

Project Revisie Nationaal Model

Deelrapport II

Ontwikkeling en beschrijving van het Klassenmodel

Rapporteurs: *M.P.J. Pulles*
C.J.H. van den Bosch
H.C. Tieben
J. van Ham

1. Inleiding

Het Nationaal Model voor de verspreiding van luchtverontreiniging dateert uit 1976. Het werd enkele malen aangevuld of verbeterd, het laatst in 1984 [1, 2, 3, 4]. In 1992 is in Nederland een discussie gestart over de juistheid van het Nationaal Model [5, 6]. Met name waren er twijfels gerezen over de toepassing op hoge bronnen.

Daarnaast was er al langere tijd onvrede over de beperkingen in de toepasbaarheid van het Nationaal Model als zodanig.

Op initiatief van de directie Lucht en Energie van het ministerie VROM zijn daarop via een enquête [7] en een workshop [8] de knelpunten en de mogelijkheden om die op te lossen in kaart gebracht. Daarna is op een workshop met gebruikers van het Nationaal Model een wensenpakket met prioriteiten geformuleerd voor een verbeterd Nationaal Model [9]. Vervolgens is aan de Commissie Onderzoek Luchtverontreiniging (COL) gevraagd aan te geven op welke wijze een verbeterd Nationaal Model dat zou kunnen rekenen op maximale consensus in Nederland en op internationale acceptatie tot stand kon worden gebracht. Op basis van dit uitgangspunt is door TNO, samen met de betrokken partners in de COL: KEMA, KNMI, RIVM en DSM een projectvoorstel geformuleerd, waarbij het model STACKS van de KEMA [10] als uitgangspunt voor het onderzoek zou fungeren. De COL heeft vervolgens ingestemd met dit projectvoorstel en heeft in samenwerking met DGM de mogelijkheden voor financiering onderzocht. Deze is tot stand gekomen door bijdragen van het ministerie VROM, de twaalf provincies, de Samenwerkende elektriciteitsproducenten (Sep), en aangevuld met bijdragen van de projectdeelnemers.

De Projectgroep heeft in de eerste fase een analyse van STACKS uitgevoerd. Die heeft geresulteerd in een aantal amendementen en aanvullingen op dit model die door de KEMA zijn verwerkt. De aangepaste versie is vervolgens geaccepteerd door de Projectgroep als het beoogde REFERENTIEMODEL (RM). Een uitvoerige beschrijving daarvan is gegeven in Deelrapport I.

In een tweede fase is vervolgens met gebruikmaking van de grenslaag-meteorologie uit het REFERENTIEMODEL een geclassificeerd model ontwikkeld. Het zo tot stand gekomen KLASSENMODEL (KM) wordt in dit rapport beschreven.

In hoofdstuk 2 wordt het principe van geclassificeerd rekenen toegelicht en wordt de relatie met het REFERENTIEMODEL behandeld; vervolgens wordt de afleiding van een nieuwe klassenindeling beschreven. Daarna wordt beschreven hoe daarmee gemiddelden, percentielwaarden en depositie worden berekend.

In hoofdstuk 3 worden de resultaten van vergelijkende berekeningen met het KLASSENMODEL en het REFERENTIEMODEL beschreven voor een set testbronnen en bediscussieerd.

In hoofdstuk 4 wordt uitgelegd waarom is afgezien van de koppeling van een NO₂-module aan het KLASSENMODEL en in hoofdstuk 5 wordt het oppervlaktebronmodel beschreven. De rapportage wordt besloten met de conclusies in hoofdstuk 6.

2. Klassenmodel

2.1 Geclassificeerd rekenen

Bij geclassificeerd rekenen worden de uren uit een tijdreeks eerst gegroepeerd in klassen met gelijke meteorologische omstandigheden. De berekening van de gemiddelde concentratie wordt vervolgens alleen per klasse uitgevoerd. Alle klassen samen leveren, gewogen voor de frequentie van voorkomen per klasse, de lange-termijngemiddelde concentratie.

Geclassificeerd rekenen was ook de werkwijze in het oude Nationaal Model. Bij de ontwikkeling van het nieuwe KLASSENMODEL gold uiteraard als uitgangspunt dat zoveel als mogelijk werd aangesloten bij de werkwijze van het REFERENTIEMODEL. Dat heeft vorm gekregen door in het KLASSENMODEL gebruik te maken van de wijze van meteorologische preprocessing van het REFERENTIEMODEL. De classificering wordt uitgevoerd aan de reeks van uurwaarden van Monin-Obukhovlengte L , frictiesnelheid u^* en menglaaghoogte z_i .

2.2 Meteorologische preprocessing

2.2.1 Methode

In het Nieuwe NATIONAAL MODEL (NNM) worden verspreidingsberekeningen uitgevoerd aan de hand van een geavanceerde beschrijving van de meteorologische grenslaag. De atmosferische stabiliteit komt tot uitdrukking in de Monin-Obukhov-lengteschaal en de oppervlaktewrijvingssnelheid. Andere karakteristieke modelparameters zijn de windrichting en -snelheid en de menghoogte. Aangezien het NNM ook voorziet in de berekening van zowel droge als natte deposities is de neerslagintensiteit als extra meteorologische parameter noodzakelijk.

In het algemeen zijn de Monin-Obukhov-lengte, L , en de menghoogte, z_i , niet als synoptische meetgegevens beschikbaar. Vandaar dat het REFERENTIEMODEL voorziet in atmosferische modellen met behulp waarvan uit synoptische meetgegevens deze grootheden kunnen worden berekend. Uit een tijdreeks van uurlijkse waarden van de bewolkingsgraad, de temperatuur, de globale straling en de windsnelheid op referentiehoogte (meestal 10 m) kan een tijdreeks van uurlijkse waarden van de Monin-Obukhov-lengte en de menghoogte worden afgeleid. Hierbij zijn ook de lokale oppervlakteruwheid, de bodemvochtigheid en de albedo van groot belang. Voor het welslagen van deze UUR-VOOR-UUR preprocessing dienen de meteorologische invoergegevens op uurbasis voorhanden te zijn. Bij deze rekenresultaten voegen we nog de gemeten windrichting, de lokale windsnelheid op referentiehoogte en de neerslagintensiteit. Daarmee is de uurlijkse meteorologische invoer rond.

Op basis van deze invoer kunnen uurgemiddelde modeluitkomsten worden berekend (korte-termijn-model). Uit een lange tijdreeks van korte-termijn-model-uitkomsten kan uiteindelijk ook een langjarig gemiddelde worden bepaald. Gezien de grote omvang van de meteorologische invoerbestanden en de grote rekentijd die een dergelijke aanpak vergt - met name in het geval van meerdere bronnen en receptoren -, is het van nut speciaal voor lange-termijnwaarden een statistisch rekenmodel op te zetten.

In het KLASSENMODEL wordt de meteorologie in een geclassificeerd systeem beschreven. In concreto betekent dit de invoering van klassen op basis van de Monin-Obukhov-lengte, van windsnelheid, menghoogte en windrichting. De meteorologische preprocessing voor de statistische rekenmethode bestaat in feite uit twee stappen.

Allereerst wordt met behulp van de procedures die voor het REFERENTIEMODEL zijn beschreven uit een tijdreeks van uurlijkse waarden van synoptische meteorologische grootheden een tijdreeks van uurlijkse waarden van de meteorologie afgeleid. De lokale meteorologische waarnemingen bij het meetstation worden gebruikt om voor een specifieke locatie de afgeleide grootheden uit te rekenen.

De synoptische meteorologie van de meetlocatie bestaat uit de bewolkingsgraad, de temperatuur, de globale straling, de windsnelheid- en richting op referentiehoogte en de neerslagintensiteit. De hieruit afgeleide parameters zijn de windsnelheid op referentiehoogte op de rekenlocatie, de Monin-Obukhov-lengte en de grenslaaghoogte. Al deze afgeleide grootheden zijn sterk afhankelijk voor de lokale ruwheidslengte. In de preprocessing is voor het verschil in ruwheidslengte tussen de meetlocatie en de rekenlocatie gecorrigeerd.

Vervolgens worden deze uurlijkse meteosituaties over de verschillende klassen (Monin-Obukhov-, menghoogte-, en windsnelheidsklassen en windrichtings-sectoren) verdeeld. Op deze wijze ontstaan er tabellen met urenverdelingen. Deze dienen als meteorologische invoer van de statistische rekenmethode.

Aangezien we ten behoeve van depositieberekeningen een onderscheid willen maken tussen uren met en uren zonder neerslag, dient de verdeling van de natte en droge uren over de klassen afzonderlijk plaats te vinden. De verdeling van de uren over de verschillende stabiliteitsklassen is ook sterk afhankelijk van de lokale oppervlakteruwheid, zodat bij de gekozen klassengrenzen een verschillend aantal uren per klasse zal worden gevonden voor verschillende locaties. De uiteindelijke meteorologische invoer voor het KLASSENMODEL bestaat uit een verzameling tabellen. Per locatie wordt voor alle ruwheidsklassen een drietal tabellen aangeleverd met daarin de verdelingen van de droge en de natte uren, en de totale hoeveelheid neerslag tijdens de natte uren over de klassen. Iedere tabel is een $L_o \times U \times M \times N$ - matrix, waarin L_o het aantal Monin-Obukhov stabiliteitsklassen, U het aantal windsnelheidsklassen, M het aantal menghoogteklassen en N het aantal windrichtings-sectoren is.

2.2.2 Klassen-indelingen: afleiding en rekenresultaten

a) Afleiding

De indeling van stabiliteitsklassen, dient zodanig te gebeuren, dat de verschillende voorkomende meteorologische situaties in de verspreidingsberekeningen goed tot hun recht komen. Om te komen tot een aanbeveling voor de klasse-indelingen zijn de meetgegevens en de daaruit afgeleide data van de locatie Eindhoven onder de loep genomen. Door het KNMI verstrekte uurlijkse meteorologische gegevens van de locatie Eindhoven over het tijdvak 1986 - 1995 zijn bewerkt, zodat naast de synoptische ook de afgeleide meteorologie op uurbasis bekend is. De gemeten waarden van de windsnelheid zijn gecorrigeerd voor de lokale ruwheid te Eindhoven en daarna omgerekend naar de lokale windsnelheid op de 'rekenlocatie'.

Bij de definitie van de klassen-indelingen is gestreefd naar een minimum aantal klassen. Het proces, dat heeft geleid tot een definitieve indeling in klassen is als volgt verlopen. Uit de praktische frequentieverdelingen van de Monin-Obukhov-lengte, de menhoogte, de windsnelheid- en richting - bij een constante lokale ruwheid op de rekenlocatie van 0.1 m - is een mogelijke keuze gedaan voor de klasse-indelingen.

Vervolgens is deze indeling toegepast in een vergelijkende berekening tussen de lange-termijngemiddelde waarden van de concentratie van de statistische rekenmethode en de referentiemethode. Daarnaast ligt het aantal windrichtingsklassen vast (36). Uiteindelijk bleken 5 windsnelheidsklassen (zie ook van Ham et al in [11]) en 8 menhoogte- en Monin-Obukhov-klassen aanvaardbare resultaten op te leveren.

Aangezien met name de afgeleide meteorologische grootheden sterk ruwheidsafhankelijk zijn, is onderzocht of de klasse-indelingen in de statistische rekenmethode ook in afhankelijkheid van de ruwheid moeten worden gekozen. Derhalve is de meteorologische preprocessing uitgevoerd voor alle acht ruwheidsklassen uit de aanbeveling van Wieringa. De klasse-indeling, zoals die is gevonden bij $z_0 = 0.1$ m (klasse 4), is in eerste instantie ook toegepast voor alle andere ruwheidsklassen. Achtereenvolgens werden de volgende karakteristieke waarden voor de oppervlakteruwheid, z_0 , toegepast: (1) 0.0002, (2) 0.005, (3) 0.03, (4) 0.1, (5) 0.25, (6) 0.5, (7) 1.0 en (8) 3.0. De overige terreinparameters, bodemvochtigheid a en albedo, werden overeenkomstig de consensus constant gehouden: $a = 1$ en albedo = 0.2. Vervolgens is er een aantal vergelijkende berekeningen tussen de referentiemethode en de statistische rekenmethode uitgevoerd bij verschillende ruwheden. De ruwheidsklassen 2 en 7 - dit zijn de minimale en de maximale waarden van de ruwheid die in de Nederlandse praktijk voorkomen - zijn hierbij toegepast. Uit deze analyse is gebleken, dat voor verschillende ruwheden de indeling in klassen hetzelfde kan blijven.

Op deze wijze is de volgende aanbeveling tot stand gekomen:

- Windrichtings-sectoren: Voor de indeling van de windsectoren is een opsplitsing van de windroos in 36 sectoren van 10 graden gekozen. Hierin bestrijkt sector 0 het gebied tussen 355 - 360 en 0 - 5 graden. De sectornummering 'draait met de klok mee'.
- Windsnelheidsklassen: 5 klassen, volgens Tabel 1
- Stabiliteitsklassen: 8 klassen, volgens Tabel 2

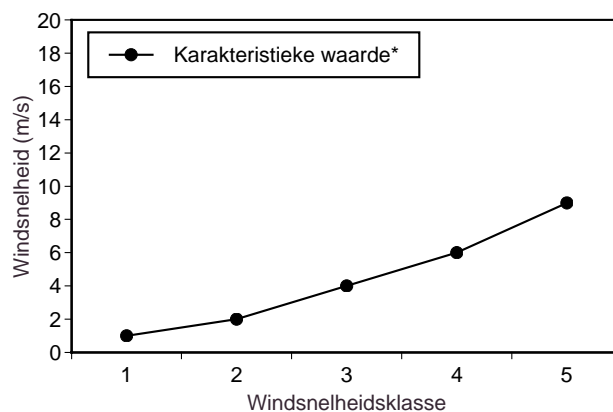
- Menghoogteklassen: Een goede modellering van de grenslaaghoogte is met name van belang voor de penetratie van de pluim in de menglaag. In het onderste deel van de grenslaag wordt een minimale menghoogte van 50 meter aangenomen en wordt in stappen van 100 meter opgeklommen tot 550 meter. De top van een pluim zal zich in de praktijk zelden boven de 550 m uitstrekken, zodat voor grotere hoogten een kleinere differentiatie acceptabel is. Op grond van deze beschouwing is de keuze van 8 klassen volgens Tabel 2.3 gemaakt.

Het totaal aantal klassen komt daarmee op $L_0 \cdot U \cdot M \cdot N = 8 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 36 = 11520$ klassen. Het aantal verschillende weersituaties, dat in het geclassificeerde systeem is gedefinieerd is $2 \cdot 11520 = 23040$. Alle klassen zijn namelijk voor de natte en de droge uren apart aanwezig. In de praktijk blijkt, dat een groot aantal mogelijke combinaties niet voorkomt. Het uiteindelijke aantal klassen, waarvoor in de praktijk een berekening wordt uitgevoerd bedraagt ongeveer 590 klassen.

