

Luchtvervuiling schaadt leerprestaties

Hoewel de schadelijke effecten van luchtvervuiling op gezondheid goed bekend zijn, blijft de impact op menselijk kapitaal vaak onderbelicht. In hoeverre beïnvloedt vervuilde lucht leerprestaties en toekomstige sociaal-economische kansen? En wat voor beleid is effectief in het verminderen van deze effecten?

IN HET KORT

- Luchtvervuiling, zowel buiten als binnen, schaadt de cognitieve ontwikkeling en leerprestaties.
- Kosten-batenanalyses onderschatten de kosten van luchtvervuiling omdat ze de effecten op leerprestaties niet meenemen.
- Maatregelen zoals milieuzones en luchtreinigingssystemen verbeteren de luchtkwaliteit en stimuleren leerprestaties.

MARIËT BOGAARD

Onderzoeker bij het ROA aan de Universiteit Maastricht

Het is bekend dat luchtvervuiling aanzienlijke gezondheidsschade veroorzaakt (Brunekreef en Holgate, 2002). Het Nederlandse Schone Lucht Akkoord richt zich daarom op het verbeteren van de volksgezondheid door het terugdringen van luchtvervuiling (MinIenW, 2025).

Toch worden de effecten van luchtvervuiling vaak nog onderschat. Zo houden maatschappelijke kosten-batenanalyses geen rekening met de effecten van luchtvervuiling op menselijk kapitaal, zoals leerprestaties en onderwijsuitkomsten. Daardoor blijven niet alleen relevante maatschappelijke baten buiten beeld, maar kan ook de beleidssturing onvolledig zijn, omdat beslissingen gebaseerd zijn op een te beperkte inschatting van de totale welvaartseffecten van luchtvervuiling.

Luchtvervuiling kan cognitieve prestaties beïnvloeden door een toename in gezondheidsklachten (Neidell, 2004; Coneus en Spiess, 2012; Klauber et al., 2024) die leiden tot ziekteverzuim (Currie et al., 2009; Chen et al., 2018; Liu en Salvo, 2018). Daarnaast heeft luchtvervuiling direct schadelijke effecten op de her-

senen, die al binnen 24 uur na blootstelling merkbaar kunnen zijn. Fijnstofdeeltjes die de hersenen bereiken, kunnen het functioneren van hersencellen belemmeren en geheugen en concentratie aantasten (Calderón-Garcidueñas et al., 2015; Underwood, 2017).

Leerprestaties zijn een bepalende factor voor sociaal-economische uitkomsten later in het leven, zoals arbeidsmarktpositie en gezondheid. Omdat toetsen een centrale rol spelen bij school- en baanselectie, kunnen zelfs kleine verstoringen in toetsprestaties door slechte luchtkwaliteit aanzienlijke gevolgen hebben voor onderwijs- en arbeidsmarktkansen (Ebenstein et al., 2016; Duran et al., 2023; Brehm et al., 2025). Dit kan resulteren in een inefficiënte toewijzing van leerlingen aan onderwijsniveaus en van werkzoekenden aan banen, met mogelijke gevolgen voor zowel individuele carrières als de bredere economische productiviteit. Het is daarom van groot belang om de impact van luchtvervuiling op leerprestaties systematisch in beeld te brengen, zodat beleid en interventies gericht kunnen worden op het beperken van deze verborgen kosten. In dit artikel geef ik een overzicht van deze kosten en pleit ik ervoor hier rekening mee te houden in afwegingen rondom het milieubeleid.

Effecten luchtvervuiling op leerprestaties

De effecten van luchtvervuiling op onderwijsprestaties manifesteren zich al vóór de geboorte. Blootstelling tijdens zwangerschap en vroege kinderjaren kan de hersenontwikkeling beïnvloeden, wat later leerprestaties kan beperken. Onderzoek toont een negatieve relatie tussen prenatale blootstelling aan de totale hoeveelheid zwevende deeltjes (TSP) en toetsscores (Sanders, 2012). Ook heeft prenatale blootstelling aan koolmonoxide (CO) en fijnstof (PM₁₀) een negatief effect op taal- en rekenvaardigheid, vooral bij kinderen van lageropgeleide moeders (Bharadwaj et al., 2017). Blootstelling aan luchtvervuiling in de vroege levensfase heeft zelfs op latere leeftijd (40–49 jaar) meetbare gevolgen: per-

sonen die in de baarmoeder of als baby werden blootgesteld aan de Londense smog van 1952 scoorden lager op hun redeneervermogen en voltooiën gemiddeld minder jaren onderwijs (Von Hinke en Sørensen, 2023). Deze effecten zijn het sterkst voor vrouwen, kinderen uit lagere sociaal-economische gebieden en bij blootstelling in de eerste twee trimesters van de zwangerschap.

