



RAPPORT

Scholen en kinderdagverblijven nabij drukke verkeersaders

Door

De Waegeneer E., Van Larebeke, N.

2009

1. Inleiding

Vanuit een bezorgdheid om de gezondheid en het welzijn van kleuters en jonge kinderen is het nuttig om na te gaan wat de gezondheidseffecten zijn van milieuvuiling op deze specifieke groep. Deze subgroep is immers meer gevoelig voor luchtvervuiling aangezien hun fysiologische en immunologische systemen nog volop in ontwikkeling zijn.

De kinderen brengen een groot deel van hun tijd door in scholen en kinderdagverblijven, die niet zelden in de nabijheid van drukke verkeersaders gesitueerd zijn. Dit is een gegronde reden om na te gaan hoe deze omgeving de gezondheid van de kinderen kan beïnvloeden.

Eén van de mogelijke bedreigingen die het milieu stelt, is de omgevingsconcentratie van luchtvervuilende stoffen. In deze studie wordt de blootstelling aan deze stoffen en hun invloed op de gezondheid van jonge kinderen van nabij bekeken.

2. Scholen en kinderdagverblijven in de nabijheid van drukke verkeersaders

a. is er verhoogde blootstelling aan vervuiling bij de kinderen in kwestie?

Basisscholen en kinderdagverblijven bevinden zich vaak in de nabije omgeving van drukke verkeersaders, vooral in stedelijke gebieden. Dergelijke grote wegen vormen een belangrijke bron van luchtvervuiling.

De vervuiling wordt er gekarakteriseerd door de hoge snelheid waarmee de pollutanten worden uitgestoten en de grote hoeveelheid voertuigen die verantwoordelijk zijn voor de emissies. Naast de directe uitstoot van de voertuigen, komen ook secundaire emissies voor die bijdragen tot de vorming van airborne partikels, zoals door de resuspensie van stof van de rijweg, door slijtage van banden en door remmen.

Fijn en ultrafijn stof

Korenstein (2002) stelt vast dat kinderen, die school lopen nabij drukke verkeerswegen (binnen 500m afstand tot de drukke weg), blootgesteld worden aan een PM_{10} -concentratie, die 10 tot $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ hoger is dan kinderen uit scholen die niet aan een drukke weg liggen.

Uit een studie van Van Roosbroeck (2007) komt duidelijk naar voren dat kinderen die naar school gaan in de nabijheid (<100m) van druk verkeer (> 10 000 voertuigen per 24 uur), een veel grotere blootstelling kennen aan verschillende luchtvervuilende stoffen, maar dat er geen significant verschil is wat betreft de blootstelling aan $PM_{2,5}$. Kim (2004) spreekt dit tegen en meent dat er zeker 8% meer $PM_{2,5}$ blootstelling is bij de kinderen in deze buurten.

Diapouli (2007) stelt dat de blootstelling van schoolkinderen aan ultrafijne partikels sterk gecorreleerd is met de nabijheid van de scholen aan drukke verkeerswegen. De hoogste concentraties werden gemeten aan scholen nabij drukke verkeersaders en deze concentratie bedroeg gemiddeld $38,8 \cdot 10^3$ partikels/cm³, in tegenstelling tot scholen gesitueerd in een kalme residentiële buurt, waar de concentratie gemiddeld $14,4 \cdot 10^3$ partikels/cm³ bedroeg.

Kulkarni (2006) toont aan dat elke toename van $1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM₁₀ blootstelling bij kinderen geassocieerd is met een toename van $0,10 \mu\text{m}^2$ (95% C.I.; 0,01-0,18) koolstofinhoud in de macrofagen van de luchtwegen.

NO_x

De blootstelling aan NO_x blijkt hoger te zijn aan scholen bij drukke wegen, vergeleken met scholen die niet nabij een drukke verkeersader gesitueerd zijn. Van Roosbroeck (2007) spreekt van een concentratie NO_x die 52% hoger is. De persoonlijke blootstelling, gedurende 48 uur gemeten bij de kinderen die in de buurt (<100m) van een autosnelweg naar school gaan, lag 37% hoger dan bij kinderen van de scholen die als controle dienden. Het verschil in persoonlijke blootstelling is lager dan het verschil in de concentratie NO_x op de onderzochte scholen omdat de kinderen een deel van hun tijd op andere plaatsen, zoals thuis, doorbrengen. Als de school in de buurt van een drukke weg, zij het geen autosnelweg, gelegen is, merken we dat de concentratie NO_x eveneens is toegenomen, maar dat de persoonlijke blootstelling bij de kinderen niet significant gestegen is. Ook Kim (2004) bevestigt een significante toename van de concentratie NO_x in de buurt van scholen nabij drukke verkeersaders.

