

2. Ontwikkelingen in de modellering van de verspreiding van luchtverontreiniging

2.1 Inleiding

Voor de modellering van de verspreiding van luchtverontreiniging wordt, afhankelijk van de te modelleren componenten of problemen een aantal benaderingen toegepast. Zo kunnen voor het berekenen van ozonconcentraties of van de atmosferische depositie van verzurende of toxische stoffen emissies op afstanden van 500 km of meer van een receptorpunt nog van belang zijn, zodat men op grootschalige modellen is aangewezen.

In Nederland zijn o.m. te noemen het TREND-model, beter bekend als het OPS-model (Operationeel Prioritaire Stoffen-model) van het RIVM [14] en het LOTOS-model (Long Term Ozone Simulation) voor fotochemische oxidanten van TNO [15].

In LOTOS worden grote delen van Europa onderverdeeld in roostercellen van 50 x 50 km. De cellen hebben een gelaagde structuur. Aanwezige componenten, aangevuld met emissies in de roostercel zelf reageren o.i.v. zonlicht. Transport tussen cellen vindt plaats o.i.v. een grootschalig hoogte-afhankelijk windveld in tijdstappen van één uur met inachtneming van de dagelijkse gang in de menghoogte.

In het OPS-model is een klimatologische benadering gekozen. Uit standaard meteorologische waarnemingen worden drie karakteristieke parameters voor de toestand van de atmosfeer berekend, de Monin-Obukhovlengte L , de windfrictiesnelheid u^* en de menglaaghoogte. Deze gegevens worden gekoppeld aan transporttrajectorieën. De verspreiding wordt berekend met een lagrangiaans trajectoriemodel met 12 vaste windrichtingssectoren. Binnen deze sectoren wordt voor de korte afstand een gaussisch pluimmodel toegepast om de verticale concentratieverdeling te beschrijven. In het OPS-model is veel kennis samengebracht om tot een gevalideerde beschrijving van depositieprocessen te komen. Daarnaast worden omzettingen gemodelleerd met behulp van lineaire chemie. Het OPS-model levert lange-termijngemiddelde waarden van concentraties en depositie als gevolg van emissies in de beschouwde trajectorieën van enkele honderden kilometers.

Elementen van deze benaderingen vinden we terug in de geavanceerde versies van het gaussisch pluimmodel, zoals het KEMA-model STACKS [10], waarvan het nieuwe Nationaal Model is afgeleid. Daarin wordt, evenals in de modellen voor fotochemische luchtverontreiniging, uur-voor-uur gerekend en wordt de atmosferische turbulentie gevangen in de karakteristieke parameters voor de toestand van de atmosfeer: de Monin-Obukhov-lengte, de windfrictiesnelheid en de menghoogte. Deelprocessen van de verspreiding zijn toegankelijk gemaakt door directe of indirecte metingen en kunnen zo apart worden gemodelleerd.

Deze ontwikkelingen zijn in belangrijke mate binnen bereik gekomen door fundamenteel onderzoek dat in de jaren tachtig op het KNMI heeft plaatsgevonden [16], [17], [18]. Concepten voor de energiebalans van de menglaag werden daardoor beter toegankelijk voor numerieke toepassing in modellen. Deze nieuwe kennis is in het onderzoek van zowel RIVM als van KEMA binnen het concept van het gaussisch pluimmodel gebracht. Omdat het nieuwe Nationaal Model gebaseerd is op het gaussisch pluimmodel gaan we daar nog wat dieper op in.

Allereerst zal het basisprincipe voor het model worden uiteengezet inclusief de achterliggende aannamen. Daarna wordt beschreven hoe de nieuwe meteorologische theorie wordt toegepast in het concept van het gaussisch pluimmodel. Vervolgens zal een aantal specifieke aspecten en beperkingen worden behandeld bij de toepassing van dit modeltype in het Nederlandse Nationaal Model.

