

TRENDS IN PM₁₀- EN NO₂-CONCENTRATIES

EEN GEZAMENLIJKE TRENDANALYSE VAN DE MEETSTATIONS BEHEERD DOOR RIVM, DCMR EN GGD AMSTERDAM

Voor het eerst hebben de meetnetten van het RIVM, de DCMR en de GGD Amsterdam de trend in luchtkwaliteit gezamenlijk geanalyseerd. De PM₁₀- en NO₂-concentraties dalen tussen 1993 en 2010.

RONALD HOGERBRUGGE, LAN NGUYEN, JOOST WESSELING, ANDRÉ SNIJDER, YAÍR STOKKERMANS, JAAP VISSER, SASKIA VAN DER ZEE*

Inleiding

De verbetering van de luchtkwaliteit, die in de jaren '60 van de vorige eeuw is ingezet, lijkt rond de eeuwwisseling gestagneerd te zijn. Dat is althans de boodschap die de GGD Amsterdam al diverse malen heeft uitgedragen op basis van trendanalyses van de sinds 1999 in Amsterdam gemeten PM₁₀- en NO₂-concentraties^{1,2}. Ook de DCMR heeft gerapporteerd dat er sinds 2004 geen daling meer is te zien in de NO₂-concentratie op verkeersbelaste stations. DCMR ziet echter wel een daling van de PM₁₀-concentraties.³ Het RIVM rapporteerde in 2008 dat op verkeersbelaste stations PM₁₀- noch NO₂-concentraties daalden in de periode 2000-2007.⁴ In 2010 verscheen een BOP (beleidsgericht onderzoeksprogramma fijn stof)-rapport waarvoor de sinds 1993 op LML (Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit)-stations gemeten PM₁₀-concentraties uitgebreid zijn geanalyseerd en gecorrigeerd voor weersinvloeden. De conclusie was dat de PM₁₀-concentraties sinds de eeuwwisseling weliswaar minder sterk dalen dan in de jaren daarvoor, maar dat de trend in de concentraties niet significant afwijkt van de trend in de berekende uitstoot

van primair en secundair antropogeen (door de mens veroorzaakt) PM₁₀.⁵ Hoewel de berichtgeving van de drie meetinstanties over de trends in grote lijnen hetzelfde was, zijn er toch kleine verschillen. Deze kunnen zijn veroorzaakt door o.a.:

- verschillen in de onderzochte periode;
- verschillen in de manier van analyseren;
- weersinvloeden;
- wijzigingen in meetmethodie.

Door de meetgegevens van RIVM, DCMR en GGD op uniforme wijze en voor dezelfde jaren te analyseren, neemt de zeggingskracht van de trendanalyse sterk toe. Daarnaast biedt het meer mogelijkheid om verschillen tussen regio's in Nederland en tussen type stations (regionale achtergrond, stadsachtergrond, verkeersbelast) te analyseren.

Het doel van deze gezamenlijke trendanalyse is om tot een gezamenlijk

gedragen beeld van de trendmatige ontwikkeling van de concentraties te komen.

Meetgegevens en de analyse-methode van de trends

Meetgegevens

Trendanalyse wordt in het ideale geval toegepast op lange meetreeksen met dezelfde meetmethode. Wijzigingen in de meetmethoden kunnen leiden tot systematische verschillen. Dit is van invloed op de trend. Verandering van instrument of meetmethode is in de praktijk onontkoombaar. Voor een goede trendanalyse is het aan te bevelen om systematische verschillen zo nauwkeurig mogelijk vast te stellen en er eventueel voor te corrigeren. Voor de periode tot en met 2003 zijn de PM₁₀-meetdata op regionale LML-stations gecorrigeerd met -5% ten gevolge van de inzet van verschillende instrumenten. Dit systematisch verschil is veel kleiner dan de meetonzeker-

VERGELIJKINGEN TUSSEN OUDE EN NIEUWE MONITOREN (ONDER MEER BINNEN HET LML) GEVEN GEEN AANLEIDING OM EEN SIGNIFICANT SYSTEMATISCH VERSCHIL TE VERONDERSTELLEN

kerheid voor PM_{10} (typisch 15-25%). Op de stedelijke LML-stations is geen aanleiding om een systematisch verschil te veronderstellen. DCMR en GGD hebben voor de betrokken meetdata steeds dezelfde instrumenten gebruikt om PM_{10} te meten.

