

RIVM Rapport 680705002/2007

## **Meteorologie in CAR II**

D. Mooibroek  
J.P. Wesseling

Contact:  
J.P. Wesseling  
Laboratorium voor Milieumetingen  
Joost.Wesseling@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het ministerie van VROM, in het kader van het project Beleidsadvisering Stedelijke luchtkwaliteit, project M/680705/07.

© RIVM 2007

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave'.

## Rapport in het kort

### Meteorologie in CAR II

Het RIVM heeft een verfijnde methodiek ontwikkeld en getest waarmee het CAR II-model nauwkeurigere gegevens over de luchtkwaliteit rond straten kan berekenen. Door de oorspronkelijke rekenmethode aan te passen komen de resultaten beter overeen met de metingen van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML) van het RIVM.

Lokale overheden gebruiken CAR II, dat staat voor Calculation of Air pollution from Road traffic, sinds 2002. Momenteel rekent CAR II met gegevens voor de jaargemiddelde windsnelheid in een aantal regio's waarin Nederland is opgedeeld. Verschillen tussen deze regiowaarden kunnen aanzienlijk zijn, waardoor de resultaten van de concentratieberekeningen op grensvlakken tussen regio's circa twintig procent kunnen verschillen. Hierdoor is het lastig berekeningen te maken voor straten die op grensvlakken tussen regio's liggen. Bovendien komt het glijdende verloop van de jaargemiddelde windsnelheid binnen regio's niet tot uiting.

De voorgestelde nieuwe methodiek is nauwkeuriger omdat hij gegevens over windsnelheden van meer meetpunten gebruikt. Bovendien is de regio-indeling vervangen door een zogeheten geïnterpoleerd windveld, waardoor de lokale situatie beter wordt weergegeven.

Trefwoorden: luchtkwaliteit, CAR, meteorologie, regio-indeling

## Abstract

### **Meteorology in the CAR II model**

The RIVM has developed and tested a methodology capable of increasing the accuracy of the air quality calculations by the CAR II model in streets with traffic. Adaptations to the original arithmetic method have led to better agreement between measurements carried out by the national air quality measurement network (LML) of the RIVM and results calculated with the model.

Dutch municipalities have been using CAR II (Calculation of Air pollution from Road traffic) since 2002. The current version of CAR II uses annual average data on wind velocity for predefined geographical regions in the Netherlands. These values can differ greatly between regions, which may lead to large differences – up to 20 percent – between the concentrations calculated for adjoining regions. It is therefore difficult to perform calculations for streets located at the interfaces of regions. The current CAR II model also disregards the gliding course of the annual averaged wind velocities within each region.

The proposed methodology for the CAR II model is more precise because it enables all available data on wind velocities to be incorporated into the calculations. Furthermore the split-up in regions is replaced by a so-called interpolated windfield, which enables the local situation to be described more accurately.

Key words: air quality, CAR, meteorology, geographical regions

## Inhoud

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Samenvatting</b>                          | <b>6</b>  |
| <b>1 Inleiding</b>                           | <b>7</b>  |
| <b>2 Huidige implementatie meteorologie</b>  | <b>8</b>  |
| 2.1 Regiofactoren in CAR II                  | 8         |
| 2.2 Berekening regiofactoren                 | 10        |
| 2.3 Opmerkingen bij de huidige implementatie | 12        |
| 2.4 Spreiding binnen de regio's              | 13        |
| 2.5 Sprongen aan grenzen van regio's         | 14        |
| 2.6 Trends binnen regio's                    | 15        |
| <b>3 Verbeteropties</b>                      | <b>19</b> |
| 3.1 Lokale meteo                             | 19        |
| 3.2 Interpolatie van meteo                   | 19        |
| 3.3 Weging van de optredende windsnelheden   | 24        |
| <b>4 Conclusies en aanbevelingen</b>         | <b>27</b> |
| 4.1 Conclusies                               | 27        |
| 4.2 Aanbevelingen                            | 27        |
| <b>Literatuur</b>                            | <b>28</b> |
| <b>Bijlage</b>                               | <b>29</b> |

## Samenvatting

Lokale overheden gebruiken het model CAR II (Calculation of Air pollution from Road traffic) al sinds 2002 voor de berekening van de luchtkwaliteit in verkeersbelaste situaties. Het RIVM heeft in opdracht van het ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) een onderzoek naar het gebruik van de meteorologische gegevens in het programma CAR II uitgevoerd. De huidige methodiek, het onderverdelen van Nederland in regio's en voor elke regio een jaargemiddelde windsnelheid berekenen, is tegen het licht gehouden.

Binnen elk van de gedefinieerde regio's worden betrekkelijk grote verschillen in gemiddelde windsnelheden gevonden. Deze verschillen werken voor een groot deel lineair door in de concentratieberekeningen. Daarnaast komen op de grenzen van verschillende regio's sprongen tot 25% in de gemiddelde windsnelheid en dus ook in de concentratiebijdrage voor. Tot slot is het verloop van de jaargemiddelde windsnelheid met name in de aan de kust gelegen regio's vrij sterk. In de huidige situatie, waarbij een gemiddelde windsnelheid voor de regio wordt gebruikt, wordt het verloop in de windsnelheden aan de kust genegeerd.

Door gebruik te maken van een interpolatie van de gemiddelde windsnelheden over Nederland en deze gegevens te gebruiken in plaats van de regiogemiddelden, neemt de overeenkomst tussen de berekende waarde met het CAR II-model en de gemeten waarde van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit toe en komen er geen discontinuïteiten langs regiogrenzen meer voor.

In de huidige CAR II worden, zoals gezegd, de jaargemiddelde windsnelheden gebruikt. Voor een luchtkwaliteitberekening is echter de gemiddelde waarde van één gedeeld door de windsnelheid van belang. Het effect van de beide rekenwijzen op berekende concentraties is in de studie voor de locaties Schiphol en Eindhoven onderzocht. Voor de locatie Eindhoven kan het voor een inerte stof circa 15% uitmaken of met de simpele jaargemiddelde windsnelheid of met een gemiddelde van één gedeeld door de windsnelheid wordt gerekend.

# 1 Inleiding

Het programma CAR II (Calculation of Air pollution from Road traffic) wordt sinds begin van 2002 door gemeenten gebruikt om de luchtkwaliteit in stedelijk gebied te bepalen. Het is een veelgebruikt en simpel model dat met een minimum aan invoergegevens een redelijk beeld geeft van de luchtkwaliteit. Het model hanteert een meertrapsbenadering om concentraties in stedelijk gebied uit te rekenen:

1. Eerst worden de emissies van het verkeer bepaald uit de verkeersgegevens.
2. Vervolgens wordt de verspreiding (verdunding) van de geëmitteerde stoffen in de straat berekend, dit levert de concentraties van de inerte, niet-reactieve stoffen.
3. Ingeval van een berekening van de NO<sub>2</sub>-concentraties worden de NO<sub>x</sub>-concentraties omgezet in NO<sub>2</sub>-concentraties. Hierbij worden grootschalige ozonconcentraties van het Milieu- en Natuurplanbureau (MNP) gebruikt, de zogenaamde Generieke Concentraties Nederland (GCN), zie Velders et al. (2007).
4. De berekende concentratiebijdragen worden uiteindelijk gecombineerd met de grootschalige concentraties volgens de GCN.

Met CAR II kunnen voor de volgende stoffen de jaargemiddelde concentraties worden berekend: NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, CO (98-percentiel), SO<sub>2</sub>, benzeen en B(a)P. Een beschrijving van CAR II wordt gegeven in Jonkers en Teeuwisse (2007). De binnenstedelijke rekenregels van CAR II zijn in 2006 als standaard rekenmethode 1 (SRM-1) in het Meet- en rekenvoorschrift bevoegdheden luchtkwaliteit (Mrv) opgenomen (Staatscourant, 2006).

In verschillende studies van het RIVM (Wesseling et al., 2007; Wesseling en Sauter, 2007) zijn aspecten van de in CAR II gehanteerde rekenwijze onderzocht en met behulp van metingen getoetst. De wijze waarop de meteorologie in CAR II wordt gebruikt is tot op heden nog niet onderzocht. In het voorliggende rapport wordt eerst een korte beschrijving gegeven van de wijze waarop de meteorologie in CAR II wordt gebruikt. Vervolgens worden verschillende aspecten hiervan nader besproken en onderzocht. Uiteindelijk worden enkele voorstellen gedaan om de invloed van de meteorologie in CAR II beter bij de realiteit aan te laten sluiten.

