeten langs het meettraject in ppb boven het achtergrond niveau. De hoge blokvormige pieken links en rechts van de pluim van de deponie betreffen calibraties.

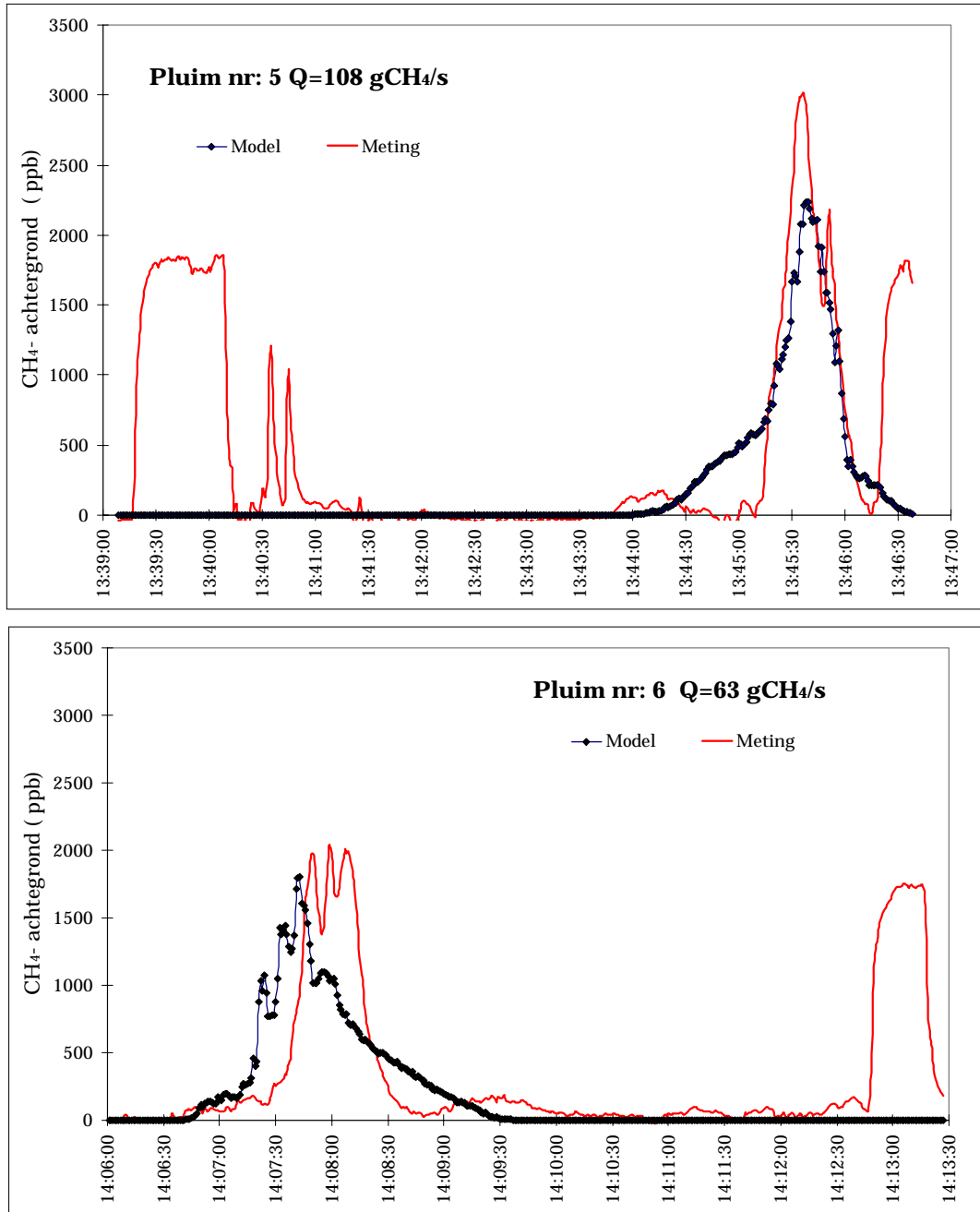


Resultaten van de meetcampagne bij Nauerna 19 November 2000. Gemeten en gemodelleerde  $\text{CH}_4$  benedenwinds van de deponie. Pluimen nr 1 & 2.

