



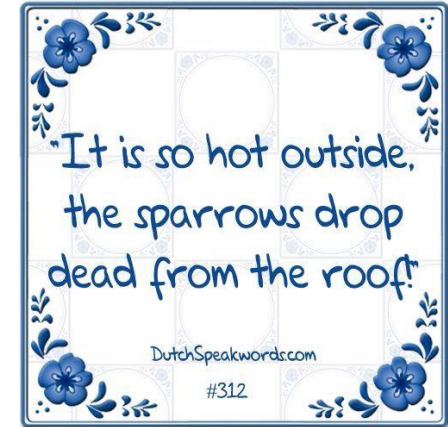
# PILOT SCHOOLVENTILATIE, DAUWPUNTSKOELING EN ELEKTROSTATISCHE FILTERING

ISIAQ.nl symposium binnenmilieu in scholen | Ir. P. Jacobs

**TNO** innovation  
for life

# OVERZICHT

- › Effect van temperatuur op prestaties
- › Programma van Eisen Frisse scholen
- › Wat is fijnstof? Hoe ongezond is het? Wat kun je eraan doen?
- › Cases:
  - › Kinderdagverblijf Delft: PM<sub>2,5</sub> en ultrafijnstof
  - › Basisschool Den Haag naast drukke weg: PM<sub>2,5</sub> en roet
  - › Jordan collega Zeist naast A28 en Utrechtse Baan



# HTTPS://WWW.PORAAD.NL/WEBLOGS/RINDA-DEN-BESTEN-STOKEN-VOOR-DE-MUSSEN

## Rinda den Besten: Stoken voor de mussen

14-03-2017

De kou is uit de lucht, de lente staat weer voor de deur. Heerlijk. Maar zit je in een slecht geventileerd klaslokaal, dan zie je die zon liever weer achter de wolken verdwijnen. Zo'n warme, zuurstofarme ruimte vóélt niet alleen bedompt, Deens [veldonderzoek](#) toont aan dat één graad temperatuurverschil tot 3,5 procent prestatieverlies leidt. Bovendien zijn leerkrachten en leerlingen bij een slecht binnenklimaat vaker ziek.

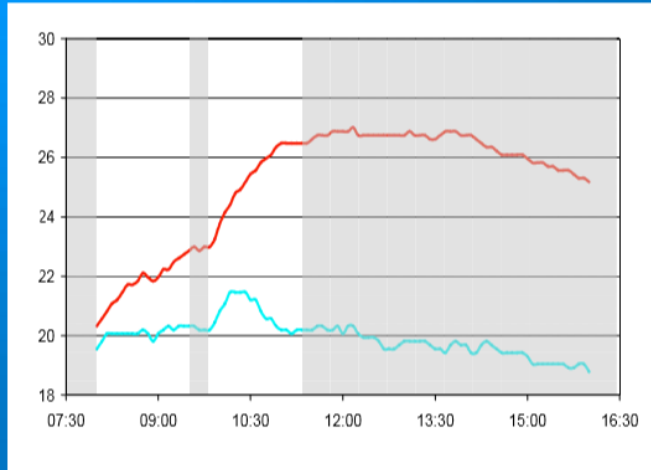
*"Airco-apparatuur is scholen ingebracht met grote beloftes, maar de kosten blijken vaak harder te stijgen dan de luchtkwaliteit."*