In de periode 2006-2010 hebben alle drie de meetnetten hun NO_2 -monitor vervangen. Vergelijkingen tussen oude en nieuwe monitoren (onder meer binnen het LML) geven geen aanleiding om een significant systematisch verschil te veronderstellen. Een monitorwissel zal altijd (zelfs na de beste correctie) een extra onzekerheid in de trendanalyse introduceren. In dit artikel is deze extra onzekerheid in de analyses nog niet verwerkt.⁶

Data-analyse

De trendanalyses zijn met behulp van lineaire regressie uitgevoerd. Lineaire regressie gaat uit van een rechte lijn in de meetreeks. Een voorbeeld is figuur 1. De figuur toont de meetreeks van de jaargemiddelde NO_2 - en PM_{10} -concentraties op regionale LML-stations over de periode 1993-2010. De helling van de lijn is de trend. De gestippelde lijnen boven en onder de doorgetrokken lijn geven de onzekerheid aan (als 95% van het betrouwbaarheidsinterval). Deze analyse is per component voor alle stations en voor alle meetreeksen uitgevoerd. Voor NO_2 zijn 50 en voor PM_{10} zijn 43 stations geanalyseerd. Tabel 1 toont de verdeling van de stations over de stationstypen en de meetinstanties.

De trend is in alle figuren weergegeven als de hellingshoek van de lijn die is berekend met lineaire regressie. Deze geven aan wat de verandering is in concentratie in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per jaar. De gefitte hellingen hebben een onzekerheid. De staafdiagrammen onderin figuur 1 geven het 95% betrouwbaarheidsinter-

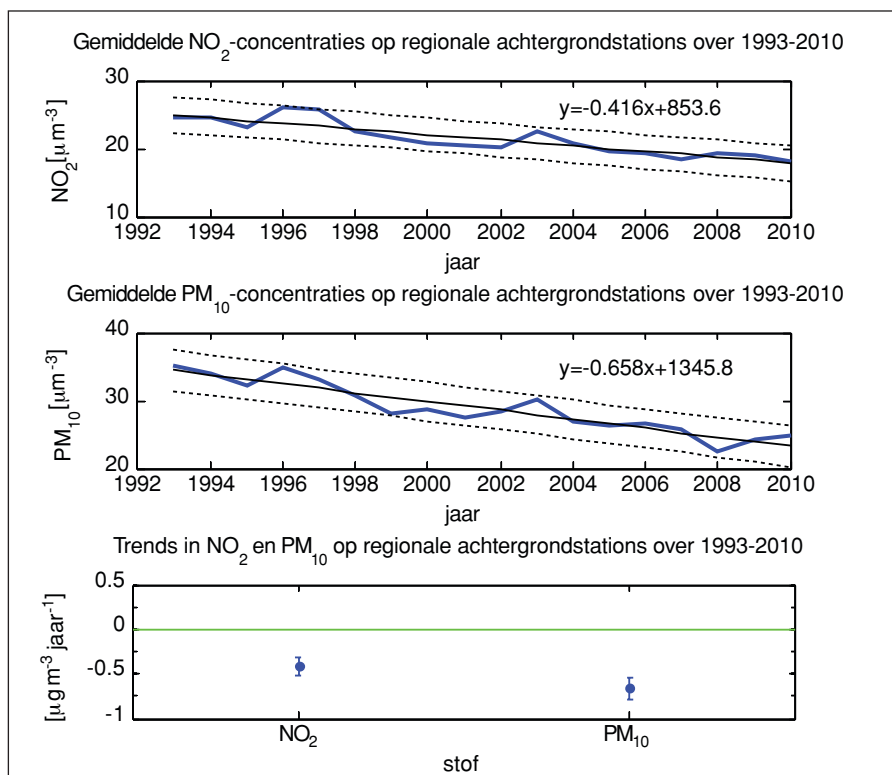
Tabel 1: Aantal stations die in de analyse van de trend in NO_x - en PM_{10} -concentraties zijn meegenomen.