Blootstelling aan slechte luchtkwaliteit tijdens de schoolleeftijd, en zelfs op de dag van een toets, heeft eveneens meetbare negatieve effecten op toetsscores (Marcotte, 2017; Heissel et al., 2022). Deze effecten kunnen verschillen tussen groepen: leerlingen met astma (Marcotte, 2017), evenals jongens en slechter presterende leerlingen uit een lager sociaal-economisch milieu (Ebenstein et al., 2016) ondervinden sterkere negatieve effecten. Blootstelling tijdens examens hangt bovendien samen met een later behaald opleidingsniveau en inkomen (Ebenstein et al., 2016).

Niet alleen luchtvervuiling buiten, maar ook de luchtkwaliteit in klaslokalen, waar leerlingen het grootste deel van hun dag doorbrengen, is van belang: slechte ventilatie en ophoping van CO₂ of fijnstof kunnen de leerprestaties direct beïnvloeden. Zo leidt een toename in de gemiddelde dagelijkse CO₂-concentraties tot lagere toetsscores, waarbij het effect het sterkst is voor rekenen en voor leerlingen tussen de acht en dertien jaar (Palacios et al., 2022). Ook leidt een toename van PM₁₀-concentraties boven de door de Wereldgezondheidsorganisatie aanbevolen grenzen tot lagere examenscores (Roth, 2018). De absolute effectgrootte (in standaarddeviaties) is vergelijkbaar met het positieve effect dat wordt gevonden bij het verkleinen van klassen van 31 tot 25 leerlingen (Angrist en Lavy, 1999).

Milieubeleid en schoolinterventies nodig

De negatieve effecten van luchtvervuiling op leerprestaties maken duidelijk dat zowel beleid op lokaal en nationaal niveau als gerichte schoolinterventies noodzakelijk zijn. Sinds januari 2020 is in Nederland het Schone Lucht Akkoord van kracht (MinIenW, 2025), dat provincies, gemeenten en het Rijk verplicht maatregelen te nemen die leiden tot schonere en gezondere lucht.

Een belangrijk onderdeel van het beleid zijn milieuzones, waarin oudere dieselauto's, en vervuilende vrachtwagens en bussen, worden geweerd. Deze zones zijn onder andere ingevoerd in Amsterdam, Arnhem, Den Haag en Utrecht. Vanaf 2025 moeten bovendien alle nieuwe bussen voor het openbaar vervoer uitstootvrij zijn. Het akkoord stelt ook richtlijnen voor gevoelige locaties zoals scholen, waarbij vestiging of uitbreiding alleen binnen de wettelijke grenswaarden van luchtkwaliteit is toegestaan.

De diverse genomen maatregelen lijken hun vruchten af te werpen: tussen 2011 en 2024 zijn de gemiddelde concentraties fijnstof bijna gehalveerd (Bomtempo Leeuwenstein en Rozendaal, 2026).

De kans is groot dat de maatregelen ook de leerprestaties hebben verbeterd. Diverse studies laten zien dat beleid op regionaal niveau en gerichte schoolinterventies effectieve strategieën zijn om de (binnen) luchtkwaliteit te verbeteren en de leerprestaties van leerlingen te ondersteunen. Zo laten studies in Londen en Madrid zien dat de invoering van milieuzones heeft geleid tot hogere toetsscores. Deze effecten zijn sterker bij langdurige blootstelling aan schonere lucht en wanneer leerlingen al op jongere leeftijd aan deze verbeterde luchtkwaliteit worden blootgesteld (Avila-Uribe et al.,

2024; Valdés et al., 2025). Betere luchtkwaliteit kan ook de doorstroom naar academisch voorbereid onderwijs verhogen (Brehm et al., 2025).