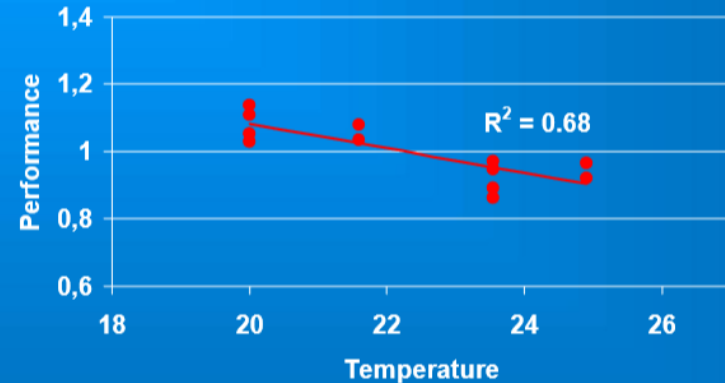
Delen en opslaan

# DEENSE BASISCHOOL NABIJ KOPENHAGEN

Typical time-course of classroom temperature in the two classrooms



Performance of schoolwork as a function of classroom temperature

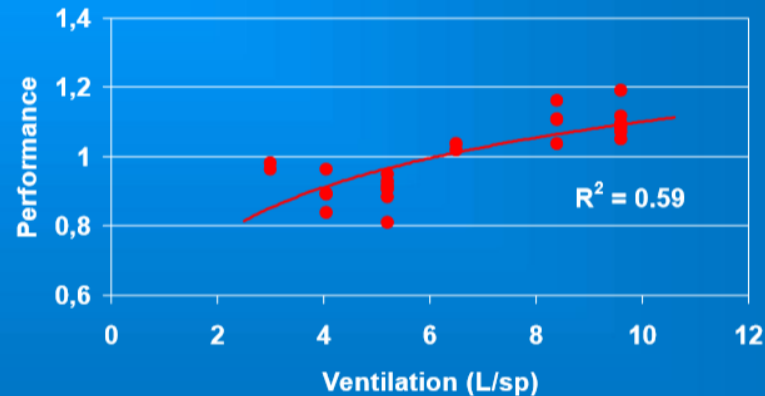


1°C lower temperature ~3.5% higher performance

› <https://www.swegonairacademy.com/wp-content/uploads/2012/04/Wyon-Rotterdam-2010.pdf>

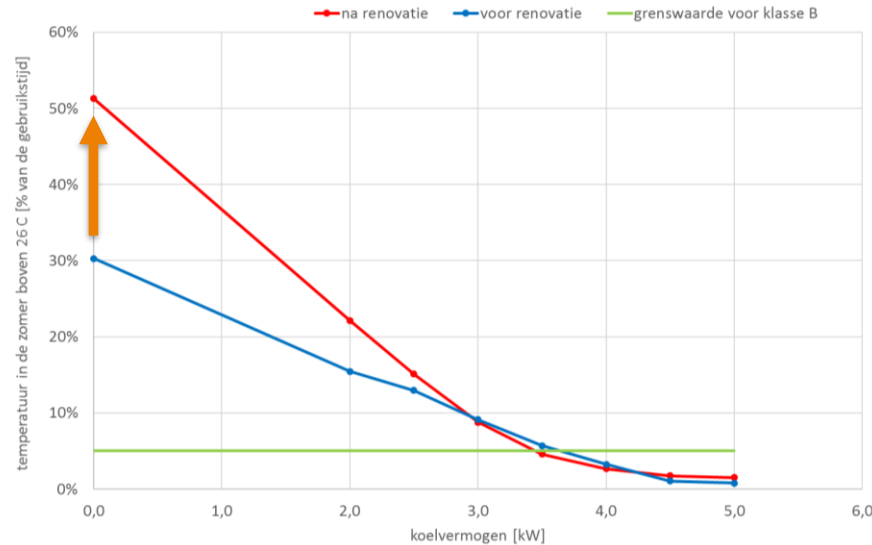
# WYON: EFFECT VAN VENTILATIE

## Performance of schoolwork as a function of classroom ventilation



Doubling ventilation rate ~14.5% higher performance

# ISOLATIE MAAKT OVERVERHITTING ERGER



*percentage van de lestijd dat de temperatuur boven 26 °C komt als functie van het geïnstalleerde koelvermogen. Klasse B, PvE Frisse Scholen: max. 5% (groene lijn)*

# PROGRAMMA VAN EISEN FRISSE SCHOLEN

Aantal pagina's per onderwerp:						
	energie	lucht	T	licht	geluid	Totaal
2008	1,5	2	1,5	1	0,5	6
2012	1,5	2	1	0,5	1	6
2015	0,5	4,5	2,5	1,5	2	11