Type station	NO_x	PM_{10}
Regionale achtergrond	22 (allen LML)	17 (allen LML)
Stadsachtergrond	11 (6 LML, 2 GGD, 3 DCMR)	10 (6 LML, 1GGD, 3 DCMR)
Straat	17 (10 LML, 4 GGD, 3 DCMR)	16 (12 LML, 2 GGD, 2 DCMR)
Totaal	50	43

val van de helling weer. Een trend is significant dalend wanneer het hele betrouwbaarheidsinterval negatief is. Bijvoorbeeld: een geschatte trend van $-1,0 \pm 0,5$, betekent dat de afname met 95% zekerheid tussen $-1,5$ en $-0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per jaar ligt. In beide gevallen is de

waarde negatief en dus is de trend significant dalend. Als de trend $-1,0 \pm 1,2$ is, dan is de daling niet significant. De data-analyse kan worden verstoord indien te veel data ontbreken, bijvoorbeeld door technische problemen. Daarom is een ondergrens van 75%

Figuur 1: Verloop van gemiddelde NO_2 - (bovenste figuur) en PM_{10} -concentraties (middelste figuur) op regionale achtergrondlocatie. De doorgetrokken zwarte lijnen zijn de trendlijnen. De helling van de trendlijn is de trend ($-0,4 \mu\text{g } NO_2/\text{m}^3/\text{jaar}$ met een 95% btbhi van $-0,5$ tot $-0,3 \mu\text{g } NO_2/\text{m}^3/\text{jaar}$ en $-0,7 \mu\text{g } PM_{10}/\text{m}^3$ met een 95% btbhi van $-0,8$ tot $-0,6 \mu\text{g } PM_{10}/\text{m}^3/\text{jaar}$). In de onderste figuur zijn deze trends weergegeven. De staven geven de 95% betrouwbaarheidsintervallen aan ($2 \times$ standaarddeviatie).



databeschikbaarheid gehanteerd. Dit geldt zowel voor het aantal dagen in een jaar als voor het aantal jaren in een reeks.

Om optimaal gebruik te kunnen maken van de beschikbare meetinformatie is de trendanalyse uitgevoerd voor drie verschillende perioden, namelijk 1993-2010, 1999-2010 en 2004-2010. In het beginjaar van elke periode vonden uitbreidingen en/of herinrichtingen van de diverse meetnetten plaats. Dit biedt bovendien ook de mogelijkheid om na te gaan of de trend anders is over verschillende perioden. Het is te verwachten dat de onzekerheid in de trend klein is bij lange perioden en steeds groter wordt bij kortere perioden.⁵

