

**Winkelopeningsuren en hun effect op de blootstelling
van de bevolking aan NO₂**

Evi Dons

Vlaamse Instelling voor Technologische Onderzoek / Universiteit Hasselt

Evi.dons@vito.be

Carolien Beckx

Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek

Carolien.beckx@vito.be

Luc Int Panis

Vlaamse Instelling voor Technologische Onderzoek / Universiteit Hasselt

Luc.intpanis@vito.be

Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 2010
25 en 26 november, Roermond

Samenvatting

Winkelopeningsuren en hun effect op de blootstelling van de bevolking aan NO₂

Luchtkwaliteit is zeker een issue wanneer we spreken over 'de stad van straks'. De hoogste concentraties van de meeste luchtvervuilende stoffen zijn terug te vinden in stedelijke gebieden, veelal omdat een groot deel van de luchtvervuiling veroorzaakt wordt door verkeer, huishoudens of industrie. Duurzame maatregelen die luchtkwaliteit kunnen verbeteren moeten bij voorkeur ingrijpen op de drijvende krachten achter het probleem; het aanpakken van de symptomen zal immers maar een tijdelijke en beperkte impact hebben. De activiteiten die mensen uitvoeren en de hiervan afgeleide verkeersvraag worden in deze bijdrage geïdentificeerd als de drijvende krachten.

Een modelketen, met inbegrip van een activiteitenmodel, werd ontwikkeld zodat beleidsmaatregelen en hun effecten op emissies, concentraties en blootstelling ex ante kunnen doorgerekend worden. In deze paper wordt specifiek aandacht besteed aan de toepassing van deze modelketen op een concrete maatregel: de verlenging van openingsuren van winkels. Andere scenario's die kunnen doorgerekend worden met deze modelketen zijn de vergrijzing van de bevolking, de toename van éénoudergezinnen, meer part-time werkers, ... Het studiegebied is Nederland, en NO₂, een typische transportgerelateerde pollutant, is gekozen voor de luchtkwaliteitsanalyse.

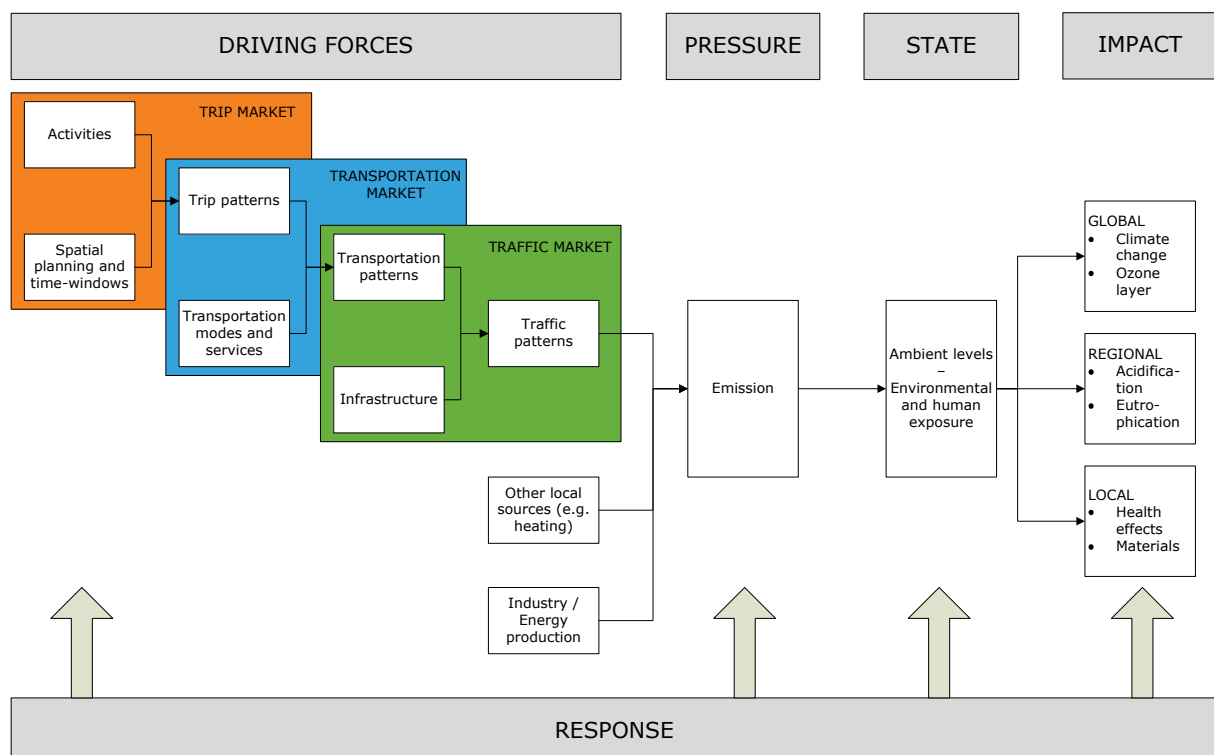
Als reactie op het verlengen van de openingsuren van winkels, voorspelt het activiteiten gebaseerde model ALBATROSS een toename van winkelactiviteiten in de vroege ochtend (tussen 6u en 8u) en 's avonds (tussen 18u en 22u). Deze verandering in activiteitenpatroon heeft uiteraard ook een impact op het verplaatsingsgedrag: het model voorspelt 0,5% meer transporturen en een toename in afgelegde kilometers. Nadat deze verkeersstromen toegedeeld zijn op een verkeersnetwerk, worden de emissies en concentraties berekend. Het combineren van deze luchtkwaliteitskaarten (per uur van de dag) met informatie over de activiteitenpatronen van mensen zorgt ervoor dat we de blootstelling van de Nederlandse bevolking kunnen bepalen. Een analyse van de blootstelling toont aan dat de blootstelling aan NO₂ op een gemiddelde weekdag zal toenemen met 0,15 µg/m³ na het invoeren van verlengde openingsuren van winkels. De resultaten worden ook geografisch voorgesteld zodat gebieden met een meer dan gemiddelde toename opgespoord kunnen worden.