## 2 Huidige implementatie meteorologie

### 2.1 Regiofactoren in CAR II

Het berekenen van de jaargemiddelde concentraties voor alle in de inleiding genoemde stoffen, met uitzondering van NO<sub>2</sub>, is gelijk. Hierbij wordt gebruikgemaakt van de volgende formule (Jonkers, 2007):

$$C_{b,jm} = E \cdot F(x) \cdot F_b \cdot F_{regio} \quad (1)$$

waarbij:

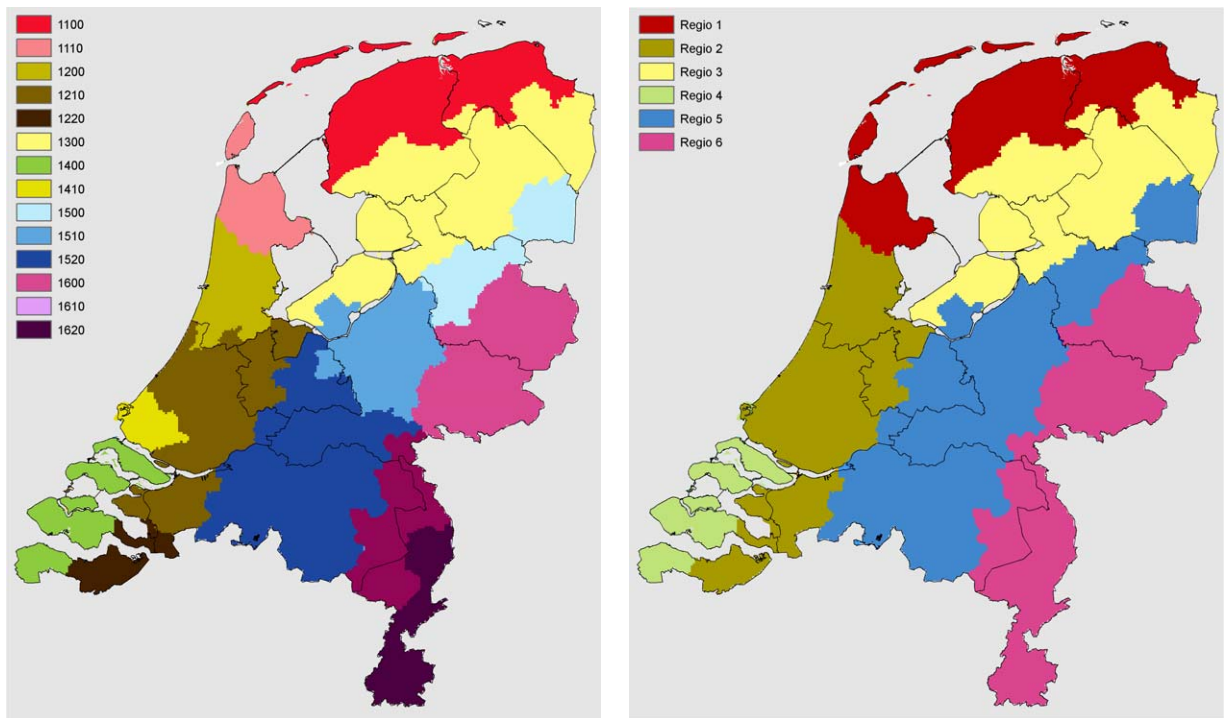
- $C_{b,jm}$  : Jaargemiddelde concentratiebijdrage [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ].
- $E$  : Emissie [ $\mu\text{g}/\text{m}/\text{s}$ ].
- $F(x)$  : Verdunningsfactor [ $\text{s}/\text{m}^2$ ].
- $F_b$  : Bomenfactor (1,00; 1,25; 1,50).
- $F_{regio}$  : Regiofactor met betrekking tot meteorologie. Deze factor wordt jaarlijks aangepast en heeft typisch waarden tussen circa 0,7 en circa 1,4.
- $x$  : Afstand van het rekenpunt tot de as van de weg.

De meest belangrijkste meteorologische parameters voor de verspreiding van luchtverontreiniging als gevolg van de uitstoot van het verkeer zijn de windsnelheid en windrichting. Aangezien in CAR II de wegoriëntatie niet wordt meegenomen in de berekeningen wordt de windrichting als variabele buiten beschouwing gelaten. De concentratiebijdrage is evenredig met één gedeeld door de jaargemiddelde windsnelheid.

De in formule 1 gebruikte verdunningsfactoren  $F(x)$  zijn met behulp van het TNO verkeersmodel vastgesteld. Om deze verdunningsfactoren toe te passen bij een andere windsnelheid dient er een correctiefactor gebruikt te worden. Deze correctiefactor zorgt ervoor dat de windsnelheid op locatie in overeenstemming is met de gemiddelde windsnelheid waarvoor de verdunningsfactoren zijn opgesteld.

De jaargemiddelde windsnelheid wordt niet voor elke specifieke locatie apart vastgesteld. Nederland is ingedeeld in zes regio's, waarbij verondersteld wordt dat de jaargemiddelde windsnelheid binnen een regio betrekkelijk constant is. De regio-indeling is afgeleid uit het eerdere 'CAR AMvB 2.0', waarbij diverse oude regio's samengevoegd zijn tot nieuwe regio's, zie Figuur 1.





Figuur 1 Onderverdeling van Nederland in regio's. Aan de linkerkant staat de regio-indeling voor het 'CAR AMvB 2.0'-model, dat van 1998 tot 2002 gebruikt is. De afbeelding aan de rechterkant laat de huidige onderverdeling van zes regio's zien voor het huidige CAR II-model.

Voor elk van de zes regio's wordt op basis van de jaargemiddelde windsnelheid in een regio de eerder genoemde correctiefactor, de zogenaamde regiofactor  $F_{regio}$  afgeleid. Deze regiofactor is gedefinieerd als de verhouding tussen de standaard gemiddelde windsnelheid van 5,0 m/s en de gemiddelde windsnelheid in de betreffende regio. In de studie van Van den Hout en Baars (1988), waarin CAR wordt gedefinieerd, wordt vermeld dat de standaard gemiddelde windsnelheid met de klimatologische gegevens van station Schiphol is bepaald. Het langjarige gemiddelde voor de windsnelheid over de periode 1971-2000 op station Schiphol bedraagt volgens het KNMI 5,1 m/s, welke nagenoeg gelijk is aan de waarde die momenteel in CAR II wordt gebruikt.

Tijdens het uitvoeren van de berekeningen in CAR II wordt aan de hand van de, door de gebruiker ingevoerde, Rijksdriehoekskoördinaten van een locatie de selectie van de te gebruiken regiofactor gemaakt.

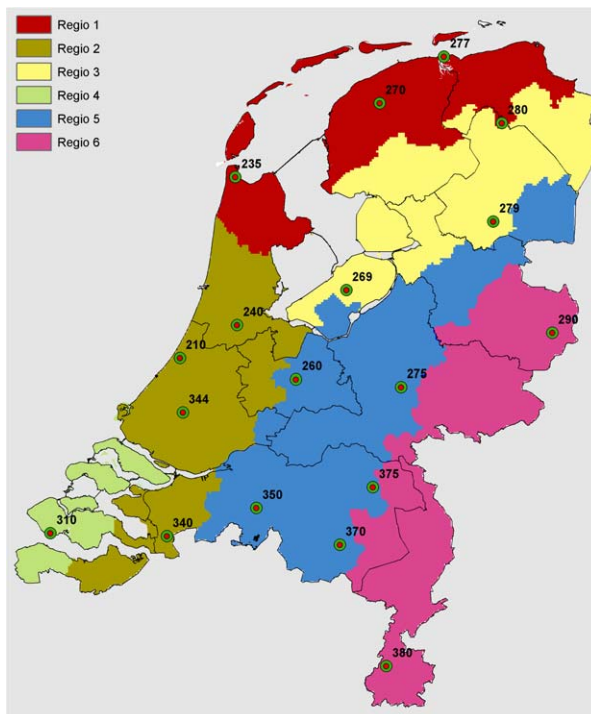
## 2.2 Berekening regiofactoren

Elk jaar, omstreeks maart, wordt door het RIVM de jaargemiddelde windsnelheid per regio bepaald door gebruik te maken van de jaargemiddelde snelheid voor een selectie van achttien KNMI-stations. Deze gegevens komen uit het jaarlijks door het KNMI uitgebrachte ‘Jaaroverzicht van het weer in Nederland’. Aan elke regio zijn verschillende KNMI-stations toegekend, waarbij het mogelijk is dat een station in verschillende regio’s bijdraagt aan het gemiddelde.

Belangrijk is dat de gekozen KNMI-stations representatief dienen te zijn voor de betreffende regio’s. KNMI-stations die pal aan zee staan, bijvoorbeeld station 235 De Kooy, dienen daarom minder zwaar mee te wegen in het uiteindelijke resultaat. Om problemen te ondervangen wordt voor elke regio een gewogen jaargemiddelde windsnelheid berekend waarbij de weging van de individuele KNMI-stations voornamelijk beïnvloed wordt door de locatie van deze stations. In Tabel 1 staat een overzicht van de gebruikte stations per regio met daarbij het percentage waarmee een KNMI-station meetelt in de berekening van de gewogen jaargemiddelde windsnelheid in elke regio. Daarnaast worden de gemiddelde windsnelheid voor elk station en de gewogen gemiddelde windsnelheid in de regio’s van de afgelopen tien jaar weergegeven.

De voor het CAR II-model benodigde regiofactoren worden vervolgens berekend door de jaargemiddelde windsnelheid van 5 m/s, die bij de opzet van CAR II is gebruikt, te delen door de gewogen gemiddelde windsnelheid in de betreffende regio.