Tabel 1 Indeling windsnelheidsklassen (m/s) KLASSENMODEL

| Klasse | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|----------|
| Minimum | 0 | 1.5 | 3 | 5 | 8 |
| Karakteristieke waarde* | 1.3 | 2.4 | 3.8 | 6.5 | 9.5 |
| Maximum | 1.5 | 3 | 5 | 8 | ∞ |

* De aangegeven gemiddelde en karakteristieke waarden worden in de statistische rekenmethode binnen een klasse gebruikt

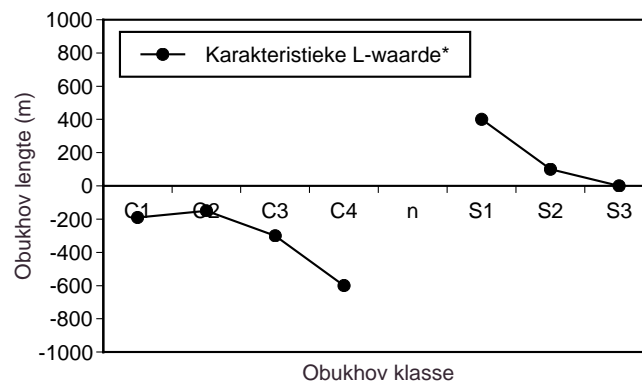


Figuur 1 Windsnelheid: klassenindeling

Tabel 2 Indeling stabiliteitsklassen (m) KLASSENMODEL naar de Monin-Obukhov-lengte

| L-klasse | C1 | C2 | C3 | C4 | N | S1 | S2 | S3 |
|---------------------------|-----|------|------|-------|----------|------|-----|----|
| Minimum L-waarde | -30 | -200 | -400 | -1000 | ∞ | 200 | 25 | 0 |
| Karakteristieke L-waarde* | -17 | -95 | -280 | -600 | n.v.t. | 400 | 90 | 10 |
| Maximum L-waarde | 0 | -30 | -200 | -400 | ∞ | 1000 | 200 | 25 |

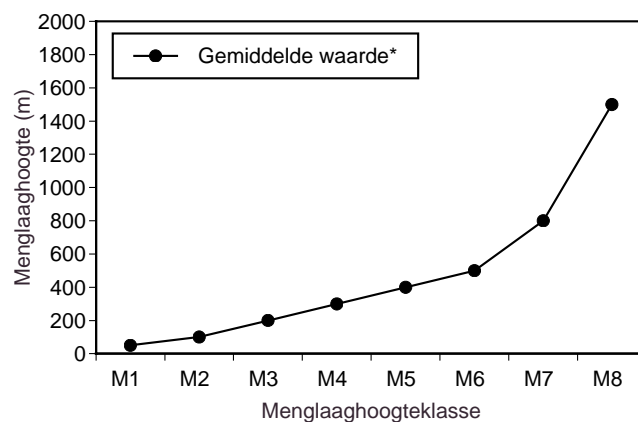
* De aangegeven gemiddelde en karakteristieke waarden worden in de statistische rekenmethode binnen een klasse gebruikt



Figuur 2 Monin-Obukhov-lengte: klassenindeling

Tabel 3 Indeling menghoogteklassen (m) in KLASSENMODEL

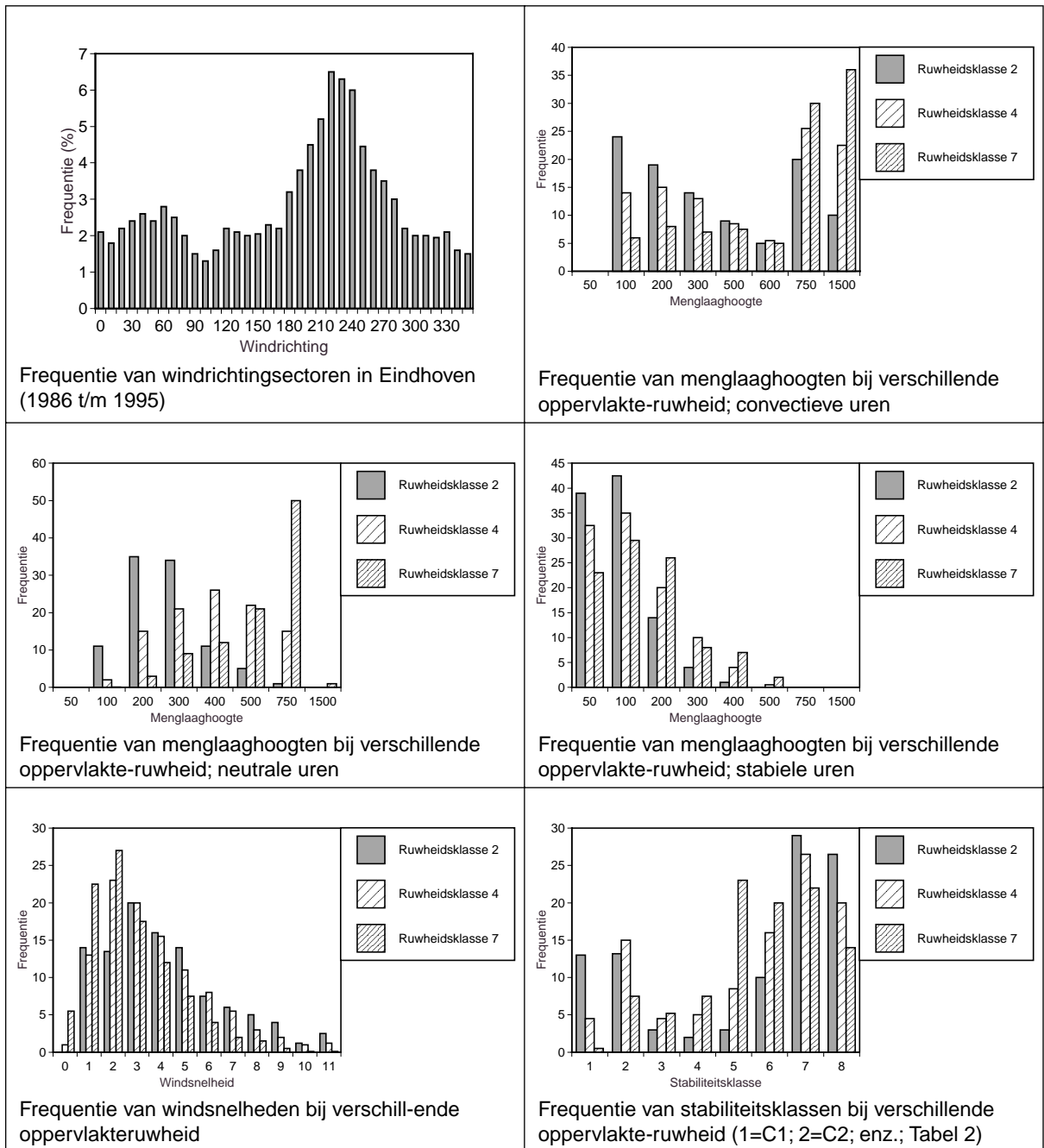
| Klasse | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 | M7 | M8 |
|--------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| Minimum | 50 | 50 | 150 | 250 | 350 | 450 | 550 | 1050 |
| Gemiddelde waarde* | 50 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 750 | 1500 |
| Maximum | 50 | 150 | 250 | 350 | 450 | 550 | 1050 | 2000 |



Figuur 3 Menglaaghoogte: klassenindeling

b) Rekenresultaten

De aanbeveling uit 2.1 is verder uitgewerkt voor de locatie Eindhoven over het tijdvak 1986 - 1995. In Figuur 4 is de windrichtings-frequentie-distributie weergegeven en zijn voor drie verschillende ruweidsklassen de verdelingen van de uren over de menghoogte weergegeven. Uit de figuur blijkt, dat de windsnelheid op de rekenlocatie sterk afhankelijk is van de oppervlakteruwheid. Lage windsnelheden worden vooral gevonden bij hoge terreinruwheid; de hoogste windsnelheden worden alleen gevonden bij de laagste ruwheid.



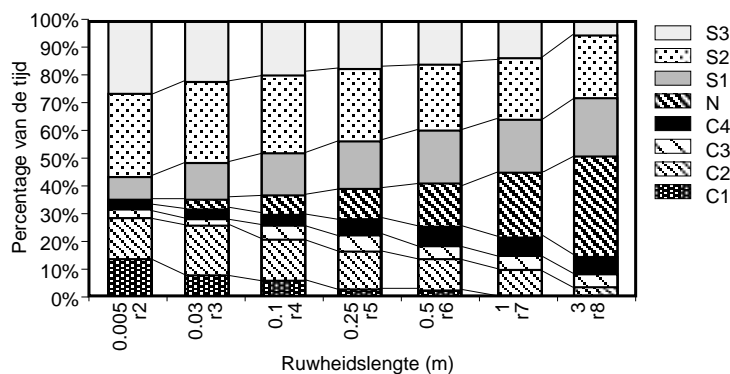
Figuur 4 Meteorologie Eindhoven

Uit Figuur 4 blijkt, dat naarmate de ruwheid groter wordt, de stabiele en in mindere mate de convectieve stabiliteitsklassen moeten inleveren ten gunste van de neutrale klasse. Er treedt vooral een verschuiving van stabiel en convectief naar neutraal (of bijna-neutraal) op. De verdeling van de uren over de stabiliteitsklassen voor de locatie Eindhoven is samengevat in Tabel 4. Het blijkt, dat zowel voor convectieve, neutrale als stabiele situaties, het menghoogtespec-

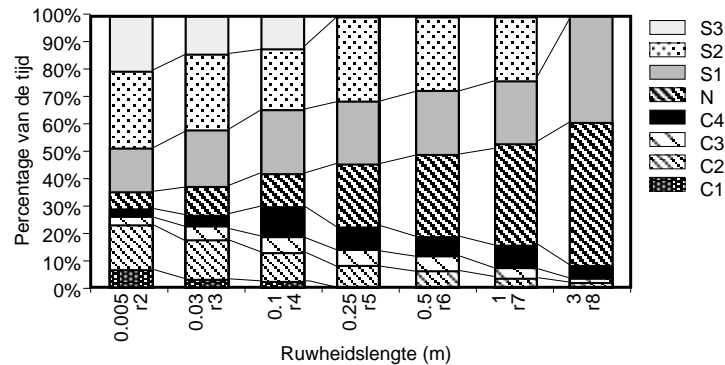
trum opschuift naar hoge waarde naarmate de ruwheid toeneemt (lift-effect). Voor extreem hoge ruwheid verdwijnen de relatief lage menhoogten uit het convectieve menhoogte-spectrum. Voor de hoogste ruwheidsklasse komen menhoogten tot 2 km voor zelfs onder neutrale omstandigheden.

Tabel 4 Frequentiedistributie over de Monin-Obukhov-stabiliteitsklassen voor de locatie Eindhoven (1986 - 1995; 81354 uren) per ruwheidsklasse

| Klasse | r1 0.0002 | r2 0.005 | r3 0.03 | r4 0.1 | r5 0.25 | r6 0.5 | r7 1.0 | r8 3.0 |
|--------|--------------|-------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|
| C1 | 17165 | 10933 | 6937 | 4286 | 2429 | 1378 | 675 | 777 |
| C2 | 7539 | 11533 | 12641 | 12027 | 10528 | 8618 | 6376 | 1856 |
| C3 | 953 | 1915 | 3143 | 4235 | 4882 | 4948 | 4477 | 2971 |
| C4 | 623 | 1313 | 2200 | 3319 | 4580 | 5735 | 6491 | 5761 |
| N | 925 | 2056 | 3627 | 5930 | 9094 | 12755 | 17863 | 29697 |
| S1 | 3283 | 7544 | 10760 | 13173 | 14840 | 15898 | 16748 | 17508 |
| S2 | 21738 | 23878 | 23277 | 21711 | 20189 | 18734 | 17080 | 17287 |
| S3 | 29128 | 22182 | 18769 | 16673 | 14812 | 13288 | 11644 | 5497 |



Figuur 5 Frequentiedistributie over de Monin-Obukhov stabiliteitsklassen voor de locatie Eindhoven (1986 - 1995; 81354 uren) per ruwheids-klasse



Figuur 6 Frequentiedistributie over de Monin-Obukhov stabiliteitsklassen voor de locatie Schiphol (1986 - 1995; 68129 uren) per ruwheids-klasse

2.3 Statistische benadering van de gemiddelden

Het KLASSENMODEL kan de gemiddelde concentraties eenvoudig berekenen door de berekende concentratie per meteoklasse met de frequentie van voorkomen van die klasse te middelen.

Van belang is te constateren dat in het KLASSENMODEL geen concessie hoeft te worden gedaan aan de lengte van de meteorologische tijdreeks, omdat de rekentijd wordt bepaald door het aantal door te rekenen klassen. De maximale lengte van de beschikbare tijdreeks over 10 jaar kan zonder meer worden gehandhaafd. Verder is het exact duidelijk hoe deze meteorologie in het model wordt verwerkt, dus zonder willekeurige trekkingen te doen

In het KLASSENMODEL wordt gebruik gemaakt van de gemiddelde waarden van meteorologische parameters in elk van de klassen. Een verdere verfijning bleek niet nodig. Alleen de pluimstijging wordt in het KLASSENMODEL verondersteld instantaan plaats te vinden. Afgezien van de volgorde van rekenen is het KLASSENMODEL dus grotendeels gelijk aan het UUR-VOOR-UURMODEL.

Een belangrijk voordeel van het KLASSENMODEL is de belangrijk kortere rekentijd in vergelijking met het UUR-VOOR-UURMODEL. Voor een 10-jarige meteoreeks kan het KLASSENMODEL tot 144 x sneller zijn dan het UUR-VOOR-UURMODEL

2.4 Statistische benadering van de percentielen

Met het UUR-VOOR-UURMODEL kan direct een schatting worden gemaakt van de percentielwaarden. De reeks van uurgemiddelde concentraties dient daartoe gesorteerd te worden,

waarna de percentielen kunnen worden afgelezen. Bij toepassing van het KLASSENMODEL is dat niet mogelijk. Wanneer de jaargemiddelde concentraties zijn berekend met het KLASSENMODEL moeten de percentielen op een andere wijze worden bepaald. Deze paragraaf geeft aan hoe dat kan.

2.4.1 Overwegingen

Luchtverontreinigingsconcentraties zijn afhankelijk van de meteorologische condities. De belangrijkste daarvan is de windrichting: alleen benedenwinds van een bron zal de verontreiniging kunnen worden waargenomen. Mede op grond van dit feit is in het oude NATIONALE MODEL aangenomen dat de frequentieverdeling van concentraties binnen een nauwe windrichtingssector (5 tot 10 graden) een vaste vorm heeft. Daarmee wordt

- bereikt dat de variantie in de luchtverontreinigingsconcentraties welke wordt veroorzaakt door de variantie in windrichting expliciet in rekening kan worden gebracht; en
- aangenomen dat de variantie in de luchtverontreinigingsconcentraties door variantie in andere meteorologische parameters (windsnelheid, stabiliteit e.d.) voldoet aan een standaard frequentieverdeling

Voor deze standaard frequentieverdeling is een lognormale verdeling gekozen omdat langere meetreeksen van luchtverontreinigingsconcentraties in de praktijk ook een dergelijke scheve verdeling hebben; zij kunnen immers niet negatief worden. De lognormale verdeling is bovendien een functie met slechts twee parameters. Wanneer nu de gemiddelde concentratie voor die uren dat de windrichting binnen de betreffende sector valt bekend is, kan met één extra parameterkeuze worden volstaan. Uit SO_2 -metingen is voor (de spreiding van) die parameter een waarde $S=0.7$ afgeleid. Er zijn geen aanwijzingen gevonden dat die waarde voor andere componenten veel verschilt.

Huygen [2] heeft destijds laten zien dat de precieze vorm van de frequentieverdeling binnen een smalle windrichtingssector de verandering van de hogere percentielen (90 tot 99) door toevoeging van een bron nauwelijks beïnvloedt. Kortom, de aanname van de lognormale verdeling en de daarbij behorende parameter is niet essentieel. Voor enkele van de in het verdere onderzoek gebruikte testbronnen is dit opnieuw nagegaan. Variëren van S tussen 0.5 en 0.85 leverde slechts marginale ($< 10\%$) veranderingen in de berekende percentielen op.