Ook op schoolniveau kunnen er maatregelen genomen worden om de luchtkwaliteit te verbeteren en daarmee de leerprestaties van kinderen te verhogen. Renovaties gericht op het verbeteren van de binnenluchtkwaliteit leiden tot hogere toetscores voor rekenen en lezen (Stafford, 2015). Dergelijke grootschalige renovaties kunnen echter ingrijpend en kostbaar zijn, waardoor ook wordt gezocht naar kleinere, kosteneffectieve oplossingen, zoals het gebruik van luchtreinigingsapparatuur in bestaande schoolgebouwen. Onderzoek laat zien dat ook luchtreinigingsapparaten effectief kunnen zijn om de binnenluchtkwaliteit te verbeteren. Zo verlagen luchtfilters die de $PM_{2,5}$ -concentraties beperken ook het ziekteverzuim, met name bij leerlingen met eerder hoog verzuim (Bonan et al., 2025). Luchtfilters kunnen ook de negatieve effecten van acute luchtvervuiling verminderen. Gilraine (2025) toont bijvoorbeeld aan dat de installatie van luchtfilters in klaslokalen nabij een enorm gaslek op straat de rekscores van leerlingen heeft verhoogd – de orde van het effect was vergelijkbaar met de impact van grootschalige schoolrenovaties zoals gerapporteerd door Stafford (2015).

In Nederland voer ik, samen met collega's van de Universiteit Maastricht, onderzoek uit op middelbare scholen in Zuid-Limburg naar het effect van luchtreinigers op toetsresultaten. Onze pilotstudie laat zien dat luchtreinigingsapparatuur de $PM_{2,5}$ in klaslokalen tot zestig procent verlaagt (Bogaard et al., 2025).

Effecten substantieel

De effecten van milieubeleid zijn in orde-grootte vergelijkbaar met interventies uit het bredere kader van onderwijsbeleid, zoals (minder) fysiek onderwijs en klassenverkleining.

Onderzoek laat zien dat één jaar minder fysiek onderwijs vanwege corona leidde tot een leerachterstand in Nederland van 0,06–0,17 standaarddeviatie (SD) in rekenen, lezen en spelling (Haelermans et al., 2022). De effecten van luchtvervuiling zijn van vergelijkbare orde: blootstelling aan slechte luchtkwaliteit verlaagt prestaties met circa 0,04–0,14 standaarddeviaties (Ebenstein et al., 2016; Roth, 2018; Heissel et al., 2022). Omgekeerd leveren interventies die de luchtkwaliteit verbeteren, zoals milieuzones of luchtfilters in scholen, leerwinsten op van ongeveer 0,09–0,20 SD (Avila-Uribe et al., 2024; Gilraine, 2025; Valdés et

al., 2025), terwijl remediëringsprogramma's na corona een gemiddelde leerwinst laten zien van circa 0,05 SD (Jacobs et al., 2025).

Ook gangbare maatregelen in het reguliere primair onderwijs zijn vergelijkbaar effectief (Bolhaar et al., 2018): beperkte verlenging van de lestijd levert circa 0,01–0,07 SD op (Bellei, 2009; Leuven et al., 2010; Carlsson et al., 2015). Alleen zeer intensieve en kostbare interventies, zoals klassenverkleining, laten gemiddeld grotere effecten zien, met leerwinsten van circa 0,18–0,30 SD voor rekenen en taal (Angrist en Lavy, 1999; Krueger, 1999; Bresoux et al., 2009; Fredriksson et al., 2013).

Hoewel maatregelen zoals klassenverkleining en extra lessen vaak in het publieke debat domineren, blijkt uit de literatuur dat luchtkwaliteitsinterventies een vergelijkbare leerwinst kunnen opleveren, waardoor ze een waardevol alternatief of een belangrijke aanvulling vormen op traditionele maatregelen zoals het verlengen van de lestijd of klassenverkleining.