In Figuur 2 wordt de ligging van de gebruikte KNMI-stations in de zes regio’s weergegeven.



Figuur 2 De ligging van de in de bepaling van de regiofactoren gebruikte KNMI-stations.

Tabel 1 De in de berekening gebruikte stations inclusief de gebruikte weging. Voor elk station en voor elke regio wordt de gemiddelde windsnelheid over de laatste tien jaar weergegeven.

| Regio | KNMI nr | Naam                  | Weging | V <sub>gem 10</sub><br>(m/s) | V <sub>regio 10</sub><br>(m/s) |
|-------|---------|-----------------------|--------|------------------------------|--------------------------------|
| 1     | 235     | De Kooy               | 10%    | 5,6                          | 5,2                            |
|       | 270     | Leeuwarden            | 30%    | 4,8                          |                                |
|       | 277     | Lauwersoog            | 30%    | 6,3                          |                                |
|       | 280     | Eelde                 | 30%    | 4,3                          |                                |
| 2     | 210     | Valkenburg            | 25%    | 4,8                          | 4,4                            |
|       | 240     | Schiphol              | 25%    | 5,0                          |                                |
|       | 260     | De Bilt               | 25%    | 3,5                          |                                |
|       | 344     | Rotterdam             | 25%    | 4,4                          |                                |
|       | 350     | Gilze-Rijen           | 0%     | 3,7                          |                                |
| 3     | 269     | Lelystad <sup>1</sup> | 30%    | 4,4                          | 4,3                            |
|       | 270     | Leeuwarden            | 10%    | 4,8                          |                                |
|       | 279     | Hoogeveen             | 30%    | 4,1                          |                                |
|       | 280     | Eelde                 | 30%    | 4,3                          |                                |
| 4     | 210     | Valkenburg            | 25%    | 4,8                          | 4,9                            |
|       | 310     | Vlissingen            | 25%    | 6,1                          |                                |
|       | 344     | Rotterdam             | 25%    | 4,4                          |                                |
|       | 350     | Gilze-Rijen           | 0%     | 3,7                          |                                |
|       | 340     | Woensdrecht           | 25%    | 3,7                          |                                |
| 5     | 260     | De Bilt               | 20%    | 3,5                          | 3,8                            |
|       | 275     | Deelen                | 20%    | 3,9                          |                                |
|       | 279     | Hoogeveen             | 20%    | 4,1                          |                                |
|       | 350     | Gilze-Rijen           | 20%    | 3,7                          |                                |
|       | 370     | Eindhoven             | 20%    | 3,9                          |                                |
| 6     | 275     | Deelen                | 25%    | 3,9                          | 3,9                            |
|       | 290     | Twente                | 25%    | 3,5                          |                                |
|       | 375     | Volkel                | 25%    | 3,8                          |                                |
|       | 380     | Maastricht            | 25%    | 4,2                          |                                |

<sup>1</sup> Station 269 Lelystad is in 2000 voor station 268 Houtrib in de plaats gekomen. De in deze tabel gepresenteerde gemiddelde windsnelheid over de afgelopen tien jaar beslaat voor 269 Lelystad de periode 2000-2006.

## 2.3 Opmerkingen bij de huidige implementatie

De keuze van de voor de regiofactoren te gebruiken meteostations is in het verleden gemaakt en het is goed om hier van tijd tot tijd even bij stil te staan. Per regio zullen, aan de hand van Tabel 1 en Figuur 2, verschillende opvallende zaken besproken worden ten aanzien van de berekening van het gewogen gemiddelde.

Voor regio 1 (Noord) wordt voor het station 238 De Kooy een kleinere weegfactor gebruikt waardoor het effect van dit station op het gewogen gemiddelde minder wordt. Het station ligt vlakbij zee en kan daardoor niet als volledig representatief voor de regio gezien worden. Opvallend is echter dat station 277 Lauwersoog net zo zwaar in de berekening meetelt als de stations 270 Leeuwarden en 280 Eelde. Dit is opvallend aangezien station 277 Lauwersoog vlakbij zee ligt. Verder ligt de jaargemiddelde windsnelheid op dit station de laatste tien jaar beduidend hoger dan bij de overige stations in deze regio. Hierdoor zou de gemiddelde windsnelheid in deze regio, met name in het binnenland, voor sommige plaatsen te hoog liggen, met als gevolg lagere concentratieberekeningen.

In regio 2 (West) wordt aan station 210 Valkenburg eenzelfde gewicht toegekend als aan de meer in het binnenland liggende stations, bijvoorbeeld 260 De Bilt. De verschillen tussen de stations 240 Schiphol, 210 Vlaardingen en 344 Rotterdam zijn onderling minder groot dan de verschillen met 620 De Bilt. Verder is het de vraag in hoeverre deze vier stations representatief zijn voor het meest zuidelijk gelegen gedeelte van regio 2 dat deels onderdeel van Zeeland is. De dichtstbijzijnde stations voor dit gedeelte van regio 2, 340 Woensdrecht, 310 Vlissingen en 350 Gilze-Rijen, worden niet in de bepaling van het gewogen gemiddelde meegenomen.

Regio 3 (Noord-Oost) wordt helemaal omringd door de stations 270 Leeuwarden, 280 Eelde, 279 Hoogeveen en 269 Lelystad. Van deze vier stations ligt 270 Leeuwarden het verst verwijderd van deze regio. De onderlinge verschillen zijn, zeker ten opzichte van de verschillen in regio 1 en 2, klein te noemen.

In regio 4 (Zuid-West) wordt station 340 Woensdrecht wel gebruikt om de gemiddelde windsnelheid te berekenen. De afgelopen jaren is de hoogste windsnelheid van de gekozen stations voor deze regio op station 310 Vlissingen gemeten. Gezien de locatie van regio 4 zou het gewicht van station 340 Woensdrecht verminderd kunnen worden zodat er een hogere regiofactor berekend wordt. Onduidelijk is in hoeverre de locaties van stations 310 Vlaardingen en 344 Rotterdam representatief zijn voor deze regio.

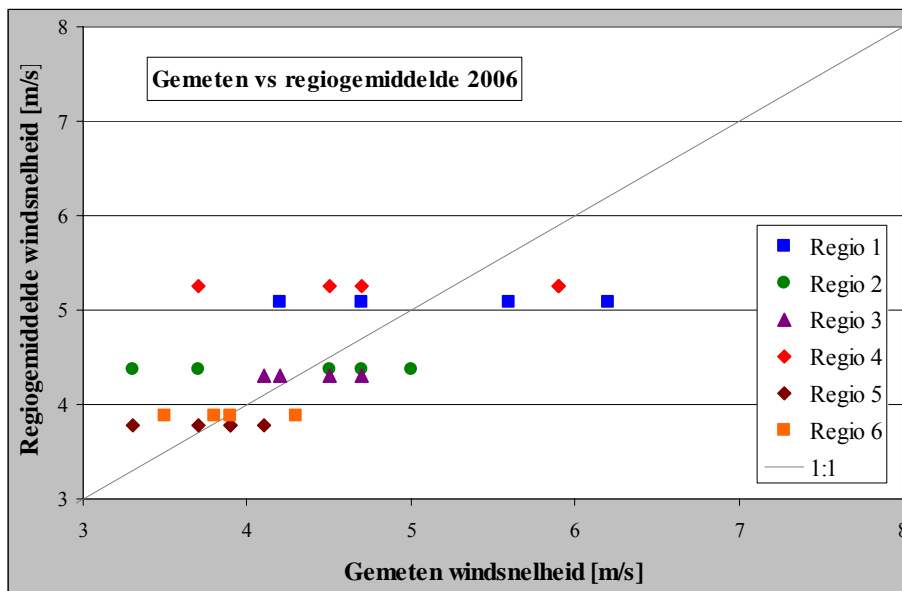
Regio 5 (Midden) ligt omringd door de stations 275 Deelen, 279 Hoogeveen, 260 De Bilt, 350 Gilze-Rijen en 370 Eindhoven, waarbij aan elk van de stations een gelijkwaardig gewicht is toegekend. Eventueel zouden hier station 269 Lelystad en 375 Volkel aan toegevoegd kunnen worden. Aangezien de jaargemiddelde windsnelheid in de regio ongeveer gelijk is aan die van station 375 Volkel maakt opname van dit station in de weging praktisch niet veel uit.

Voor regio 6 (Zuid-Oost) wordt gebruikgemaakt van twee stations binnen de regio (380 Maastricht en 290 Twente) en twee stations buiten de regio (275 Deelen en 375 Volkel). De onderlinge verschillen tussen de jaargemiddelde windsnelheid op deze stations zijn niet zo heel groot, alhoewel deze op station 380 Maastricht licht hoger is.

## 2.4 Spreiding binnen de regio's

Een belangrijke aanname voor het gebruik van regiofactoren is dat de jaargemiddelde windsnelheid binnen een regio betrekkelijk constant is. Het is evenwel bekend dat de werkelijke 'lokale' regiofactor door allerlei lokale effecten zoals bebouwing aanzienlijk kan afwijken van de gehanteerde regiofactor. Teeuwissen (2003) geeft aan dat de gemiddelde windsnelheid meer dan 1 m/s moet afwijken om tot grote verschillen te leiden in de uitkomsten. Echter, een dergelijke afwijking geeft een verschil van 20% in de berekeningen van de concentratiebijdrage.