Correctie voor meteorologische condities

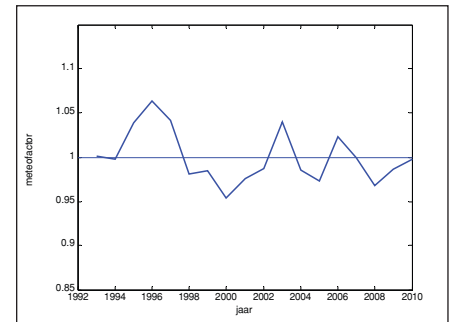
Naast emissies beïnvloeden ook de meteorologische condities de luchtkwaliteit. Een nat jaar geeft lagere PM₁₀-concentraties. Een extreem koude winter (1996-1997 met de laatste Elfstedentocht) of een hete droge zomer (2003) leiden tot hogere PM₁₀-concentraties. Extreem hoge of lage temperatuur in Nederland gaat over het algemeen gepaard met oostenwind en weinig neerslag. Dit is nadelig voor de PM₁₀-concentraties. De trend kan nauwkeuriger worden vastgesteld als de concentraties voor weersinvloeden worden gecorrigeerd. Voor PM₁₀ is het Multi Variabelen Regressie-model van het RIVM gebruikt.⁵ Met dit model is de onzekerheid in de berekende trend met 30% gereduceerd. De indicatoren van dit model zijn: temperatuur, neerslaghoeveelheid, lengte van droge perioden, relatieve vochtigheid en windrichting. In figuur 2 is te zien dat deze ongunstige meteorologische condities in 1996 tot verhoogde PM₁₀-concentraties van ongeveer 6% hebben geleid. Op een jaargemiddelde van 30 µg/m³ is dit ongeveer 2 µg/m³. Er is nog geen vergelijkbaar model voor

NO₂. De trends in NO₂ zijn daarom bepaald zonder correctie voor weersinvloeden. Uitgaande van de ervaringen met PM₁₀ is te verwachten dat een meteocorrectie voor NO₂ niet noodzakelijk de trend zal veranderen, maar wel de statistische onzekerheid zal verkleinen.

Resultaten en interpretatie

Trends in NO₂

In figuur 3 is de trend voor de regionale stations (bovenste figuur) weergegeven. Er is onderscheid gemaakt tussen de gemiddelde trend van alle stations en de drie luchtkwaliteitszones in Nederland (Noord, Midden en Zuid).⁷ Voor de trendanalyse is per zone het jaargemiddelde gebruikt. Voor de langste periode (1993-2010) daalt de NO₂-concentratie overal statistisch significant. Gemiddeld over



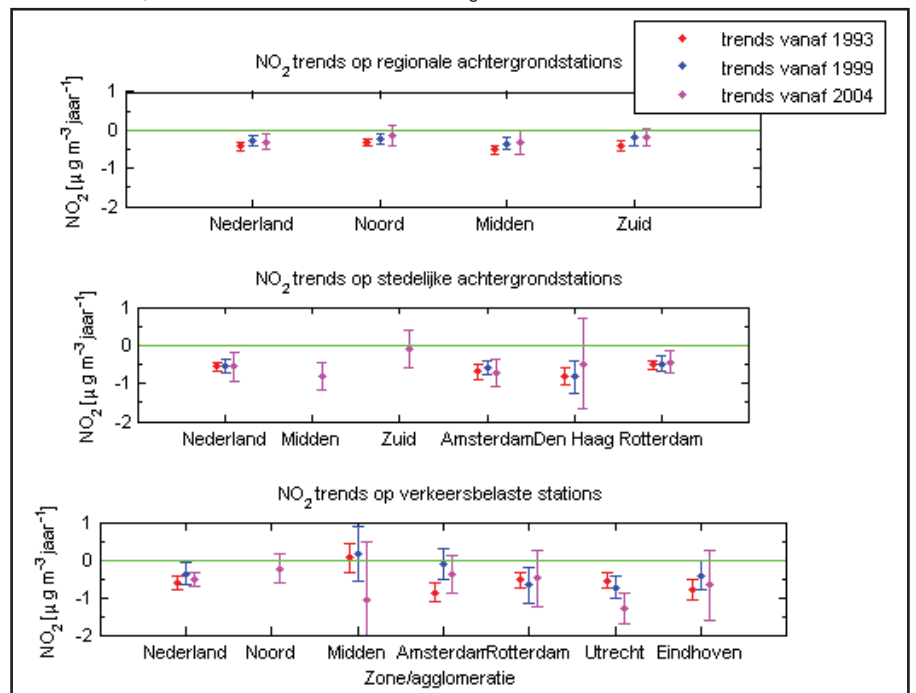
Figuur 2: Correctiefactor voor jaargemiddelde PM₁₀-concentratie. Een meteorologisch ongunstig jaar heeft een correctiefactor groter dan 1 (verhoogde PM₁₀-concentratie ten gevolge van het weer).