De aannames die ten grondslag liggen aan Klassenmodel en de LTFD-methode van het oude Nationaal Model zijn naar hun aard een vereenvoudiging van de werkelijkheid. Het fysische proces wordt niet meer in detail beschreven. Het is dan te verwachten dat bij vergelijking met het Referentiemodel waarin een veel betere benadering van de fysische processen is ingevoerd kan worden aangetoond dat de methode tekort schiet. Een belangrijke vereenvoudiging van het Klassenmodel is de verwerking van de pluimstijging: die is daar niet een in tijd en ruimte verloopend proces, maar wordt verondersteld momentaan plaats te vinden. Dat veroorzaakt een onderschatting van de berekende concentraties die in het lange-termijngemiddelde nauwelijks is terug te vinden, maar bij de hoge percentielen kan leiden tot een onderschatting van enkele

tientallen procenten bij koude bronnen; bij de (hoge) testbronnen met warmte-inhoud kan de fout veel groter zijn..

Het oude Nationaal Model was aanbevolen om te berekenen of een nieuwe bron samen met de reeds aanwezige achtergrond tot te hoge concentraties zou leiden. Omdat de bijdrage van een nieuwe bron veelal klein is t.o.v. de achtergrondconcentraties zal een nauwkeuriger model in zo'n geval toch niet tot andere conclusies leiden. Bij berekeningen van een bronbijdrage in een 'schoon' gebied, zoals bij geurberekeningen, kan op voorhand worden verwacht dat de verschillen groter zijn.

Met behulp van het Referentiemodel is de juistheid van de aannamen getoetst en zijn de beperkingen ervan aangetoond. In de deelrapporten I en III wordt daar nader op ingegaan. Het is daarom van interesse om na te gaan of de tekortkomingen van met name de LTFD-methode, via aanpassing kunnen worden verholpen.

Een verbetering is in principe te verkrijgen door meer dan één variabele apart en expliciet te behandelen. Voor de berekende percentielwaarden kan zo een grotere overeenkomst tussen KLASSENMODEL en UUR-VOOR-UURMODEL worden bereikt. Enkele oriënterende berekeningen zijn uitgevoerd voor verschillende keuzen voor deze tweede variabele, namelijk de menglaaghoogte, de windsnelheid en de Monin-Obukhov-lengte. Uiteraard heeft dit geen gevolgen voor de berekening van de gemiddelde concentraties. De afwijkingen tussen REFERENTIEMODEL en een statistische, geclassificeerde reken-methode kunnen op deze wijze aanmerkelijk kleiner worden. Daar staat tegenover dat

- voor die toepassingen, waarvoor deze methode bij uitstek bedoeld is (het berekenen van percentiel-waarden in het geval dat een niet UUR-VOOR-UUR bekende achtergrond aanwezig is), een tabel van gemiddelde concentraties als functie van windrichting en van de tweede variabele moet worden geschat. Dit is aanzien-lijk lastiger en waarschijnlijk ook minder nauwkeurig dan een eendimensionale tabel (alleen de windrichtingsafhankelijkheid). In die gevallen zal dus de winst in de rekennauwkeurigheid op zijn minst gedeeltelijk teniet gedaan worden door een meer onzekere schatting van de karakteristieken van de achtergrondconcentraties.
- het aantal uren waarvoor de aangenomen frequentieverdeling van toepassing wordt verklaard afneemt, waardoor de aanname zelf een minder goede benadering zal zijn.
- Op grond van een en ander lijkt vooralsnog handhaving van de "oude LTFD-methode" de beste oplossing. Verder onderzoek op dit punt is evenwel wenselijk.

2.4.2 Aanbeveling

In het KLASSENMODEL kunnen de hogere percentielen worden geschat met dezelfde methode, welke reeds in het oude NATIONAAL MODEL was ingebouwd. Dit betekent dat met het KLASSENMODEL in principe alleen de verandering in de hogere percentielen bij toevoeging van een of enkele nieuwe bronnen in een reeds bestaande achtergrond kan worden berekend. Indien geen gemeten achtergrond beschikbaar is kan evenwel, zoals ook met het

oude model gebeurde, een dergelijke achtergrond berekend worden door het model op alle relevante bronnen toe te passen.

Op grond van het bovenstaande wordt daarom aanbevolen in het KLASSENMODEL de hogere percentielen (90 tot 99.5) als volgt te berekenen:

- stap 1: Tijdens de berekening van het lange-termijngemiddelde wordt tevens de gemiddelde concentratie per windrichtingssector (van 10 graden) berekend.
- stap 2: Indien een achtergrond aanwezig is, wordt de windrichtingsafhankelijke gemiddelde concentratie als berekend in stap 1, verhoogd met de bij elke windrichting geldende gemiddelde achtergrondconcentratie. Daartoe dient dus een windroos van gemiddelde achtergrondconcentraties (10 graden sectoren) beschikbaar te zijn.
- stap 3: Voor elk van de 36 windsectoren van 10 graden wordt een lognormale verdeling van concentraties met vaste spreiding ($S = 0.70$) berekend
- stap 4: Door sommeren van overschrijdingsfrequenties per windrichting voor een reeks concentraties wordt een totale frequentieverdeling van concentraties berekend. Door interpolatie en eventueel een iteratieproces worden de gevraagde percentielen berekend.
- stap 5: Stap 3 en 4 worden, indien met een achtergrond wordt gerekend, herhaald voor uitsluitend de windroos van achtergrond-concentraties.
- stap 6: De verandering van de percentielen als gevolg van de "nieuwe bron(nen)" wordt geschat door de uitkomsten van stap 4 en stap 5 te vergelijken.

Op deze wijze is de percentielschattingsmethode in het KLASSENMODEL een voortzetting van de methode zoals die in het oude model werd gehanteerd.

2.5 Depositie

Voor het berekenen van de droge en de natte depositie zijn in het klassenmodel geen bijzondere voorzieningen nodig, mits een bestand met de hoeveelheid neerslag beschikbaar is. De berekening wordt ten behoeve van de (natte) depositie afzonderlijk uitgevoerd voor de uren met en de uren zonder neerslag, waarbij een tweede bestand met de hoeveelheid neerslag wordt gebruikt. In het KLASSENMODEL kan minder goed rekening worden gehouden met de rol van de menighoogte bij het al dan niet optreden van natte depositie; de ruimtelijke variatie bij natte neerslag is echter een veel grotere onzekerheid. De berekening verloopt verder parallel aan die in het UUR-VOOR-UURMODEL.

2.6 Middelingstijd

De middelingstijd is alleen van belang voor de percentielberekeningen. Percentielen kunnen worden berekend voor uurgemiddelde concentraties, voor de voortschrijdende 8-uursgemiddelden en voor etmaalgemiddelden. Andere middelingstijden komen in de in Nederland geldende normen niet voor. De gemiddelde concentratie en de depositie zijn onafhankelijk van deze

middelingstijd. Voor de percentielen is dezelfde methode gehanteerd, zoals die is ingebouwd in het oude nationale model [2]. Deze komt neer op een aanpassing van de spreidingsparameter in de frequentieverdelingen, welke de toegenomen variantie binnen een langere middelingstijd in rekening brengt.

3. Vergelijking van het Klassenmodel met het Uur-voor-uurmodel

3.1 De testbronnen

Voor zes, in de projectgroep gekozen bronnen is een uitgebreide vergelijking uitgevoerd tussen het in het vorige hoofdstuk besproken **KLASSENMODEL** en het **UUR-VOOR-UURMODEL**. De zes testbronnen zijn gedefinieerd in de volgende tabel.

Tabel 5 Testbronnen

| Bron nr | Hoogte (m) | Warmteuitworp (MW) | Maximale dichtheid op afstand | Maximale afstand in de berekening |
|---------|------------|--------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 10 | 0 | 100 m | 6000 m |
| 2 | 30 | 0 | 150 m | 6000 m |
| 3 | 75 | 0 | 200 m | 6000 m |
| 4 | 50 | 10 | 1400 m | 8000 m |
| 5 | 150 | 80 | 2500 m | 14000 m |
| 6 | 1,5 | 0 | 100 m | 6000 m |

Voor elk van de bronnen is een polair grid van 323 receptorpunten rondom de bron (in de oorsprong) gekozen dat:

- geen vaste hoekrelatie heeft tot de windrichtingssectoren in model en meteorologie (19 equidistant gekozen windrichtingen)
- een hogere dichtheid heeft op de afstand waar de maximum concentratie wordt verwacht; deze plaats is met een afzonderlijke modelrun bepaald.

Alle berekeningen zijn uitgevoerd met het softwarepakket PluimPlus 2.0:

- meteorologie: Eindhoven, 5 jaar (1990 tot en met 1995)
- ruwheidslengte 0,1 m
- stof: SO₂.

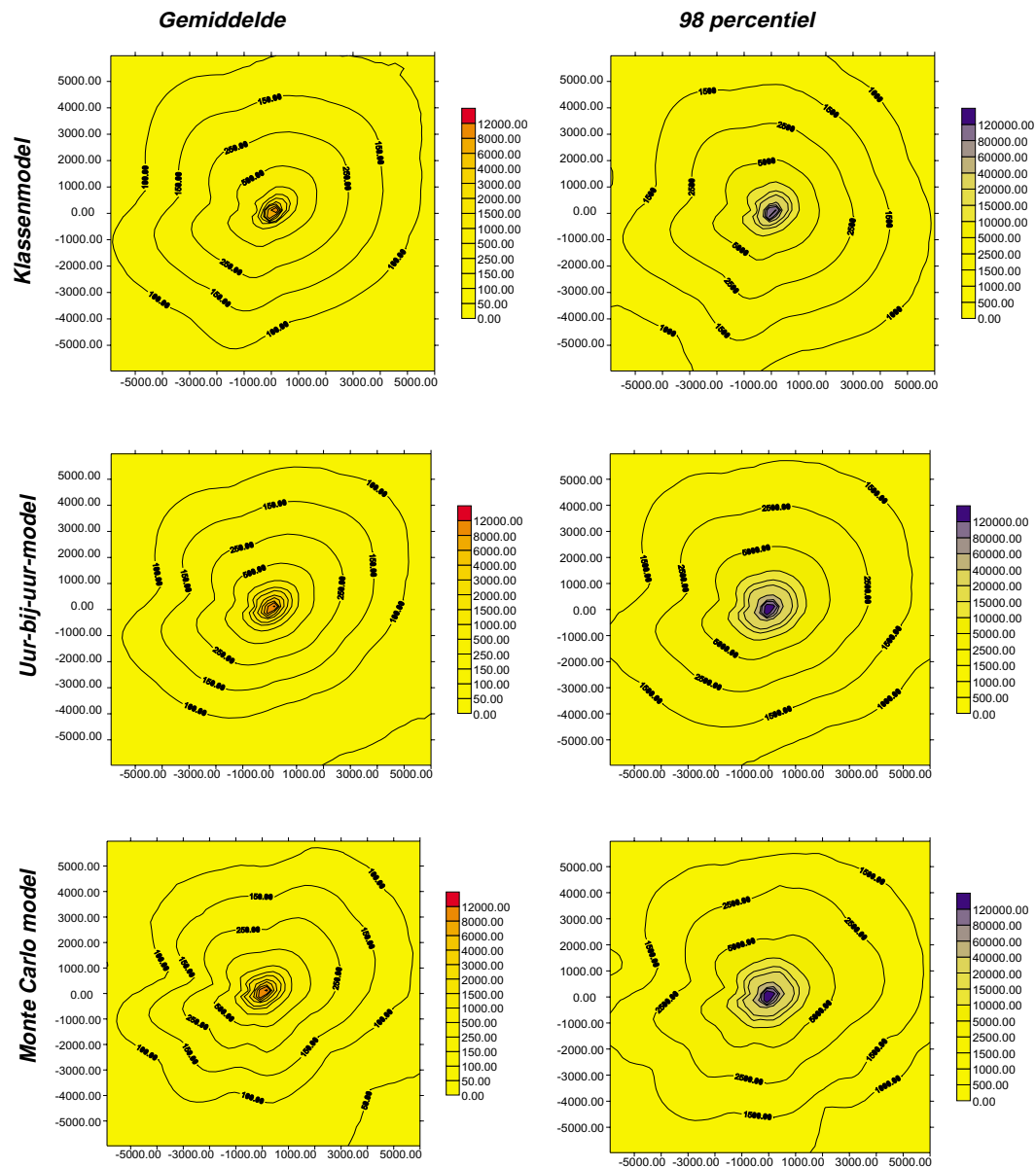


In de volgende paragraaf wordt voor elk van de testbronnen een samenvatting van de vergelijking tussen **KLASSENMODEL** en **UUR-VOOR-UURMODEL** gegeven. Voor elk van de bronnen wordt

1. een directe grafische vergelijking van de berekende gemiddelde en 98-percentielwaarden; tevens is het resultaat voor de MONTE-CARLOMETHODE opgenomen (steekproef 5%); en
2. een lineaire regressieanalyse voor achtereenvolgend de gemiddelden, de droge en de natte depositie en de 95-, 98- en 99-percentielen gepresenteerd.

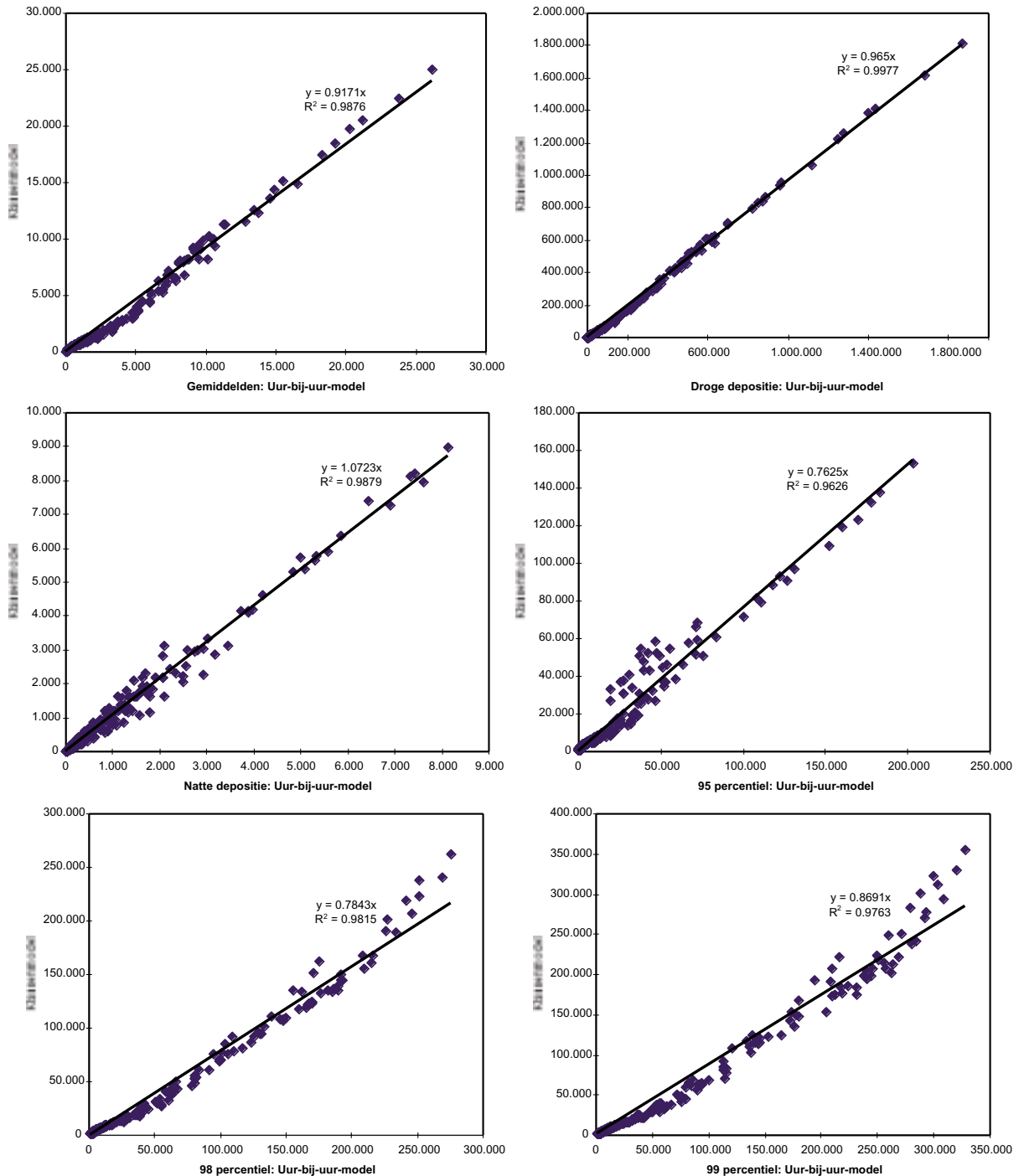
Voor elke testbron wordt vervolgens een korte conclusie geformuleerd. In paragraaf 3.3 worden de resultaten samengevat en wordt een aanbeveling geformuleerd.

