

# Ook fijnstof-problematiek meene

De aanpak van het binnenklimaat bij scholen beperkt zich meestal tot ventilatie en temperatuurbeheersing. Fijnstof krijgt - onterecht - weinig aandacht. De concentratie  $PM_{10}$  fijnstof is juist in scholen bijzonder hoog, veel hoger zelfs dan buiten. De ramen open zetten voor 'frisse lucht' is niet altijd verstandig. Met de frisse lucht komen namelijk ook schadelijke stofdeeltjes binnen, zoals de uitlaatgassen van diesel-

auto's. Door het filteren van toevoerlucht en het afvangen van grove stof kunnen klaslokalen worden hoe ze horen te zijn: een gezonde omgeving voor onze kinderen.

*Auteur: Piet Jacobs*



Het Rijk zet al enige tijd in op het verlagen van het energiegebruik en het verbeteren van het binnenklimaat bij scholen. Zij doet dit onder de noemer Frisse Scholen. Bij de beoordeling van de luchtkwaliteit in klaslokalen, kijkt men meestal alleen naar de  $CO_2$  concentratie. Kooldioxide is een belangrijke aanwijzing voor de aanwezigheid van menselijke geuren. Boven concentraties van circa 1200 ppm  $CO_2$  gaan veel mensen elkaars lichaamsgeuren ruiken. Dit is vooral het geval bij het betreden van een vertrek waarin zich veel mensen bevinden en waar relatief weinig ventilatie is. Eenmaal in het vertrek, bemerk je het oplopen van de  $CO_2$  concentratie niet of nauwelijks. Zeker niet als de temperatuur niet of nauwelijks oploopt. Om enerzijds de ventilatie goed te

regelen en anderzijds in het stookseizoen niet overmatig te ventileren, is een  $CO_2$  sensor van groot belang. Door de prijsdaling van deze sensoren, passen scholen steeds vaker ventilatiesystemen toe met  $CO_2$  sensoren. Schoolbesturen kunnen in hun Programma van Eisen kiezen uit verschillende kwaliteitsklassen. Klasse C is gelijkwaardig aan eisen in de bouwregeling:  $CO_2 < 1200$  ppm. Bij klasse B dient de  $CO_2$  concentratie onder de 900 ppm te blijven en bij klasse A zelfs onder 800 ppm.

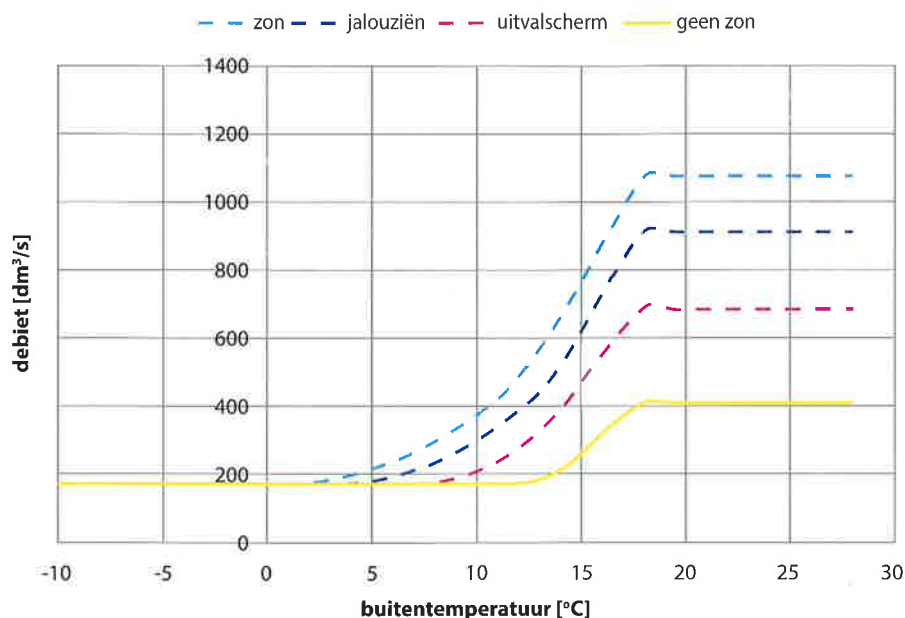
## TEMPERATUURBEHEERSING

Alleen een regeling voor de toevoer van verse lucht op basis van  $CO_2$  is echter niet voldoende om een goed binnenklimaat te creëren. Ook temperatuur zien we in

