

Dossier 'Fijn stof'

6 Modelleren

Colofon

Dossier 'Fijn stof', hoofdstuk 6, 'Modelleren'.

Versie 1 © RIVM, Bilthoven, januari 2013.

Bij de samenstelling van de teksten in het Dossier 'Fijn stof' is in belangrijke mate gebruik gemaakt van teksten uit de volgende publicaties:

- Buijsman, E. (2007) *Een boekje open over fijn stof*. Tinsentiep, Houten.
- Buijsman, E., Beck, J.P., Van Bree, L., Cassee, F.R., Koelemeijer, R.B.A., Matthijsen, J., Thomas, R. & Wieringa K. (2005) *Fijn stof nader bekeken*. Rapport 500037008, Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven.
- Matthijsen, J. & Koelemeijer, R.B.A. (2010) *Beleidsgericht onderzoeksprogramma fijn stof. Resultaten op hoofdlijnen en beleidsconsequenties*. Rapport 500099013, Planbureau voor de Leefomgeving, Bilthoven/Den Haag.
- Velders, G.J.M., Aben, J.M.M., Jimmink, B.A., Geilenkirchen, G.P., Van der Swaluw, E., De Vries, W.J., Wesseling, J. & Van Zanten, M.C. (2012) *Grootschalige concentratie- en depositiekaarten Nederland: Rapportage 2012*. Rapport 680362002, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
- Indicatoren uit het Compendium voor de Leefomgeving.

Deze publicatie is samengesteld door E. Buijsman (Planbureau voor de Leefomgeving) met medewerking van J.P.J. Berkhout, F.R. Cassee, P.H. Fischer, R. Hoogerbrugge, A. Knol, F.A.A.M. de Leeuw, R.J.M. Maas, W. Mol, E. van der Swaluw en M.C. van Zanten (allen Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu), J. Matthijsen, W.L.M. Smeets en K. van Velze (Planbureau voor de Leefomgeving) en K.R. Krijgsheld (Ministerie van Infrastructuur en Milieu). Een aantal gegevens is verkregen dankzij de vriendelijke medewerking van D. de Jonge (GGD Amsterdam), P. Kumm, J.J.H. van den Elshout en Y. Stokkermans (DCMR Milieudienst Rijnmond), M.P. Keuken (TNO-Verkeer en luchtkwaliteit), M. Hermans (provincie Limburg), F. Fierens (IRCEL-CELINE), E. Roekens (Vlaamse Milieumaatschappij) en U. Dauert (Umweltbundesamt).

Bij de productie van de afbeeldingen zijn M.J.L.C. Abels-van Overveld, J.F. de Ruiter en R. de Niet van het Redactie Productie Team van het Planbureau voor de Leefomgeving bijzonder behulpzaam geweest.

Afbeelding voorkant: gemodelleerde concentraties van de fijnere fractie van fijn stof voor Europa in 2009. Bron: Transboundary Particulate Matter in Europe: Status Report 2011. EMEP Status Report 4/11, 2011.

6 Modelleren

Dit onderdeel van het Dossier 'Fijn stof' behandelt de wijze waarop met atmosferisch-chemische transportmodellen de stofconcentraties in lucht in Nederland worden berekend.

De belangrijkste constatering uit dit onderdeel zijn:

- Het gebruik van modellen maakt het mogelijk om op een schaal van 1 x 1 kilometer de grootschalige concentraties van stofvormige luchtverontreiniging te berekenen.
- Het gebruik van modellen maakt het mogelijk om in steden per 100 meter weglengte de concentraties van stofvormige luchtverontreiniging te berekenen.
- Meetpunten in steden kennen slechts een beperkte ruimtelijke representativiteit. De inzet van modellen is dan een kosteneffectieve manier om de stedelijke luchtkwaliteit mede te karakteriseren.