3.2 De resultaten



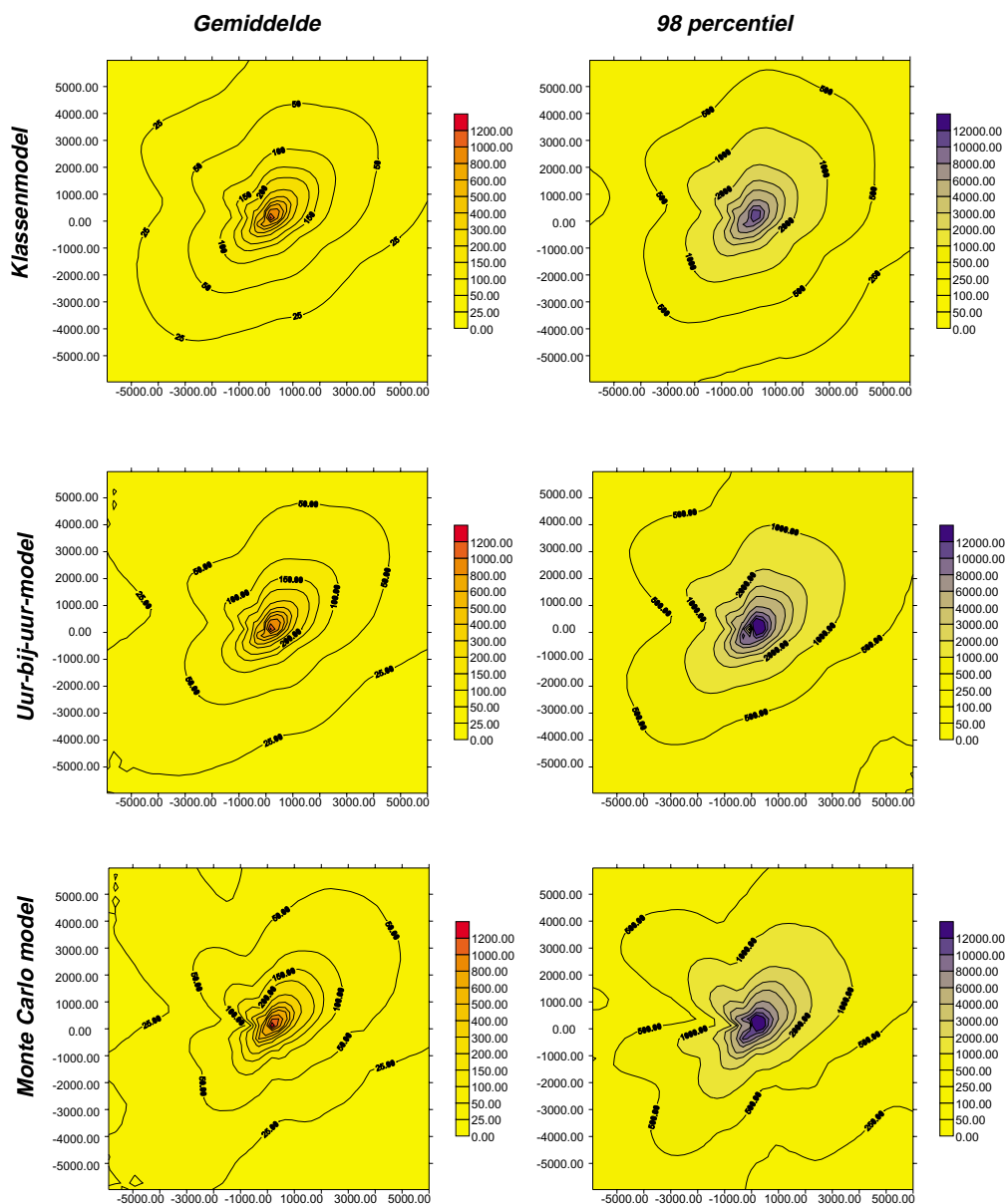
Figuur 7 Gemiddelden (links) en 98-percentielwaarden (rechts) berekend met het KLASSENMODEL (boven) UUR-VOOR-UURMODEL (midden) en de Monte Carlo methode (onder) voor testbron 1: 10 m, 0 MW

Voor testbron 1 (10 m hoog, geen warmte-uitworp) wordt de volgende overeenstemming gevonden tussen beide modellen voor de gemiddelden en de depositie: afwijkingen kleiner dan 8 % (helling van de regressielijn) en een hoge correlatie (covariantie $R^2 > 0.99$). Voor alle percentielen zijn de afwijkingen kleiner dan 25 % en de covariantie $R^2 > 0.96$.



Figuur 8 Testbron 1: 10 m, 0 MW; vergelijking KLASSENMODEL met UUR-VOOR-UURMODEL

3.2.1 Testbron 2: 30 m, 0 MW

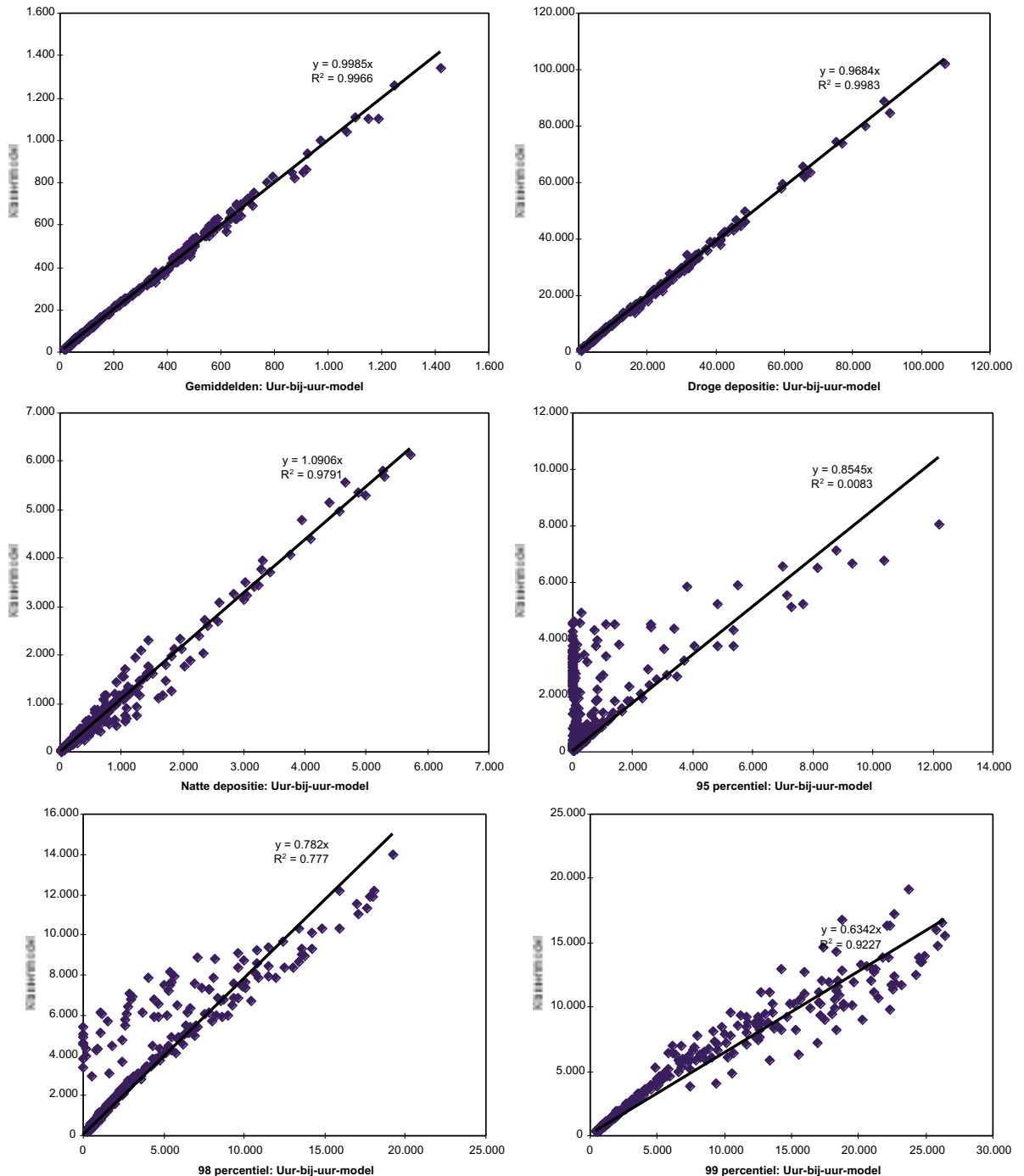


Figuur 9 Gemiddelden (links) en 98-percentielwaarden (rechts) berekend met het **KLASSENMODEL** (boven) **UUR-VOOR-UURMODEL** (midden) en de Monte-Carlomethode (onder) voor testbron 2: 30 m, 0 MW

Voor testbron 2 (30 m hoog, geen warmte-uitworp) is de overeenstemming tussen beide modellen voor de gemiddelden: afwijking $< 1\%$ en voor de depositie: afwijkingen kleiner dan 10% alsmede een hoge correlatie (covariantie $R^2 > 0.98$).

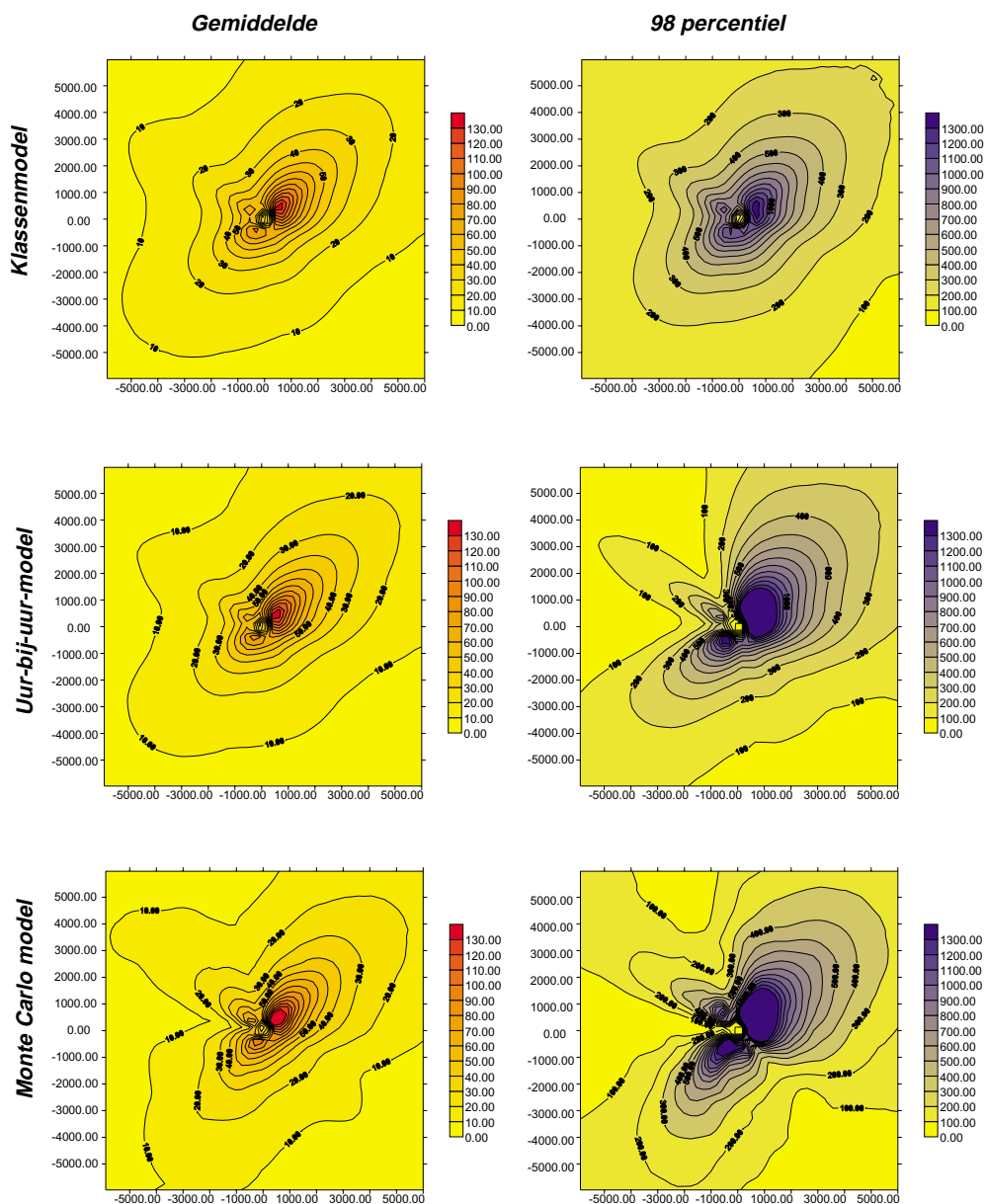
Voor de percentielen (behalve de 95 percentiel) zijn de afwijkingen kleiner dan 40% en de covariantie $R^2 > 0.89$). De slechte overeenstemming voor de 95-percentiel wordt veroorzaakt door een groot aantal 0-waarden, als berekend met het **UUR-VOOR-UURMODEL**, terwijl het

KLASSENMODEL overall een van 0 afwijkende waarde geeft. De overeenstemming is op andere plaatsen in het concentratieveld aanmerkelijk beter. Een nadere analyse laat zien dat de afwijkingen vooral optreden binnen de eerste kilometer.