In Figuur 3 worden de feitelijk op stations gemeten jaargemiddelde windsnelheden vergeleken met de gewogen jaargemiddelde windsnelheden die aan de regio waarin zij liggen zijn toegekend. Uit de figuur blijkt duidelijk hoe groot de spreiding binnen een regio is.



Figuur 3 Vergelijking tussen de feitelijke gemeten jaargemiddelde windsnelheden op stations en de gewogen gemiddelde windsnelheden van de regio's waaraan zij zijn toegekend.

De jaargemiddelde windsnelheid van de afgelopen tien jaar (1997-2006) voor verschillende regio's worden weergegeven in Tabel 2. Daarnaast worden de gemiddelde verschillen tussen de minima en maxima binnen een regio aan de ene kant en de gemiddelde gewogen windsnelheid in die regio aan de andere kant weergegeven.

Tabel 2 Gemiddelde windsnelheden in verschillende regio's.

|         | <b>Gewogen jaargemiddelde (laatste tien jaar)</b> | <b>Gemiddeld verschil tussen jaargemiddelde en minimum</b> | <b>Gemiddeld verschil tussen jaargemiddelde en maximum</b> | <b>Bandbreedte van snelheden in de regio</b> |
|---------|---|--|--|--|
| Regio 1 | 5,2   | 0,9  | 1,4  | 22,0%  |
| Regio 2 | 4,4   | 1,0  | 0,6  | 22,2%  |
| Regio 3 | 4,3   | 0,2  | 0,5  | 11,2%  |
| Regio 4 | 4,9   | 1,2  | 1,2  | 25,6%  |
| Regio 5 | 3,8   | 0,3  | 0,3  | 09,0%  |
| Regio 6 | 3,9   | 0,3  | 0,4  | 09,6%  |

Wanneer de waarde van de maximale afwijking van de gemiddelde windsnelheid van 1 m/s strikt gehanteerd wordt, kunnen regio 1, 2 en 4 als probleemregio's aangemerkt worden. Voor deze regio's, voornamelijk gelegen aan de kust, wijkt de lokale windsnelheid meer dan 1 m/s af van de gemiddelde windsnelheid in de regio met als gevolg grote verschillen in de uitkomsten van de concentratieberekening.

## 2.5 Sprongen aan grenzen van regio's

De indeling van Nederland in regio's kan in de grensgebieden van regio's voor verschillende resultaten van de concentratieberekening zorgen. Wanneer een gebied verdeeld ligt over twee regio's kunnen berekeningen met CAR voor twee vergelijkbare nabij gelegen straten in verschillende regio's een verschil geven in de concentraties. Om te beoordelen hoe groot de verschillen in de berekende jaargemiddelde windsnelheid op de regiogrenzen zijn is er gekeken naar het onderling verschil door de jaargemiddelde windsnelheden door elkaar te delen.

De resultaten van deze analyse voor de berekende jaargemiddelde windsnelheid per regio van meerdere jaren en de gemiddelde windsnelheid over zeventien jaar worden weergegeven in Tabel 3.

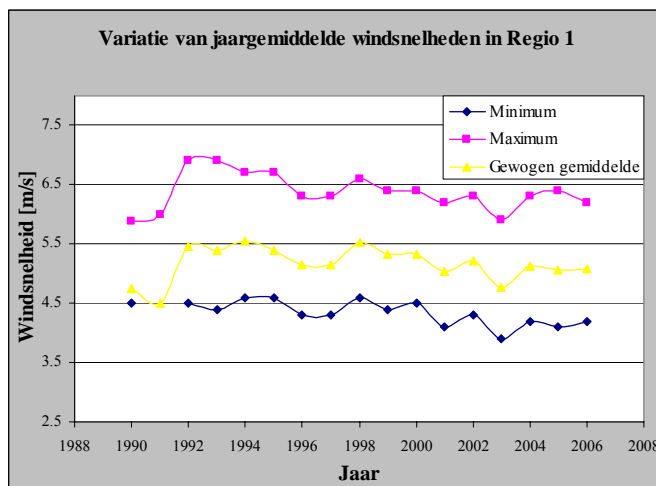
Tabel 3 Sprongen aan regiogrenzen.

|                   | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2006 | Gemiddelde<br>over zeventien<br>jaar |
|-------------------|------|------|------|------|------|--------------------------------------|
| Regio 1 / Regio 2 | 1,00 | 1,17 | 1,13 | 1,22 | 1,16 | 1,14                                 |
| Regio 1 / Regio 3 | 1,05 | 1,21 | 1,19 | 1,23 | 1,18 | 1,19                                 |
| Regio 2 / Regio 3 | 1,05 | 1,03 | 1,05 | 1,01 | 1,02 | 1,04                                 |
| Regio 2 / Regio 4 | 0,85 | 0,87 | 0,94 | 0,94 | 0,83 | 0,90                                 |
| Regio 2 / Regio 5 | 1,24 | 1,21 | 1,19 | 1,17 | 1,16 | 1,19                                 |
| Regio 3 / Regio 5 | 1,19 | 1,17 | 1,14 | 1,16 | 1,14 | 1,14                                 |

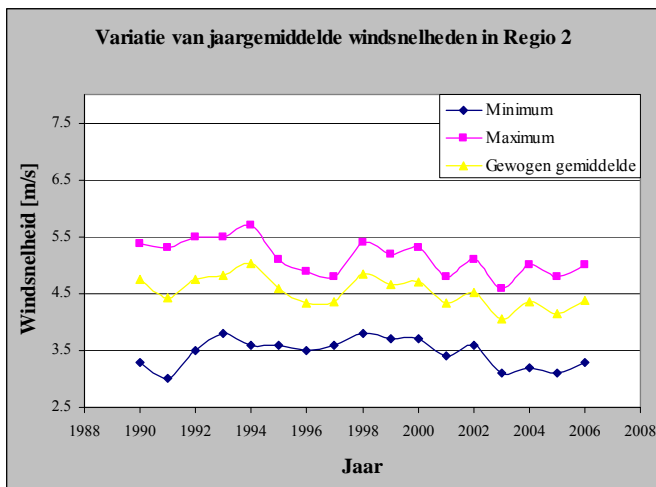
Tussen regio 2 en regio 3 is er een relatief klein verschil tussen de jaargemiddelde windsnelheden. Eenzelfde beeld is te zien bij de overgang tussen regio 5 en regio 6. Het verschil in de berekende regio jaargemiddelde concentraties tussen de overige regio's is, afhankelijk van de jaarsinvloeden, gemiddeld tussen de circa 15 en 20%. In termen van de berekeningen van de concentratiebijdragen levert dit ook een verschil van 15-20% op voor alle stoffen in CAR met uitzondering van NO<sub>2</sub>. Voor NO<sub>2</sub> is het effect op de concentratieberekeningen iets kleiner.

## 2.6 Trends binnen regio's

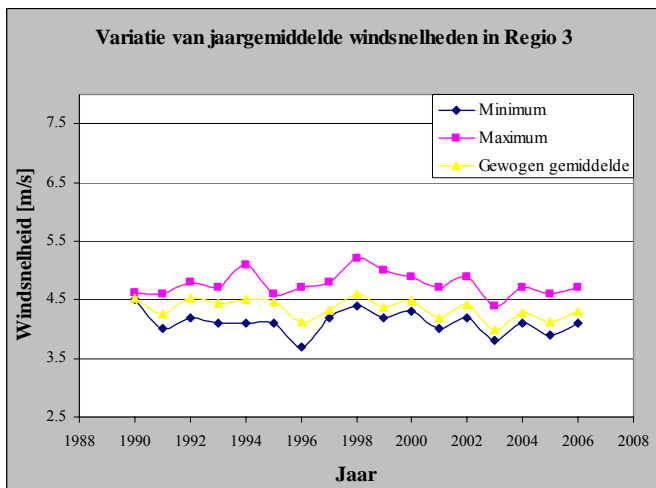
Om een uitspraak te doen over de trends binnen de regio's is er gekeken naar de variatie van de jaargemiddelde gewogen windsnelheden per regio over de afgelopen zeventien jaar. Er is hierbij gekeken naar het gemiddelde, de minimale en de maximale windsnelheid. Voor elke regio zijn deze gegevens in een figuur uitgezet.



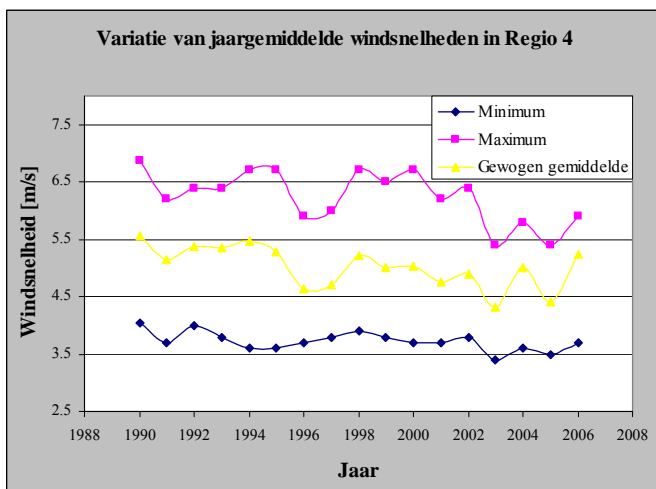
Figuur 4 Variatie van de gewogen jaargemiddelde windsnelheden in Regio 1.