Gemodelleerde luchtkwaliteit

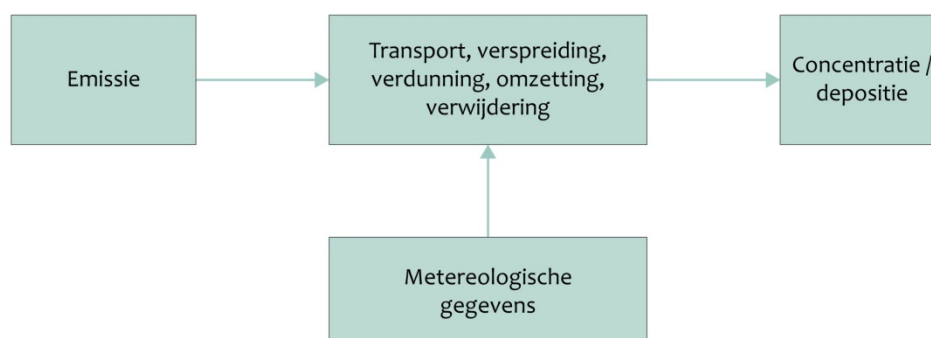
Stofvormige luchtverontreiniging en bestanddelen ervan worden in Nederland op een groot aantal plaatsen gemeten (-> 5. Meten). Meetpunten hebben echter een eindige ruimtelijke representativiteit. Vooral in steden is door de sterk wisselende concentraties over korte afstanden de representativiteit beperkt. Voor veel doeleinden is het echter gewenst om over concentratievelden met een hogere ruimtelijke resolutie te beschikken dan metingen op vaste meetpunten kunnen bieden. Voor dergelijke concentratievelden kunnen dan vaak atmosferisch-chemische transportmodellen, kortweg meestal 'modellen', worden ingezet.

Met een model wordt hier bedoeld een mathematisch algoritme, in feite een ingewikkeld rekenvoorschrift, dat het transport van luchtverontreiniging, en daarmee samenhangende fysische en chemische processen, in de atmosfeer beschrijft. Een model is hier dus eigenlijk niets anders dan een mathematische beschrijving van de atmosfeer en de processen die zich daarin afspelen, zij het op vereenvoudigde wijze.

Simpel gezegd komt het bij een model op het volgende neer. Luchtverontreiniging wordt op een plaats in een zekere hoeveelheid of met een zekere snelheid geproduceerd ('emissie'), komt in de atmosfeer terecht en wordt daarin meegenomen door de wind ('transport'), verspreid en verdund. De luchtverontreiniging kan soms ook in de atmosfeer omgezet worden in andere stoffen ('chemische omzetting'). En tot slot: stoffen kunnen weer uit de atmosfeer verwijderd worden ('verwijdering'). De aanwezigheid van een stof in de atmosfeer kan getalsmatig gekarakteriseerd worden ('concentratie'). Het verwijderingsproces leidt tot een flux naar bodem, water, enzovoorts ('depositie'). Een vereenvoudigd overzicht geeft afbeelding 6.1. Depositie kan nog worden onderverdeeld naar natte depositie en droge depositie. Natte depositie is een verwijderingsmechanisme via de neerslag (regen, sneeuw, hagel). Droge depositie is de directe flux van stoffen vanuit de atmosfeer naar het aardoppervlak.

Om een model goed zijn werk te kunnen laten doen zijn er dus verschillende soorten invoer informatie nodig:

- Emissie: ligging en sterkte van de bronnen en de hoogte waarop de emissie gebeurt.
- Meteorologie: weersgesteldheid, waaronder windrichting, windsnelheid, luchtvochtigheid, stralingsintensiteit, neerslagduur en -hoeveelheid.
- Chemie: chemische eigenschappen van de te modelleren stof, zoals reactiesnelheden, depositiegedrag en depositiesnelheden.



Afbeelding 6.1 Schematische opzet van een atmosferisch-chemisch transportmodel.

Een model produceert uiteindelijk informatie vaak in de vorm van kaarten met ruimtelijke patronen van (gemiddelde) luchtconcentraties over een zekere tijdsperiode. De ruimtelijke schaal die modellen beschrijven, kan zeer uiteenlopend zijn. Op de kleinste schaal gaat het om modellen die de luchtkwaliteit in een straat of rond een enkele bron beschrijven. De modellen waarmee berekeningen voor fijnstofconcentraties gemaakt worden, hebben een ruimteschaal die kan lopen van nationaal tot Europees.