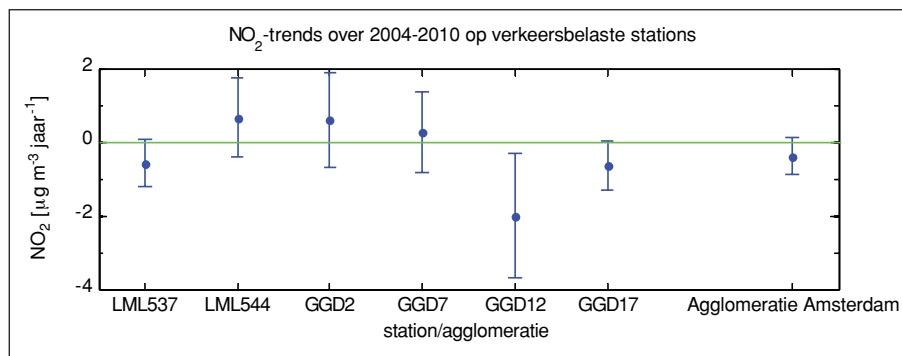
Nederland is de trend 0,4±0,1 µg/m³ per jaar. Voor de periode 1999-2010 is een significante daling waarneembaar van -0,3±0,1 µg/m³ per jaar.

Over de periode 1993-2010 is op stedelijke achtergrondstations gemiddeld over heel Nederland een dalende trend van 0,6±0,1 µg/m³ per jaar zichtbaar. Over de periode 1999-2010 is de trend -0,6±0,2 µg/m³ per jaar. Vanaf 2004 is de daling minder significant: de trend is -0,6±0,4 µg/m³ per jaar. Er lijkt dus niet veel verandering te zijn in de trend over verschillende perioden. De procentuele afname is steeds ongeveer 2% per jaar.

Uitgesplitst naar zones en agglomeraties worden de betrouwbaarheidsinter-

Figuur 3: Trends in NO₂-concentraties: gemiddeld over alle regionale, stedelijke achtergrond en verkeersbelaste stations in Nederland en per zone/agglomeratie. De trends zijn bepaald over drie perioden: van 1993 tot en met 2010, vanaf 1999 en vanaf 2004. De staven geven de 95% betrouwbaarheidsintervallen aan.





Figuur 4: Trends in NO_2 -concentraties gemeten op verkeersbelaste stations: trend per station en gemiddelde trend in de agglomeratie Amsterdam. (GGD2: Haarlemmerweg, GGD7: Einsteinweg (snelweg), GGD12: Van Diemenstraat, GGD17: Stadhouderskade, LML537: Amsterdamsevaart (Haarlem), LML544: Prins Bernhardplein).

vallen vooral voor de korte reeksen steeds groter. In de gemiddelde concentraties zijn er wel verschillen. Op basis van deze figuren is echter niet vast te stellen of er daadwerkelijke verschillen in de ontwikkeling van de NO_2 -concentraties zijn of dat de verschillen op toeval berusten.