Figuur 5 Variatie van de gewogen jaargemiddelde windsnelheden in Regio 2.

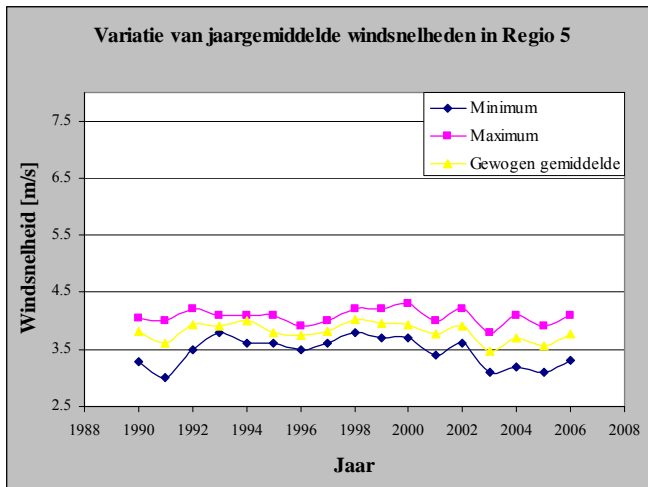


Figuur 6 Variatie van de gewogen jaargemiddelde windsnelheden in Regio 3.

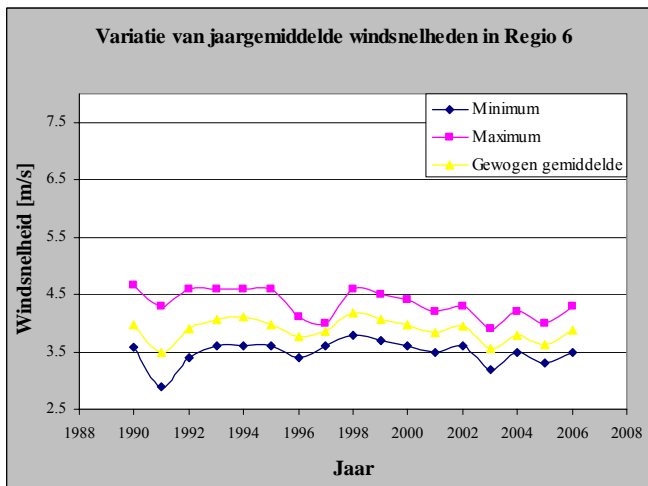


Figuur 7 Variatie van de gewogen jaargemiddelde windsnelheden in Regio 4.





Figuur 8 Variatie van de gewogen jaargemiddelde windsnelheden in Regio 5.



Figuur 9 Variatie van de gewogen jaargemiddelde windsnelheden in Regio 6.

In de Figuren 4 tot en met 9 valt op dat de gemiddelde windsnelheden in de kustregio's 1, 2 en 4 een betrekkelijk duidelijke trend van afnemende waarden laten zien. De gemiddelde windsnelheid in de noordelijke regio 3 laat een iets minder sterke trend van afnemende waarden zien en in de binnenlandse regio's 5 en 6 is sprake van een kleine afname. De absolute en relatieve afname van de gemiddelde windsnelheid in elke regio over periode van de laatste zeventien jaren wordt in Tabel 4 vermeld. In regio 1 valt op dat de windsnelheid in de jaren 1990 en 1991 substantieel lager is dan in de jaren daarna. Voor de bepaling van de trend voor deze regio zijn de eerste twee jaren daarom niet meegenomen.

**Tabel 4 Trends binnen regio's.**

| <b>Regio</b> | <b>Absolute afname<br/>(m/s per 17 jaar)</b> | <b>Relatieve afname<br/>(m/s per 17 jaar)</b> |
|--------------|--|---|
| Regio 1      | 0,56   | 11%   |
| Regio 2      | 0,54   | 12%   |
| Regio 3      | 0,28   | 6%  |
| Regio 4      | 0,74   | 15%   |
| Regio 5      | 0,17   | 4%  |
| Regio 6      | 0,15   | 4%  |

De gemiddelde windsnelheden in de kustregio's nemen met 11-15% af tussen 1990 en 2006. Dit betekent dat bij gelijke bronsterkte de concentratiebijdrage van bronnen met eenzelfde percentage is toegenomen. Alleen voor NO<sub>2</sub> is de toename, wegens de atmosferische chemie, minder groot. De veranderingen in de gemiddelde windsnelheid in Nederland in de periode 1960 tot 2005 wordt besproken in Hurk et al. (2006).

## 3 Verbeteropties

Zoals in hoofdstuk 2 besproken is een aantal knelpunten onderzocht voor wat betreft de regiofactoren waarbij voornamelijk de regio-indeling ter discussie is komen te staan. Dit hoofdstuk probeert een aantal verbeteropties aan te reiken.

### 3.1 Lokale meteo

Een van deze verbeteropties zou het gebruik van de jaargemiddelde windsnelheid van een lokaal station zijn. Goede resultaten zijn hiervoor bereikt voor de CAR II-berekening in Groningen, wanneer er gebruikgemaakt wordt van de jaargemiddelde windsnelheid gemeten op het KNMI-station in Eelde.

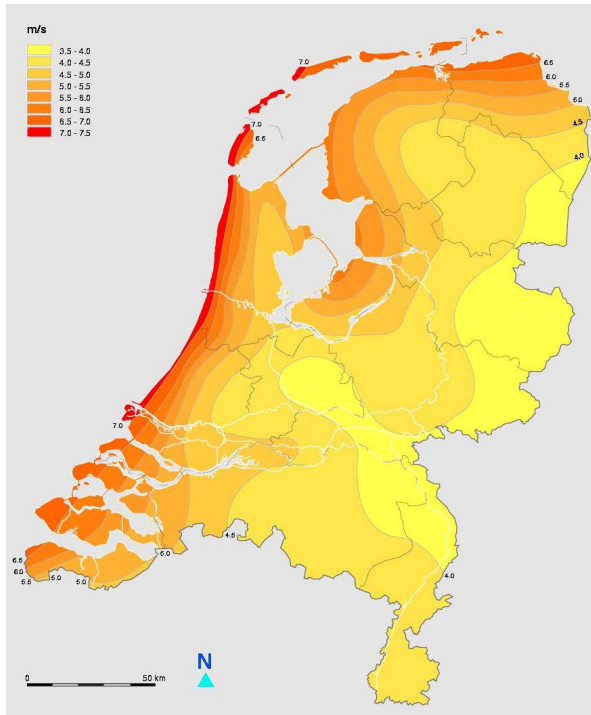
In eerdere studies aan CAR II (Wesseling, 2006 en 2007) is geconstateerd dat de in Groningen op LML-station 937 gemeten concentraties structureel hoger zijn dan met CAR II wordt berekend. Voor 2005 en 2006 bedragen de regiofactoren voor Groningen 0,98 en 0,99. Indien de regiofactoren voor die jaren enkel zouden zijn gebaseerd op de meteorologie van het nabij Groningen gelegen meetpunt Eelde zouden ze 1,22 en 1,19 bedragen. De met CAR II berekende NO<sub>x</sub>-bijdragen van het verkeer bedragen op basis van de standaard regiofactoren 78% en 69% van de gemeten bijdragen voor 2005 en 2006. Na toepassing van regiofactoren op basis van enkel Eelde bedragen de met CAR II berekende NO<sub>x</sub>-bijdragen van het verkeer op 97% en 84% van de gemeten bijdragen voor 2005 en 2006, een significante verbetering.

Deze aanpak is te rechtvaardigen in het geval een KNMI-station binnen een redelijke afstand staat van de locatie waarvoor berekeningen worden uitgevoerd. Het gebruik van een dergelijke aanpak kan tot discussies leiden in het geval de berekende concentraties van een of meerdere stoffen dicht in de buurt liggen van de gestelde grenswaarden.

### 3.2 Interpolatie van meteo

Een andere optie is om vanuit de gegevens van het KNMI middels een interpolatie een dekkend veld van jaargemiddelde windsnelheden te genereren. Voordelen van een dergelijke aanpak zijn onder meer een kleinere spreiding, geen grenzen en uniformiteit met de huidige bepaling voor de achtergrondconcentraties.

Op de website van het KNMI kan informatie gevonden worden over de gemiddelde jaarlijks gemeten windsnelheid over de periode 1971-2000. Deze informatie is als een figuur te downloaden en wordt weergegeven in Figuur 10. Zoals al eerder is vastgesteld is te zien dat het grootste verloop van de windsnelheid in de kustregio's plaatsvindt. Aan de kust is er sprake van een relatief hoge windsnelheid die daarna boven land snel afneemt.