Nederland kent een lange traditie in de karakterisering van de luchtkwaliteit volgens procedures waarbij een combinatie van meten en modelleren wordt toegepast. Een belangrijke reden voor de keuze van deze aanpak is dat (kostbare) metingen beperkt kunnen worden gehouden. Bovendien bieden modellen, veel beter dan metingen, de mogelijkheid om resultaten met een hoog ruimtelijk oplossend vermogen te produceren. Deze gecombineerde aanpak is ook bij de beschrijving van de luchtkwaliteit voor fijn stof gekozen.

De methodiek die het RIVM gebruikt, om voor iedere plaats in Nederland een concentratie, bijvoorbeeld van fijn stof, te berekenen kan worden onderverdeeld in drie stappen:

1. Berekening van de grootschalige concentratie.
2. Kalibratie op meetresultaten.
3. Berekeningen van de lokale bijdragen.

Deze stappen zullen in het volgende in meer detail worden besproken.

Berekening van de grootschalige concentraties in Nederland

Dit betreft de berekening van de grootschalige concentratie in regionale én stedelijke gebieden met het OPS-model¹, zoals die gebeurt als onderdeel van de GCN, Grootschalige Concentraties Nederland, en GDN, Grootschalige Deposities Nederland. Hierbij worden bronbijdragen uit heel Europa verdisconteerd. Voor fijn stof (PM_{10}) en de fijner fractie van fijn stof ($PM_{2,5}$) worden de primaire en secundaire fracties (sulfaat, nitraat, ammonium) afzonderlijk berekend en vervolgens bij elkaar opgeteld. Als invoer voor het model zijn onder andere gegevens nodig over emissies, zoals sterkte, uitworphoogte en ruimtelijke en temporele verdeling van de bronnen, zowel voor Nederland als voor de andere Europese landen.

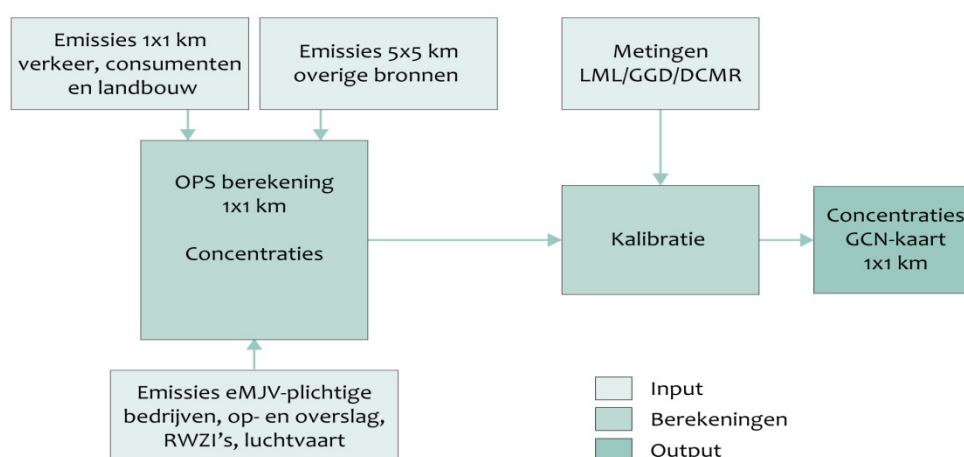
De Nederlandse emissies van de rapportageplichtige bedrijven (conform elektronische milieujaarverslagen, e-MJV), van op- en overslag van droge bulkgoederen, van rioolwaterzuiveringsinstallaties en van luchtvaart zijn op locatie bekend. De overige Nederlandse emissies worden door

de Emissieregistratie op een raster van 500x500 meter beschikbaar gesteld. Alvorens de emissies in de OPS-berekening worden gebruikt, worden ze geaggregeerd naar een lagere resolutie. Dit gebeurt om om de rekentijd te beperken. De emissies van verkeer (alle stoffen), landbouw (NH_3 , PM_{10} en $\text{PM}_{2,5}$) en van consumenten (PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ en NO_x), die een substantiële bijdrage leveren aan de concentratie, zijn geaggregeerd naar een resolutie van 1x1 kilometer. De emissies van de overige sectoren zijn geaggregeerd naar een resolutie van 5x5 kilometer.