Figuur 10 Testbron 2: 30 m, 0 MW; vergelijking KLASSENMODEL met UUR-VOOR-UURMODEL

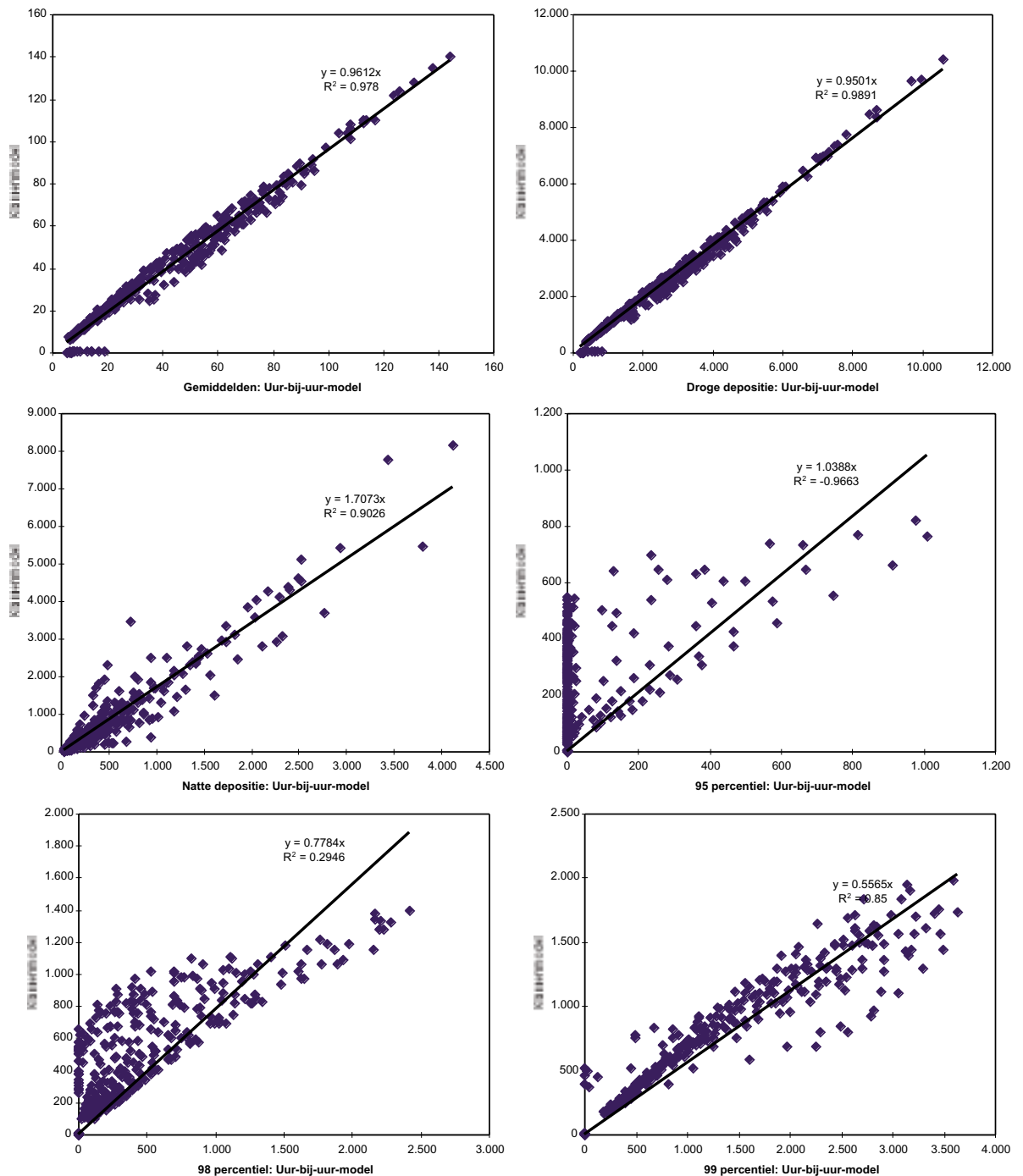
3.2.2 Testbron 3: 75 m, 0 MW



Figuur 11 Gemiddelden (links) en 98-percentielwaarden (rechts) berekend met het **KLASSENMODEL** (boven) **UUR-VOOR-UURMODEL** (midden) en de **Monte Carlo methode** (onder) voor testbron 3: 75 m, 0 MW

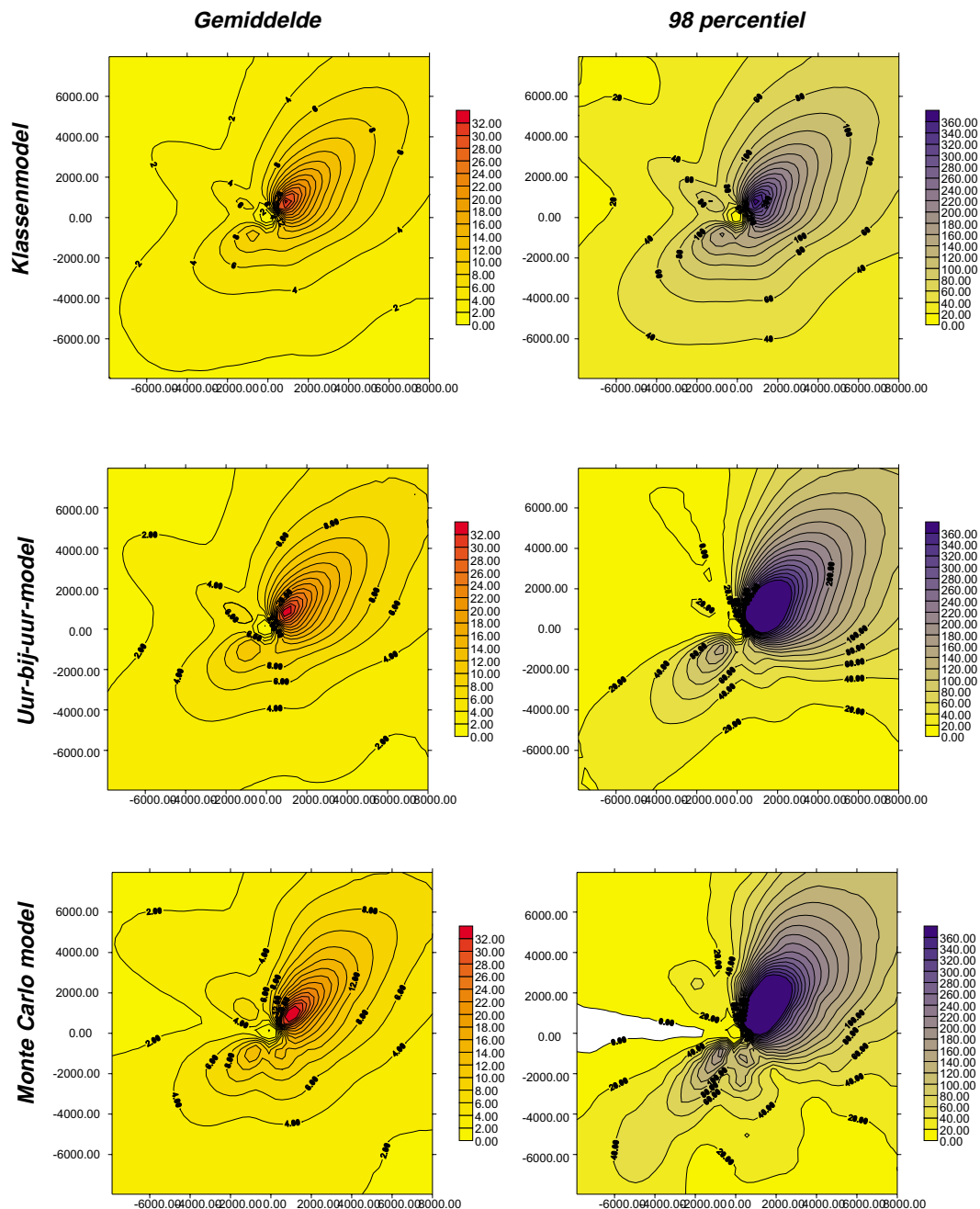
Voor testbron 3 (75 m hoog, geen warmte-uitworp) wordt de volgende overeenstemming gevonden tussen beide modellen: voor de gemiddelden en de droge depositie: afwijkingen kleiner dan 5% en een hoge covariantie ($R^2 > 0.98$). Voor de 99-percentiel is de afwijking 44 % en de covariantie $R^2 = 0.85$.

De verschillen in de berekende percentielen tussen beide modellen worden duidelijk in Figuur 3.6: de 95-percentielen in noordwestelijke en zuidoostelijke richtingen zijn gelijk aan 0, dat wil zeggen dat de pluim op die plaatsen in minder dan 5 % van de uren aan de grond komt. In het KLASSENMODEL kan voor geen enkele percentiel een 0 worden berekend, wanneer de gemiddelde concentratie groter dan 0 is. Overigens blijkt de overeenstemming vooral ter plaatse van het maximum (noordoostelijk van de bron) het grootst te zijn.



Figuur 12 Testbron 3: 75 m, 0 MW; vergelijking KLASSENMODEL met UUR-VOOR-UURMODEL

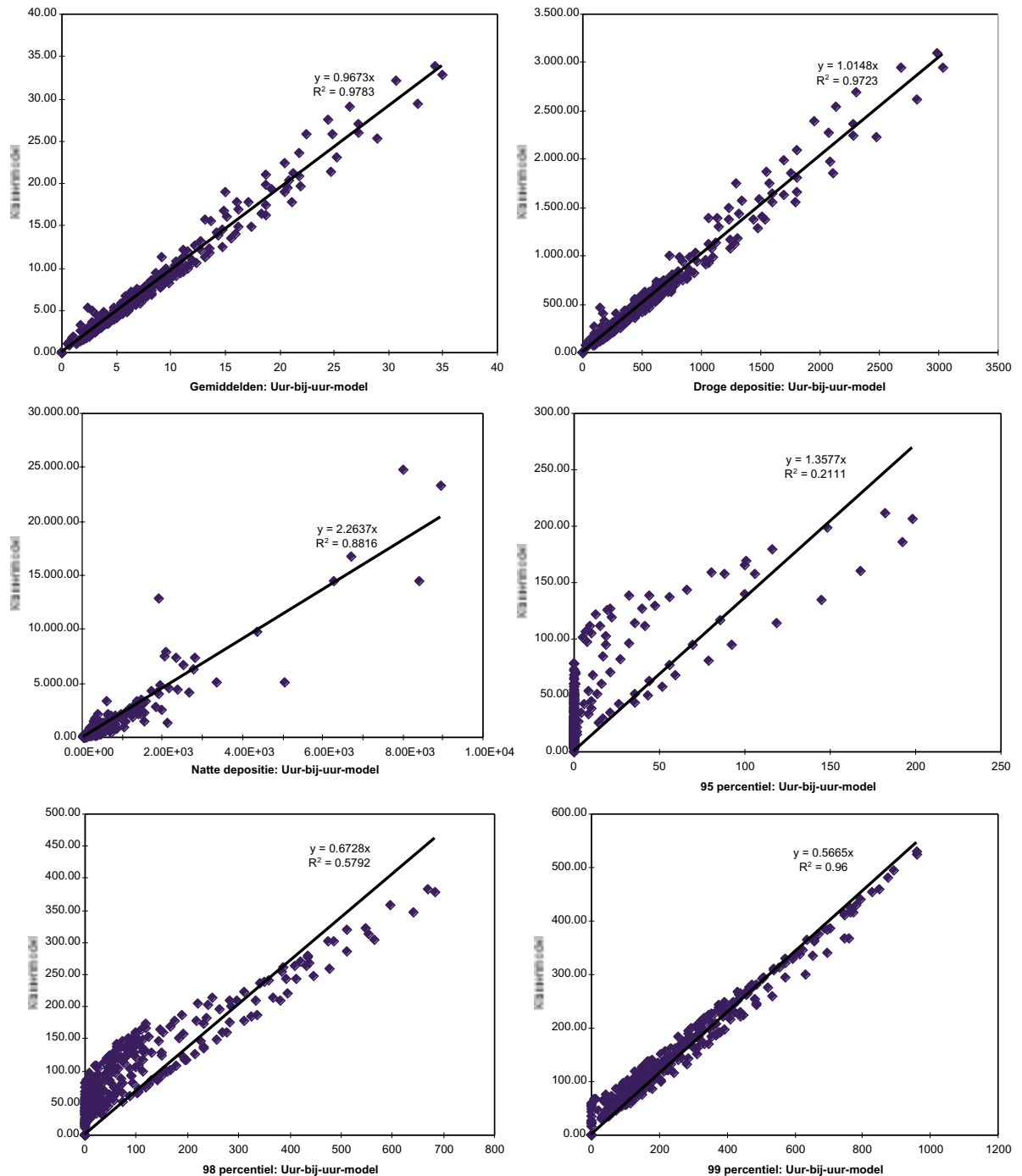
3.2.3 Testbron 4: 50 m, 10 MW



Figuur 13 Gemiddelden (links) en 98-percentielwaarden (rechts) berekend met het **KLASSENMODEL** (boven) **UUR-VOOR-UURMODEL** (midden) en de Monte Carlo methode (onder) voor testbron 4: 50 m, 10 MW

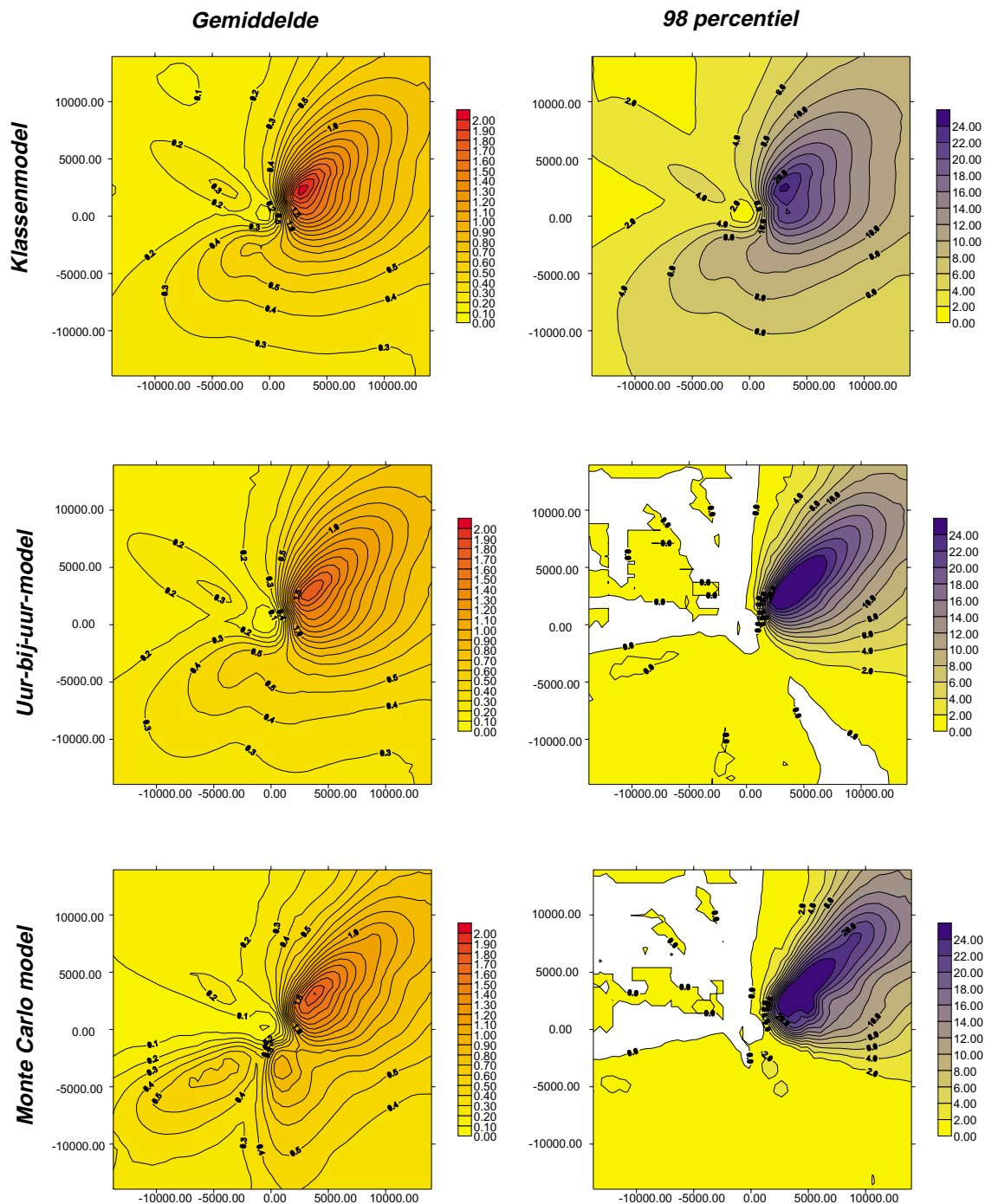
Voor testbron 4 (50 m hoog, warmte-uitworp 10 MW) wordt de volgende overeenstemming tussen beide modellen voor de gemiddelden en de droge depositie: afwijkingen kleiner dan 5 % en 1 % respectievelijk en een hoge correlatie (covariantie $R^2 > 0.97$).