NO₂

Van Roosbroeck *et al.* (2007) tonen dat de concentratie aan NO₂ niet significant verschilt in de buurt van scholen aan drukke verkeerswegen in vergelijking met scholen die niet nabij drukke verkeerswegen ingepland zijn. Kim *et al.* (2004) spreken dit echter tegen. Zij stelden verschillen in concentraties vast tussen scholen aan een drukke weg en scholen die niet nabij een drukke verkeersader gelegen zijn. De concentratie NO₂ varieerde van 20,5 ppb voor scholen zonder belangrijke verkeersweg in de buurt tot 25,2 ppb voor de scholen nabij drukke verkeersaders. Dit resulteert in een verschil van 23%.. Ook Rijnders (2001) spreekt van een significant verschil in de concentratie NO₂ waaraan de kinderen worden blootgesteld als ze naar school gaan in de buurt (<400m) van een drukke verkeersweg. De graad van urbanisatie en de verkeersdensiteit spelen hierbij een belangrijke rol. Het verschil in concentratie NO₂ aan de verblijfplaats of school in de verstedelijkte en de niet-verstedelijkte gebieden bedroeg $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Het verschil in concentratie NO₂ aan de verblijfplaats of school nabij de zeer drukke weg en nabij de minder drukke weg bedroeg meer dan $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Janssen (2001) bevestigt de relatie tussen de concentratie NO₂ en de nabijheid van drukke verkeerswegen (<400m) aan scholen: de concentratie NO₂ ligt volgens het onderzoek 2,5x hoger in de buurt van deze scholen. Het verschil in bevindingen van Van Roosbroeck enerzijds en de overige auteurs anderzijds kan te wijten zijn aan het feit dat het team van Van Roosbroeck metingen uitvoerde bij scholen die, hoewel in de buurt van een drukke weg, in een meer open ruimte gelegen waren dan het geval was in de andere studies.

Benzeen

Janssen (2001) stelt in haar onderzoek een significant verband vast tussen de concentraties aan benzeen en de nabijheid van drukke verkeerswegen (<400m) aan scholen. De concentratie aan benzeen lag 2,5x hoger aan deze scholen. Ook Buthbunrung (2008) bevestigt een relatie tussen de blootstelling aan benzeen bij kinderen en de nabijheid van drukke wegen. In deze studie wordt vastgesteld dat de benzeenconcentratie 4x hoger was aan scholen nabij drukke wegen (15,75 +/- 2,23 ppb), vergeleken met scholen die niet nabij drukke verkeersaders gelegen zijn (4,49 +/- 0,59 ppb; P <0,001). De persoonlijke blootstelling van de schoolkinderen aan benzeen lag 3x hoger.

Roet

Van Roosbroeck (2007) toont een significant verband tussen de concentratie roet gemeten aan scholen en de nabijheid van drukke wegen. Ze vond een concentratie die tot 74% hoger was bij scholen aan drukke verkeerswegen, vergeleken met scholen die rustig gelegen zijn. De persoonlijke blootstelling, die gedurende 48 uur gemeten werd bij de schoolgaande kinderen was er 30% hoger. (Van Roosbroeck *et al.*, 2006).

Zware metalen

Vervuiling door zware metalen verdient onze grote bezorgdheid, zeker als het om kinderen gaat. Voortdurende blootstelling aan cadmium en lood bijvoorbeeld, resulteert in accumulatie in het lichaam en kan tot een grote variëteit aan gezondheidseffecten leiden, afhankelijk van de duur en het niveau van de blootstelling. Een belangrijke absorptieweg voor deze metalen is inademing. Bij kinderen vormt dit een nog groter probleem, omdat ze door hun kleinere omvang een grotere hoeveelheid polluenten t.o.v. hun lichaamsgewicht tot zich krijgen dan volwassenen.