2008



2012



2015

## PVE FRISSE SCHOLEN 2015

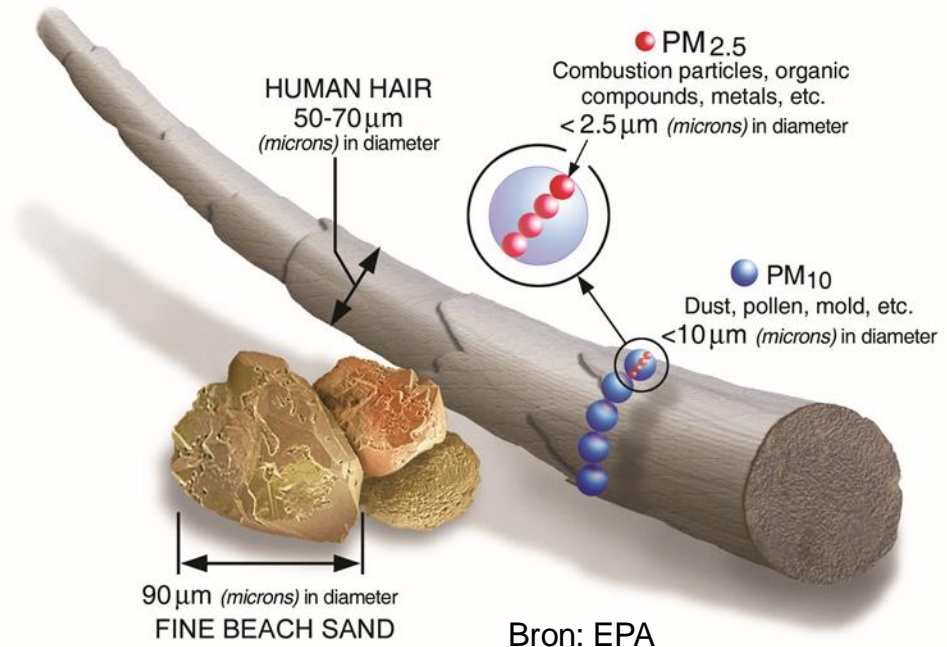
	C	B	A
CO <sub>2</sub> [ppm]	< 1200	< 950	< 800
Luchtdebiet [m <sup>3</sup> /pers]	> 21,6	> 30,6	> 43,2
Installatiegeluid [dB]	< 35	< 33	< 30
Zomertemperatuur [°C]	< 27	< 26	< 25,5
Filterkwaliteit	> M5	> M6	> F7

- Temperatuureisen gelden voor actieve koeling, passieve koeling is ook mogelijk, echter meestal niet effectief genoeg
- Er is (nog) geen prestatie eis voor fijnstof !

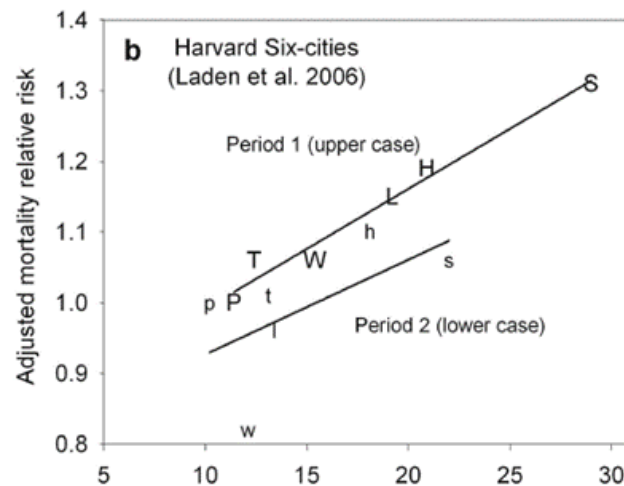


# FIJNSTOF: ROMMEL IN DE LUCHT

- $PM_{10}$ : massa van deeltjes  $< 10 \mu\text{m}$  (in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
- $PM_{2.5}$ : massa van deeltjes  $< 2.5 \mu\text{m}$  (in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
- EC/roet: massa van roetdeeltjes (in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
- Ultrafijn stof / particle number concentration (PNC)  
(in aantallen deeltjes /  $\text{cm}^3$ )