2.2 Het gaussisch pluimmodel

2.2.1 Algemeen

Geëmitteerde verontreinigingen worden door de stromende luchtmassa meegevoerd met een snelheid die gemiddeld gelijk is aan de windsnelheid, en bewegen zich daarmee van de bron vandaan langs een lijn die de pluimas wordt genoemd. In de modellen wordt aangenomen dat turbulente diffusie de belangrijkste bijdrage levert aan de verspreiding van de verontreiniging vanaf de pluimas. Deze diffusie wordt als een zuiver statistisch proces beschreven, door aan te nemen dat de waarschijnlijkheid om een deeltje op een zekere afstand van de pluimas te vinden gegeven wordt door de Gauss-verdeling. Omdat de turbulente diffusie in de windrichting, bij niet al te lage windsnelheid, te verwaarlozen is ten opzichte van de windsnelheid, kan worden volstaan met het gebruik van twee gauss-functies: één voor de verticale diffusie en één voor de horizontale diffusie loodrecht op de windrichting. Deze modellen worden "*bigaussische pluimmodellen*" genoemd. De standaarddeviaties van de gaussfuncties, de zogenaamde dispersiecoëfficiënten zijn afhankelijk van de weersgesteldheid.

In formule ziet een dergelijk model er als volgt uit:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y(x)\sigma_z(x)} \cdot \exp\left\{\frac{-y^2}{\sigma_y(x)^2}\right\} \cdot \exp\left\{\frac{-z^2}{\sigma_z(x)^2}\right\}$$

met: $C(x,y,z)$ concentratie op punt (x, y, z) in een coördinaten stelsel waarin de x-as samenvalt met de pluimas.

Q de emissie

σ_y en σ_z dispersiecoëfficiënten respectievelijk horizontaal, loodrecht op de windrichting en verticaal

In het model spelen enkele begrippen een centrale rol die hieronder tevens ter toelichting op atmosferische processen ter sprake worden gebracht.

a) Stabiliteit

Hoewel stabiliteit in het nieuwe Nationaal Model minder op de voorgrond staat dan in het oude Nationaal Model verschaft dit begrip nog steeds een goed inzicht in het gedrag van luchtpakketten. In de atmosfeer neemt de druk met de hoogte af. Wanneer een pakketje lucht opstijgt, zal het volume van dit pakketje moeten toenemen. De energie die daarvoor nodig is zal aan de warmte van het pakketje worden onttrokken: de temperatuur van de lucht in het pakketje zal dalen. In een droge atmosfeer bedraagt deze temperatuurdaling ongeveer $0,01^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$, de *droog-adiabatische temperatuurgradiënt*. In een vochtige atmosfeer zal een gedeelte van de energie aan condensatie van waterdamp kunnen worden onttrokken. De temperatuurdaling zal daardoor kleiner zijn: de *nat-adiabatische temperatuurgradiënt* bedraagt $0,004\text{-}0,007^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$, afhankelijk van de luchtvochtigheid en temperatuur.

Wanneer de temperatuuropbouw van de atmosfeer zodanig is, dat het op-stijgende pakketje lucht kouder, dus zwaarder, is dan de omringende lucht, zal het afgeremd worden: de atmosfeer is stabiel. Wanneer het pakketje warmer, dus lichter, is dan de omringende lucht, zal het doorstijgen: de atmosfeer is instabiel. Wanneer de temperatuur-gradiënt in de atmosfeer gelijk is aan de adiabatische, is de atmosfeer neutraal. In een instabiele atmosfeer vertoont een rookpluim grote wervelingen (enkele tientallen tot honderden meters). In een stabiele atmosfeer echter vertoont de pluim zich als een nauwe kegel, in het neutrale geval als een wat bredere kegel. De dispersiecoëfficiënten zullen dan ook groter zijn in een instabiele atmosfeer dan in een neutrale, en deze weer groter dan die in een stabiele atmosfeer.

b) Verticale begrenzing

Bovenstaande bigaussische pluimvergelijking veronderstelt een onbegrensde ruimte. De verticale dispersie wordt aan de onderzijde evenwel beperkt door de bodem. Ook aan de bovenzijde kan de dispersie worden beperkt.