1. Inleiding

Het driemarktenmodel beschrijft het systeem 'verkeer en vervoer' (van de Riet, O. A. W. T., Egeter, B., 1998). Drie markten worden onderscheiden: de verplaatsingsmarkt, de vervoersmarkt en de verkeersmarkt. De drie markten hebben elk een vraag- en een aanbodzijde. Enerzijds is er de huidige ruimtelijke ordening, anderzijds willen mensen activiteiten verrichten op geografisch verspreide locaties: dit leidt tot de verplaatsingsmarkt. Voor het maken van die verplaatsingen hebben individuen een waaier aan vervoersmodi en -diensten voorhanden. De keuze voor een bepaald vervoermiddel vormt de vervoersmarkt. Vervolgens moet er een route gekozen worden: wordt er gekozen voor een snelweg of toch maar voor de kortere route met meerdere verkeerslichten. Dit is de verkeersmarkt. Het resultaat van dit driemarktenmodel zijn verkeersstromen op een netwerk, met uiteraard de emissies die hieraan gerelateerd zijn.

Het DPSIR-model (Driving forces, Pressures, State, Impact, Responses) is gebaseerd op een model van de OECD (OECD, 1993), en enkele jaren later herwerkt door de European Environmental Agency (EEA, 1999). Het model beschrijft de keten van milieuverstoringen en legt oorzakelijke verbanden tussen menselijke activiteiten en schade aan het milieu. Het model wordt gebruikt voor het begrijpen en verklaren van milieuproblemen, het ondersteunt beleidsmakers en het kan de effecten van genomen maatregelen monitoren. Deze keten kan ook toegepast worden op de problematiek rond luchtkwaliteit.

Het DPSIR-model en het driemarktenmodel zijn weergegeven in Figuur 1. Met het hantieren van dit schema kunnen causale verbanden tussen activiteiten en milieueffecten visueel voorgesteld worden.



Figuur 1: Een geïntegreerde benadering van luchtvervuilingsproblematiek: het driemarktenmodel en het DPSIR-model (aangepast van (Jensen, S. S., 1999))

De oorzaken of drijvende krachten van luchtvervuiling zijn individuen die activiteiten op verschillende locaties uitvoeren en zich hierbij verplaatsen met een gemotoriseerd voermiddel. Dit is uitgewerkt in het driemarktenmodel. Andere bronnen van luchtvervuiling zijn onder andere verwarming van gebouwen, de industrie of natuurlijke bronnen zoals zeezout of bosbranden. Deze emissies zorgen voor een druk op onze leefomgeving. Die emissies worden vertaald in concentraties in de omgevingslucht. De blootstelling aan deze emissies kan bij de mens voor gezondheidsschade zorgen, het kan gebouwen aantasten, het klimaat verandert en het gat in de ozonlaag wordt groter, het zorgt voor zure regen en bedreigt natuurlijke habitats. Maar er kunnen maatregelen ('response') genomen worden om deze negatieve effecten te verminderen.