Naast bloed en urine, vormen menselijke haren een goede indicator voor de vervuiling in de omgeving. Bij het onderzoek van kinderen die naar school gaan in de buurt van drukke wegen, stelt Ozden (2007) vast dat de afstand tot drukke verkeersaders een belangrijke risicofactor is voor hoge concentraties van cadmium en lood, teruggevonden in het haar. De afstand van de school tot de drukke weg heeft een statistisch significante impact op de hoeveelheden cadmium.

b. effecten van de blootstelling aan luchtvervuiling bij kinderen

Er is grote evidentie dat de blootstelling aan luchtvervuiling ernstige gevolgen heeft voor de volksgezondheid. De gevolgen zijn echter niet gelijk voor de volledige populatie.

Bepaalde subgroepen, zoals ouderen en kinderen, lopen een verhoogd risico (Landrigan, 2001).

Kinderen zijn zeer gevoelig aan vervuiling door het feit dat hun fysiologische en immunologische functies nog in volle ontwikkeling zijn. Omdat het longepitheel nog niet volledig ontwikkeld is, kunnen toxines en andere substanties gemakkelijker doorheen de epitheliale barrière passeren. Door het kleinere longvolume en de kleinere oppervlakte van hun respiratoir systeem, is de depositiesnelheid van partikels veel hoger bij kinderen.

Ook de gastro-intestinale absorptie is groter bij kinderen dan bij volwassenen. Bovendien verschillen de toxico-kinetische processen sterk tussen kinderen en volwassenen. Dit heeft ondermeer te maken met hun lager lichaamsgewicht, het groter relatief gewicht van de lever en de grotere verhouding tussen lichaamsoppervlak en lichaamsgewicht (Heinrich, 2007).

Kinderen kennen een verhoogde opname van PM in vergelijking met volwassenen. (Bennett, 1998; Heinrich, 2007). Naast de bovenstaande fysiologische oorzaken zijn er ook andere redenen waarom de blootstelling hoger is bij kinderen. Ze brengen meer tijd door in de buitenlucht en de zone waarin ze ademhalen, bevindt zich dichtbij de grond. De concentratie aan vervuilende stoffen die voortkomen uit het verkeer, is groter dichtbij de grond. Bepaalde targetorganen zijn ook voor kinderen belangrijker dan volwassenen vb het zenuwstelsel omdat het in ontwikkeling is.

Vanuit methodologisch oogpunt kent het onderzoek van de gezondheidseffecten in het algemeen minder confounders dan in studies bij volwassenen, zoals roken en de arbeidsomgeving.

1) Allergische en respiratoire aandoeningen, inclusief astma

De prevalentie van allergieën is toegenomen in Europa doorheen de laatste decennia. De verhoogde blootstelling aan verkeersgerelateerde luchtvervuilende stoffen wordt daarbij als een mogelijke oorzaak naar voren geschoven. (Asher, 2006)

Op basis van gecontroleerde humane blootstellingsstudies en experimenten bij dieren, besluit de WHO dat dergelijke vervuiling de kans op de ontwikkeling van allergieën kan verhogen en de allergische reactie kan versterken (WHO, 2005).

Morgenstern *et al.* (2008) tonen aan dat er een sterke relatie bestaat tussen de afstand tot drukke wegen en het voorkomen van allergieën. Een duidelijk dosis-responsrelatie werd aangetoond. De sterkste effecten werden waargenomen bij kinderen die zich bevonden op minder dan 50m van een drukke weg. Een statistisch significante relatie tussen PM_{2,5} en het verhoogd risico op allergieën en atopische ziekten werd vastgesteld bij de kinderen. Nordling *et al.* (2008) stellen een verband vast tussen de vervuiling afkomstig van het verkeer, met name NO_x en PM₁₀, en de gevoeligheid aan allergenen, zelfs bij lage niveaus van luchtvervuiling.

Astma is de meest voorkomende chronische aandoening bij kinderen wereldwijd en een belangrijke reden voor hospitalisatie bij kinderen. (WHO, 2008)

Annesi-Maesano (2007) toont een relatie aan tussen verhoogde concentraties PM_{2,5} en de kans op het ontwikkelen van allergieën bij schoolkinderen. De kans om te lijden aan atopische dermatitis, atopische astma en allergische sensitisatie was significant hoger voor kinderen die in de buurt van een drukke verkeersweg school liepen. De odds ratio voor hoge versus lage concentraties PM_{2,5} bedragen 2,51 (95% CI= 2,06 ; 3,06) voor atopische dermatitis, 1,43 voor atopische astma (95% CI= 1,07; 1,91) en 1,19 voor allergische sensitisatie (95% CI= 1,04; 1,36).