De atmosfeer heeft in het algemeen geen constante temperatuurgradiënt. Instabiele en stabiele lagen zullen elkaar afwisselen. Daardoor krijgt de atmosfeer een gelaagde opbouw. Een vrij vaak voorkomende situatie is dat de onderste laag van de atmosfeer instabiel is en aan de bovenzijde wordt afgesloten door een zogenaamde *inversielaag*, een stabiele laag waarin de temperatuur met de hoogte toeneemt. Verontreinigde lucht uit de onderste zogenaamde *menglaag* kan niet snel in de inversielaag doordringen. De hoogte van de inversie zal daardoor het volume waarin de verontreiniging verdund kan worden, beperken. Verontreinigingen die zich boven de inversie bevinden zullen niet naar het aardoppervlak kunnen worden getransporteerd.

Wanneer de hoogte van de inversie in de loop van de tijd toeneemt, zal deze verontreiniging op een zeker moment wel in de menglaag worden ingemengd, waardoor de concentratie aan het aardoppervlak snel zal kunnen toenemen. Dit verschijnsel wordt *fumigatie* genoemd.

In een gaussisch pluimmodel worden deze verticale beperkingen beschreven door een reflectie van de pluim aan beide zijden, waarbij aan de bovenzijde gedeeltelijke penetratie van warme pluimen in de inversielaag mogelijk is.

In het nieuwe Nationaal Model is eveneens deze benadering gekozen.

c) Oppervlaktestructuur: ruwheidslengte

Naast de atmosferische stabiliteit speelt ook de mechanische wrijving aan het bodem-oppervlak een rol bij de intensiteit van de turbulentie. Deze invloed wordt in de modellen in rekening gebracht door de dispersieparameters ook afhankelijk te maken van een schaalparameter: de oppervlakte-ruwheidsparameter z_0 . Deze parameter, met de dimensie van een lengte, geeft de beïnvloeding van het windsnelheidsprofiel met de hoogte door de aanwezigheid van vegetatie, gebouwen en andere structuren. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de te hanteren waarden.

Tabel 3 *Typische ruwheidslengten in verschillende gebiedstypen [13]*

voorbeeld	ruwheidslengte (m)	
open	Vlak land met alleen oppervlakkige begroeiing (gras) en soms gering obstakels. Bijvoorbeeld startbanen, weideland zonder windsingels, braakliggend bouwland.	0.03
ruwweg open	Bouwland met regelmatig laag gewas, of weideland met sloten die minder dan 20 slootbreedten van elkaar liggen. Verspreide obstakels (lage heggen, enkelvoudige rijen kale bomen, alleenliggende boerderijen) kunnen voorkomen op onderlinge afstanden van minstens 20x hun eigen hoogte.	0.10
ruw	Bouwland met afwisselend hoge en lage gewassen. Grote obstakels (rijen gebladerde bomen, lage boomgaarden enzovoort) met onderlinge afstanden van omstreeks 10x hun hoogte. Wijngaarden, maïsvelden en dergelijke.	0.25
zeer ruw	Obstakelgroepen (grote boerenhofsteden, stukken bos en dergelijke) gescheiden door open ruimten van omstreeks 10x de typische obstakelhoogte. Voorts verspreid struikgewas, jong dicht opeen geplant bos en boomgaardgebieden.	0.50
gesloten	Bodem regelmatig en volledig bedekt met vrij grote obstakels, met tussenruimten niet groter dan een paar obstakelhoogten. Bijvoorbeeld grote bossen, laagbouw in dorpen en steden.	1.0
stadskern	Centrum van grote stad met afwisselend laag- en hoogbouw. Ook bossen met grote oude bomen en veel onregelmatige open plekken.	3.0

d) Pluimstijging

De bigaussische pluimformule (paragraaf 2.2.1) geeft de concentratie ten opzichte van de pluim-as. Een gaussisch pluimmodel heeft daarom een algoritme nodig dat de pluimstijging (of -daling) van de rookgassen in de pluim t.o.v. de bronhoogte schat en in rekening brengt. Hiermee wordt de hoogte van de pluimas berekend als functie van de afstand tot de bron. In dit opzicht zijn twee effecten relevant, die beide in het nieuwe Nationaal Model zijn ingebouwd:

- Stijging door de warmte-inhoud van de rookgassen: In het geval van een warmte-neutrale pluim (emissie heeft de zelfde temperatuur als de omgevingslucht) is de transporthoogte gelijk aan de bouwhoogte van de betreffende schoorsteen. Indien de temperatuur van de rookgassen hoger is dan die van de omgevingslucht, zullen de rookgassen naar een grotere hoogte stijgen.
- Stijging of daling als gevolg van de uittree-impuls van de rookgassen: bij een in verhou-

ding tot de windsnelheid lage uittree-impuls zal de pluim als gevolg van de zog-werking door de schoorsteen dalen (“stack tip down wash”). Bij hogere uittree-impuls zal een (extra) impuls-stijging optreden.