Momenteel focussen de meeste beleidsmaatregelen in het domein van de luchtkwaliteit op de 'pressure' (de emissies) en de 'state' (de concentraties). De normen die van kracht zijn in de luchtkwaliteitsrichtlijn geven aan hoeveel keer een bepaalde normwaarde overschreden mag worden; de daggemiddelde concentratie aan PM10 mag bijvoorbeeld slechts 35 keren overtreden worden. Voor NO₂ geldt dat jaargemiddelde concentraties vanaf 2010 lager moeten zijn dan 40 µg/m³, een norm die in Vlaanderen en Nederland nu al onhaalbaar lijkt. Het steeds sterkere bewijsmateriaal voor negatieve gezondheidseffecten (Hoek, G. et al., 2002, Pope, C. A. et al., 2009) heeft er voor gezorgd dat Europa meer en meer de nadruk begint te leggen op blootstelling, eerder dan op omgevingsconcentraties. Een nieuwe methode om blootstelling aan hoge concentraties te verminderen is via zogenaamde 'passive control measures' (McNabola, A., 2010). Dit pakket aan maatregelen probeert onder andere via de lay-out van een weg de persoonlijke blootstelling aan schadelijke pollutanten terug te dringen. Zo kunnen geluidsschermen niet enkel de blootstelling van omwonenden aan geluid verminderen, maar zullen ze ook een positieve invloed hebben op de luchtkwaliteit in omliggende gebieden. Maatregelen die inspelen op de 'pressure', proberen dan eerder om de hoeveelheid emissie te reduceren. Hier gaat het dan bijvoorbeeld om technologische maatregelen zoals verbeteren van de voertuigmotor of veranderen van de brandstofsamenstelling. Maar buiten dit soort van maatregelen, die ingrijpen op de emissies en de concentraties, zou het natuurlijk veel efficiënter zijn om te kunnen ingrijpen op de drijvende krachten van het probleem, op de activiteiten en het verplaatsingsgedrag van mensen dus.

Deze paper gaat effectief kijken naar de impact van een maatregel, in casu het verlengen van de openingsuren van winkels, op het activiteitenpatroon van mensen en de doorwerking hiervan tot op het niveau van blootstelling. Deze analyse is nuttig omdat op deze manier het effect van een maatregel ex ante kan bepaald worden. Kosten en baten kunnen afgewogen worden en zo kunnen beleidsmakers de beste beslissing nemen.

Overview

In het volgende hoofdstuk (2. Methodiek – Koppelen van bestaande modellen) wordt vooreerst een beknopte beschrijving gegeven van de gebruikte methodiek. Hoofdstuk 3 focust op de resultaten: wat is nu de invloed van openingsuren van winkels op de blootstelling van de Nederlanders? Afsluiten doen we met een aantal conclusies en opportuniteiten voor verder onderzoek.

2. Methodiek – Koppelen van bestaande modellen

De modelketen bestaat uit 3 modellen die sequentieel doorlopen worden: ALBATROSS, een activiteiten gebaseerd model voor Nederland, MIMOSA, een emissiemodel en AUORRA, een dispersiemodel.

Deze bijdrage bevat enkel een beknopte beschrijving van de gehanteerde modellen. Voor een meer uitgebreide beschrijving van de modelketen kan verwezen worden naar Beckx et al. (Beckx, C. et al., 2009b, Beckx, C. et al., 2009c). De ontwikkelde modelketen is ook reeds gepresenteerd op het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk in 2008 (Int Panis, L. et al., 2008).