toenemende mate als een graadmeter en bepaler van de binnenmilieukwaliteit. En daar is het niet altijd goed mee gesteld in scholen. Feitelijk zitten er dertig 'gloeilampjes' in elke klas. Als de zon door het geïsoleerde dubbelglas naar binnen schijnt - en het dak en de wanden zijn goed geïsoleerd - dan wordt zo'n lokaal een soort thermosfles waar wel warmte in gaat maar nauwelijks uit verdwijnt. Dit leidt in nieuwbouwscholen met veel glas en weinig aandacht voor zonwering tot forse oververhittingsproblemen. Die beginnen al in het voorjaar en lopen door tot ver in september. In kantoren brengt men tegenwoordig vrijwel standaard airco aan. In scholen, waar dit nog veel harder nodig zou zijn, is hiervoor vaak nog weinig aandacht. Vaak heeft dat met beschikbaar budget te maken.

In steeds meer nieuwbouwscholen wordt gelukkig wel betonkernactivering aangebracht. In renovatiescholen is dit niet mogelijk. Daar zijn met name een goede zonwering en een goede spui-ventilatie van belang om op een energiezuinige manier de temperatuur te beheersen. Spui-ventilatie is mogelijk zolang de buitenlucht koeler is dan de binnenlucht. Dit is met het gematigde klimaat in Nederland vaak zeer goed mogelijk. Figuur 1 laat ter illustratie zien welke spuidebieten noodzakelijk zijn om de binnentemperatuur te handhaven op 21 °C. Zelfs zonder zon is de spui-ventilatie al snel een factor 2 groter dan de  $CO_2$  geregelde ventilatie. Met zon en zonder zonwering kan het spuidebiet tot een factor 5 boven het normale ventilatiedebiet oplopen. Gelukkig is het wel mogelijk om een deel van de warmtelast in de constructie te bufferen. Toch blijft het belangrijk dat ventilatiesystemen vanuit het oogpunt van thermisch comfort een forse overcapaciteit hebben. Ook voor temperatuur zijn voor het Programma van Eisen Frisse Scholen prestatie-eisen geformuleerd.

# men in aanpak Frisse Scholen



Figuur 1: effect van zoninstraling en zonwering op vereiste ventilatiestroom per klaslokaal

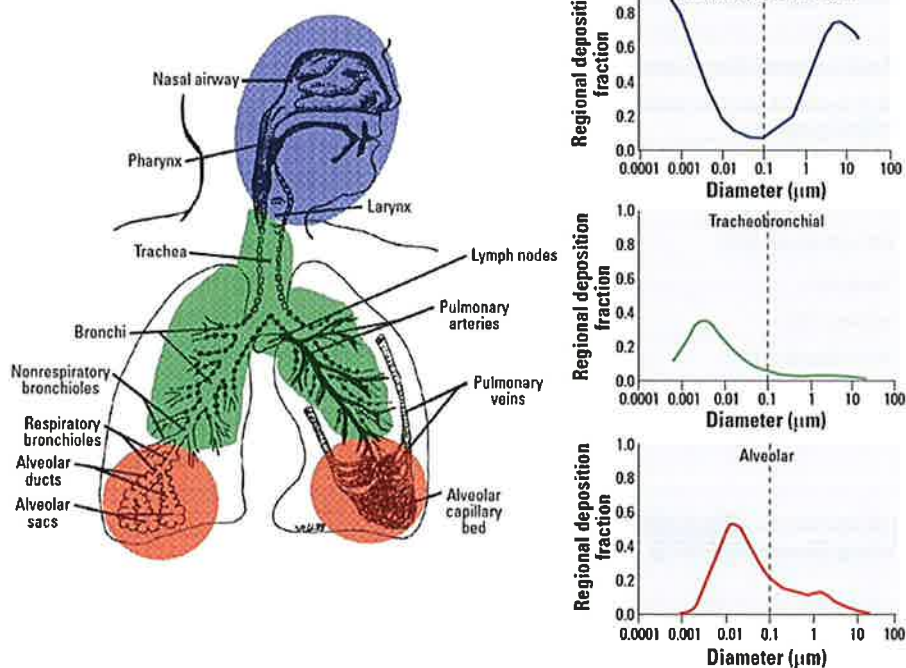
De 'Frisse scholen'-aanpak lijkt dus vooral een kwestie van luchtkwaliteit plus temperatuur. Recentelijk hebben we daar echter nog een derde factor aan toegevoegd: fijnstof.