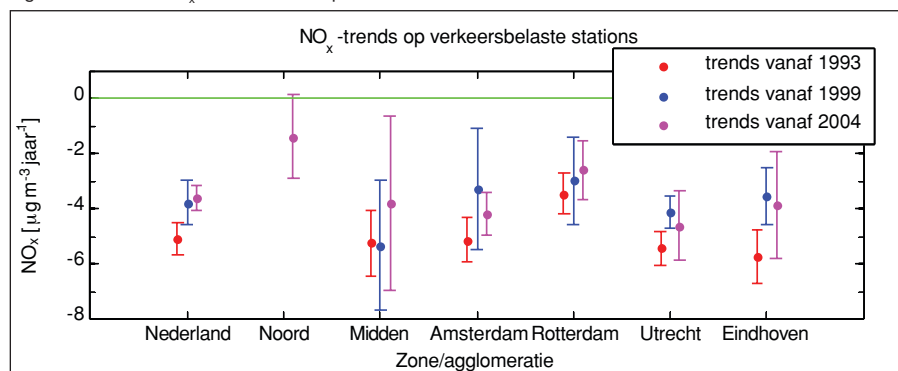
Voor de verkeersbelaste stations geldt grofweg hetzelfde. In de periode 1999-2010 is gemiddeld voor heel Nederland een daling te zien van $-0,4 \pm 0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per jaar, ofwel ongeveer 1% per jaar. Dit is nog net significant en minder sterk dan de daling van $-0,6 \pm 0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per jaar die voor de periode 1993-2010 werd gevonden. De onzekerheid in de trends voor de periode 2004-2010 is te groot om verschillen met de langere perioden te kunnen vaststellen.

Bij voortzetting van een gemiddelde dalende trend in NO_2 -concentratie van ca. $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per jaar op verkeersbelaste stations is de verwachte daling tussen nu en eind 2015 ca. $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Op zeven van de vijftien verkeersbelaste stations waarvoor valide data voor 2010 beschikbaar zijn, is een jaargemiddelde NO_2 -concentratie boven de $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemeten met een maximum van $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Indien op die locaties de gemeten generieke trend doorzet, zal in 2015 niet aan de grenswaarde van $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als jaargemiddelde worden voldaan. In het NSL zijn voor dit soort locaties extra maatregelen afgesproken. De verwachte ontwikkeling in de verkeersemisiefactoren is een jaarlijkse daling van ongeveer 3% (circa $1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$).⁸ Een dergelijke sterkere daling zal met de metingen gemakkelijker aantoonbaar zijn dan de daling over de laatste tien jaar.

Door combinatie van de LML- en GGD-meetstations is voor de agglomeratie Amsterdam bekeken of er duidelijke lokale verschillen binnen een agglomeratie zijn. Op het eerste gezicht zijn er forse verschillen, bijvoorbeeld tussen GGD12 (Van Diemenstraat) en LML544 (Prins Bernhardplein). Maar ook hier is op basis van deze figuren niet vast te stellen of die verschillen statistisch significant zijn. De trend op een individueel meetstation wordt vaak beïnvloed door (tijdelijke) verschillen in de verkeersaantallen en -afwikkeling. Voor het duiden van deze verschillen zijn adequate verkeersstellingen dan ook zeer belangrijk. De gepresenteerde lokale verschillen geven ook aan dat voorzichtigheid geboden is bij generalisatie van het resultaat van een enkel station. Voor NO_2 staan het ontwikkelen van een meteorocorrectie en nadere interpretaties van de hiervoor genoemde lokale verschillen op het programma van de drie meetinstanties.

Figuur 5 laat de ontwikkeling in de NO_x (is $\text{NO} + \text{NO}_2$)-concentraties zien. De daling is $3\text{-}5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per jaar, maar lijkt de afgelopen jaren minder sterk dan in