Conclusie

Luchtvervuiling heeft duidelijke negatieve effecten voor de cognitieve ontwikkeling en leerprestaties van leerlingen. Zowel blootstelling aan vervuilde buitenlucht als slechte luchtkwaliteit in klaslokalen kan leiden tot hogere absentie en lagere toetsresultaten. Belangrijk is dat deze effecten zich vaak ook voordoen wanneer de gemeten concentraties binnen de geldende luchtkwaliteitsnormen blijven, wat erop wijst dat de huidige normen niet noodzakelijkerwijs optimaal zijn voor de leerprestaties. Tegelijkertijd wijzen studies naar maatregelen voor een schonere lucht, zoals milieuzones en luchtreinigingssystemen op scholen, op verbeteringen in de prestaties van leerlingen.

De economische betekenis van deze effecten is aanzienlijk. Lagere leerprestaties door luchtvervuiling kunnen op de lange termijn de doorstroom naar hoger onderwijs beïnvloeden en daarmee ook toekomstige arbeidsproductiviteit en inkomens. Wanneer deze effecten niet worden meegenomen in kosten-batenanalyses van milieubeleid, blijft een belangrijk deel van de maatschappelijke baten buiten beschouwing, waardoor de totale welvaartseffecten van luchtkwaliteitsmaatregelen worden onderschat.

Het expliciet meenemen van onderwijseffecten in de beleidsafweging vergroot daarmee de geschatte maatschappelijke baten van luchtkwaliteitsbeleid en kan de relatieve beoordeling van investeringen in luchtkwaliteit veranderen.

Maatregelen ter verbetering van de luchtkwaliteit dragen niet alleen bij aan gezondheidswinst, maar ook aan de opbouw van menselijk kapitaal. Wanneer deze bredere effecten worden meegewogen, ontstaat een vol-

lediger beeld van de maatschappelijke opbrengsten van luchtkwaliteitsbeleid en neemt de beleidsrelevantie dergelijke maatregelen verder toe.