## FIJNSTOF

Al langere tijd is bekend dat hoge concentraties fijnstof schadelijk zijn voor de gezondheid. Medio 2012 heeft de World Health Organisation (WHO) dieseluitlaatgassen zelfs als een 'Group 1 carcinogeen' geclassificeerd, hetgeen betekent dat er voldoende bewijs is dat deze stoffen kanker veroorzaken. Epidemiologische studies geven inzicht in verbanden tussen blootstelling aan fijnstof en effecten op korte en langere termijn. In december 2013 is in The Lancet – een vooraanstaand Brits medisch tijdschrift – een artikel gepubliceerd waarin een groot aantal Europese epidemiologische studies zijn samengevoegd. Hieruit bleek dat zelfs bij blootstellingen onder de Europese norm voor fijnstof in de buitenlucht – een jaargemiddelde van 25 µg/m<sup>3</sup> voor PM<sub>2,5</sub> – een verhoogd sterftecijfer waarneembaar is.

Fijnstof komt van diverse bronnen. Grof gesproken zijn deeltjes groter dan 2,5 micrometer veelal afkomstig van mechanische processen – zoals slijtage, grondbewerking,

constructiewerkzaamheden – van stof uit de Saharawoestijn of van zee (zeezout aerosol). Uit de massafractie beneden de 2,5 micrometer (PM<sub>2,5</sub> genoemd) zijn de deeltjes voornamelijk afkomstig van verbrandingsprocessen. Het kan daarbij gaan om direct gevormd fijnstof, zoals elementair koolstof en roet. Maar ook om indirect gevormd fijnstof. Dit laatste fijnstof ontstaat uit reacties en condensatie van gasvormige componenten die vrijkomen bij verbrandingsprocessen. Voorbeelden hiervan zijn SO<sub>2</sub>, NOx en vluchtige koolwaterstoffen. Met name ultrafijnstof – <0.1 micrometer – is voor het overgrote deel van verbrandingsprocessen afkomstig. Dit ultrafijne stof komt het diepst in de longen terecht, zoals weergegeven in figuur 2. Ultrafijne stofdeeltjes zijn zo klein dat ze via de longen in de bloedbaan kunnen doordringen. Hier zouden ze bloedstolsels kunnen veroorzaken wat de relatie tussen hart- en vaatzieken en de blootstelling aan fijn stof verklaart.



Figuur 2: depositie van deeltjes van verschillende grootten in de longen [bron: Oberdörster, 2005]



Met een goed binnenmilieu is iedereen blij.

LBP|SIGHT onderzoekt en adviseert bij nieuwbouw en renovatie van schoolgebouwen:

- Energie- en Binnenmilieu Advies (EBA) ■
- Ventilatie Prestatie Keuring (VPK) ■
- PvE Frisse scholen ■
- Akoestiek en brandveiligheid ■
- Duurzaamheid ■

**LBP|SIGHT**

Telefoon (030) 231 1377 • info@lbsight.nl • www.lbpsight.nl

**Bouw**

**Ruimte**

**Milieu**

## REGELGEVING

Gezien de ernstige gezondheidseffecten van fijnstof is speciale regelgeving voor scholen van kracht voor nieuwe schoolgebouwen. Zo moeten nieuwe schoolgebouwen op minimaal 300 meter van de

snelweg en 50 meter van de provinciale weg worden gebouwd. Wat betreft de massa fractie fijnstof ( $PM_{2,5}$  en  $PM_{10}$ ) heeft deze maatregel niet zo'n groot effect omdat deze deeltjes als het ware als een deken boven een gehele regio hangen.