Appendix A. Meetresultaten per pluim

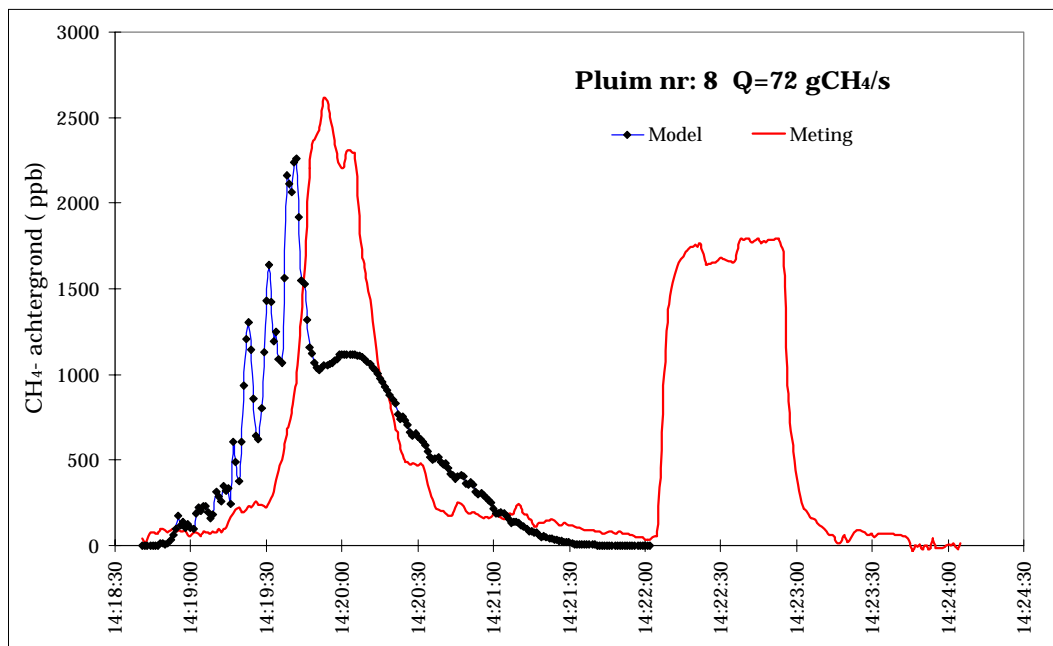
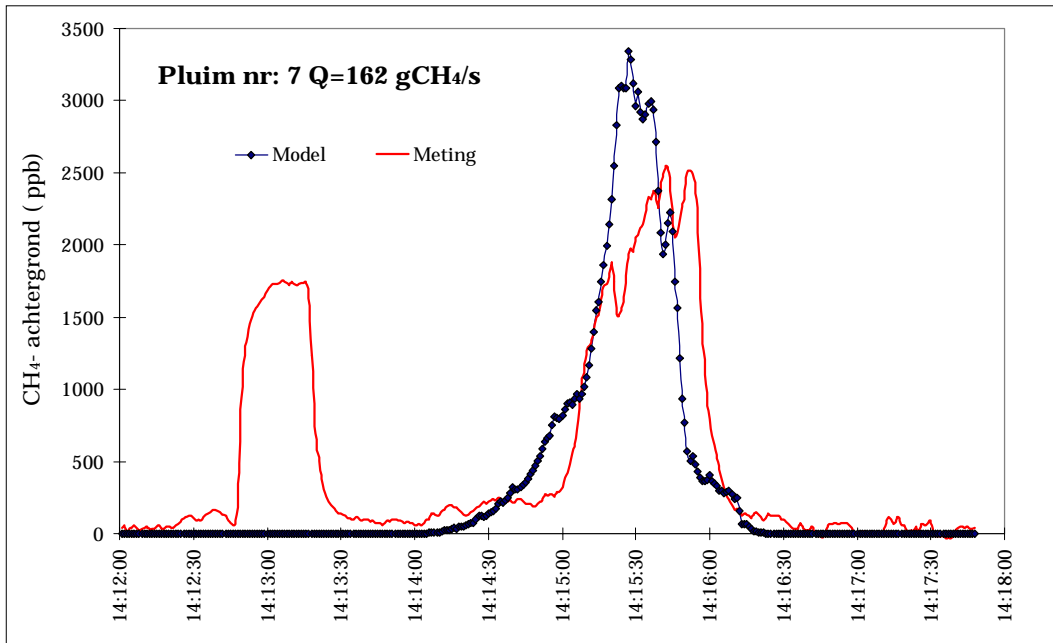


Resultaten van de meetcampagne bij Nauerna 19 November 2000. Gemeten en gemodelleerde  $\text{CH}_4$  benedenwinds van de deponie. Pluimen nr 3&4.