Een Nederlandse studie toonde aan dat het voorkomen van hoesten, een piepende ademhaling en astma significant verhoogd is bij kinderen die wonen in de nabijheid (<100m) van een autosnelweg (Van Vliet, 1997). We kunnen redelijkerwijs aannemen dat dit verband ook van tel is voor kinderen die naar school gaan in een dergelijke omgeving, aangezien zij een zeer groot deel van hun tijd in dit milieu doorbrengen.

Een studie van McConnell (2006) bevestigt dit verband nogmaals.

Evidentie voor het verband tussen het ontstaan van astma bij kinderen en de mate van luchtvervuiling afkomstig van het verkeer, werd ook geleverd door Jerrett *et al.* (2008). Meerdere studies tonen aan dat kinderen die verblijven in de nabijheid van drukke verkeersaders ernstiger symptomen en een groter aantal hospitalisaties voor astma kennen (Edwards, 1994; Chang, 2008).

Chang (2008) stelt vast dat kinderen die op minder dan 300m van een drukke weg leven een verhoogd risico lopen op herhaaldelijke hospitalisaties voor astma. Dit risico was het hoogst voor kinderen in het hoogste quintiel van verkeersdensiteit (HR=1,21; 95% CI= 0,99-1,49) en kinderen met minstens 750m drukke verkeersweg binnen 300m van hun verblijfplaats (HR=1,18; 95% CI= 0,99-1,41).

De ernst van de symptomen bij astma is geassocieerd met de benzeenconcentraties in de lucht, die voortkomen van het verkeer (Delfino, 2003).

Newcomb *et al.* (2008) stellen in hun onderzoek vast dat voor elke meter die een kind dichter in de nabijheid van een hoofdweg doorbrengt, de kans op hospitalisatie voor astma met 0,1% stijgt. Kinderen die zich op minder dan 1500m van een drukke weg bevinden, lopen 8x meer kans op hospitalisatie omwille van astma dan kinderen die verder van de drukke weg leven.

We kunnen redelijkerwijs aannemen dat de bovenstaande gevolgen ook van tel zijn voor kinderen die naar school gaan in een dergelijke omgeving, aangezien zij een zeer groot deel van hun tijd in dit milieu doorbrengen.

Volgens Gordian *et al.* (2006) is de verhoogde kans op astma ten gevolge van blootstelling aan luchtvervuilende stoffen, meerbepaald vluchtige organische componenten, vooral aanwezig bij kinderen zonder genetische voorbestemdheid voor de aandoening.

De meeste studies rapporteren over een positieve verband tussen de prevalentie aan respiratoire aandoeningen, zoals niezen, een piepende ademhaling en hoesten en de blootstelling aan fijn stof (McConnell, 2006; Sugiri, 2006; Heinrich, 2007) op een enkele uitzondering na (CEOHA, 1996).

Er wordt ook gesteld dat de respiratoire gezondheid verbetert als de kinderen verhuizen naar een locatie waar de concentraties fijn stof verminderen (Heinrich, 2007). Dit was onder andere het geval bij de eenmaking van Duitsland. De respiratoire gezondheid van kinderen uit voormalig Oost-Duitsland kende toen een significante verbetering, door de afname van TSPs (totaal gesuspendeerde partikels). Er was echter een toename van verkeersgerelateerde luchtvervuiling in Oost-Duitsland, die de gunstige effecten van de gedaalde hoeveelheid TSPs tegenwerkte (Sugiri, 2006).

In de studie van Kim (2008) wordt het verband tussen de nabijheid van drukke wegen (<150m) en een verzwakte respiratoire gezondheid nogmaals aangetoond. Zelfs in een omgeving waar de algemene regionale luchtkwaliteit goed is, blijft dit verband gelden.

2) Longfunctie en ontwikkeling van de longen

De longfunctie in de kindertijd is een goede predictor voor de longfunctie in de adolescentie, die op zijn beurt een sterke voorspeller van gezondheid is doorheen het hele verdere leven.

Blootstelling aan fijn stof wordt geassocieerd met een verzwakte longfunctie en verminderde ontwikkeling van de longfunctie (Gauderman, 2007).