Ze kunnen van grote afstand komen, en bijvoorbeeld bij oostenwind vanuit het Ruhrgebied toenemen. Wat betreft ultrafijnstof is op 200 tot 300 m afstand van de bron een sterke afname van de concentratie te zien. Een verklaring hiervoor is dat de

Tabel 1: gemeten fijnstof concentraties in scholen, kantoren, een kinderdagverblijf en in woningen.

artikel/rapport	type gebouw	$PM_{10}$	$PM_{2,5}$	PNC	Interventie maatregel
		[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	[ $\#/\text{cm}^3$ ]	
Dorizas, AIVC 2013	Griekse school	245	18	5584	-
UMC stRadbout 2013	Nederlandse school	70 - 126	28 - 35		Elektrostatisch filter en vloerbedekking
Zhang 2011	5 scholen in de VS		2,8 - 7,9	1500 - 10300	
Polidori, 2012	3 scholen in de VS	22 - 74%	60 - 94%	68 - 94%	Zakkenfilters (reducties zijn vermeld)
TNO, Officeair, 2013	37 kantoren in EU		5 - 18		-
TNO, Knotz	slaapkamer KDV	20 - 50	8 - 33	10000 - 50000	-
TNO, Knotz met filter	speelkamer KDV	33 - 107	8 - 25		-
	slaapkamer met filter	18 - 34	4 - 13	3600	elektrostatisch filter in toevoerlucht
	speelkamer met filter	22 - 60	3 - 15		elektrostatisch filter in toevoerlucht
Tilburg, Tiwos, 2010	woning		8 - 30		-
	woning met interventie		2 - 20		filter in toevoerlucht
RIVM/TNO 2009	9 woningen	7 - 25			-
Brauner 2008 Kopenhagen	woning		12,6	10016	
	woning met interventie		4,7	3206	HEPA recirculatie filter

ultrafijne deeltjes samenklonteren en zo grotere deeltjes vormen, die qua afmeting niet meer onder ultrafijnstof vallen.

Voor bestaande scholen zijn er geen regels wat betreft fijnstof. De afgelopen jaren konden scholen een groot aantal maatregelen uitvoeren ter verbetering van het binnenklimaat en de energiezuinigheid van bestaande schoolgebouwen, met subsidie. In 2009 en 2010 is, mede in het kader van de bestrijding van de economische crisis, in het primair onderwijs 51 miljoen euro besteed aan het plaatsen van mechanische ventilatiesystemen om de luchtkwaliteit te verbeteren. Deze systemen zijn met name gericht op het verbeteren van de ventilatie, met de CO<sub>2</sub> concentratie als uitgangspunt. Scholen konden per lokaal een subsidie krijgen van 7500 euro. Daarbij gold als eis dat het ventilatiesysteem met warmteterugwinning (WTW) moest worden uitgevoerd. In de meeste gevallen gingen de geplaatste ventilatiesystemen gepaard met G4 en M5 filters, die een laag afscheidingsrendement hebben voor fijnstof. Vanuit het oogpunt van gezondheid was het wellicht beter geweest om eisen te stellen aan de filterkwaliteit - bijvoorbeeld door een F7 of F9 filter voor te schrijven - in plaats van eisen te stellen aan de maximale CO<sub>2</sub> concentratie.

#### LUCHTBEHANDELING MET FILTERS

Eigenlijk zouden scholen het voorbeeld moeten volgen van wat er bij kantoren gebeurt. Vrijwel elk modern kantoor beschikt vandaag de dag over een luchtbehandelingsinstallatie met F7 filters. Deze filters zijn met name bedoeld om de installatie, de warmtewisselaars en de kanalen te beschermen tegen afzetting van stof. Dit leidt ertoe dat er minder onderhoud nodig is. Het geeft echter ook een positief effect op de concentratie fijnstof in het binnenmilieu. Een F7 filter zorgt bijvoorbeeld voor een reductie van circa 50% van PM<sub>2,5</sub> in de kantoorruimte zelf. Dit is natuurlijk ook afhankelijk van de luchtdichtheid van het gebouw.

Scholen passen nauwelijks filtratie toe, omdat ze daar geen geld aan willen of kunnen uitgeven. Er zijn ook scholen die geen

mechanisch ventilatiesysteem met filters in de luchttoevoer willen hebben, omdat het idee leeft dat het ingewikkeld is en het onderhoud veel kosten met zich meebrengt. Welke overweging dan ook, het resultaat is dat de concentratie fijnstof in scholen minimaal gelijk is aan de concentratie buiten en vaak nog hoger. In vergelijking met kantoren is de personenbezetting per vierkante meter in scholen veel hoger hierdoor wordt er meer stof opgewerveld. Daarnaast geeft kleding veel grof stof af.