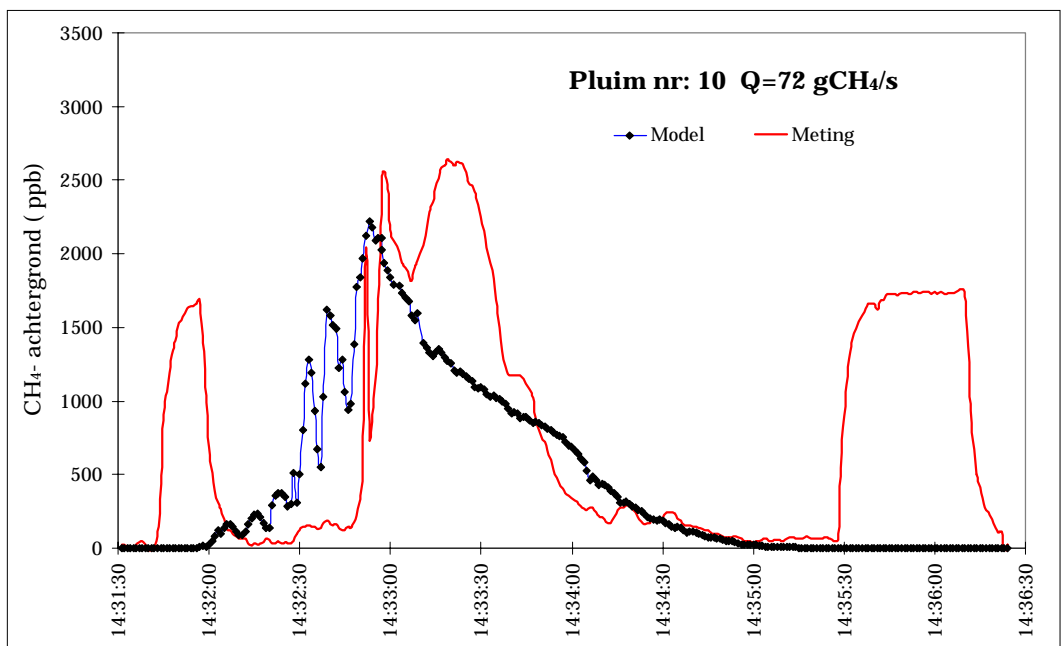
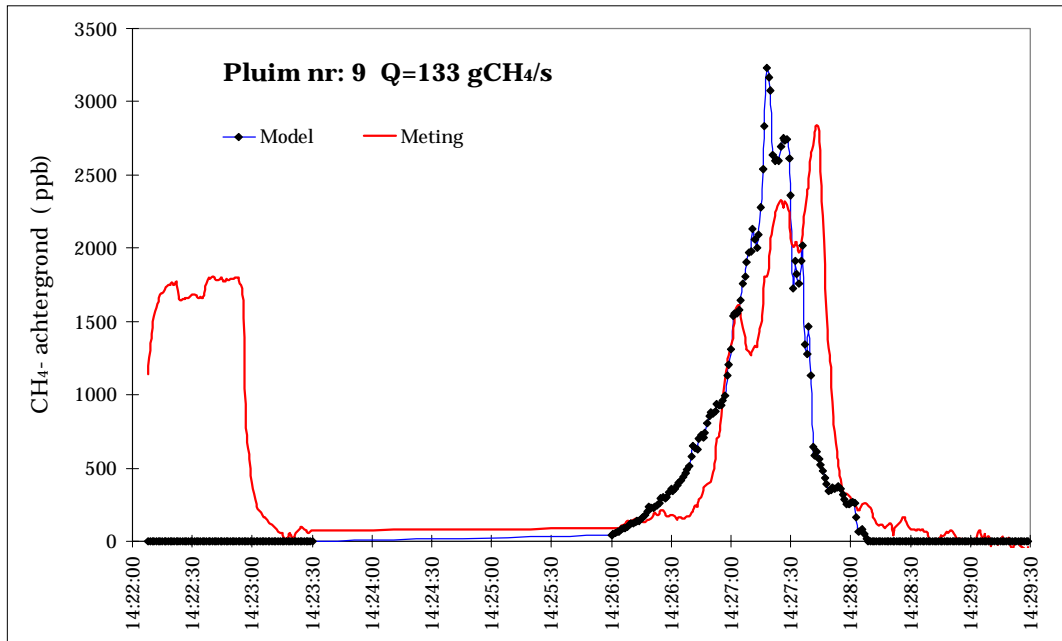


Resultaten van de meetcampagne bij Nauerna 19 November 2000. Gemeten en gemodelleerde CH<sub>4</sub> benedenwinds van de deponie. Pluimen nr 5&6.

Appendix A. Meetresultaten per pluim



Resultaten van de meetcampagne bij Nauerna 19 November 2000. Gemeten en gemodelleerde CH<sub>4</sub> benedenwinds van de deponie. Pluimen nr 7&8.



Resultaten van de meetcampagne bij Nauerna 19 November 2000. Gemeten en gemodelleerde CH<sub>4</sub> benedenwinds van de deponie. Pluimen nr 9&10.