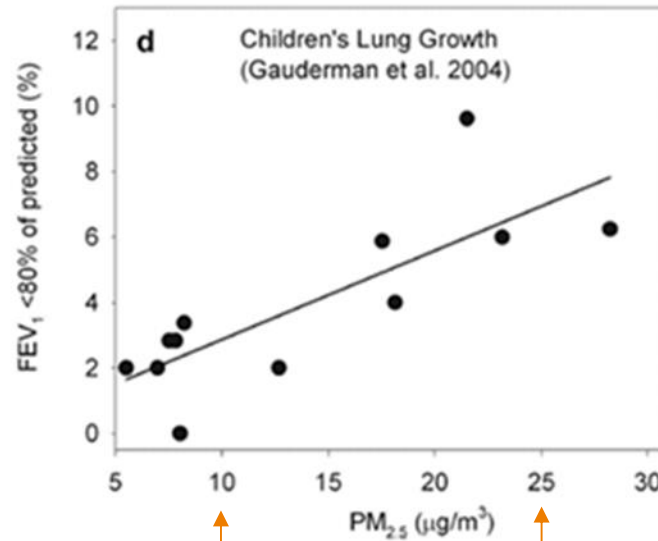
# EFFECT VAN PM<sub>2,5</sub> OP MORTUALITEIT



WHO

EU grenswaarde

# KORTE TERMIJN: LONGCAPACITEIT (FEV) KINDEREN



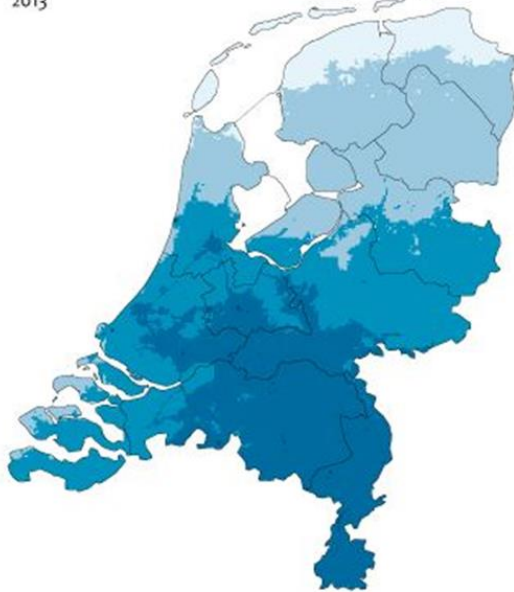
WHO

EU grenswaarde

# WAT KUN JE ER AAN DOEN?

Concentratie fijnere fractie van fijn stof (PM<sub>2,5</sub>)

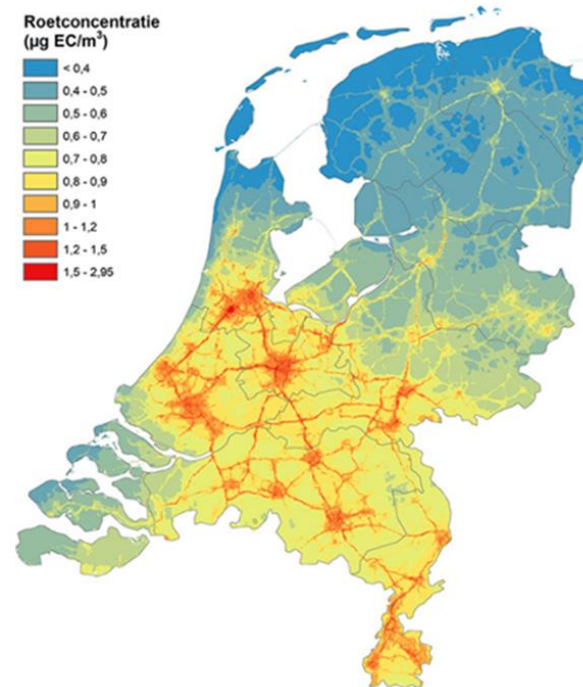
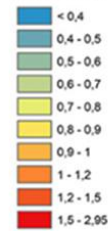
2013



Jaargemiddelde (µg/m<sup>3</sup>)