De buitenlandse emissies zijn toegepast op een resolutie van ongeveer 7x7 kilometer voor landen in de nabijheid van Nederland (België, Verenigd Koninkrijk, Luxemburg, Frankrijk, Duitsland en Denemarken) en op een resolutie van ongeveer 80x80 kilometer voor de andere Europese landen. De zeescheepvaartemissies voor de Noordzee, inclusief het Nederlands Continentaal Plat, NCP, zijn toegepast op een resolutie van 5x5 kilometer; de zeescheepvaartemissies in de Nederlandse havens en binnengaats varend op een resolutie van 1x1 kilometer. De bijdragen van alle emissies (Nederland, buitenland en zeescheepvaart) worden met een resolutie van 1x1 kilometer doorgerekend.

Kalibratie op meetresultaten

De kalibratie van de berekende grootschalige stofconcentraties gebeurt met metingen van fijn stof (PM_{10}) en de fijnere fractie van fijn stof ($\text{PM}_{2,5}$) van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit van het RIVM aangevuld met metingen op stadsachtergrondlocaties in Amsterdam, Zaandam en Spaarnwoude van de GGD-Amsterdam en in Hoogvliet-Rotterdam en Schiedam van DCMR Milieudienst Rijnmond. De resultaten na kalibratie worden GCN-kaarten genoemd. Deze kalibratie wordt uitgevoerd om berekende concentraties nog beter in overeenstemming te brengen met gemeten concentraties (afbeelding 6.2). Dit is vooral belangrijk voor fijn stof waar de berekende concentraties ongeveer de helft zijn van de gemeten concentraties en voor de fijnere fractie van fijn stof waarvoor de berekende concentraties ongeveer twee derde zijn van de gemeten concentraties. De reden hiervoor is dat de emissies die als invoer voor de modelberekeningen worden gebruikt, alleen de bekende (dat wil zeggen geregistreerde) Europese antropogene emissies betreffen. Natuurlijke bronnen worden in de berekeningen niet meegenomen, deels door gebrek aan proceskennis, maar vooral door gebrek aan betrouwbare emissiegegevens. Ook de nauwkeurigheid van de geregistreerde bronnen is beperkt en daarnaast zijn er bekende antropogene bronnen waarvan de bijdrage niet expliciet is meegenomen in de GCN-berekeningen.



Afbeelding 6.2 Schema voor de berekening van de concentraties van fijn stof (PM_{10}) en de fijnere fractie van fijn stof ($\text{PM}_{2,5}$).

Een voorbeeld hiervan is de bijdrage aan fijn stof door secundair organisch aerosol die door onzekerheid in emissies en beperkte proceskennis nog niet expliciet wordt berekend. Met metingen worden echter de totale PM_{10} - en totale $PM_{2,5}$ -concentraties verkregen, die bestaan uit deeltjes van zowel natuurlijke als antropogene oorsprong. Ten behoeve van de GCN- kaarten wordt dit verschil gecorrigeerd (gekalibreerd) door de verschillen tussen berekende en gemeten concentraties op regionale en stadsachtergrondstations te interpoleren over Nederland en het resultaat bij de met het model berekende waarden op te tellen.