Horak *et al.* (2002) tonen dat langetermijnblootstelling aan PM_{10} een significant negatief effect heeft op de ontwikkeling van de grote en kleine luchtwegen. Ze stellen dat er sterke evidentie bestaat voor een bijkomend effect van ozon en stikstofoxide op de ontwikkeling van de FVC, de geforceerde vitale capaciteit, een surrogaat voor de longgroei, en FEV_1 , het expiratoir volume in 1 seconde, een indicator voor de ontwikkeling van de grote luchtwegen. Deze vaststellingen worden ook door Gauderman (2007) bevestigd. In zijn onderzoek stelde Avol (2001) vast dat kinderen van een locatie met een hoge concentratie aan fijne partikels, een tragere jaarlijkse groei van de longfunctie kenden, door de verhoogde blootstelling aan PM_{10} . Anderzijds toonde zijn studie aan dat de jaarlijkse groei van de longfunctie steeg bij kinderen die naar minder vervuilde gebieden verhuisden, door de afgenomen blootstelling aan PM_{10} . Elke toename van $10\mu g/m^3$ PM_{10} blootstelling bij een kind, betekent een reductie van 2,3% per jaar in groei voor de grote luchtwegen.

Kulkarni (2006) toont aan dat elke toename van $1,0\mu g/m^3$ PM_{10} blootstelling bij kinderen geassocieerd is met een reductie van 17% (95% CI= 5,6; 28,4) in FEV_1 , het expiratoir volume in 1 seconde, een indicator voor de ontwikkeling van de grote luchtwegen, met een reductie van 12,9 % (95% CI= 0,9; 24,8) in FVC, de geforceerde vitale capaciteit, een surrogaat voor de longgroei, en met een reductie van 34,7 % (95% CI= 11,3; 58,1) voor de FEF_{25-75} , de geforceerde expiratoire flow tussen 25 en 75% van de FVC.

Oftedal (2008) stelt dat NO_2 negatief geassocieerd is met het functioneren van de longen bij jonge kinderen, vooral bij meisjes. Gauderman (2002) toonde ook de negatieve invloed van $PM_{2,5}$ en NO_2 aan op de ontwikkeling van de longen bij jonge kinderen. Ozon is daarentegen niet geassocieerd met de gereduceerde longgroei. Het effect van de luchtvervuilende stoffen op de ontwikkeling van de longen neemt toe naarmate de kinderen meer tijd in de buitenlucht doorbrengen (Gauderman, 2002).

In een andere studie stelt dit onderzoeksteam dat de nabijheid van drukke wegen hierin een belangrijke, negatieve rol speelt. Kinderen die leven nabij een autosnelweg tonen een belangrijke reductie in de ontwikkeling van de longen (Gauderman, 2007). Margolis (2008) bevestigt de rol van de nabijheid van drukke wegen op de ontwikkeling van de kleine luchtwegen en stelt dat het effect nog groter is voor kinderen die lijden aan astma. Holguin (2007) stelt een gelijkaardig verband vast in zijn onderzoek, dat uitwijst dat de gevoeligheid voor vervuiling afkomstig van het verkeer nog groter is bij kinderen met astma.

3) Kanker

Hoewel de kankerincidentie in de kindertijd laag is in vergelijking met volwassenen, vormt kanker een substantiële doodsoorzaak bij kinderen. Leukemie is de meest voorkomende vorm van kanker tijdens de kindertijd. In Europa is er gedurende de laatste 20 jaar een lichte toename van deze aandoening.

Het verband tussen de ontwikkeling van leukemie in de kindertijd en de blootstelling aan luchtvervuiling afkomstig van het verkeer, blijft onbeslecht. Crosignani (2004) toont een verhoogd risico op leukemie tijdens de kindertijd in associatie met verkeersdensiteit, nabijheid aan drukke verkeerswegen en concentraties aan NO₂ of benzeen in de omgeving. Het risico op leukemie bij kinderen was significant hoger (relatief risico van 3,9, 95% CI= 1,36-11,27) bij zwaar blootgestelde kinderen (> 10µg/m³), vergeleken met kinderen die niet worden blootgesteld aan emissies door wegverkeer. Bij intermediair blootgestelde kinderen (0,1 - 10 µg/m³) bedroeg het relatief risico 1,51 (95% CI= 0,91-2,51). Reynolds (2003) stelt in haar onderzoek eveneens een verband vast tussen luchtvervuilende stoffen en de incidentie van kanker bij kinderen.

Een gecontroleerde studie naar het effect van verkeersuitstoot op kanker bij kinderen toont dat een gemiddelde NO-concentratie van of groter dan 50µg/m³ in de buitenlucht geassocieerd is met een relatief risico van 2,7 (95% C.I. 0,9-8,5), vergeleken met een situatie waarin deze concentratie 39 µg/m³ of minder bedroeg. Bij concentraties vanaf 80 µg/m³ steeg het relatief risico zelf tot 3,8 (95% C.I. 1,2 - 12,1).