De verschillen in de berekende percentielen tussen beide modellen worden ook hier duidelijk aan de 98-percentielen in noordwestelijke en zuidoostelijke richtingen (Figuur 3.7). Overigens blijkt ook hier de overeenstemming vooral ter plaatse van het maximum (noordoostelijk van de bron) het hoogst te zijn.



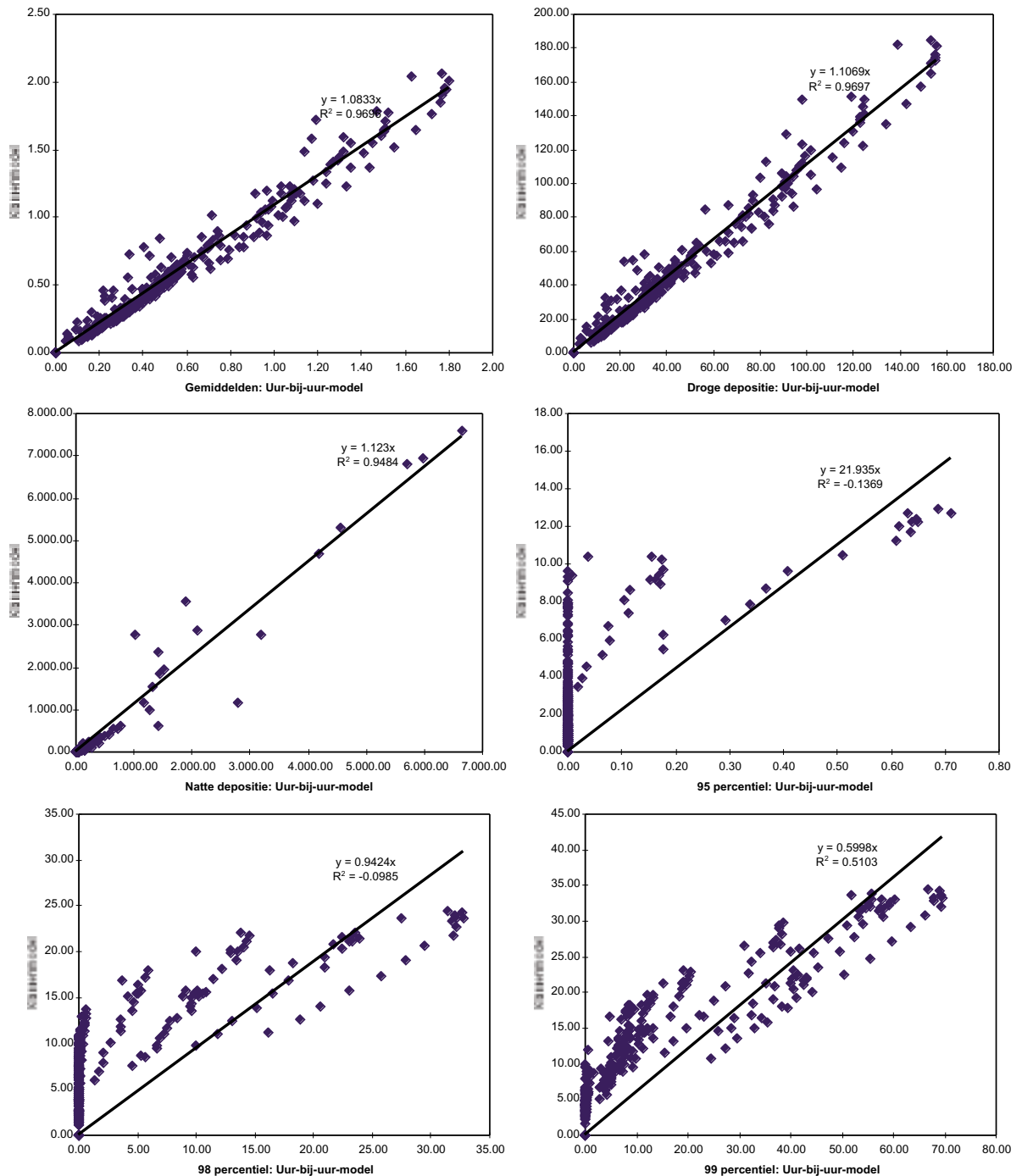
Figuur 14 Testbron 4: 50 m, 10 MW; vergelijking KLASSENMODEL met UUR-VOOR-UURMODEL

3.2.4 Testbron 5: 150 m, 80 MW



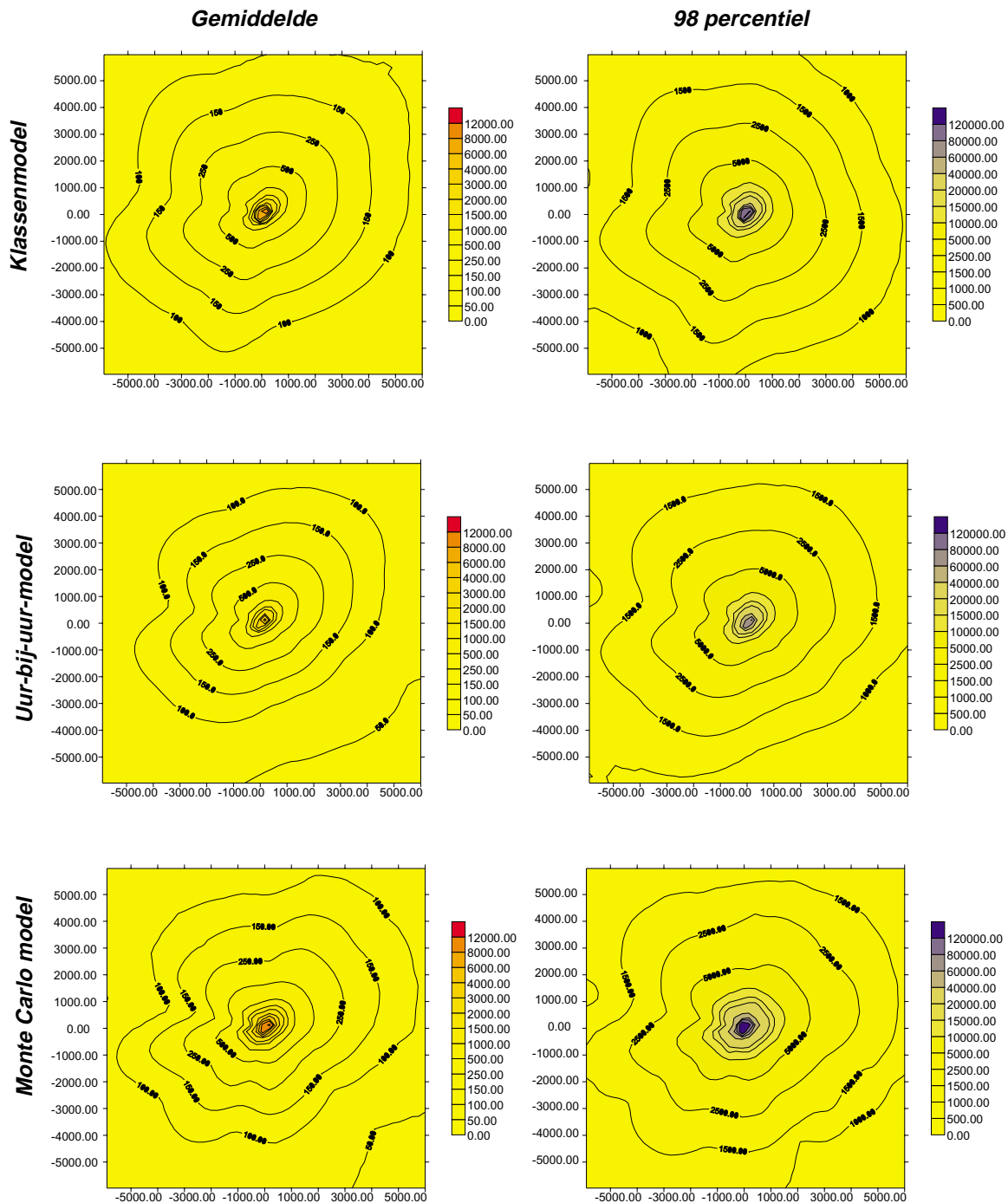
Figuur 15 Gemiddelden (links) en 98-percentielwaarden (rechts) berekend met het KLASSENMODEL (boven) UUR-VOOR-UURMODEL (midden) en de Monte Carlo methode (onder) voor testbron 5: 150m, 80 MW

Hoewel de overeenstemming tussen de resultaten met beide modellen voor testbron 5 (150m, 80 MW) voor de gemiddelden en de depositie redelijk is, is een duidelijk lagere covariantie waarneembaar. De percentielberekeningen vertonen nauwelijks meer enige covariantie.



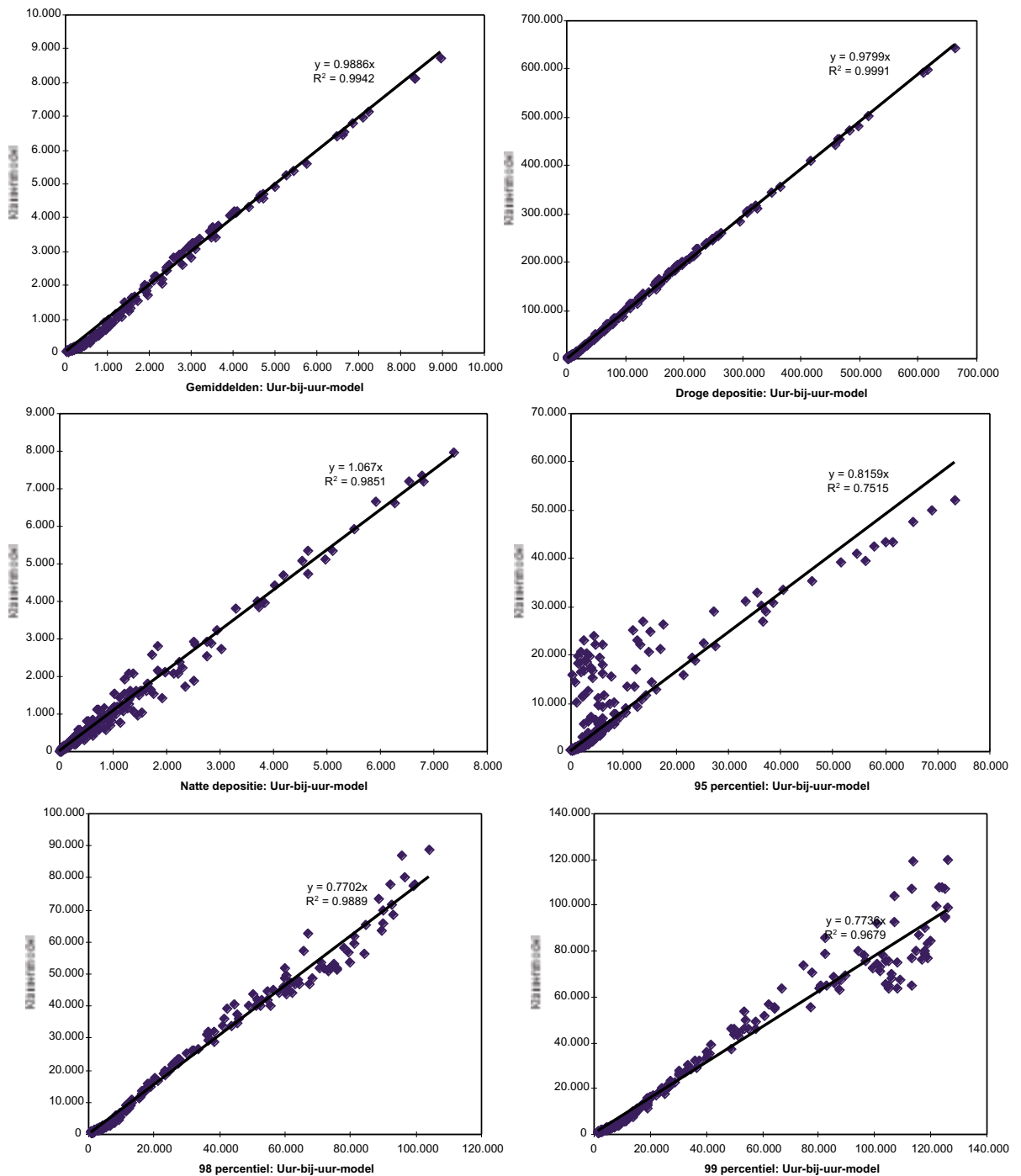
Figuur 16 Testbron 5: 150 m, 80 MW; vergelijking KLASSENMODEL met UUR-VOOR-UURMODEL

3.2.5 Testbron 6: 1,5 m, 0 MW



Figuur 17 Gemiddelden (links) en 98-percentielwaarden (rechts) berekend met het *KLASSENMODEL* (boven) *UUR-VOOR-UURMODEL* (midden) en de Monte Carlo methode (onder) voor testbron 6: 1,5 m, 0 MW.

De lage koude testbron 6 (1,5 m, 0 MW) levert een goede overeenstemming tussen het UUR-VOOR-UURMODEL en het KLASSENMODEL voor alle grootheden.



Figuur 18 Testbron 6: 1,5 m, 0 MW; vergelijking KLASSENMODEL met UUR-VOOR-UURMODEL

3.3 Conclusies en aanbeveling voor de toepassing

Tabel 6 Overzicht van de vergelijking tussen het KLASSENMODEL en het UUR-VOOR-UURMODEL.

| Bron | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--------------------|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Hoogte (m) | | 10 | 30 | 75 | 50 | 150 | 1.5 |
| Warmteuitworp (MW) | | 0 | 0 | 0 | 10 | 80 | 0 |
| Gemiddelde | R2 | 0.988 | 0.999 | 0.978 | 0.978 | 0.970 | 0.994 |
| | afwijking | - 8 % | - 0 % | - 4 % | -3 % | + 8 % | - 1 % |
| Droge depositie | R2 | 0.998 | 0.998 | 0.989 | 0.972 | 0.970 | 0.999 |
| | afwijking | -3 % | + 4 % | + 5 % | + 1 % | + 11 % | - 2 % |
| Natte depositie | R2 | 0.988 | 0.979 | 0.903 | 0.882 | 0.948 | 0.985 |
| | afwijking | + 7 % | + 9 % | + 70 % | + 126 % | + 12 % | + 7 % |
| 95-percentiel | R2 | 0.963 | 0.008 | - 0.970 | 0.211 | - 0.137 | 0.752 |
| | afwijking | - 24 % | (- 15%) | (+ 3%) | (+36%) | factor 22 | - 19 % |
| 98-percentiel | R2 | 0.982 | 0.777 | 0.295 | 0.579 | - 0.099 | 0.989 |
| | afwijking | - 22 % | - 22 % | (- 22%) | (-33%) | (-6%) | - 23 % |
| 99-percentiel | R2 | 0.976 | 0.923 | 0.85 | 0.96 | 0.510 | 0.968 |
| | afwijking | - 13 % | - 37 % | - 44 % | - 43 % | (-41%) | - 23 % |

Tabel 6 presenteert een overzicht van de vergelijking zoals die in deze paragraaf is beschreven. In deze tabel zijn de resultaten vetgedrukt als de afwijking kleiner is dan 10 %. De covariantie is dan steeds hoger dan 0.95. Dit betekent dat er 5 % of minder van de variantie in het KLASSENMODEL niet overeenkomt met de (ruimtelijke) variantie in het UUR-VOOR-UUR-model.