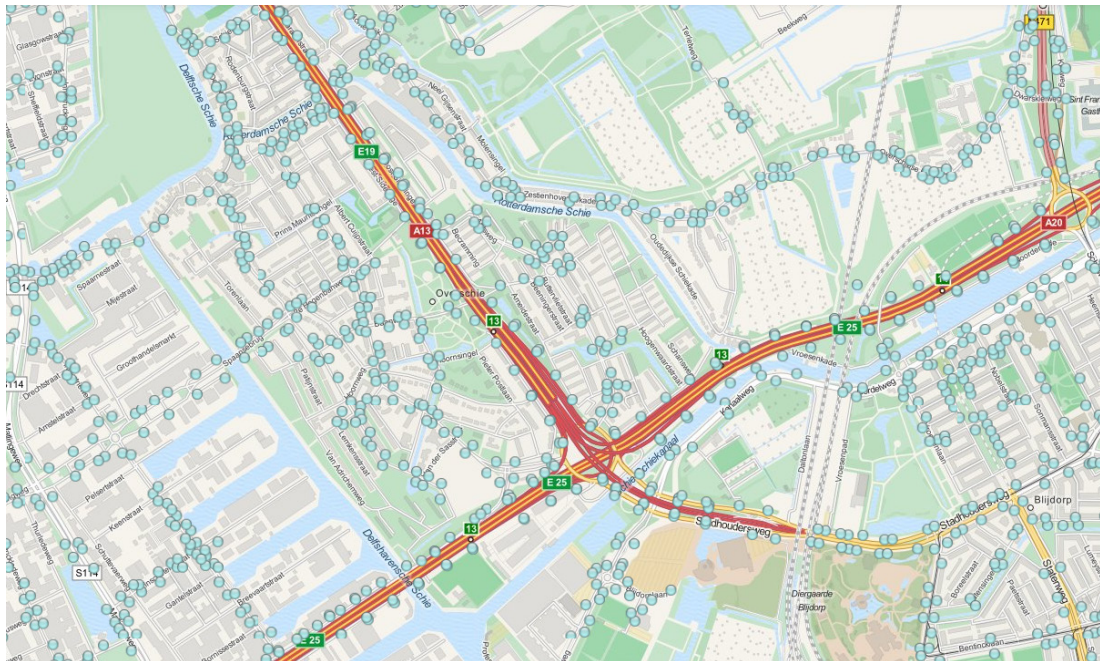
Berekening van de lokale bijdragen

De grootschalige concentratiekaarten (GCN) zijn bedoeld om een beeld te geven van de grootschalige concentratie op een resolutie van 1x1 kilometer. Daarna kan desgewenst de berekening van de lokale bijdragen uitgevoerd worden. Het kan hier gaan om straten in steden, maar ook om gebieden in de nabijheid van autosnelwegen of om locaties in de onmiddellijke omgeving van specifieke bronnen, zoals stallen. Deze lokale bijdragen kunnen met het instrumentarium uit het Nationaal Samenwerkingsverband Luchtkwaliteit (NSL), zoals het CAR-model, worden gekwantificeerd. Hiermee kan dan ook worden berekend in hoeverre er overschrijdingen van de grenswaarden voor fijn stof optreden.

In de situatie van de berekening van de luchtkwaliteit van straten zijn veel factoren van belang. Daarom wordt in de berekening onder andere rekening gehouden met: verkeersintensiteit, snelheid van het verkeer, het percentage zwaar verkeer, geometrie van de straat (breedte, hoogte van de bebouwing) en de aanwezigheid van bomen.

Het Nationaal Samenwerkingsprogramma Lucht

Om tijdig aan de Europese grenswaarden voor de luchtkwaliteit te voldoen is in Nederland het Nationaal Samenwerkingsprogramma Lucht (NSL) opgezet. Het NSL is een samenwerkingsprogramma tussen rijk, provincies en gemeenten en is juridisch vastgelegd in de Wet Milieubeheer (2007). Een zogeheten Saneringstool is onderdeel van het NSL. De Saneringstool dient om de luchtkwaliteit in heel Nederland in beeld te brengen. Doel hiervan is om de effecten van nationale en lokale maatregelen zichtbaar te maken.



Afbeelding 6.3 Gemodelleerde concentraties van fijn stof voor het gebied met de kruising van de A13 en A20 aan de noordkant van Rotterdam. De bolletjes geven de locaties aan waarvoor de concentraties zijn berekend. Blauw betekent dat de jaargemiddelde fijnstofconcentratie onder de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ligt. Bron: NSL monitoring tool.