Andere onderzoeken bevestigen het verband tussen de incidentie van leukemie tijdens de kindertijd en de uitstoot van voertuigen niet (Raaschou-Nielsen, 2001; Reynolds, 2004). De rol van de vervuiling door het verkeer blijft een onderwerp van discussie in de literatuur. Raaschou-Nielsen en Reynolds (2006) stellen in een review van de beschikbare literatuur dat er mogelijk is een effect is van de vervuiling door het wegverkeer op de ontwikkeling van kanker tijdens de kindertijd.

4) Andere aandoeningen

Middenoorontsteking is een veelvoorkomende infectie bij jonge kinderen. Deze aandoening komt voor bij 75% van de 3-jarigen en is de belangrijkste oorzaak voor antibioticagebruik en chirurgische ingrepen bij kinderen in ontwikkelde landen. In een onderzoek van Brauer *et al.* (2006) wordt aangetoond dat er een positief verband is tussen het voorkomen van otitis media bij kinderen en luchtvervuilende stoffen die uit het verkeer voortkomen. Een stijging in de concentraties aan SO₂ en TSP zorgen voor een significante verhoging in de prevalentie van middenoorontsteking bij de kinderen in de studie.

c. de Vlaamse situatie

Er kan aangenomen worden dat de bevindingen uit voorgaande studies evenzeer van toepassing zijn op de situatie in Vlaanderen. De hoge graad van industrialisatie, de dichte bevolking, het dichte verkeersnet en de beperkte open ruimte maken van Vlaanderen binnen Europa een hotspot wat betreft luchtvervuiling, in het bijzonder voor fijn stof.

3. Conclusie

Uit bovengaande studies komt duidelijk naar voren dat kinderen die school lopen of in crèches verblijven in de buurt van drukke verkeerswegen, een verhoogde blootstelling aan luchtvervuiling kennen. Deze verhoogde blootstelling, gecombineerd met de grote gevoeligheid van de kinderen voor de vervuilende stoffen, maakt hen zeer vatbaar voor allerlei gezondheidsproblemen. Allergieën, astma, respiratoire aandoeningen en een gebrekkige ontwikkeling van de longen en longfunctie zijn hier voorbeelden van. Daarnaast zijn er ook aanwijzingen dat de kinderen in kwestie een verhoogd risico lopen op kanker, met name leukemie.

Deze bevindingen maken duidelijk dat drukke verkeerswegen niet in de nabijheid van scholen en kinderdagverblijven moeten ingepland worden en omgekeerd. Een betere integratie van de effecten op gezondheid bij ruimtelijke ordening is noodzakelijk. Deze maatregel zou leiden tot een substantiële verbetering van de volksgezondheid.

4. Bibliografie

Annesi-Maesano EI, Moreau D, Caillaud D, Lavaud F, Le Moullec Y, Taytard A, Pauli G, Charpin D: Residential proximity fine particles related to allergic sensitisation and asthma in primary school children. *Resp Med* 2007; 101: 1721-1729.

Asher MI, Montefort S, Bjorkstén B, Lai CKW, Strachan DP, Weiland SK, Williams H: Wordwilde time trends in the prevalence of symptoms of asthma, allergic rhinoconjunctivitis, and eczema in childhood: ISAAC phases one and three repeat multicountry cross-sectional surveys. *Lancet* 2006; 368: 733-743.

Avol EL, Gauderman WJ, Sylvia MT, London SJ, Peters JM: Respiratory effects of relocating to areas of differing air pollution levels. *Am J Respir Crit Care Med* 2001; 164: 2067-2072.

Bennet W, Zeman K: Deposition of fine particles in children spontaneously at rest. *Inhal Toxicol* 1998; 10: 831-842.

Brauer M, Gehring U, Brunekreef B, De Jongste J, Gerritsen J, Rovers M, Wichmann HE, Wijga A, Heinrich J: Traffic-related air pollution and Otitis Media. *Environ Health Perspect* 2006; 114(9): 1414-1418.

Buthbumrung N, Mahidol C, Navasumrit P, Promvijit J, Hunsdonti P, Autrup H, Ruchirawat M: Oxidative DNA damage and influence of genetic polymorphisms among urban and rural schoolchildren exposed to benzene. *Chemico-Biological Interactions* 2008; 172: 185-194.