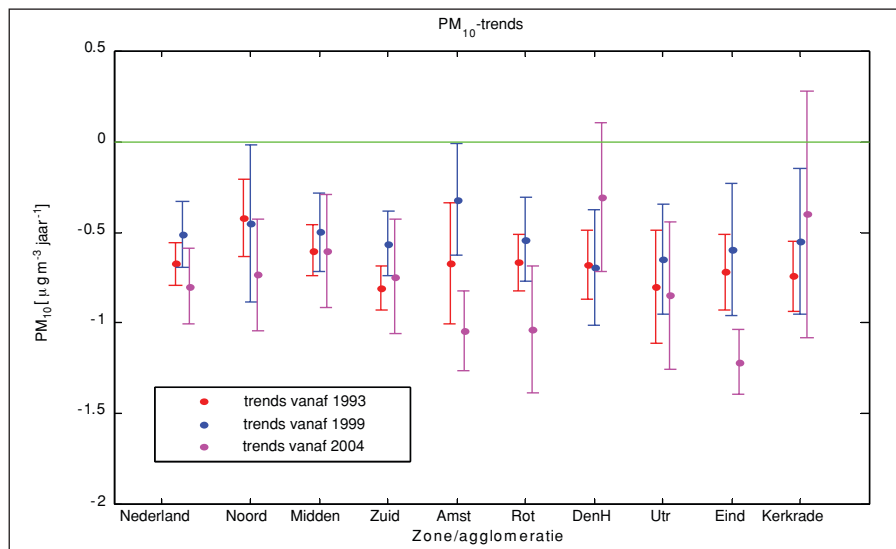
Figuur 5. Trend in NO_x -concentraties op verkeersbelaste stations.



eerdere jaren. De daling is zowel absoluut als ook relatief (4-6% per jaar) duidelijk sterker dan voor NO_2 (1-2% per jaar). Voor de in Nederland uitgevoerde berekeningen van de toekomstige luchtkwaliteit is effectief een gemiddelde daling van 6% per jaar gehanteerd. Deze aangenomen daling ligt voor de afgelopen tien jaar in de range van de gemeten dalingen. In hoeverre de daling in de NO_x -concentraties op deze wijze lineair doorzet, is onduidelijk. Een meer gedetailleerde analyse zal in het komende rapport worden besproken.⁸ Het verschil in ontwikkeling tussen NO_2 en NO_x wordt veroorzaakt door de toenemende hoeveelheid NO_2 die direct wordt uitgestoten⁴ en het feit dat niet alle NO_x wordt omgezet in NO_2 . Doordat de omzetting niet lineair verloopt, vertaalt een daling in NO_x zich ook niet evenredig in een daling in NO_2 .

Trends in PM_{10}

Het verkeer draagt maar voor een klein deel bij aan de totale PM_{10} -concentraties, terwijl bijvoorbeeld ook veehouderijen op regionale achtergrondstations substantiële PM_{10} -bronnen kunnen zijn. In dit trendonderzoek wordt daarom voor PM_{10} geen onderscheid gemaakt tussen verschillende stationstypen. Figuur 6 laat voor het gemiddelde van Nederland een significante daling van PM_{10} -concentraties



Figuur 6: Trends in PM₁₀-concentraties: gemiddeld over alle stations in Nederland en per zone/agglomeratie.

over alle perioden zien. Gemiddeld over heel Nederland bedraagt de trend vanaf 1999 $-0,5 \pm 0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per jaar. Vanaf 2004 daalt de PM₁₀-concentratie met $-0,8 \pm 0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per jaar. Voor de meeste individuele zones/agglomeraties zijn de dalingen ook significant. Voor de agglomeraties Kerkrade/Heerlen en Den Haag/Leiden is de dalende trend niet significant, maar hierbij speelt vooral de grootte van het betrouwbaarheidsinterval (mede veroorzaakt door het geringe aantal stations) een rol. In het BOP-rapport⁵ is de trend in originele PM₁₀-meetwaarden uitvoerig vergeleken met meteorogecorrigeerde trends. Hieruit bleek dat de correctie nauwelijks de waarde van de trend zelf veranderde, maar wel het betrouwbaarheidsinterval verkleinde.