Figuur 10 Langjarig gemiddelden en extremen, tijdvak 1971- 2000: gemiddelde jaarlijks gemeten windsnelheid (bron: KNMI, [http://www.knmi.nl/klimatologie/normalen1971-2000/wind\\_jaargemiddelde.html](http://www.knmi.nl/klimatologie/normalen1971-2000/wind_jaargemiddelde.html)).

De kaart met langjarig gemiddelde windsnelheden is echter door het KNMI aangemaakt op basis van zowel geïnterpoleerde data als *expert judgements*. Er is, volgens het KNMI, geen digitale versie van de kaart beschikbaar waarmee voor elke kilometervak in Nederland de windsnelheid kan worden afgelezen. Daarom is er in de huidige studie gekozen voor een aanpak waarbij er gekeken wordt naar de resultaten van een jaarlijkse interpolatie van alle beschikbare KNMI-stations over heel Nederland.

Het gekozen interpolatie-algoritme berekent de waarde in een interpolatiepunt (een gridcel)  $v_{int}$  als een gewogen gemiddelde van de waarden op de omliggende meetpunten  $v_i$ . In formulevorm:

$$v_{int} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot v_i \quad (2)$$

De weegfactor  $w_i$  is een functie van de afstand  $d_i$  tussen het meetpunt  $i$  en het interpolatiepunt volgens:

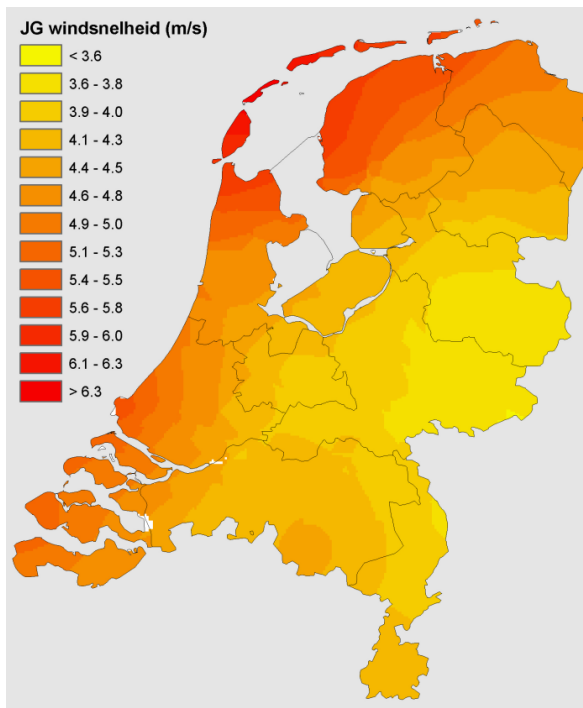
$$w_i = \frac{\exp(-d_i / d_s)}{\sum_{j=1}^n \exp(-d_j / d_s)} \quad (3)$$

De variabele  $d_s$  is de interpolatiestraal. De interpolatiestraal is een specifieke afstand die aangeeft op welke afstand de meetwaarden met elkaar gecorreleerd zijn en wordt doorgaans uit het semivariogram afgeleid. In de in dit rapport gebruikte benadering is gekozen voor een alternatieve aanpak. Hierbij wordt  $d_s$  zodanig gekozen dat de som van de kwadraatverschillen bij kruisvalidatie minimaal is. Kruisvalidatie is dat voor elk punt waarvoor een waarde bekend is, het kwadraatverschil bepaald wordt

tussen die waarde en de middels interpolatie verkregen waarde. Het meetpunt zelf wordt bij interpolatie niet meegenomen. In formulevorm, waarbij de bepaalde  $d_s$  gebruikt wordt voor de interpolatie op een regelmatig raster:

$$\min_{d_s} SSE = \left( \sum_{i=1}^n (w_i - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \exp(-d_{ij} / d_s) \cdot w_j)^2 \right) \quad (4)$$

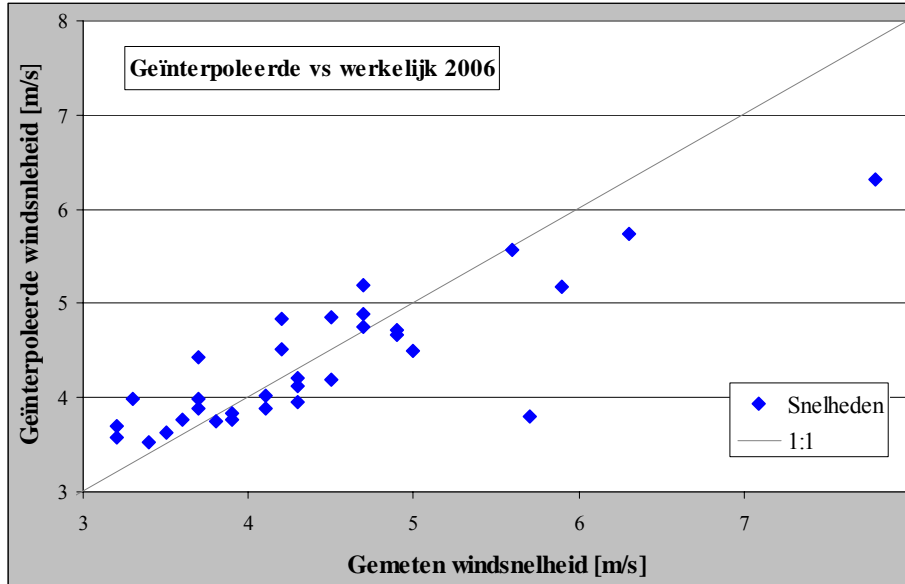
Ter illustratie is voor 2006 een interpolatie van de jaargemiddelde windsnelheden uitgevoerd. Hiervoor zijn de jaargemiddelde windsnelheden en de locatie in Amersfoortse coördinaten van 34 KNMI-stations gebruikt. Voorts is gerekend met een gridcelafmeting van 1 km (in zowel de x- als y-richting), een dynamisch bepaalde interpolatiestraal van 35 km en een zoekstraal van 150 km. In Figuur 11 wordt de geïnterpoleerde gemiddelde windsnelheid over heel Nederland weergegeven.



Figuur 11 Interpolatie van de jaargemiddelde windsnelheid van 34 KNMI-stations voor 2006.

De geïnterpoleerde jaargemiddelde windsnelheid voor 2006 lijkt sterk op het beeld voor het langjarig gemiddelde windsnelheid van het KNMI (zie Figuur 10). Het verschil, waarbij er voor de interpolatie minder gradiënten zijn dan voor het langjarige gemiddelde, wordt veroorzaakt door zowel het interpolatiealgoritme als door de hoeveelheid beschikbare en gebruikte data.

In Figuur 12 worden de feitelijk op stations gemeten windsnelheden vergeleken met de snelheden die op basis van de uitgevoerde interpolatie zijn bepaald.



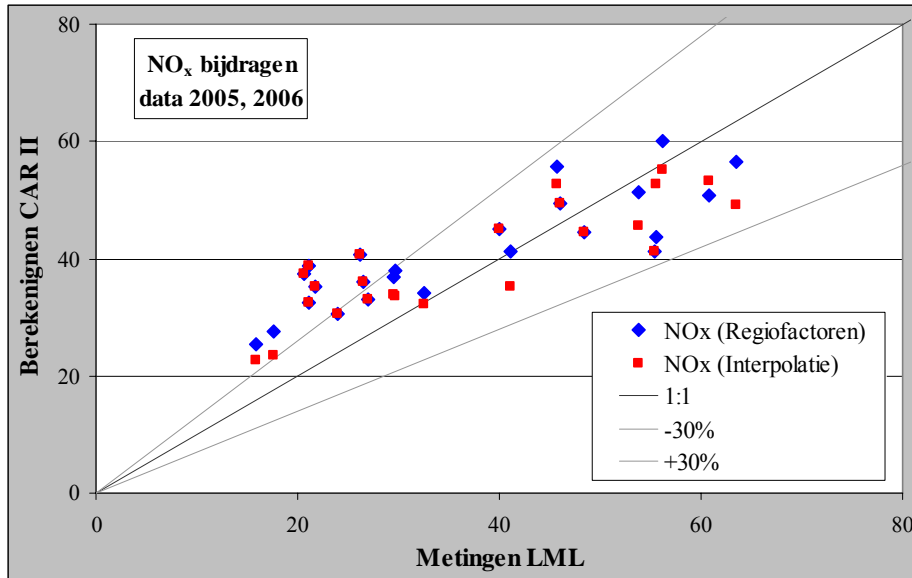
Figuur 12 Een vergelijking tussen gemeten en geïnterpoleerde windsnelheden.

Aangezien de punten zelf zijn gebruikt voor het bepalen van het geïnterpoleerde windveld is de overeenkomst tussen gemeten en berekende windsnelheden goed. Echter, bij het bepalen van de overeenkomst tussen de gemeten en bepaalde regionsnelheden zijn de onderliggende gemeten snelheden ook gebruikt bij de bepaling van de regionsnelheden. Voor de in de Figuren 3 en 12 getoonde data is onderzocht hoe groot de gemiddelde directe, kwadratische en absolute afwijkingen zijn tussen de gemeten windsnelheden en die welke op basis van de vaste regio-indeling of de interpolatie zijn bepaald; de resultaten worden gepresenteerd in Tabel 5.