Literatuur

- Angrist, J.D. en V. Lavy (1999) Using Maimonides' rule to estimate the effect of class size on scholastic achievement. *The Quarterly Journal of Economics*, 114(2), 533–575.
- Avila-Urbe, A., S. Roth en B. Shields (2024) Putting low emission zone (LEZ) to the test: The effect of London's LEZ on education. IZA Discussion Paper, 17020.
- Bellei, C. (2009) Does lengthening the school day increase students' academic achievement? Results from a natural experiment in Chile. *Economics of Education Review*, 28(5), 629–640.
- Bharadwaj, P., M. Gibson, J. Graff Zivin en C. Neilson (2017) Gray matters: Fetal pollution exposure and human capital formation. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 4(2), 505–542.
- Bogaard, M., N. Kok en J. Palacios (2025) Pollution and cognitive performance: a field experiment in high schools. AEA RCT Registry, 11 november.
- Bolhaar, J., A. Houkes-Hommes en K. van der Ven (2018) Bewezen (in) effectieve maatregelen tegen leerachterstanden in het primair onderwijs. CPB Achtergronddocument, 6 juni.
- Bomtempo Leeuwenstein, S. en R. Rozendaal (2026) Luchtvervuiling daalt, blootstelling blijft ongelijk verdeeld. ESB, te verschijnen.
- Bonan, J., F. Granella, S. Renna et al. (2025) The effect of air purifiers in schools. Resources for the Future, Working Paper, 11 juni.
- Brehm, J., N. Pestel, S. Schaffner en L. Schmitz (2025) From low emission zone to academic track: Environmental policy effects on educational achievement in elementary school. *Journal of Environmental Economics and Management*, 132, 103165.
- Bressoux, P., F. Kramarz en C. Prost (2009) Teachers' training, class size and students' outcomes: Learning from administrative forecasting mistakes. *The Economic Journal*, 119(536), 540–561.
- Brunekreef, B. en S.T. Holgate (2002) Air pollution and health. *The Lancet*, 360(9341), 1233–1242.
- Calderón-Garcidueñas, L., A. Calderón-Garcidueñas, R. Torres-Jardón et al. (2015) Air pollution and your brain: what do you need to know right now. *Primary Health Care Research & Development*, 16(4), 329–345.
- Carlsson, M., G.B. Dahl, B. Öckert en D.-O. Rooth (2015) The effect of schooling on cognitive skills. *The Review of Economics and Statistics*, 97(3), 533–547.
- Chen, S., C. Guo en X. Huang (2018) Air pollution, student health, and school absences: Evidence from China. *Journal of Environmental Economics and Management*, 92, 465–497.
- Coneus, K. en C.K. Spiess (2012) Pollution exposure and child health: evidence for infants and toddlers in Germany. *Journal of Health Economics*, 31(1), 180–196.
- Currie, J., E.A. Hanushek, E.M. Kahn et al. (2009) Does pollution increase school absences? *The Review of Economics and Statistics*, 91(4), 682–694.
- Duran, N., P. Eichholtz, N. Kok en J. Palacios (2023) Betere ventilatie helpt om leerprestaties te bevorderen. ESB, 108(4819), 112–115.
- Ebenstein, A., V. Lavy en S. Roth (2016) The long-run economic consequences of high-stakes examinations: Evidence from transitory variation in pollution. *American Economic Journal: Applied Economics*, 8(4), 36–65.
- Fredriksson, P., B. Öckert en H. Oosterbeek (2013) Long-term effects of class size. *The Quarterly Journal of Economics*, 128(1), 249–285.
- Gilraine, M. (2025) Air filters, pollution, and student achievement. *The Journal of Human Resources*, 60(5), 1469–1506.
- Haelermans, C., R. Korthals, M. Jacobs et al. (2022) Sharp increase in inequality in education in times of the COVID-19-pandemic. *PLoS ONE*, 17(2), e0261114.
- Heissel, J.A., C. Persico en D. Simon (2022) Does pollution drive achievement? The effect of traffic pollution on academic performance. *The Journal of Human Resources*, 57(3), 747–776.
- Hinke, S. von, en E.N. Sørensen (2023) The long-term effects of early-life pollution exposure: evidence from the London smog. *Journal of Health Economics*, 92, 102827.
- Jacobs, M., C. Haelermans en M. Meeter (2025) Effective remediation programs for vulnerable students to overcome learning loss. *PLoS ONE*, 20(5), e0323352.
- Klauber, H., F. Holub, N. Koch et al. (2024) Killing prescriptions softly: Low emission zones and child health from birth to school. *American Economic Journal: Economic Policy*, 16(2), 220–248.
- Krueger, A.B. (1999) Experimental estimates of education production functions. *The Quarterly Journal of Economics*, 114(2), 497–532.
- Leuven, E., M. Lindahl, H. Oosterbeek en D. Webbink (2010) Expanding schooling opportunities for 4-year-olds. *Economics of Education Review*, 29(3), 319–328.
- Liu, H. en A. Salvo (2018) Severe air pollution and child absences when schools and parents respond. *Journal of Environmental Economics and Management*, 92, 300–330.
- Marcotte, D.E. (2017) Something in the air? Air quality and children's educational outcomes. *Economics of Education Review*, 56, 141–151.
- MinIenW (2025) Maatregelen tegen luchtvervuiling. Rijksoverheid Informatie.
- Neidell, M.J. (2004) Air pollution, health, and socio-economic status: the effect of outdoor air quality on childhood asthma. *Journal of Health Economics*, 23(6), 1209–1236.
- Palacios, J., P. Eichholtz, N. Kok en N. Duran (2022) Indoor air quality and learning: Evidence from a large field study in primary schools. MIT Center for Real Estate Research, Paper, 22/13.
- Roth, S. (2018) The effect of indoor air pollution on cognitive performance: evidence from the UK. Paper te vinden op personal.lse.ac.uk.
- Sanders, N.J. (2012) What doesn't kill you makes you weaker: Prenatal pollution exposure and educational outcomes. *The Journal of Human Resources*, 47(3), 826–850.
- Stafford, T.M. (2015) Indoor air quality and academic performance. *Journal of Environmental Economics and Management*, 70, 34–50.
- Underwood, E. (2017) The polluted brain. *Science*, 355(6323), 342–345.
- Valdés, M.T., M.C. Espadafor en R. Conte Keivabu (2025) Can a low emission zone improve academic performance? Evidence from a natural experiment in the city of Madrid. *Population and Environment*, 47(1), 8.