2.1 *Activiteiten gebaseerd model (ALBATROSS)*

De eerste transportmodellen die verschenen waren trip-gebaseerde modellen. Dit wil zeggen dat elke trip afzonderlijk beschouwd wordt, er worden geen relaties tussen trips weergegeven. Omdat deze klassieke vierstapsmodellen heel duidelijk een aantal grote tekortkomingen hebben, schakelde men via tour-gebaseerde modellen over naar activiteiten gebaseerde modellen (Davidson, W. et al., 2007, Pendyala, R. M., 2005). De basisgedachte hierbij is dat de vraag naar verplaatsingen afgeleid is van de activiteiten die individuen willen of moeten uitvoeren. Een groot verschil met de klassieke modellen is de aandacht voor het modelleren van sequenties: eerst voer je activiteit x uit, vervolgens neem je de wagen naar de volgende activiteit en onderweg stop je bij een winkel, daarna ga je ook opnieuw naar huis met diezelfde auto. Ruimtelijke, tijdsgebonden, intrahuishoudelijke en transportbeperkingen worden meegenomen bij het modelleren. Dit resulteert in een model dat kan voorspellen welke activiteiten waar uitgevoerd worden, wanneer, voor hoe lang, met wie, welk transportmiddel gebruikt wordt en idealiter ook de gevolgde route.

ALBATROSS (een activiteiten gebaseerd model voor Nederland en een acroniem voor 'A Learning Based Transportation Oriented Simulation System') wordt gebruikt voor het simuleren van activiteitenpatronen (zogenaamde 'dagboekjes') voor elk individu uit de populatie (Arentze, T. A., Timmermans, H. J. P., 2000, Arentze, T. A., Timmermans, H. J. P., 2004). Een ruimtelijke aggregatie vindt plaats tot op het niveau van de 4-cijferige postcode. Het opstellen van de dagboekjes gebeurt aan de hand van 27 beslissingsbomen, één voor elke keuze (bijvoorbeeld de stochastische keuze van activiteit, locatie, startuur, duur, vervoermiddel). Mogelijke verschillen tussen seizoenen worden op dit moment niet meegenomen in ALBATROSS. O/D-matrices met verkeersstromen worden afgeleid uit de dagboekjes en toegedeeld op een wegennet ('Basisnetwerk') volgens een alles-of-niets toedeling. Een realistischere toedeling die capaciteit van wegen en congestie meeneemt was niet mogelijk aangezien ALBATROSS geen vrachtverkeer voorspelt.

2.2 *Emissiemodel (MIMOSA)*

Verkeersstromen op een netwerk vormen de output van ALBATROSS. Deze stromen kunnen met de eenvoudige emissiefactor benadering van het MIMOSA model omgezet worden in emissies, zoals beschreven in Beckx et al. (2009d). Uurlijkse, geografisch verspreide emissies worden berekend op basis van een gemiddelde snelheid per wegvak en de samenstelling van de voertuigvloot.

2.3 Dispersiemodel (AURORA)

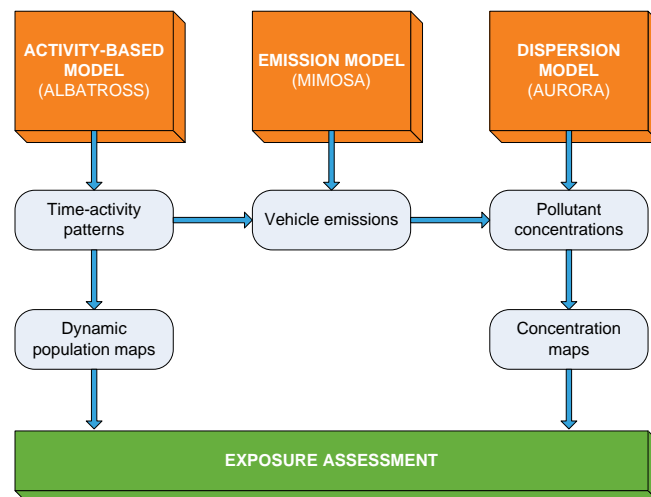
In een volgende fase wordt het AURORA model gebruikt om de verspreiding en omzetting van de emissies te simuleren. Naast de gegenereerde verkeersemissies gebruikt het AURORA model onder andere ook meteorologische data en data over emissies van andere bronnen (afkomstig uit bestaande emissiedatabases), om concentraties voor Nederland te voorspellen. AURORA is een deterministisch 3-dimensionaal Euleriaans model van de atmosfeer.