2.2.2 Specifieke aspecten en beperkingen

a) Homogene meteorologie

Het bigaussische pluimmodel is gelijk aan de analytische oplossing van een driedimensionale continuïteitsvergelijking bij een in ruimte en tijd homogene meteorologie, onder verwaarlozing van de dispersie evenwijdig aan de windrichting. Hieruit volgt dat de beschrijving van het bigaussisch pluimmodel toepasbaar is in een gebied waarbinnen de meteorologische parameters niet veranderen binnen de middelingstijd van 1 uur. Voor de Nederlandse omstandigheden kan het model daarom over een afstand tot ongeveer 25 kilometer van de bron worden toegepast. Deze afstands-grens gold ook voor het oude Nationaal Model.

b) De eerste honderd meter

Het gedrag van een rookpluim wordt beïnvloed door gebouwen, inclusief de schoorsteen waaruit de emissie plaatsvindt. Bovendien zal, in het geval van een warme pluim, de pluimstijging niet momentaan zijn en zal enige (transport)tijd nodig zijn om de uiteindelijke effectieve pluimhoogte te bereiken. Dit leidt ertoe dat het bigaussisch pluimmodel niet kan worden gebruikt om de concentraties direct bij de bron te berekenen. Door toevoeging van een gebouwmodule aan het bigaussisch pluimmodel is het nieuwe Nationale Model echter ook van toepassing op de eerste 100 meter. Wel is de berekening van de pluimverspreiding in deze lastig te modelleren situatie onnauwkeuriger.

c) Lage windsnelheden, onberekenbare uren

In het bigaussisch pluimmodel is de concentratie omgekeerd evenredig met de windsnelheid (zie de formules in paragraaf 2.2.1). Deze formule is dan ook niet toepasbaar bij windsnelheid 0. Daarnaast zal bij lage windsnelheden de aanname dat de dispersie evenwijdig aan de windrichting verwaarloosd kan worden niet meer opgaan.

In metingen door KNMI worden windsnelheden beneden 0,5 m/s niet bepaald en wordt ook de bijbehorende windrichting als "onbepaald" weergegeven.

Dit leidt tot het vaststellen van een minimale windsnelheid, waarbij het model kan worden toegepast. Aanbevolen wordt om het model niet toe te passen voor windsnelheden kleiner dan 0.5 m/s. Voor deze lage windsnelheden is dus geen berekening met het Nationaal Model mogelijk: de zogenaamde "onberekenbare uren".

Bij de berekening van lange-termijngemiddelden en de hogere percentielen worden in het REFERENTIEMODEL de onberekenbare uren niet berekend. Daarmee wordt impliciet aangenomen dat (gemiddeld genomen) in deze onberekenbare uren dezelfde concentraties worden gevonden als in het lange-termijngemiddelde. Aangezien deze uren niet vaak voorkomen, levert dat voor het lange-termijngemiddelde geen grote onzekerheid op. Voor de percentielen,

die immers ook per definitie niet vaak voorkomen, kan deze aanname evenwel wel een grotere onzekerheid opleveren.

Op grond van meetresultaten van DSM over meerdere jaren en voor vele componenten en bronnen, met en zonder achtergrondconcentraties, kon worden aangetoond dat de invloed van uren met lage of variabele windsnelheid, die in het uur-voor-uurmodel niet goed te behandelen zijn, in de praktijk verwaarloosbaar lijkt te zijn. Alleen voor hoge bronnen zou dit anders kunnen liggen, maar hiervoor zijn ook in andere studies geen aanwijzingen gevonden.

d) Depositie

In de atmosfeer aanwezige verontreinigingen zullen via verschillende processen daaruit verwijderd kunnen worden. Twee fysische processen zijn in dit verband van belang:

- droge depositie: door adsorptie aan oppervlakken wordt een deel van de verontreiniging uit de passerende luchtstroom verwijderd
- natte depositie: het oplossen van verontreinigingen in neerslag in de wolken ("rain out") en in de vallende druppels ("wash out").