Chang J, Delfino RJ, Gillen D, Tjoa T, Nickerson B, Cooper D: Repeated respiratory hospital encounters among children with asthma and residential proximity to traffic. *Occup Environ Med* 2008; 66: 90-98.

Committee of the Environmental and Occupational Health Assembly of the American Thoracic Society: health effects of outdoor air pollution. *Am J Respir Crit Care Med* 1996; 153: 3-50.

Crosignani P, Tittarelli A, Borgini A, Codazzi T, Rovelli A, Porro E, Contiero P, Bianchi N, Tagliabue G, Fissi R, Rossitto F, Berrino F: Childhood leukemia and road traffic: a population-based case-control study. *Int J Cancer* 2004; 108: 596-599.

Delfino R, Gong H, Linn W, Hu Y, Pellizzari E: Respiratory symptoms and peak expiratory flow in children with asthma in relation to volatile organic compounds in exhaled breath and ambient air. *J Exp Anal Environ Epidemiol* 2003; 13: 348-363.

Diapouli E, Chaloulakou A, Spyrellis N: Levels of ultrafine particles in different microenvironment - implications to children exposure. *J Sci Total Environ* 2007; 388: 128-136.

Edwards J: Hospital admissions for asthma in preschool children: relationship to major roads in Birmingham, United Kingdom. *Archives of Environ Health* 1994; 49(4): 223-227.

Feychting M, Svensson D, Ahlbom A: Exposure to motor vehicle exhaust and childhood cancer. *Scan J Work Environ Health*. 1998; 24: 8-11.

Gauderman WJ, Vora H, McConnell R, Berhane K, Gilliland F, Thomas D, Lurmann F, Avol E, Kunzli N, Jerrett M, Peters J: Effect of exposure to traffic on lung development from 10 to 18 years of age: a cohort study. *Lancet* 2007; 369: 571-577.

Gauderman WJ, Gilliland GF, Vora H, Avol E, Stram D, McConnell R, Thomas D, Lurmann F, Margolis HG, Rappaport EB, Berhane K, Peters JM: Association between air pollution and lung function growth in Southern California children - results from a second cohort. *Am J Respir Crit Care Med* 2002; 166: 76-84.

Gordian ME, Haneuse S, Wakefield J: An investigation of the association between traffic exposure and the diagnosis of asthma in children. *J Exposure Sci Environ Epidemiology* 2006; 16: 49-55.

Heinrich J, Slama R: Fina particles, a major threat to children. *Int J Hyg Environ Health* 2007; 10: 617-622.

Holguin F, Flores S, Ross Z, Cortez M, Molina M, Molina L, Rincon C, Jerrett M, Berhane K, Granados A, Romieu I: Traffic-related exposures, airway function, inflammation and respiratory symptoms in children. *Am J Respir Crit Care Med* 2007; 176: 1236-1242.

Horak F, Studnicka M, Gartner C, Spengler JD, Tauber E, Urbanek R, Veiter A, Frischer T: Particulate Matter and lung function growth in children: a 3-yr follow-up study in Austrian schoolchildren. *Eur Respir J* 2002; 19: 838-845.

Janssen NA, Brunekreef B, Van Vliet P, Aarts F, Meliefste K, Harssema H, Fischer P: The relationship between air pollution from heavy traffic and allergic sensitization, bronchial hyperresponsiveness and respiratory symptoms in Dutch schoolchildren. *Environ Health Perspect* 2003; 111(12): 1512-1518.

Janssen NA, Van Vliet P, Aarts F, Harssema H, Brunekreef B: Assessment of exposure to traffic related air pollution of children attending schools near motorways. *Atmospheric Environ* 2001; 35: 3875-3884.

Jerret M, Shankardass K, Berhane K, Gauderman WJ, Künzli N, Avol E, Gilliland F, Lurmann F, Molitor JT, Thomas DC, Peters J, McConnell R: Traffic-related air pollution and asthma onset in children: a prospective cohort study with individual exposure measurement. *Environ Health Perspect* 2008; 116(10): 1433-1438.

Kim JJ, Huen K, Adams S, Smorodinsky, Hoats A, Malig B, Lipsett M, Ostro B: Residential traffic and children's respiratory health. *Environ Health Perspect* 2008; 116(9): 1274-1279.

Kim JJ, Smorodinsky S, Lipsett M, Singer BC, Hodgson AT, Ostro B: Traffic-related air pollution near busy roads - the East Bay children's respiratory health study. *Am J Respir Crit Care Med* 2004; 170: 520-526.