2.4 Integratie van ALBATROSS, MIMOSA en AURORA in modelketen

De drie modellen worden geïntegreerd in een modelketen waarbij de modellen sequentieel doorlopen worden. Bij het berekenen van de effecten van een beleidsmaatregel die ingrijpt op het activiteitenpatroon wordt deze keten tweemaal doorlopen: eenmaal in een referentiesituatie en eenmaal als scenario.

Het combineren van populatiekaarten met concentratiekaarten zorgt ervoor dat de blootstelling van de bevolking bepaald kan worden. Zowel de bevolkingskaarten als de concentratiekaarten gebruiken een temporele resolutie van 1 uur. De ruimtelijke resolutie van de uiteindelijke blootstelling is de 4-cijferige postcode.

Er vond een validatie plaats van de basissituatie met de gemodelleerde afgelegde kilometers op het Nederlandse wegennet en de gemodelleerde emissies (beide data afkomstig van het CBS). Daarnaast werd er een vergelijking gemaakt met de NO₂-concentraties gemeten op 37 meetstations van het vaste meetnet. Beide validatiestudies tonen aan dat de modelketen met voldoende betrouwbaarheid de afgelegde afstanden, emissies en de uurlijkse concentraties kan voorspellen.



Figuur 2: Modelketen voor modellering van blootstelling (aangepast van Beckx et al.(2009a))

3. Scenario-analyse

3.1 Beschrijving van het scenario

De modelketen, zoals beschreven in hoofdstuk 2, kan gebruikt worden om de huidige blootstelling van de Nederlandse bevolking te modelleren. Een groot voordeel is echter dat ook verschillende beleidsscenario's kunnen doorgerekend worden, hierbij ook scenario's die in eerste instantie schijnbaar niets met emissies of blootstelling te maken hebben.

Het scenario bekeken in deze bijdrage is het verlengen van de openingsuren van winkels volgens de uren beschreven in Tabel 1. Dat dit een relevant beleidsscenario is blijkt uit de vele verhitte discussies omtrent de Winkeltijdenwet (reeds daterend uit 1996). Een onderscheid wordt gemaakt tussen winkels voor dagelijkse boodschappen ('daily shopping' zoals warme bakker, krantenwinkel) en winkels voor niet-dagelijkse aankopen ('non-daily shopping' zoals meubelzaken, kledingwinkels). De dienstensector (kapper, postkantoor) volgt de openingsuren van de winkels voor dagelijkse boodschappen.

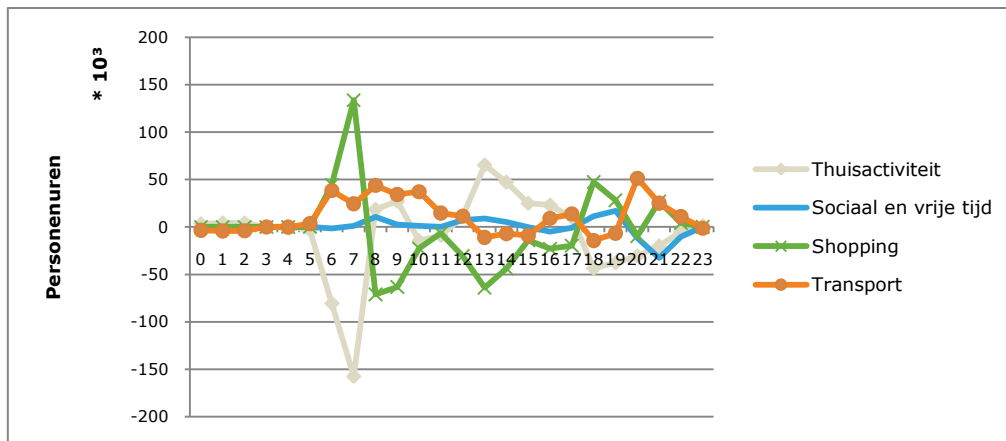
Tabel 1: Openingsuren van winkels vóór het verlengen van de openingsuren en na de introductie van deze maatregel