In het nieuwe Nationaal Model zijn deze processen opgenomen. De kern van deze beschrijving is dat zowel de droge als de natte depositie evenredig is met de concentratie, waarbij de evenredigheidsconstante (de depositiesnelheid) afhangt van de component en van de meteorologische condities.

e) Chemische omzettingen

Naast fysische processen kunnen ook chemische omzettingen ervoor zorgen dat luchtverontreinigingscomponenten uit de atmosfeer worden verwijderd. Het nieuwe Nationaal Model houdt geen rekening met chemische omzettingen. De toepassing van dit model is dus beperkt tot inerte gassen. Er is één uitzondering: voor de berekening van de omzetting van NO in NO₂ is een chemische module in het model opgenomen.

f) Deeltjes

Voor deeltjes is een extra depositieproces van belang. Door de zwaartekracht kunnen deeltjes tijdens het transport naar beneden vallen. Dit proces wordt gemodelleerd door een depositiesnelheid, welke afhankelijk is van de grootte van het deeltje en is opgenomen in het nieuwe Nationaal Model.

2.3 Het gaussisch pluimmodel in het nieuwe Nationaal Model

Het nieuwe Nationaal Model is een bigaussisch pluimmodel, waarin met name voor de bepaling van de dispersieparameters en de menglaaghoogte een moderner rekenschema is ingevoerd dan in het oude model. De dispersiecoëfficiënten en de menglaaghoogte worden niet langer meer met het classificatieschema van Pasquill [11] aan de hand van bewolkings-grad, windsnelheid en tijdstip bepaald, maar via een meteorologische theorie afgeleid uit een aantal meteorologische parameters. In het onderstaande wordt een beeld geschetst van de samenhang van de theorie met de praktijk van de modellering. We beperken ons daarbij tot de voornaamste

begrippen en samenhangen. Het uitgebreide formulairium is te vinden in deelrapport I. Achtergrondinformatie is ook te vinden in de proefschriften van Erbrink [10] en Van Jaarsveld [14]. Zoals hiervoor reeds werd aangegeven wordt de turbulentie in de atmosfeer afgeleid van een aantal standaard meteorologische gegevens over het windveld en de energiebalans in de menglaag (zoningstraling, temperatuur, bodemvochtigheid en luchtvochtigheid). Daaruit wordt een drietal grootheden afgeleid:

- de frictiesnelheid (u^*); deze grootte bepaalt de mate van mechanische turbulentie aan het oppervlak;
- de warmteflux aan het oppervlak (H_0): dit is de verticale voelbare warmtestroom die door turbulentie van of naar het oppervlak wordt overgebracht;
- de Monin-Obukhovlengte (L); deze grootte is een maat voor de verhouding tussen thermische en de mechanische turbulentie.

Het verband tussen deze grootheden wordt gegeven door:

$$L = \frac{T \rho_a c_p u^{*3}}{g H_0 \kappa}$$

daarin is:

- T de absolute temperatuur
- ρ_a de luchtdichtheid
- c_p de specifieke warmte van lucht
- g de versnelling van de zwaartekracht
- κ de Von Karman constante

H_0 kan worden berekend uit de netto instraling Q^* met behulp van het oppervlakte-energie budget waarin verder de latente warmtestroom en de bodem warmtestroom zijn opgenomen. Voor de latente warmtestroom is een modelbenadering beschikbaar volgens Beljaars en Holt-slag [18] op basis van globale straling en bedekkingsgraad als invoergegevens.

u^* is gerelateerd aan het verticale windsnelheidsprofiel via relaties waarin ook de Monin-Obukhovlengte L voorkomt. Door een itererende rekenmethode kunnen uit het stelsel van samenhangende vergelijkingen L en u^* worden berekend.