Cursief gedrukte resultaten duiden op een overeenstemming binnen 25 %, maar slechter dan 10 %. Ook hier geldt dat de covariantie hoog is, namelijk meestal beter dan 0.95.

Bij covarianties tot zo'n 0.65 worden afwijkingen tussen KLASSENMODEL en UUR-VOOR-UURMODEL tot enkele tientallen procenten gevonden. In dit geval kan, evenals in de hiervoor genoemde categorieën en gezien de nauwkeurigheid van het UUR-VOOR-UURMODEL zelf, de overeenstemming als aanvaardbaar worden gekarakteriseerd en in ieder geval bruikbaar voor de aanbevolen toepassing als snelle screeningsmethode.

In een aantal gevallen worden voor de percentielen geringe en op zichzelf aanvaardbare afwijkingen gevonden, maar is de covariantie heel laag of zelfs negatief. Voor die toepassing is het KLASSENMODEL niet geschikt. De afwijking is in de tabel in die gevallen tussen haakjes gezet.

Uit de analyse van de modelvergelijking als gepresenteerd in paragraaf 3.2 blijkt het volgende:

a) Gemiddelde concentraties

Voor alle geteste bronnen blijkt de overeenstemming tussen het KLASSENMODEL en het UUR-VOOR-UURMODEL voor de gemiddelde concentraties goed te zijn. Het KLAS-

SENMODEL is dus als schattingsmethode voor gemiddelde concentraties goed bruikbaar. De afwijkingen zijn voor alle geteste bronnen kleiner dan 10%

b) Droge depositie

Voor de droge depositie geldt een vergelijkbaar resultaat als voor de gemiddelden. Alleen voor de hoge hete bron (bron 5) is de afwijking groter dan 10%.

Dit resultaat is begrijpelijk, omdat de droge depositie wordt bepaald door een vermenigvuldiging van de concentratie met een stofspecifieke en stabiliteits- en windsnelheidsafhankelijke depositiesnelheid. Het KLASSENMODEL is dus goed bruikbaar voor de berekening van de droge depositie.

c) Natte depositie

De overeenstemming tussen beide modellen is bij de lagere bronnen voor de natte depositie goed. Bij hogere bronnen (bronnen 3, 4 en 5) ontstaan grotere afwijkingen. Tegen de achtergrond dat de berekening van de natte depositie op zich zelf al onnauwkeuriger is (waar regent het en hoeveel?), lijkt ook voor de natte depositie het KLASSENMODEL inzetbaar.

d) Percentielen

De bruikbaarheid van het KLASSENMODEL voor de hogere percentielen is ingewikkelder. Het volgende valt op in de vergelijking van de twee modellen;

- voor de lage neutrale bronnen (<50 m) is de overeenstemming voor alle percentielen redelijk tot aanvaardbaar. Verschillen tot enkele tientallen procenten zijn immers in de orde van grootte van de nauwkeurigheid van het UUR-VOOR-UURMODEL
- de overeenstemming voor de 95-percentiel is het zwakst voor alle testbronnen; voor het berekenen daarvan wordt het KLASSENMODEL daarom uitgesloten
- het UUR-VOOR-UURMODEL geeft bij hoge en warme bronnen voor een aantal punten binnen het doorgerekende veld de waarde 0, terwijl het KLASSENMODEL altijd een waarde groter dan 0 geeft als gevolg van de aanname dat de frequentie-verdeling van concentraties binnen een windsector een vaste vorm heeft
- doordat in het KLASSENMODEL de pluimstijging verondersteld wordt instantaan te verlopen treedt een onderschatting op die zich met name manifesteert bij de hoge percentielen.

Een en ander dient te worden gezien tegen de inschatting van de onnauwkeurigheid en onzekerheid in het REFERENTIEMODEL en dus ook het UUR-VOOR-UURMODEL (zie Erbrink, deelrapport 1, hoofdstuk 4). Deze wordt geschat op zo'n 10 tot 25 % voor oplopende bronhoogte voor de jaargemiddelden. Voor de percentielen is de schatting van de onnauwkeurigheid van individuele uren van belang. Erbrink schat deze onnauwkeurigheid op 25 tot 100 %. Uiteraard zal voor de berekening van een percentiel een hogere nauwkeurigheid kunnen gelden dan deze range, maar dit zal toch zeker tot zo'n 50 % kunnen bedragen.

Bovendien is er een aantal bijkomende onzekerheden, waardoor uiteindelijk het verschil in nauwkeurigheid van het KLASSENMODEL in vergelijking tot HET UUR-VOOR-UURMODEL

DEL niet meer dan zo'n 10 % bedraagt (zie ook hoofdstuk 9 in de rapportage van de projectgroep).

Gegeven deze onnauwkeurigheden zou een overeenstemming tussen KLASSENMODEL en UUR-VOOR-UURMODEL aanvaardbaar kunnen zijn, als die kleiner is dan de onzekerheden in het REFERENTIEMODEL, dat wil zeggen 10 tot 25 % voor jaargemiddelden (en dus ook voor de deposities) en tot 50 % voor de percentielen. De overeenkomsten tussen de beide modellen liggen binnen deze range voor alle bronnen, met uitzondering van de hoge hete bron (150 m, 80 MW) en voor de 90- en 95-percentiel voor testbron 4 (50 m, 10 MW). De Projectgroep heeft deze benadering overigens niet gevolgd. In de begeleidingscommissie is deze benadering wel aanvaard voor bronhoogtes tot 50 meter.

4. Stikstofdioxideconcentraties

Bij de omzetting van NO in NO₂ spelen zonlicht en de heersende concentraties van ozon een rol. Bij een UUR-VOOR-UUR-berekening kan de gemiddelde lichtsterkte van dat uur worden ingevoerd om tot een correcte omzettingssnelheid te komen. Bij de indeling van de uren in klassen, zoals dat in het KM nu gebeurt wordt met de invloed van lichtintensiteit geen rekening gehouden. Voor de jaargemiddelde concentratie hoeft dat niet tot grote afwijkingen te leiden. Bij de percentielberekeningen wreekt zich dit echter: de methode die nu in de AMvB wordt beschreven hangt aan de LTFD-methode. Er wordt in alle klassen (en dus in principe voor alle uren) aangenomen dat er omzetting van NO in NO₂ plaatsvindt, inclusief de nachtelijke uren. Als gevolg daarvan is de omzetting in omstandigheden dat hoge NO₂ concentraties optreden te laag, zodat de hoge percentielwaarden systematisch te laag zullen worden berekend.

Voor deze tekortkoming van het KM kan door een verdere modificatie een oplossing worden gevonden. Daarvoor is allereerst nodig dat de LTFD-methode wordt verbeterd, zodat hoge percentielen beter overeenstemmen. Vervolgens dient de invloed van het zonlicht door toevoeging van classificatie op lichtintensiteit worden ingebracht. De extra inspanning die dit zou hebben gevergd zou de einddatum van het project nog verder naar achteren hebben verschoven. In overleg met de begeleidingscommissie is besloten daar vanaf te zien.

De situatie is immers zo dat door het opnemen van de UUR-VOOR-UURMODEL in het nieuwe Nationaal Model waarin een NO₂-module is ingebouwd, de functionaliteit voldoende tegemoet komt aan de wensen en uitgangspunten zoals die bij de start van het revisieproject zijn geformuleerd. Er wordt vanuit gegaan dat de gebruikers voor de meeste toepassingen voldoende geholpen zijn. Berekeningen van NO₂-concentraties in complexe brongebieden met veel invoergegevens zullen echter, ondanks de snellere PC's die momenteel beschikbaar zijn, aanzienlijk meer rekentijd vergen dan bij toepassing van het oude Nationaal Model het geval was.

5. Oppervlaktebronmodel

5.1 Achtergrond

Deze methode is gebaseerd op de methode beschreven in het herziene "Gele Boek" [12]. De formules voor oppervlaktebronnen zijn een mathematische extensie van het standaard Gaussisch dispersiemodel voor puntbronnen. De oplossing komt tot stand door een bron met afmetingen op te vatten als een verzameling van puntbronnen, en vervolgens hun bijdragen te integreren langs de y-as (lateraal) en/of z-as (verticaal) en/of x-as (in de windrichting).

5.2 Horizontale oppervlaktebronnen op grondniveau

Daar de dispersieparameters $s(x)$ geen functie zijn van y , kan voor de afmetingen dwars op de windrichting (y -richting) een analytische uitdrukking worden afgeleid, waarin de zogenaamde "error function" $\text{erf}()$ voorkomt. Voor afmetingen in de richting van de wind (x -richting) moet een numerieke integratiemethode worden toegepast.

Het effect van een bronafmeting in de richting van de wind wordt op enig afstand van de bron gering. Overwogen zou kunnen worden om de (numerieke) integratie achterwege te laten, en in feite een oppervlaktebron te beschouwen als een lijnbron liggend dwars op de windrichting. Hiermee kan rekentijd worden gespaard.

De lijnbron dient door het zwaartepunt van de oppervlaktebron te gaan, en dient zich uit te strekken tot de uiterste afmetingen van de oppervlaktebron loodrecht op de windrichting. Het lijnbronmodel kan geen uitspraken doen over concentraties bovenwinds en op de lijnbron. Aan de hand van voorbeeldberekening wordt geïllustreerd in welke mate de "vervangende" lijnbron de concentraties a.g.v. een oppervlaktebron zou kunnen benaderen.

5.2.1 Voorbeeldberekening oppervlaktebron versus lijnbron

De concentraties van een component A in de atmosfeer tengevolge van atmosferische dispersie bij een continue emissie vanuit een oppervlaktebron ($b_{ox} \neq 0$, $b_{oy} \neq 0$), wordt vergeleken met die t.g.v. een lijnbron ($b_{ox} = 0$, $b_{oy} \neq 0$) dwars op de wind met dezelfde bronsterkte.

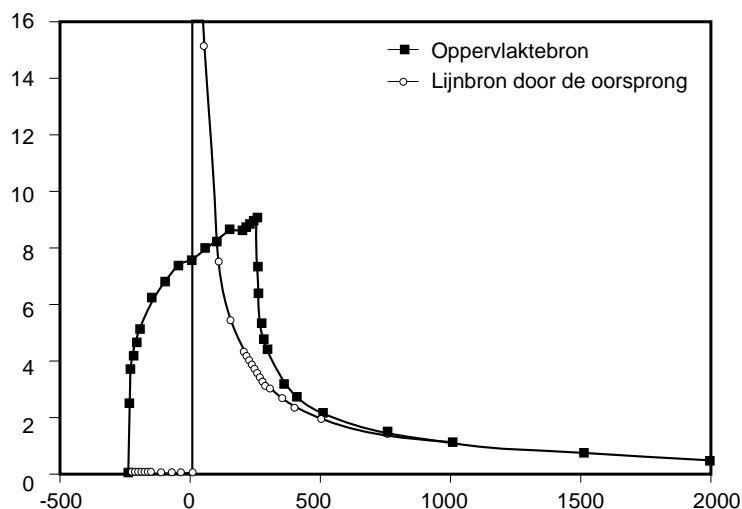
Opgemerkt wordt dat de coördinatenoorsprong ligt in het centrum van de vierkante oppervlaktebron; de lijnbron loodrecht liggend op de windrichting, gaat door de oorsprong. De afmetingen van de oppervlaktebron is $500 \times 500 \text{ m}^2$.

De dispersieparameters in dit voorbeeld zijn nog gebaseerd op het oude Nationaal Model. Opgemerkt wordt, dat voor afstanden korter dan 100 m dat $\sigma_i(x)$ wordt gevonden door lineaire interpolatie:

$$\sigma_i(x) = \frac{x}{100} \times \sigma_i(x = 100)$$

| | | |
|---|-------|-----|
| Uitgangspunten: | | |
| Bronsterkte (0,5 mg/(m ² ·s)) | 0.125 | g/s |
| Breedte bron (dwars op de wind: 2·b _{oy}) | 500 | m |
| Verticale afmeting bron | 0 | m |
| Hoogte onderzijde bron | 0 | m |
| Windsnelheid op hoogte centrum bron | 5 | m/s |
| Pasquill stabiliteitsklasse | D | |
| Middelingstijd | 3600 | s |
| Ruwheidslengte | 0.03 | m |
| y-coördinaat | 0 | m |
| z-coördinaat | 0 | m |
| Oppervlaktebron: | | |
| Lengte bron in de windrichting (2·b _{ox}) | 500 | m |
| Lijnbron: | | |
| Lengte bron in de windrichting (2·b _{ox}) | 0 | m |

In Figuur 19 zijn concentraties op uiteenlopende afstanden tot het centrum van de beide bronnen gegeven.



Figuur 19 Concentraties van component A in de atmosfeer op de windas t.g.v. een continue emissie, aan lijzijde van (achter) een oppervlaktebron ($b_{ox}=250$, $b_{oy}=250$) en t.g.v. een lijnbron ($b_{ox}=0$, $b_{oy}=250$), met dezelfde bronsterkte

5.2.2 Conclusie

Met de lijnbron kunnen de concentraties op de windas ("center line") op enige afstand van de rand van de oppervlaktebron, zeg $x > 2 \cdot b_{ox}$ ($x \geq 500$ m) redelijk worden benaderd, zij het met onderschattingen van kleiner dan 10 %.

Voor nabij en boven de oppervlaktebron, kunnen de concentraties slechts zeer onnauwkeurig worden geschat.

5.2.3 Aanbeveling

Aanbevolen wordt i.g.v. horizontale oppervlaktebronnen, om de afmeting van de bron in de richting van de wind wél te verdisconteren, en de numerieke integratie langs de windas uit te voeren. Als goede benadering kan de oppervlaktebron worden gerepre-senteerd door N parallelle lijnbronnen, equidistant verdeeld over het oppervlak. Voor relatief grote afstanden tot de bron kan N gelijk zijn aan 1, terwijl op kortere afstanden N zodanig moet worden gekozen, dat de afwijking kleiner is dan 5 %.

5.3 Concentratie boven de horizontale oppervlaktebron

De vraag rijst wat een redelijk schatting is voor de gemiddelde concentratie boven de oppervlaktebron $c_{av,s}$. Deze concentratie kan worden uitgerekend, doch hangt als gevolg van het in principe willekeurig ten opzichte van de bron gekozen receptorrooster, vrij sterk af van het toeval. Daarom is gekozen voor het aanbevelen van één gemiddelde waarde voor het gehele oppervlak. De concentratie op de windas bouwt zich boven de oppervlaktebron op tot de maximale waarde, vrijwel lineair met de toenemende afstand; vanaf een zeker punt is de concentratie op de windas vrijwel constant.