Smogverwachting

Het RIVM heeft de wettelijke taak om dagelijks, en gedurende smogepisodes twee maal per dag, een smogverwachting te geven. Het gaat hierbij om ozon en fijn stof (PM_{10}). De smogverwachting is gebaseerd op modelberekeningen en metingen (-> 4. *Luchtkwaliteit*).

Voor de operationele luchtkwaliteitsverwachting maakt het RIVM gebruik van twee modellen:

- Lotos-Euros. Dit is een deterministisch model. ² Metingen van grondstations en satellietmetingen worden gecombineerd (geassimileerd) met een regionaal chemisch transportmodel. Dit model gebruikt verder meteorologische gegevens zoals wind, temperatuur en neerslag en bevat daarnaast ook informatie over vervuilingbronnen. De ontwikkeling van de luchtkwaliteitsverwachting is een gezamenlijk project van RIVM, KNMI en TNO. Dit project is medegefinancierd door het Nederlands Instituut voor Vliegtuigontwikkeling en Ruimtevaart (NIVR).
- Statistische modellen. Het RIVM gebruikt daarnaast al jaren twee verwachtingsmodellen PROZON voor ozon en PROPART voor fijn stof. Ze maken gebruik van statistieken van in het verleden gemeten concentraties en weersomstandigheden, gecombineerd met actuele metingen en weersverwachtingen. Dit levert voor PROZON een maximum uurgemiddelde ozonconcentratie en voor PROPART een daggemiddelde fijnstofconcentratie.

Het statistisch en het deterministisch model draaien naast elkaar. Beide modellen hebben een onzekerheid en kunnen daardoor van elkaar verschillen. Een lid van het smogteam van het RIVM beoordeelt in de ochtend de modelresultaten om tot een officiële verwachting te komen.

Nieuwe metingen en modellen maken het mogelijk de verwachting te verbeteren en uit te breiden. De luchtkwaliteitsverwachting met Lotos-Euros levert verwachtingen tot twee dagen vooruit; voor ozon gebeurt dit op uurbasis en voor fijn stof op dagbasis. Het ligt in de bedoeling om op termijn ook betrouwbare verwachtingen voor stikstofdioxide (NO_2) te produceren.

Tussen meten en modelleren

Resultaten van metingen worden vaak als superieur beschouwd boven de resultaten van berekeningen met modellen. Metingen worden hierbij impliciet als nauwkeuriger dan modellen beschouwd. Deze veronderstelling mag dan vaak juist zijn, maar dan wordt voorbij gegaan aan het aspect van de ruimtelijke representativiteit van meetpunten. Deze is, zeker in de stedelijke leefomgeving, beperkt. De resultaten van een meetpunt in een stad met bijvoorbeeld in de nabijheid veel verkeer zullen slechts een ruimtelijke representativiteit van enkele tientallen meters kennen. Dat kan betekenen dat de meetresultaten van een dergelijk meetpunt niet veel of zelfs niets zeggen over de luchtkwaliteit in een nabijgelegen straat. Modellen kennen, ondanks hun soms mindere nauwkeurigheid, dergelijke manco's niet. Het is bovendien vanuit kosten oogpunt niet realistisch om elke straat in een stad te voorzien van meetapparatuur. De inzet van modellen om de stedelijke luchtkwaliteit in zijn algemeenheid te berekenen verdient dan ook de voorkeur.

Modellering op Europese schaal

Er zijn naast het hiervoor besproken OPS-model vele atmosferisch-chemische transportmodellen in gebruik op om Europese schaal de luchtkwaliteit te beschrijven. Zo is er ook LOTOS-EUROS. Dit is een regionaal chemisch transportmodel dat onder andere in het fijnstofonderzoek een prominente rol speelt (-> 4. *Luchtkwaliteit*). Daarnaast zijn er een aantal andere modellen van bijzonder belang, omdat de een rol spelen in de ondersteuning, ontwikkeling of herziening van het Europese luchtkwaliteitsbeleid.