Korenstein S, Piazza B: An exposure assessment of PM10 from a major highway interchange: are children in nearby schools at risk? *J Environ Health* 2002; 65(2): 7-17.

Kulkarni N, Pierse N, Rushton L, Grigg J: carbon in airway macrophages and lung function in children. *New England Journal of Medicine* 2006; 355(1): 21-30.

Landrigan PJ: Children's environmental health - lessons from the past and prospects for the future. *Pediatric Clinics of North America* 2001; 45(5): 1319-1330.

Margolis HG, Mann JK, Lurmann FW, Mortimer KM, Balmes JR, Hammond SK, Tager IB: Altered pulmonary function in children with asthma associated with highway traffic near residence. *Int J Environ Health Research* 2008; 19(2): 139-155.

McConnell R, Berhane K, Yao L, Jerrett M, Lurmann F, Gilliland F, Künzli N, Gauderman J, Avol E, Thomas D, Peters J: Traffic, susceptibility and childhood asthma. *Environ Health Perspect* 2006; 114(5): 766-772.

Morgenstern V, Zutavern A, Cyrus J, Brockow I, Koletzko S, Krämer U, Behrendt H, Herbarth O, Von Berg A, Bauer CP, Wichmann HE, Heinrich J: Atopic diseases, allergic sensitization and exposure to traffic-related air pollution in children. *Am J Respir Crit Care Med* 2008; 177: 1331-1337.

Newcomb P, Jianling L: Predicting admissions for childhood asthma based on proximity to major roadways. *J Nurs Scholarship* 2008; 40(4): 319-325

Nordling E, Berglind N, Mélen E, Emenius G, Hallberg J, Nyberg F, Pershagen G, Svartengren M, Wickman M, Bellander T: Traffic-related air pollution and childhood respiratory symptoms, function and allergies. *Epidemiology* 2008; 19(3): 401-408.

Oftedal B, Brunekreef B, Nystad W, Madsen C, Walker SE, Nafstad P: Residential outdoor air pollution and lung function in schoolchildren. *Epidemiology* 2008; 19(1): 129-137.

Ozden TA, Gökçay G, Ertem HV, Süoğlu OD, Kiliç A, Sökücü S, Saner G: Elevated levels of cadmium and lead in schoolchildren exposed to smoking and in highways near schools. *J Clin Biochem* 2007; 40: 52-56.

Raaschou-Nielsen O, Reynolds P: Air pollution and childhood cancer: a review of the epidemiological literature. *Int J Cancer* 2006; 118: 2920-2929.

Reynolds P, Von Behren J, Gunier RB, Goldberg DE, Hertz A: Residential exposure to traffic in California and childhood cancer. *Epidemiology* 2004; 15(1): 6-12.

Reynolds P, Von Behren J, Gunier RB, Goldberg DE, Hertz A, Smith DF: Childhood cancer incidence rates and hazardous air pollutants in California: an exploratory analysis. 2003; 111(4): 663-668.

Rijnders E, Janssen N, Van Vliet P, Brunekreef B: Personal and outdoor Nitrogen Dioxide Concentrations in relation to degree of urbanization and traffic density. *Environ Health Perspect* 2001; 109(3): 411-417.

Sugiri D, Ranft U, Schikowski T, Krämer U: The influence of large-scale airborne particle decline and traffic-related exposure on children's lung function. *Environ Health Perspect* 2006; 114(2): 282-288.

Van Roosbroeck S, Jacobs J, Janssen N, Oldenwening M, Hoek G, Brunekreef B: Long-term personal exposure to PM_{2,5}, soot and NO_x in children attending schools located near busy roads, a validation study. *Atmospheric Environ* 2007; 41: 3381-3394.

Van Roosbroeck S, Wichmann J, Janssen N, Hoek G, van Wijnen J, Lebret E, Brunekreef B: Long-term personal exposure to traffic-related air-pollution among schoolchildren, a validation study. *Sci Total Environ* 2006; 368: 565-573.

Van Vliet P, Knape M, de Hartog J, Janssen N, Harssema H, Brunekreef B: Motor Vehicle exhaust and chronic respiratory symptoms in children living near freeways. *Environ Research* 1997; 74: 122-132.

WHO: Health effects of transport-related air pollution. 2005
http://www.euro.who.int/InformationSources/Publications/Catalogue/20050601_1

WHO: fact sheet 3.07.
2008.<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs307/en/index.html>