Tabel 5 Gemiddelde directe, kwadratische en absolute afwijkingen tussen windsnelheden voor 2006.

|                  | <b>Gemiddeld<br/>verschil</b> | <b>Gemiddeld<br/>kwadratisch verschil</b> | <b>Gemiddeld absoluut<br/>verschil</b> |
|------------------|-------------------------------|---|--|
| Discrete regio's | -0,06                         | 0,36                                      | 0,47                                   |
| Interpolatie     | 0,06                          | 0,31                                      | 0,39                                   |

Om het effect van geïnterpoleerde regiofactoren op de concentraties ten opzichte van gebruik van de standaard regiofactoren te bepalen is een testset van CAR II-berekeningen en metingen van het LML gebruikt (Wesseling et al., 2007; Wesseling en Sauter, 2007). In deze testset worden specifiek de berekende NO<sub>x</sub> bijdragen van verkeer vergeleken met metingen. In Figuur 13 worden de gemeten en berekende concentratiebijdragen vergeleken bij gebruik van de regiofactoren en bij gebruik van meteorologische correcties op basis van het geïnterpoleerde windveld ter plaatse van het LML-station.



Figuur 13 Invloed van het gebruik van regiofactoren en het geïnterpoleerde windveld op de NO<sub>x</sub>-concentraties.

Uit Figuur 13 is op te maken dat de op basis van de interpolatie berekende concentraties structureel iets dichter bij de diagonaal liggen dan standaard het geval is. Slechts in een enkel geval wordt de overeenkomst tussen berekende en gemeten concentratiebijdragen slechter.

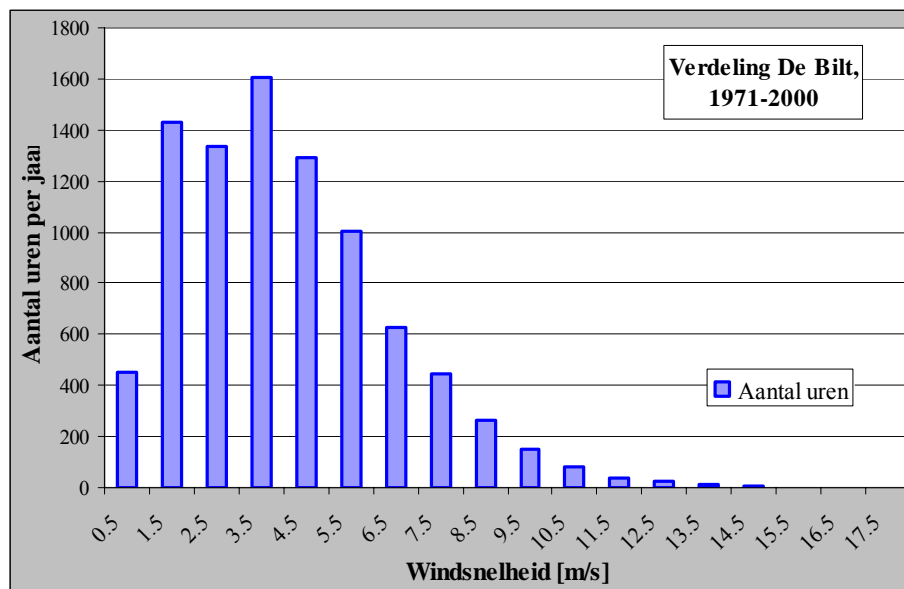
De wortel uit de gemiddelde kwadratische afwijking is bij toepassing van de geïnterpoleerde meteorologie 10% lager dan bij toepassing van de standaard regiofactoren. De gemiddelde absolute afwijking neemt 20% af. Hieruit kan worden geconcludeerd dat toepassing van geïnterpoleerde meteorologie tot een (aanmerkelijk) betere overeenkomst tussen CAR II-berekening en metingen van het LML leidt.

Een verfijning van de interpolatie zou kunnen zijn dat de langjarig gemiddelde windsnelheden, zoals weergegeven in Figuur 10, als basis worden gebruikt welke dan voor elk jaar wordt gefit aan de in dat jaar optredende omstandigheden. Helaas is er momenteel geen digitale versie van de kaart met langjarig gemiddelde windsnelheden beschikbaar.

### 3.3 Weging van de optredende windsnelheden

De bijdrage van een bron aan de concentratieniveaus in de omgeving is omgekeerd evenredig met de gemiddelde windsnelheid ter plaatse. Bij lage windsnelheden is de concentratiebijdrage hoog en bij hoge windsnelheden is de concentratiebijdrage laag. De jaargemiddelde windsnelheid ( $u_{jm}$ ) is slechts beperkt een maat voor de jaargemiddelde bijdrage van een bron aan de concentratieniveaus in de omgeving. Immers, verschillende mogelijke verdelingen van optredende windsnelheden kunnen wel dezelfde jaargemiddelde windsnelheid opleveren maar, omdat concentratiebijdragen met één gedeeld door de windsnelheid schalen, kan de jaargemiddelde concentratiebijdrage toch anders uitkomen. Voor een correcte behandeling is het dus nodig om niet alleen de gemiddelde windsnelheid te bepalen maar ook de wijze waarop deze is opgebouwd.

In Figuur 14 is het aantal uren per jaar dat bepaalde windsnelheden in De Bilt voorkomen, in de periode 1971-2000, weergegeven.



Figuur 14 Aantal uren per jaar dat bepaalde windsnelheden in De Bilt voorkomen (periode 1971- 2000).

In het TNO Verkeersmodel, dat de basis vormde voor het CAR II-model, wordt de weging over windsnelheden in rekening gebracht door eerst de windsnelheid  $u$  te classificeren en vervolgens een gewogen som te bepalen over de inverse snelheden.



De windklassen uit het TNO Verkeersmodel zijn als volgt gedefinieerd:

Tabel 6 Definitie van de windklassen (TNO Verkeersmodel).

| Windklasse | Minimale<br>windsnelheid<br>[m/s] | Maximale<br>windsnelheid <sup>2</sup><br>[m/s] | Gemiddelde<br>windsnelheid<br>[m/s] |
|------------|-----------------------------------|--|-------------------------------------|
| 1          | 0                                 | 2,75   | 1,45                                |
| 2          | 2,75                              | 5,75   | 4                                   |
| 3          | 5,75                              | -  | 8                                   |

Voor de snelheidsklassen 1, 2 en 3 worden de frequenties van voorkomen in een bepaalde periode  $f_{1,2,3}$  bepaald aan de hand van uurlijkse gegevens. Met deze frequenties kan een *effectieve* jaargemiddelde windsnelheid  $u_{jm,e}$  worden gedefinieerd voor gebruik in de berekening van de concentratie:

$$u_e = \frac{f_1 + f_2 + f_3}{\frac{f_1 \cdot c_1}{1,45} + \frac{f_2 \cdot c_2}{4,0} + \frac{f_3 \cdot c_3}{8,0}} \quad (5)$$

In deze formule wordt gebruikgemaakt van de  $c_{1,2,3}$ -factoren die oorspronkelijk in het TNO Verkeersmodel zijn ingevoerd om meteorologische en emissieverschillen tussen de dag en de nacht mee te wegen. De  $c_{1,2,3}$  zijn gelijk aan 0,8, 1,0 en 1,1. Rekenen met de effectieve windsnelheid  $u_{jm,e}$  in plaats van met de jaargemiddelde windsnelheid brengt dus de opbouw van de jaargemiddelde windsnelheid in rekening en resulteert daarmee in een nauwkeurigere berekening van de concentratiebijdrage.

Volgens Van den Hout en Baars (1988) is de correctiefactor voor de meteorologie in de regio, de regiofactor, gelijk aan de verhouding tussen de potentiële windsnelheid<sup>3</sup> op Schiphol en die ter plaatse van de regio<sup>4</sup>. Hierbij is in het betreffende rapport aangetekend dat de jaargemiddelde concentratie bij benadering hetzelfde verband met de jaargemiddelde windsnelheid vertoont. Verschillen in frequenties van voorkomen van verschillende windsnelheidsklassen, dus verschillen in de effectieve windsnelheden, zijn verwaarloosd. Verder wordt gemeld dat de basisberekening van de verdunningsfuncties in CAR is bepaald met het TNO Verkeersmodel en met de meteorologie van Schiphol.

De door Van den Hout gebruikte potentiële windsnelheid is echter onafhankelijk gemaakt van het effect van lokale bebouwing en ruwheid op de windsnelheid ter plaatse terwijl dit voor de berekening van de lokale concentratiebijdragen juist wel van belang is. In de bepaling van de regiofactoren in CAR II zou strikt genomen niet de verhouding van de gemiddelde potentiële windsnelheden moeten worden gebruikt, maar de verhouding van de effectieve windsnelheden aangezien deze het meest bepalend is voor de grootte van de concentratiebijdragen.

<sup>2</sup> Snelheden gelijk aan de bovengrens vallen in de klasse behorende bij die bovengrens.