	Referentie		Scenario	
	Dagelijkse boodschappen (uren)	Winkelen (uren)	Dagelijkse boodschappen (uren)	Winkelen (uren)
Maandag	08:00 – 20:00	13:00 – 18:00	06:00 – 22:00	06:00 – 22:00
Dinsdag	08:00 – 20:00	09:00 – 18:00	06:00 – 22:00	06:00 – 22:00
Woensdag	08:00 – 20:00	09:00 – 18:00	06:00 – 22:00	06:00 – 22:00
Donderdag	08:00 – 20:00	09:00 – 21:00	06:00 – 22:00	06:00 – 22:00
Vrijdag	08:00 – 21:00	09:00 – 21:00	06:00 – 22:00	06:00 – 22:00
Zaterdag	08:00 – 20:00	09:00 – 17:00	06:00 – 22:00	06:00 – 22:00
Zondag	Gesloten	Gesloten	Gesloten	Gesloten

3.2 Resultaten

Het activiteiten gebaseerde model ALBATROSS voorspelt een uurlijkse dynamische populatie voor elke 4-cijferige postcode. Doorheen de dag zijn er typisch meer mensen aanwezig in stedelijke gebieden met een hoge werkgelegenheid. Om 4u 's nachts is de dynamische populatie vergelijkbaar met de residentiële populatie.

ALBATROSS voorspelt dat er, ten gevolge van het scenario, 6% meer non-daily shopping zal plaatsvinden en 0,5% meer daily shopping. Extra shoppingactiviteiten vinden vooral in de vroege ochtend en 's avond plaats, op momenten waar dit voordien onmogelijk was (Figuur 3). De extra tijd gependend aan winkelen wordt gecompenseerd door minder thuisactiviteiten en in mindere mate ook door minder vrije tijd en sociale activiteiten.



Figuur 3: Veranderingen in activiteitenpatroon tussen scenario en referentie op een gemiddelde weekdag per uur van de dag

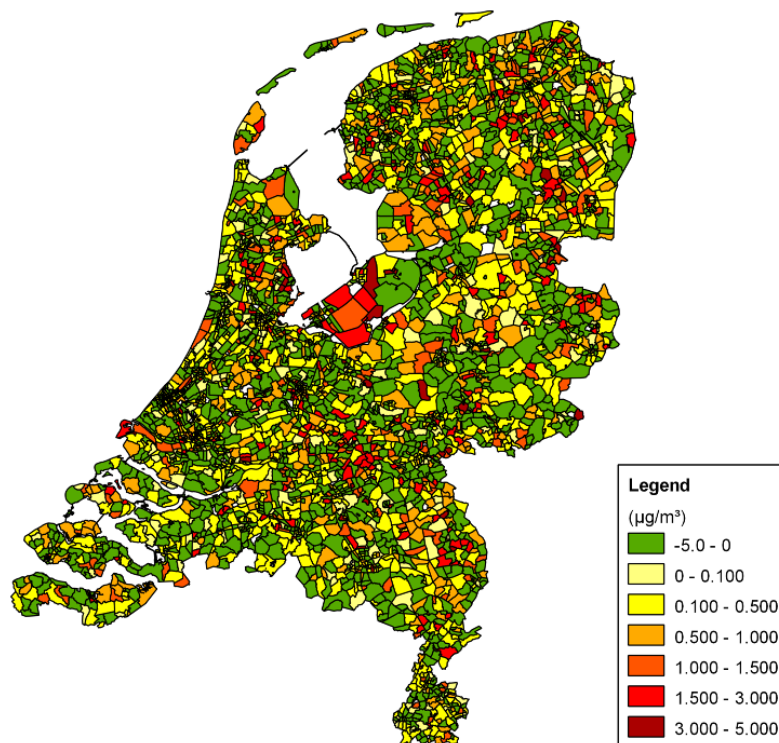
Deze verandering in activiteitenpatroon leidt tot meer tijd in transport (+0,5% transport-uren) en meer afgelegde kilometers. Omdat op basis van deze verplaatsingen emissies berekend worden (met behulp van MIMOSA), nemen de totale emissies van transport ook toe. In een volgende stap worden de verkeersemissies, samen met emissies van andere bronnen en informatie over de meteorologie door een dispersiemodel (AURORA) omgerekend tot concentraties voor Nederland op een grid van 3 x 3 km². Bij wijze van voorbeeld werden alle berekeningen uitgevoerd voor één maand (april 2005). De veranderingen in concentraties ten gevolge van het scenario worden enkel veroorzaakt door andere verkeersemissies (alle andere emissies en de meteorologie worden constant verondersteld). De concentraties in Nederland zullen, als een gevolg van het scenario, toenemen in de ochtend en 's avonds, en lichtjes dalen in de namiddag. De absolute verschillen zijn beperkt, met een maximum van 0,40 µg/m³.