De Monin-Obukhovlengte L heeft een centrale functie in de moderne grenslaagmodellering en komt in feite in de plaats voor de stabiliteitsklassen van Pasquill uit het oude Nationaal Model. L heeft inderdaad de dimensie lengte en is een maat voor de hoogte tot welke de wrijvingskrachten aan het oppervlak de turbulentie bepalen; daarboven nemen de thermische processen die rol over. De waarde van L varieert met de stabiliteit: L is negatief onder instabiele omstandigheden (er is dan een positieve warmtestroom naar het aardoppervlak). Onder stabiele omstandigheden is L positief; onder neutrale omstandigheden is de absolute waarde van $1/L$ laag.

Vervolgens dient de turbulentie in formules te worden gevangen. Turbulentie wordt beschreven als een verzameling wervels met een afmeting (intensiteit) en een snelheid van verplaatsing, waarvoor een tijdsschaal T wordt gehanteerd. In de atmosfeer komen snelle en langzame wer-

vels voor die met de turbulentieparameters sv en sw worden beschreven. De afleiding is verschillend voor instabiele, neutrale en stabiele omstandigheden. De verbanden uit de literatuur zijn geïjkt met behulp van een analyse van een bestand van windfluctuatietingen dat door KEMA was aangelegd.

Als de turbulentieparameters beschikbaar zijn kan met behulp van L en u^* de menglaaghoogte z_i worden berekend, waarbij de procedure verschillend is voor enerzijds stabiele en neutrale omstandigheden en anderzijds instabiele omstandigheden. Daarvoor wordt het groeimodel van Driedonks toegepast [19]. De constanten in de gebruikte formules zijn in het Referentiemodel geïjkt op een driejarig gegevensbestand van menglaaghoogten van de KEMA.

In de opzet van het Referentiemodel worden de grootheden L , u^* en z_i vooraf voor ieder uur berekend in de zogenaamde "meteorologische preprocessor". Om echter de gaussische pluimformule te kunnen toepassen dient ook nog een aantal andere grootheden te worden berekend. In elk daarvan spelen L en/of u^* een rol.

Allereerst wordt een windsnelheidsprofiel in de verticaal berekend dat immers ook door de aanwezige turbulentie wordt beïnvloed. Een tweede berekening betreft het windrichtingsprofiel. Daarin speelt ook de dikte van de grenslaag een rol. Ook wordt een temperatuurprofiel in de verticaal berekend. Dat speelt met name een rol in de pluimstijging en het bepalen van penetratie van een pluim in de inversielaag.

Dan ontbreekt nog steeds de procedure om de dispersiecoëfficiënten σ_y en σ_z uit te rekenen. In het Referentiemodel worden die direct uit de turbulentieparameters en het windsnelheidsprofiel berekend zonder tussenkomst van stabiliteitsklassen. De methode berust op de dispersietheorie van Taylor [20]. Toevoegingen betreffen de invloed van de warmte-inhoud van de pluim op de dispersie en de beïnvloeding van de dispersie door de winddraaiing. Daarmee is het mogelijk voor ieder uur een hoogte-afhankelijke dispersie te geven.

De ontwikkelde methodiek biedt daardoor de mogelijkheid tot een gedetailleerde behandeling van de pluimstijging waarbij is uitgegaan van de benadering van Briggs [21].

2.4 Korte-termijn-toepassingen

Het nieuwe Nationaal Model berekent uit uurlijkse meteorologische gegevens voor ieder uur de concentratie behorend bij die specifieke meteotoestand. Daarmee is in principe een korte-termijn-model beschikbaar. Dit korte-termijn-model sluit aan bij het model, zoals dat voor berekening ten aanzien van externe veiligheid wordt gehanteerd bij emissies van neutrale, inerte gassen ("Gele Boek", 3e editie [22]).

Men dient zich echter te realiseren dat een Gaussisch Pluimmodel in de kern een statistisch model is, dat vooral is ontwikkeld om via een statistische benadering de luchtkwaliteit te schatten. De onnauwkeurigheid voor individuele uren zal aanmerkelijk groter zijn dan de onnauw-

keurigheid in daarvan afgeleide statistische grootheden als het lange-termijn-gemiddelde en de lange-termijn-frequentiedistributie. Met name bijzondere verspreidingscondities bij lage windsnelheden, wanneer in sommige bronconfiguraties hoge concentraties kunnen optreden, zijn met het gaussisch pluimmodel slecht te berekenen. Dit betekent dat de mogelijkheden om met dit korte-termijn-model "worst case" analyses uit te voeren beperkt zijn en een relatief grote onzekerheid zullen tonen.