<sup>3</sup> In Bijlage 1 wordt de volledige definitie van de potentiële windsnelheid volgens het KNMI gegeven.

<sup>4</sup> Een nadeel van het gebruik van potentiële windsnelheden is dat volgens het KNMI de potentiële wind niet geschikt is voor expertises in een juridische context omdat de potentiële wind naar aanleiding van nieuw onderzoek herzien kan worden.

De in CAR II gehanteerde definitie van de regiofactor luidt:

$$F_{regio} = \frac{u_{jm|Schiphol}}{u_{jm|regio}} \quad (6)$$

De effectieve regiofactor kan analoog hieraan worden geschreven als:

$$F_{regio,e} = \frac{u_{jm,e|Schiphol}}{u_{jm,e|regio}} \quad (7)$$

Het is dus wenselijk om expliciet na te gaan in hoeverre de verhouding tussen de gemiddelde windsnelheden in verschillende regio's of tijdvakken gelijk is aan de verhouding van de effectieve snelheden.

Voor de jaren 2003 tot 2006 en de locaties Schiphol en Eindhoven is nagegaan wat de gemiddelde gewone en effectieve windsnelheden zijn geweest. Omdat de meteorologie in de periode voorafgaand aan 1988 als basis is gebruikt bij de bepaling van de verdunningsfuncties in CAR zijn voor die periode ook de gemiddelden van de potentiële en effectieve potentiële windsnelheden bepaald. Alle gebruikte data voor de jaren na 2000 zijn betrokken van de KNMI-website (bron: Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut). De uurlijkse windsnelheden voor Schiphol in de periode 1981-1988 zijn betrokken uit het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit van het RIVM.

Tabel 7 Jaargemiddelde windsnelheden.

| Jaar       | Schiphol |            |                     | Eindhoven |            |                     |
|------------|----------|------------|---------------------|-----------|------------|---------------------|
|            | $u_{jm}$ | $u_{jm,e}$ | $u_{jm,e} / u_{jm}$ | $u_{jm}$  | $u_{jm,e}$ | $u_{jm,e} / u_{jm}$ |
| 1981-1988  | 4,91     | 3,56       | 0,73                |           |            |                     |
| 2003       | 4,56     | 3,55       | 0,78                | 3,52      | 2,98       | 0,85                |
| 2004       | 4,98     | 3,72       | 0,75                | 3,81      | 3,12       | 0,82                |
| 2005       | 4,76     | 3,65       | 0,77                | 3,63      | 3,05       | 0,84                |
| 2006       | 4,97     | 3,84       | 0,77                | 3,89      | 3,2        | 0,82                |
| Gemiddelde | 4,82     | 3,69       | 0,77                | 3,71      | 3,09       | 0,83                |

De gemiddelde (effectieve) regiofactoren voor Schiphol en Eindhoven over de periode 2003-2006 worden dan volgens de relaties (6) en (7):

Tabel 8 (Effectieve) regiofactoren.

| Locatie   | $F_{regio}$ | $F_{regio,e}$ | Vershil |
|-----------|-------------|---------------|---------|
| Schiphol  | 1,02        | 0,96          | 6 %     |
| Eindhoven | 1,32        | 1,15          | 15 %    |

Het maakt dus uit of de regiofactor in CAR wordt gebaseerd op de verhouding van de jaargemiddelde windsnelheden of op basis van de effectieve jaargemiddelde windsnelheden. Voor Schiphol en Eindhoven maakt dit 6% respectievelijk 15% uit in de waarde van de regiofactor en dus ook in de berekende concentraties. Gebruik van ofwel de standaard regiofactor ofwel de effectieve regiofactor leidt tot een andere verhouding in concentratiebijdragen, die voor inerte stoffen kan oplopen tot 15%. Het verdient aanbeveling om na te gaan of dit effect ook voor andere locaties in Nederland optreedt.

## 4 Conclusies en aanbevelingen

### 4.1 Conclusies

Op basis van de resultaten van de uitgevoerde studie kan het volgende worden geconcludeerd:

- Binnen verschillende regio's worden betrekkelijk grote verschillen in gemiddelde windsnelheden gevonden die voor een groot deel lineair doorwerken in concentratieverschillen.
- De gemiddelde windsnelheden in verschillende regio's zijn de laatste zeventien jaren met maximaal 15% afgenomen. Concentratiebijdragen van een vaste emissie zijn hierdoor met eenzelfde percentage toegenomen.
- Langs de kust verlopen de windsnelheden sterk. De effecten van een vaste emissie op de concentratiebijdragen verlopen evenzo sterk.
- Aan de grenzen van verschillende regio's kunnen sprongen tot 25% in de gemiddelde windsnelheid en dus concentratiebijdrage optreden.
- Het is simpel om een gemiddelde windsnelheid over Nederland te interpoleren en deze in plaats van de vaste regio's te gebruiken. De overeenkomst tussen berekende en gemeten concentratiebijdragen op locaties van het LML neemt wezenlijk toe.
- De huidige praktijk om de regiofactoren te baseren op verhoudingen van gemiddelde windsnelheden is in principe niet correct. Gebruik van een effectieve windsnelheid is beter.
- Het effect van gebruik van correct gewogen windsnelheden op berekende concentratiebijdragen kan oplopen tot circa 15% in het binnenland.

### 4.2 Aanbevelingen

Op basis van de resultaten van de uitgevoerde studie kan het volgende worden aanbevolen:

- Gebruik voor elk kilometervak zoals dat in CAR II is gedefinieerd geïnterpoleerde meteofactoren in plaats van de huidige regiofactoren.
- Er kan voor gekozen worden om het beeld van de langjarig gemiddelde windsnelheid van het KNMI voor elk jaar te schalen naar de voor dat jaar geldende snelheden.
- Doe nader onderzoek naar de effecten van gewogen potentiële windsnelheden op de concentratiebijdragen en voer dit system eventueel in.

## Literatuur

Hout KP van den, Baars HP. 1988. Ontwikkeling van twee modellen voor de verspreiding van luchtverontreiniging door verkeer: Het TNO-verkeersmodel en het CAR-model. TNO Rapport R88/120.

Hurk B van den, Klein Tank A, Lenderink G, Ulden A van, Oldenborgh GJ van, Katsman C, Brink H van den, Keller F, Bessembinder J, Burgers G, Komen G, Hazeleger W en Drijfhout S. 2006. WR 2006-01: KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands.

Jonkers S en Teeuwisse SD. 2007. Handleiding bij software pakket CAR II versie 6.0. TNO rapport R 2007-A-R-0394/B.

Staatscourant. 2006. Staatscourant 215. 3 november 2006.

Teeuwisse, SD. 2003. CAR II: Aanpassing van CAR aan de nieuwe Europese richtlijnen. TNO Rapport 2003/119.

Velders GJM, Aben JMM, Beck JP, Blom WF, Dam JD van, Elzenga HE, Geilenkirchen GP, Hoen A, Jimmink BA, Matthijsen J, Peek CJ, Velze K van, Visser H, Vries WJ de. 2007. Concentratiekaarten voor grootschalige luchtverontreiniging in Nederland. Rapportage 2007. MNP rapport 500088001.

Wesseling JP en Sauter FJ. 2007. Kalibratie van het model CAR II aan de hand van metingen van het LML RIVM Rapport 680705004/2007.

Wesseling JP, Mooibroek D, Pul WAJ van. 2007. Een vergelijking tussen met CAR II versie 5.0 berekende concentraties en metingen van het LML. RIVM rapport 680600003/2007.

## Bijlage

### *Definitie potentiële windsnelheid*

Volgens de website van het KNMI<sup>5</sup> is potentiële wind:

- wind die gecorrigeerd is voor omgevingseffecten zoals beschutting door bebouwing of vegetatie;
- boven land een schatting van de wind die gemeten had kunnen worden wanneer de meting gedaan was op 10 m hoogte in een open en vlakke omgeving (ruwheid gelijk aan die van gras, ruwheidslengte = 0,03 m).;
- over zee een schatting van de wind die gemeten had kunnen worden wanneer de meting gedaan was op 10 m hoogte boven water met de ruwheid die water hebben kan bij harde wind (ruwheidslengte = 0,002 m);
- homogener zowel in windrichting, ruimte en tijd dan de gemeten wind door het toepassen van deze correcties;
- afgeleid van de uurgemiddelde windsnelheid; de windrichting is een 10-minuut gemiddelde en is niet gewijzigd ten opzichte van de gemeten windrichting.

De potentiële wind is niet geschikt voor expertises in een juridische context omdat de potentiële wind naar aanleiding van nieuw onderzoek herzien kan worden.

De correctie is:

- bepaald uit een analyse van de vlagerigheid van de wind op het station zelf;
- een functie van de windrichting. De functie kan variëren in de tijd;
- pas na verloop van een aantal jaren ‘definitief’ vast te stellen; daardoor kan de potentiële wind nog herzien worden.

---

<sup>5</sup> [http://www.knmi.nl/klimatologie/onderzoeksgegevens/potentiele\\_wind/uitleg.html](http://www.knmi.nl/klimatologie/onderzoeksgegevens/potentiele_wind/uitleg.html).