In het BOP-rapport is beschreven dat de trend in de emissie van niet natuurlijk PM₁₀ $-0,6 \pm 0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bedraagt voor de periode 1993-2010 en $-0,5 \pm 0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor de periode 2000-2010.⁵ Deze schattingen komen goed overeen met de waargenomen gemiddelde trends in de metingen. Voor PM₁₀ is sinds 1993 een daling van gemiddeld ca. $0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per jaar zichtbaar. Over de totale periode van achttien jaar komt dit overeen met bijna $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Deze daling heeft betekend dat de in Nederland vrij algemene overschrijding van de grenswaarde voor PM₁₀ vrijwel is verdwenen. Sinds 1999 lijkt de daling kleiner dan in de

jaren daarvoor. Echter, de zorg, die enige tijd geleden ontstond, dat sinds 1999 er helemaal geen sprake meer is van afnemende PM₁₀-concentraties, is niet bewaarheid. Inmiddels is ook sinds 1999 een significante daling zichtbaar. De resultaten van de jaren 1996 en 2003 geven aan dat er af en toe jaren voorkomen met fors hogere PM₁₀-niveaus.

Conclusie

Voor PM₁₀ wordt over de hele analyseperiode een dalende trend van gemiddeld $0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ waargenomen. In 2010 is op geen van de meetlocaties de grenswaarde voor het jaar- en daggemiddelde overschreden. De verwachting is dat vanaf 2011 op alle Nederlandse meetlocaties wordt voldaan aan de Europese grenswaarden. Uitzonderingen zijn jaren met bijzonder ongunstige weersomstandigheden. Dit betekent echter niet per definitie dat ook in de berekeningen overal in Nederland aan de grenswaarden zal worden voldaan. Er wordt immers op veel meer locaties gerekend dan gemeenten.

Ook voor NO₂ is sinds 1993 een gestage daling zichtbaar. De daling voor NO₂ is veel kleiner dan de daling in de NO_x. Een belangrijke oorzaak hiervoor is onder andere de toename van de fractie NO₂ in de uitstoot van het wegverkeer. De atmosferische chemie die de omzetting van NO_x naar NO₂ bepaalt is een

tweede factor. Indien de trend in gemeenten concentraties wordt voortgezet, wordt in 2015 niet op alle plaatsen aan de grenswaarde voldaan. Daarvoor is een sterkere afname nodig dan tot nog toe is opgetreden.

Noten

1. Van der Zee, S., Woudenberg F. (2006). 'Stadslucht niet schoner geworden'. *Tijdschrift Lucht* 2006;5;11-17.
2. Woudenberg, F., Van der Zee, S., Dijkema, M. Trends in concentraties PM₁₀ en NO₂ in Amsterdam periode 1999-2007. <http://gezond.amsterdam.nl/GetDocument.ashx?documentID=2620>.
3. DCMR (2009), Lucht in cijfers.
4. Wesseling, J. en Beijck, R. Korte-termijn trend in NO₂ en PM₁₀ concentraties op straatstations van het LML. RIVM briefrapport 680705007/2008.
5. Hoogerbrugge, R., Denier van der Gon, H.A.C., Zanten, M.C. van, Matthijsen, J. (2010). BOP-report. Trends in Particulate Matter. ISSN1875-2322.
6. Voor meer informatie over de metingen wordt verwezen naar het gezamenlijke rapport dat medio 2011 wordt verwacht. Zie noot 7.
7. Mooibroek, D., Beijck, R., Hoogerbrugge, R. (2010). Jaaroverzicht Luchtkwaliteit 2009. RIVM-rapport 680704011/2010.
8. RIVM, DCMR en GGD. Gezamenlijk rapport over trends.

* Ronald Hoogerbrugge, Lan Nguyen en Joost Wesseling zijn werkzaam bij RIVM Centrum voor MilieuMonitoring. André Snijder en Yair Stokkermans zijn werkzaam bij DCMR. Jaap Visser en Saskia van der Zee zijn werkzaam bij GGD-Amsterdam, Cluster Leefomgeving, Afdeling Luchtonderzoek & Milieu en Gezondheid.