De blootstelling wordt vervolgens berekend door de dynamische populatie te vermenigvuldigen met de heersende concentraties voor elk uur van de week. Deze procedure is eenvoudig voor de meeste activiteiten, enkel de activiteit 'in transport' kan niet aan een enkele concentratie-gridcel toegedeeld worden. Onze oplossing bestaat eruit dat wanneer men in transport is, men verondersteld wordt blootgesteld te zijn aan de gemiddelde concentratie gemeten op een verkeersstation. Rekening houdend met deze assumptie, kunnen we besluiten dat de blootstelling van de Nederlandse bevolking aan NO₂ op een gemiddelde weekdag zal toenemen met 0,15 µg/m³. Dit resultaat is relatief stabiel tussen de verschillende dagen van de week en tussen de verschillende weken van april (Tabel 2). Op zondag en 's nachts zijn de verschillen in blootstelling te verwaarlozen (wat ook logisch is gezien het scenario geen veranderingen inhoudt op deze momenten). Gedurende de dag zijn er vooral pieken in de ochtend en in de late namiddag/avond, wat erop wijst dat een toename van het gemotoriseerd verkeer waarschijnlijk aan de basis ligt van de toename in blootstelling. Een bedenking hierbij is dat de blootstelling in de spitsuren nu al hoger is dan in de daluren, een trend die na het verlengen van de openingsuren van winkels nog meer uitgesproken dreigt te worden. Op basis van deze resultaten kan met voldoende betrouwbaarheid geconcludeerd worden dat de blootstelling van de bevolking aan NO₂ ten gevolge van het scenario zal toenemen.

Tabel 2: Verschil in blootstelling aan NO₂ tussen scenario en referentie (in µg/m³)

April 2005	Week 1	Week 2	Week 3	Week 4
Maandag	0,1079	0,1599	0,1223	0,1441
Dinsdag	0,1163	0,1421	0,1323	0,1487
Woensdag	0,1168	0,1662	0,1174	0,1232
Donderdag	0,1122	0,1741	0,1935	0,2165
Vrijdag	0,2113	0,1154	0,1852	0,2371
Gemiddelde weekdag	0,1329	0,1515	0,1501	0,1739
Zaterdag	0,1592	0,0881	0,1472	0,1696
Zondag	0,0614	0,0657	0,0604	0,0677
Gemiddelde week	0,1265	0,1302	0,1369	0,1581

De resultaten worden eveneens geografisch voorgesteld, zodat verschillen tussen postcodegebieden geanalyseerd kunnen worden (Figuur 4). Grote verschillen ten gevolge van het scenario in bepaalde streken (bijvoorbeeld Flevoland) zijn te verklaren door het geringe aantal inwoners of bezoekers in die streek. Een kleine verandering in dit aantal tussen referentie en scenario kan dan al gauw sterk doorwegen wanneer de data geografisch worden voorgesteld. Deze gebieden hebben echter een zeer beperkte impact op de blootstelling van de gehele Nederlandse populatie. Wel belangrijk zijn de grote verschillen in sommige stedelijke wijken.



Figuur 4: Verschil in blootstelling aan NO₂ tussen scenario en referentie op een gemiddelde weekdag, geografisch voorgesteld per 4-cijferig postcodegebied

4. Conclusies

Het verlengen van de openingsuren van winkels is een maatregel die in eerste instantie niets met het domein van verkeer of luchtkwaliteit te maken heeft. Toch kan er aangetoond worden dat er wel degelijk effecten optreden ten gevolge van deze maatregel. Onze studie toont immers aan dat het verlengen van de openingsuren van winkels leidt tot meer tijd doorgebracht in transport en een hogere blootstelling aan NO₂, voornamelijk 's morgens vroeg en 's avonds. Op een gemiddelde weekdag zal de blootstelling van de Nederlandse bevolking aan NO₂ hierdoor toenemen met 0,15 µg/m³. Dit resultaat geeft aan dat beleidsmaatregelen vaak onverwachte neveneffecten kunnen hebben in andere beleidsdomeinen en een geïntegreerde benadering (activiteiten-transport-milieu) van het milieu gewenst is om een optimaal resultaat te bereiken. In het geval van luchtverontreiniging is het bijvoorbeeld belangrijk om geen maatregelen te nemen die de vervuiling of de blootstelling aan vervuiling doen stijgen.