Uit berekeningen blijkt dat op grondniveau op de randen ($|y|=b_{oy}$) de concentraties steeds de helft bedragen van de waarde op de windas voor dezelfde waarde van x . Dit betekent dat de gebiedsgemiddelde concentratie boven de oppervlaktebron na het midden ongeveer $3/4 \times c(x=b_{ox}, y=0, z=0)$ bedraagt, en vóór het midden ongeveer de helft hiervan; al met al:

$$C_{av,s} = \frac{9}{16} \times c_{max} = \frac{9}{16} \times c(x = b_{ox}, y = 0, z = 0)$$

5.3.1 Aanbeveling

Aanbevolen wordt om boven de oppervlaktebron een uniform verdeelde concentratie aan te nemen ter grootte van $9/16x$ de concentratie aan de rand van de bron.

5.4 Uitwerking ten behoeve van toepassing in het nieuwe Nationaal Model

In het “Blauwe boekje” wordt de oppervlaktebron benaderd door middel van een virtuele punt-bron aan de loefzijde van de oppervlaktebron. Bij de berekening hiervan wordt gebruik gemaakt van σ_y als functie van x .

De σ_y is alleen nodig om de virtuele bron afstand x_v te berekenen en komt verder niet meer in de berekeningen voor, omdat wordt aangenomen dat de uurgemiddelde concentratie in een windsector homogeen is verdeeld dwars op de wind. De breedte van de bron wordt dus vertaald in een schijnbare grotere afstand $x+x_v$ van de receptor tot de bron, en daarmee leidend tot een schijnbare lagere concentratie t.o.v. de bronsterkte uitgedrukt in massa per tijdseenheid. Opgemerkt wordt, dat in het Blauwe Boekje geheel voorbijgegaan wordt aan het effect van bronafmetingen in de windrichting.

Voor het bepalen van de ligging van de lijnbronnen (waarmee een oppervlaktebron wordt benaderd) is het nodig de (per definitie) rechthoekige oppervlaktebron als het ware te draaien naar de richting van de wind, door de zijden te projecteren. Hierbij is er voor gekozen om de uiterste hoekpunten van de rechthoek te projecteren loodrecht op de windrichting. Dit om te voorkomen dat bepaalde receptoren ten onrechte in het geheel niet zouden worden belast. Het oppervlak van de "gedraaide" rechthoek wordt gelijkgesteld aan die van de oorspronkelijke rechthoek, teneinde de concentraties boven het oppervlak niet te veranderen.

Om te bepalen of een receptorpunt zich **in** de oppervlaktebron bevindt of niet, is een routine nodig die goniometrische verhoudingen vastlegt van de oppervlaktebron ten opzichte van de windrichting. Dit is van belang omdat de concentratie binnen de oppervlaktebron een andere berekeningswijze vraagt dan voor punten buiten de bron. Er wordt hierbij van de geprojecteerde vorm uitgegaan.

In deze nieuwe aanpak moet een manier worden gevonden om de schijnbaar lagere concentratie t.g.v. de oppervlaktebron t.o.v. de concentraties t.g.v. puntbronnen te verdisconteren. Dit kan door een schijnbare bronsterktefactor te definiëren, die overigens afhankelijk is van de afstand tot de bron:

$$q'_y = q \times f_y(\sigma_y(x))$$

met:

$$f_y(x) = \frac{c(x)|b_{oy} \neq 0}{c(x)|b_{oy} = 0} = \frac{F_y(x)|b_{oy} \neq 0}{F_y(x)|b_{oy} = 0} = \frac{\sqrt{2\pi} \times \sigma_y \times \left(\operatorname{erf}\left(\frac{(b_{oy}-y)}{\sigma_y\sqrt{2}}\right) + \operatorname{erf}\left(\frac{(b_{oy}+y)}{\sigma_y\sqrt{2}}\right) \right)}{4b_{oy} \times \exp\left(-\frac{y^2}{(2\sigma_y^2)}\right)}$$

waarbij

q' = schijnbare bronsterkte van de horizontale oppervlaktebron.

Voor de error functie bestaan snelle routines die minimaal zo snel zijn als routines voor exponentiële functie $\exp(x)$.

6. Conclusies

6.1 Uitgangspunt

Bij de ontwikkeling van het nieuwe NATIONAAL MODEL voor de verspreiding van luchtverontreiniging is ervoor gekozen om als eerste stap een REFERENTIEMODEL te ontwikkelen op basis van het KEMA model STACKS. Daarbij zijn aannamen, benaderingen en parametrisaties door de projectgroep kritisch beschouwd en op een aantal punten verbeterd en/of aangescherpt. Het aldus resulterende REFERENTIEMODEL is een weer-spiegeling van de huidige stand van kennis met betrekking tot de verspreiding van luchtverontreiniging in de onderste lagen van de atmosfeer voor afstanden tussen 0,1 en 25 km van een bron (ook wel genoemd "brute force methode"). Dit REFERENTIEMODEL, ook het UUR-VOOR-UUR-MODEL genoemd, is aan het eind van het project aangewezen als het nieuwe NATIONAAL MODEL.

Daarnaast zijn op basis van het REFERENTIEMODEL snellere versies ontwikkeld, welke met een beperktere invoer en een beperkter beroep op rekenkracht en -tijd een aanvaardbaar resultaat kunnen leveren. Hieronder worden de karakteristieken van de met het nieuwe NATIONAAL MODEL verbonden reken-wijzen, het UUR-VOOR-UURMODEL, de MONTE-CARLOMETHODE en het KLASSENMODEL kort beschreven.

6.2 Inhoudelijke kwaliteit van de drie rekenwijzen

Het REFERENTIEMODEL is op grond van de parametrische beschrijvingen van de gebruikte fysisch / meteorologische processen in de onderste lagen van de atmosfeer de thans best mogelijke beschrijving van de verspreiding voor de Nederlandse omstandigheden. Dit REFERENTIEMODEL is in Deelrapport I beschreven; er zijn thans twee onderling goed overeenstemmende computer-implementaties van beschikbaar (KEMA en TNO). Deze implementaties zijn tijdens het onderzoek met elkaar vergeleken. Nadat in beide implementaties correcties waren aangebracht, bleken de berekende waarden in het algemeen niet meer dan 5 % te verschillen. Deze verschillen zijn het gevolg van verschillende mathematische oplossingsroutes die in de twee implementaties zijn gekozen.

Het **UUR-VOOR-UURMODEL** is bij het uitbrengen van deze rapportage identiek aan het REFERENTIEMODEL en vormt het nieuwe NATIONAALMODEL.

De van het **REFERENTIEMODEL** afgeleide snellere rekenwijzen hebben een grotere onnauwkeurigheid dan het REFERENTIEMODEL zelf.

De **MONTE-CARLOMETHODE** heeft dezelfde functionaliteit als het UUR-VOOR-UUR-MODEL en is een handige en acceptabele methode om in aanmerkelijk kortere (reken)tijd een goede indruk te krijgen van de verspreiding. Bij een verstandige steekproefgrootte (5 - 10%) is het verlies aan nauwkeurigheid beperkt. Bij hogere bronnen wijken de hogere percentielen af van het volledige UUR-VOOR-UUR-MODEL.

Het **KLASSENMODEL** levert resultaten in circa 1% van de rekentijd van het UUR-VOOR-UURMODEL. Voor de gemiddelde concentraties stemmen deze goed met het UUR-VOOR-UURMODEL overeen. De voor de berekening van de percentielen in het KLASSENMODEL toegevoegde statistische aanname levert voor niet te hoge bronnen (tot 50 meter) binnen de genoemde relatief korte rekentijd acceptabele resultaten. De functionaliteit van het KLASSENMODEL is lager dan van het UUR-VOOR-UURMODEL.

6.3 Toepasbaarheid van de drie rekenwijzen

Bij toepassing van het NATIONAAL MODEL in een niet-schone achtergrond (in Nederland de normale situatie!), vergen zowel het UUR-VOOR-UURMODEL als de MONTE-CARLOMETHODE een grote hoeveelheid gedetailleerde informatie over die achtergrond (de achtergrondconcentratie in elk uur van de gebruikte meteorologie). In veel toepassingen (zie de tabel in de bijlage) zal die informatie niet beschikbaar zijn. Dit geldt vooral in de stedelijke en industriële omgeving, en het geldt algemeen voor stoffen die niet of onvoldoende dekkend in het Landelijke Meetnet worden gemeten. Van de ruim 100 stoffen die in het kader van de milieumonitoring relevant zijn, wordt slechts een beperkt aantal gemeten.

De gemiddelde achtergronds-concentraties als functie van de windrichting zijn in veel gevallen echter wel te schatten. Bijvoorbeeld door het uitvoeren van modelberekeningen voor de bronnen in de omgeving. In de stedelijke en industriële omgeving kunnen dat zeer veel bronnen zijn, waarvoor soms met andere modellen moet worden gerekend, zoals verkeersmodellen. Een dergelijke windroos van achtergrond-concentraties is voldoende om het KLASSENMODEL een berekening van de (verandering van) de percentielen te doen uitrekenen. Bij toepassing van deze benadering in het UUR-VOOR-UURMODEL zijn consistentieproblemen te verwachten waarvoor nader onderzoek noodzakelijk lijkt.

Verder mag worden verwacht dat, o.m. als gevolg van de nieuwe Europese richtlijnen, er meer vraag zal komen naar totaalbeelden van de ruimtelijke verdeling van lucht-verontreiniging, bijvoorbeeld in steden. De grote hoeveelheden bronnen die daarbij moeten worden behandeld, maken het praktisch onmogelijk het UUR-VOOR-UURMODEL te gebruiken. Dit houdt in dat KLASSENMODELLEN een belangrijke rol voor het beleid zullen houden.. Op grond van deze ontwikkeling en de bovengenoemde overwegingen heeft de Begeleidingscommissie, ondanks de beperkingen van het KLASSENMODEL, besloten dit model niet te ontkoppelen van het NATIONAAL MODEL.

6.4 Aanbevelingen ten aanzien van het KLASSENMODEL

De begeleidingscommissie heeft voor de toepassingen van de drie rekenwijzen grenzen vastgesteld. Daarbij valt de aanbeveling uiteen in situaties waarbij het primair gaat om een nieuwe bron die getoetst moet worden tegen een grenswaarde of MTR-waarde en situaties waarbij scenario's of trends in een complex bronnengebied moeten worden berekend ten behoeve van beleidsstudies of jaarrapportages.

Indien slechts een of enkele bronnen moeten worden beoordeeld, bij een vergunningverlening of in een MER-procedure, dient in een kritische situatie het UUR-VOOR-UURMODEL te worden toegepast. Het KLASSENMODEL kan, evenals DE MONTE-CARLOMETHODE, worden ingezet als screeningsmodel om na te gaan of er sprake is van een kritische situatie. Ligt de berekende concentratie een factor 2 onder de toetsen waarde dan is een nauwkeuriger berekening met het UUR-VOOR-UURMODEL niet meer nodig.

Het KLASSENMODEL is daarbij inzetbaar voor het berekenen van lange-termijngemiddelden en de schatting van depositie; voor bronhoogtes tot 50 meter ook voor de hoge percentielen, met uitzondering van het 95-percentiel. Indien rekening moet worden gehouden met fluctuerende emissies komt alleen de Monte-Carlomethode in aanmerking voor screening. Indien de situatie kritisch blijkt te zijn en het UUR-VOOR-UURMODEL moet worden toegepast moet worden nagegaan of een uur-voor-uur gemeten achtergrondconcentratie beschikbaar is voor de periode waarover de berekening zich uitstrekt (voor geurberekeningen mag de achtergrond als regel worden verwaarloosd).

Wanneer het verkrijgen van de benodigde invoer onevenredig veel inspanning en/of geld zou kosten, kan de gebruiker ertoe besluiten van die nauwkeuriger berekeningsmethode af te zien. De conclusie wordt dan getrokken, cq. het besluit wordt dan genomen op grond van een uitkomst met een grotere onzekerheid dan in principe mogelijk zou zijn geweest.

Daar, waar voldoende invoer aanwezig is, dat wil zeggen altijd als in een "schone achtergrond" wordt gerekend of wanneer een uur-voor-uur gemeten achtergrondconcentratie beschikbaar is of verkregen kan worden, kan een eerste screening ook met de MONTE-CARLOMETHODE worden gemaakt. Dit verdient voor de hoge bronnen zeker de voorkeur.

In de situatie van een complex bronnengebied en de toepassing voor beleidsstudies en jaarrapportages vormt de rekenkracht van de Personal Computer anno 1997/98 nog een belemmering voor brede toepassing van het UUR-VOOR-UURMODEL en is met name het snelle KLASSENMODEL een aantrekkelijke keus. Indien vergelijkingen van verschillende emissiescenario's worden beoogd is immers de absolute nauwkeurigheid van de resultaten minder van belang. Bij jaarrapportages in het kader van de AMvB's Luchtkwaliteit kan een gemengde oplossing worden overwogen, waarbij de bijdragen van de hoge bronnen afzonderlijk worden berekend.

7. Referenties

1. Kleine Commissie Modellen van de Subcommissie Luchtverontreiniging van de COM-TNO. Modellen voor de berekening van de verspreiding van luchtverontreiniging, inclusief aanbevelingen voor de waarden van parameters in het lange-termijnmodel. Staatsuitgeverij 1976
2. Werkgroep Verspreiding Luchtverontreiniging van de Subcommissie Luchtverontreiniging van de COM-TNO. Frequentieverdelingen van luchtverontreinigingsconcentraties: een aanbeveling voor een rekenmethode. Staatsuitgeverij 1981
3. Werkgroep verspreiding Luchtverontreiniging van de Commissie Onderzoek Luchtverontreiniging TNO. Parameters in het lange-termijnmodel verspreiding luchtverontreiniging. SCMO-TNO 1984.
4. Werkgroep Verspreiding Luchtverontreiniging van de Commissie Onderzoek Luchtverontreiniging van de Vereniging LUCHT. Invloed van een gebouw op de verspreiding van schoorsteenpluimen: aanbeveling voor een rekenmethode. SCMO-TNO 1986.
5. J. van Ham, Discussie rond het Nationaal Model voor de verspreiding van luchtverontreiniging, Lucht 9 (3), 84-85 (1992)
6. J.J. Erbrink en J.A. van Jaarsveld, Het Nationaal Model vergeleken met andere modellen en metingen, Lucht 9 (3), 86-91 (1992)
7. J. van Ham en H. Bueno de Mesquita, Inventarisatie van gebruikerswensen van het nationaal Model. Rapport SCMO-TNO, 1993
8. RIVM. Verslag Workshop sectie Verspreiding Vereniging LUCHT, maart 1993
9. ERM. Advies aan de COL naar aanleiding van de workshop Nationaal Model, februari 1994
10. J.J. Erbrink, Turbulent diffusion from tall stacks: the use of advanced boundary-layer meteorological parameters in the gaussian dispersion model "STACKS". Proefschrift VU Amsterdam 1995
11. J. van Ham, N.J. Duijm, J.J. Erbrink, J.A. van Jaarsveld, M.P.J. Pulles, E. Schols, G. Verver, Revision of the Netherlands National Model for short range dispersion of air pollutants, Int. J. Environment and Pollution, Vol. 8, pp 771 - 777 (1997)
12. "Yellow Book", C.J.H. van den Bosch en R.A.P.M. Weterings, Methods for the calculation of physical effects", 3rd edition, C.P.R.14E (1997).