Het EMEP-model is sinds het eind van de jaren zeventig een belangrijke model bij de ontwikkeling van het luchtkwaliteitsbeleid in Europa, aanvankelijk vooral door ondersteuning van de strategie onder 'Convention on Long-range Transboundary Air Pollution'. ^{3, 4}

Vanaf de jaren negentig werd het EMEP-model ook het referentie-instrument voor de berekening van de verspreiding van luchtverontreiniging als basis voor de zogeheten Integrated Assessment Modelling. Dit laatste ondersteunt de ontwikkeling van het luchtkwaliteitsbeleid. Een belangrijk resultaat van de berekeningen met het EMEP-model zijn van meet af aan de import-exporttabellen geweest. Deze tabellen, ook vaak 'blame matrices' genoemd, geven per land een overzicht van de herkomst van de luchtverontreiniging (en depositie), maar ook per land waar de in dit land geproduceerde luchtverontreiniging uiteindelijk terecht komt.

Een ander belangrijk instrument in het Europese luchtkwaliteitsbeleid was vroeger RAINS, Regional Air Pollution Information and Simulation en is tegenwoordig GAINS, Greenhouse Gas and Air Pollution Interactions and Synergies. Het RAINS-model was ontwikkeld om kosteneffectieve maatregelen op Europese schaal te berekenen om de klassieke vormen van luchtverontreiniging, zoals zwaveldioxide, stikstofoxiden, verzuring, fijn stof en ozon op leefniveau, te bestrijden. Later is RAINS uitgebreid tot GAINS. De leidende gedachte in de aanpak met het GAINS-model is dat veel van de gebruikelijke vormen van luchtverontreiniging en broeikasgassen dezelfde bronnen hebben. Bovendien hebben ze interacties in de atmosfeer en veroorzaken, alleen of gezamenlijk, een scala aan milieueffecten op schalen die lopen van lokaal tot mondiaal.

Het GAINS-model beslaat 43 landen in Europe, inclusief het Europese deel van Rusland. Het nieuwe GAINS bevat de laatste versie van het RAINS-Europe-model dat bijvoorbeeld ook gebruikt is bij de herziening in 2007 van de NEC-richtlijn in 2007 (-> 8. *Beleid*). In GAINS is het RAINS-Europe-model gecombineerd met schattingen van de emissies, mitigatiemogelijkheden en de kosten ervan voor zes broeikasgassen uit het Kyoto-protocol.⁵

Zo is het GAINS-model onder andere gebruikt om berekeningen te maken over de levensduurverkorting door de fijnere fractie van fijn stof (Amann & Schöpp, 2011), maar ook om op een kosteneffectieve manier de emissies van de fijnere fractie van fijn stof te verminderen. Dit laatste heeft zijn weerslag gevonden in de recentelijk gemaakte afspraken over emissiereducties onder het Gotenburg protocol.