Tabel 1 laat zien dat de concentratie PM<sub>10</sub> in scholen ongeveer een factor 10 hoger is dan in woningen. De concentratie PM<sub>2,5</sub> en de hoeveelheid ultrafijnstof (Particle Number Concentration, PNC) is vergelijkbaar. Interessant is ook dat de concentratie PM<sub>2,5</sub> en ultrafijnstof in scholen in de VS vergelijkbaar is met die in Europese kantoren. In de bemeten scholen in de VS was airconditioning aanwezig en werd de binnenlucht met hoge luchtdebieten (tot 600 dm<sup>3</sup>/s) over de airco units gerecirculeerd en gefilterd. De interventiestudie in kinderdagverblijf Knotz laat wat betreft aantallen ultrafijnstof-deeltjes een reductie van 80% zien na toepassing van toevoerluchtfiltrering. Het effect op de concentratie PM<sub>2,5</sub> en PM<sub>10</sub> was hier echter beperkt omdat alleen de toevoerlucht werd gefilterd.

In een studie van UMC StRadoud zijn in een klas in een basisschool twee elektrostatische filters en speciale vloerbedekking toegepast. Volgens de specificaties van de luchtreiniger zou deze wat betreft PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub> respectievelijk 99 en 95% afvangen. Het totale recirculatie-debiet per lokaal bedroeg 150 m<sup>3</sup>/uur. In vergelijking met de studie van Polidori - waar men lucht inzette voor ruimtekoeling - is dit een relatief laag debiet. Dit is waarschijnlijk ook de verklaring voor de relatief beperkte reductie van ongeveer 30% voor PM<sub>10</sub> en ongeveer 40% voor PM<sub>2,5</sub>. De concentratie PM<sub>10</sub> bleef ondanks de maatregel in het UMC StRadoud hierdoor zelfs ruim boven de buitenconcentratie.

#### AANBEVELINGEN

Bij het realiseren van een gezond binnenklimaat in scholen mogen we ons niet

beperken tot ventilatie en temperatuurbeheersing. De concentratie ultrafijnstof in scholen is door het ontbreken van binnenbronnen veelal vergelijkbaar met buiten. Met name in de nabijheid van drukke wegen kan dit problemen opleveren. Interventiestudies laten zien dat efficiënte filters in de toevoerlucht de concentratie ultrafijnstof met ruim 80% kunnen verlagen. De massa concentratie fijnstof, en dan met name de PM<sub>10</sub> fractie, is in scholen relatief zeer hoog. Die concentratie kan zelfs een factor 2 tot 5 hoger liggen dan in de buitenlucht. De schadelijkheid hiervan is nog niet of nauwelijks onderzocht. Wel zijn er onderzoeken uitgevoerd naar de effecten van bepaalde maatregelen. Door de beperkte capaciteit van de beschikbare luchtreinigers, was het effect op de concentratie PM<sub>10</sub> in deze studies beperkt; deze bleef ruim boven de buitenconcentratie. Door productontwikkeling van (recirculatie)filters met een hoge capaciteit, wellicht in combinatie met actieve koeling of koeling op basis van buitenlucht, kunnen we echt gaan werken aan 'frisse' scholen. Bij toekomstige oplossingen is vooral ook vraagsturing een interessante maatregel. Vraagsturing op basis van de actuele fijnstof-concentratie is mogelijk door het integreren van een optische fijnstofmeter in het filtersysteem. Daarnaast wordt momenteel door TNO samen met een aantal binnenmilieu adviesbureau's gewerkt aan een protocol om fijn stof in het binnenmilieu met optische sensoren te meten en te classificeren analoog aan de huidige A, B en C klassen voor onder andere de CO<sub>2</sub> concentratie en temperatuur.

**TNO** innovation  
for life

Over de auteur:

Piet Jacobs is onderzoeker bij TNO op het gebied van binnenmilieu en energiebesparing in de gebouwde omgeving. Voor meer informatie: [piet.jacobs@tno.nl](mailto:piet.jacobs@tno.nl).