2.5 Lange-termijn toepassingen: gemiddelde concentraties en percentielen

De mogelijkheid om korte-termijnberekeningen uit te voeren is niet de belangrijkste toepassing van het gaussisch pluimmodel. De gebruiker is vaker geïnteresseerd in een statistische beschrijving van de concentratiefluctuaties over een langere periode. Daarbij zal de gebruiker wensen aan te sluiten bij de karakterisering van luchtverontreinigingsconcentraties, zoals die in luchtkwaliteitsnormen zijn vastgelegd. Het gaat dan om lange-termijn-gemiddelden (gemiddelde concentraties over een jaar of langer) en/of om mediaan-waarden en hogere percentielen (vooral 95-, 98-, 99- en 99,5-percentiel). Deze grootheden kunnen worden berekend door het bigaussische pluimmodel voor een groot aantal historische condities toe te passen en de gevraagde statistische beschrijving uit de reeks rekenresultaten af te leiden. Over het algemeen zijn bigaussische pluimmodellen dan ook geoptimaliseerd voor het voorspellen van deze statistische kentallen.

Het bigaussisch pluimmodel als bovenbeschreven wordt ook in het nieuwe Nationaal Model gebruikt om statistische karakteristieken van luchtverontreinigings-concentraties te berekenen:

- (lange-termijn) gemiddelde concentraties
- (hogere) percentielen

Dit kan op drie manieren die in het vervolg van dit rapport nader aan de orde komen.

2.5.1 “Uur-voor-uur Methode”

In deze benadering wordt de historische reeks meteorologische condities in samenhang met een historische reeks uurgemiddelde emissies en eventuele bijbehorende achtergrondconcentraties van uur tot uur doorgerekend. Deze methode wordt ook wel “*Brute force*” methode genoemd omdat deze methode een relatief groot beslag doet op reken capaciteit: wanneer een lange meteorologische reeks moet worden doorgewerkt om voldoende onafhankelijk te worden van de specifieke meteorologie van een jaar is een snelle computer nodig; anders kunnen lange rekentijden worden verwacht. Voor toepassing van het Nationaal Model wordt een reeks van tenminste vijf jaren ($5 \times 8760 \approx 44.000$ uren) aanbevolen.

In deze benadering worden gemiddelden en percentielwaarden direct afgeleid uit de berekende reeks uurgemiddelde concentraties.

2.5.2 “Statistische” benadering

Wanneer de meteorologische condities gegroepeerd worden en samengevat in een frequentietabel, kan een grote besparing in rekentijd worden behaald. Immers elke meteorologische conditie hoeft slechts één keer uitgerekend te worden, ook als die conditie meerdere malen binnen de reeks voorkomt. Vervolgens kan de uitkomst met behulp van de frequentie van voorkomen in de totaalberekening worden meegenomen. Een extra besparing in rekentijd kan worden bereikt doordat de volgorde van de berekeningen efficiënter kan worden gekozen, waardoor het aantal benodigde berekeningen nog verder kan worden geminimaliseerd.

De lange-termijngemiddelde concentratie kan door (met de frequentie van voorkomen van de meteorologische condities) gewogen middeling eenvoudig worden berekend. Percentielwaarden laten zich wat minder eenvoudig uitrekenen. Daarvoor is een extra aanname noodzakelijk (zie paragraaf 4.2.2).

2.5.3 A-selecte steekproef

Een andere oplossing om de rekentijd te verkorten is het nemen van een willekeurige steekproef uit het totaal aantal uren en de berekening alleen voor deze uren uit te voeren. De meteorologische preprocessing wordt uitgevoerd met alle uren; de dispersieberekeningen worden alleen voor de steekproefuren uitgevoerd, identiek aan de berekeningen met het UUR-VOOR-UURMODEL en met identieke invoer. Ook de modules die aan het model worden toegevoegd, zoals de gebouwmodule, blijven toepasbaar. Een steekproef van 5% blijkt in de praktijk een goede keus; daarmee wordt een factor 20 in rekensnelheid gewonnen.