Literatuur

- Amann, M. & Schöpp, W. (2011) Calculation of cause-specific mortality impacts of fine particulate matter in GAINS. CIAM-Report 2/2011. Centre for Integrated Assessment Modelling (CIAM)/International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Wenen.
- Beijk, R., Wesseling, J., Van Alphen, A., Mooibroek, D., Nguyen, L., Groot Wassink, H., & Verbeek, C. (2011) *Monitoringsrapportage NSL: Stand van zaken Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit 2011*. Rapport 680712003, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
- Beijk, R., Hoogerbrugge, R., Hafkenscheid, T.L., Van Arkel, F. Th., Stefess, G.C., Van der Meulen, A., Wesseling, J.P., Sauter, F.J. & Albers, R.A.W. (2007) *PM₁₀: Validatie en equivalentie 2007*. Rapport 680708001, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.
- Buijsman, E., Aben, J.J.M., Hettelingh, J.-P., Van Hinsberg, H., Koelemeijer, R.B.A. & Maas, R.J.M. (2010) *Zure regen. Een analyse van dertig jaar Nederlandse verzuringsproblematiek*. Rapport 500093007, Planbureau voor de Leefomgeving, Bilthoven/Den Haag.
- Matthijsen, J. & Visser, H. (2006) *PM₁₀ in Nederland, rekenmethodiek, concentraties en onzekerheden*. Rapport 500093005, Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven.
- Simpson, D., Benedictow, A., Berge, H., Bergström, R., Emberson, L.D., Fagerli, H., Flechard, C.R., Hayman, G.D., Gauss, M., Jonson, J.E., Jenkin, M.E., Nyíri, A., Richter, C., Semeena, V.S., Tsyro, S., Tuovinen, J.-P., Valdebenito, Á. & Wind, P. (2012) The EMEP MSC-W chemical transport model – technical description. *Atmospheric Chemistry and Physics* 12, 7825-7865.
- Van Jaarsveld, J.A. (2004) *The Operational Priority Substances model*. Rapport 500045001, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven. ⁶
- Velders, G.J.M., Aben, J.M.M., Jimmink, B.A., Geilenkirchen, G.P., Van der Swaluw, E., De Vries, W.J., Wesseling, J. & Van Zanten, M.C. (2012) *Grootschalige concentratie- en depositiekaarten Nederland: Rapportage 2012*. Rapport 680362002, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.

Verdere informatie

- Grootschalige Concentratiekaarten Nederland. Zie www.rivm.nl/nl/themasites/gcn.
- Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit. Zie www.nsl-monitoring.nl.

Noten

¹ OPS staat voor Operationele Prioritaire Stoffen (model).

² Een deterministisch produceert resultaten op basis van deterministische regels. Iedere keer dat een modelrun wordt herhaald zal het model dezelfde uitkomst geven. Dit in tegenstelling tot een stochastisch model. Dit type model maakt gebruik van 'gelote' waarden uit kansverdelingen. De resultaten zullen in het algemeen verschillen per run.

³ EMEP staat voor 'European Monitoring and Evaluation Programme'.

⁴ De problematiek van grensoverschrijdende luchtverontreiniging – en de mogelijke relatie daarvan met zure regen – kreeg in 1977 internationale aandacht na publicatie van een studie door de Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling (OESO). Dit onderzoek toonde aan dat in grote delen van Europa zure regen viel. Ook kon de verzuring van meren in Scandinavië worden toegeschreven aan emissies van verzurende stoffen in West-Europa. Die conclusies werden in 1978 ook bevestigd door de eerste resultaten van het internationale onderzoeksprogramma European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP). Het EMEP-programma was een bundeling van bilaterale en multilaterale (Duitsland/Nederland, VS/Canada, Scandinavische landen, OESO) meet- en onderzoeksprogramma's die in de jaren zeventig waren gestart. De internationale aanpak van de verzuring kreeg dus in de jaren zeventig gestalte. Dit was niet alleen vanwege bezorgdheid over het milieu. In de tijd van de Koude Oorlog werd de problematiek rond grensoverschrijdende luchtverontreiniging namelijk ook gezien als een relatief onschuldig samenwerkingsterrein om de relaties tussen de landen van het Warschaupact en de NAVO aan te halen. Daardoor – en door bezorgdheid van de Scandinavische landen over de ernst van de verzuringsproblematiek – kwam in 1979 de Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution (CLRTAP) tot stand (UNECE 1979). De Conventie kreeg onderdak bij de UN ECE, die het secretariaat op zich nam.

⁵ Het Kyoto Protocol werd in 1997 getekend en is in 2005 in werking getreden. In het protocol hebben 37 landen zich verplicht hun uitstoot van broeikasgassen in 2012 met gemiddeld 5,2% te verminderen ten opzichte van 1990. Nederland moet 6% minder uitstoten. Het gaat om - o.a. koolstofdioxide (CO₂), methaan (CH₄), lachgas (N₂O) en een aantal groepen van fluorkoolwaterstoffen (HFK's, PFK's) en zwavelhexafluoride (SF₆)

⁶ Zie ook www.rivm.nl/ops.