De ontwikkelde modelketen is geschikt voor dit soort van geïntegreerde analyses en kan bijvoorbeeld ook ingezet worden voor scenario's zoals de vergrijzing van de bevolking, een toename van deeltijdse arbeid, meer éénoudergezinnen, ... Echter, er kunnen toch een aantal kanttekeningen gemaakt worden bij de computertechnische aspecten en de data-vereisten van dit verhaal. Voor het toepassen van het dispersiemodel AURORA is het noodzakelijk om over gedetailleerde meteorologische gegevens te beschikken en deze zijn over het algemeen moeilijk te verkrijgen. Daarnaast is de beschouwde modelketen niet flexibel genoeg om 'snel' een scenario door te rekenen. Door de complexiteit van de modelketen zijn zware berekeningen immers noodzakelijk wat de rekentijd niet ten goede komt. De rekentijd stijgt exponentieel met de grootte van de gridcellen. Daarom is het opportuun om de mogelijkheden van een land use regression model te testen als vervanging voor de MIMOSA-AURORA keten. De uitdaging hier wordt het inbrengen van een voldoende hoge temporele resolutie. Het downscalen van het studiegebied tot een stad, waar dan wel kleinere gridcellen kunnen gehanteerd worden, is eveneens een mogelijkheid om de rekentijd naar beneden te halen zonder aan resolutie in te boeten.

Literatuuroverzicht

- Arentze, T. A., Timmermans, H. J. P. (2000). *ALBATROSS: A learning based transportation oriented simulation system*, European Institute of Retailing and Service Studies, Eindhoven, The Netherlands.
- Arentze, T. A., Timmermans, H. J. P. (2004). A learning-based transportation oriented simulation system. *Transportation Research Part B: Methodological*, 38 (7): 613-633.
- Beckx, C. et al. (2009a). A dynamic activity-based population modelling approach to evaluate exposure to air pollution: Methods and application to a dutch urban area. *Environmental Impact Assessment Review*, 29 (3): 179-185.
- Beckx, C. et al. (2009b). Disaggregation of nation-wide dynamic population exposure estimates in the Netherlands: Applications of activity-based transport models. *Atmospheric Environment*, 43 (34): 5454-5462.
- Beckx, C. et al. (2009c). The contribution of activity-based transport models to air quality modelling: A validation of the ALBATROSS-AURORA model chain. *Science of The Total Environment*, 407 (12): 3814-3822.
- Beckx, C. et al. (2009d). An integrated activity-based modelling framework to assess vehicle emissions: Approach and application. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 36: 1086-1102.
- Davidson, W. et al. (2007). Synthesis of first practices and operational research approaches in activity-based travel demand modeling. *Transportation Research Part A*, 41: 464-488.
- EEA (1999). Environmental indicators: Typology and overview. Technical report no 25. European Environment Agency.
- Hoek, G. et al. (2002). Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: A cohort study. *The Lancet*, 360: 1203-1209.
- Int Panis, L. et al. (2008). An integrated activity-based approach for air quality issues. *Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk*. Santpoort.
- Jensen, S. S. (1999). A geographic approach to modelling human exposure to traffic air pollution using GIS. *Department of Atmospheric Environment*. Denmark, National Environmental Research Institute.
- McNabola, A. (2010). New directions: Passive control of personal air pollution exposure from traffic emissions in urban street canyons. *Atmospheric Environment*, 44: 2940-2941.
- OECD (1993). *Environments monographs - n° 83. OECD core set of indicators for environmental performance reviews*, OECD, Paris, France.
- Pendyala, R. M. (2005). In: *New developments in microsimulation of activity-travel patterns*, University of South Florida, Tampa, Washington, D.C.
- Pope, C. A. et al. (2009). Fine-particulate air pollution and life expectancy in the united states. *The New England Journal of Medicine*, 360 (4): 376-386.
- van de Riet, O. A. W. T., Egeter, B. (1998). *Systeemdiagram voor het beleidsveld vervoer en verkeer. Beschrijving vervoer- en verkeerssysteem ten behoeve van het project questa*, TNO.