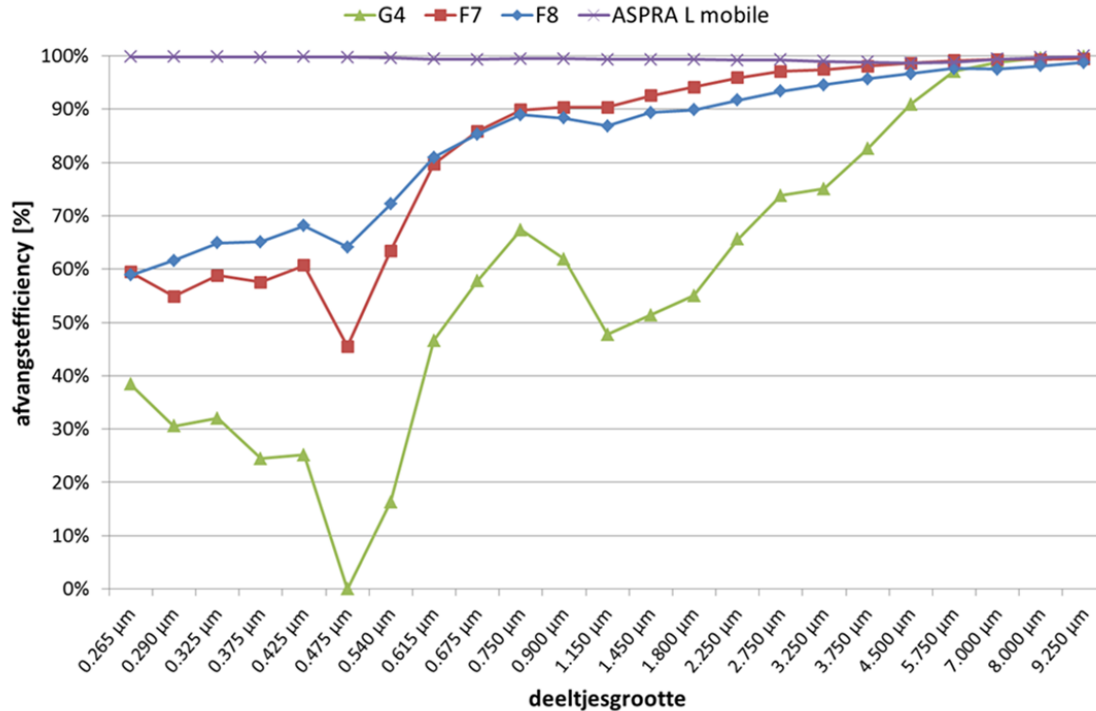
Roetconcentratie (µg EC/m<sup>3</sup>)



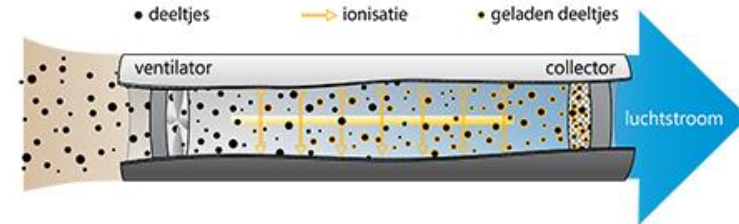
Bron: RIVM, 2014.

PBL/aug14  
www.do.nl/nl053206

# FILTERING



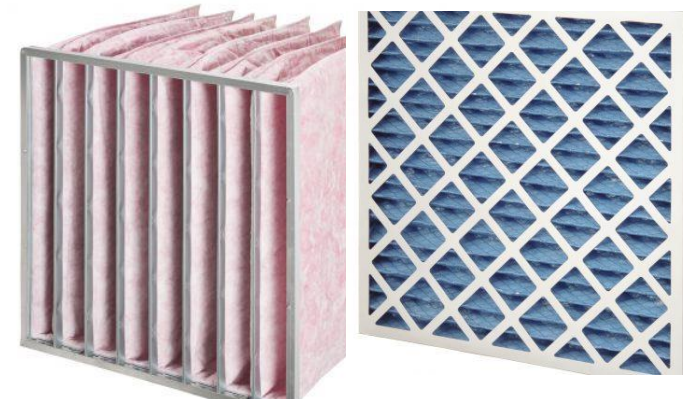
## Electrostatisch filter met collector



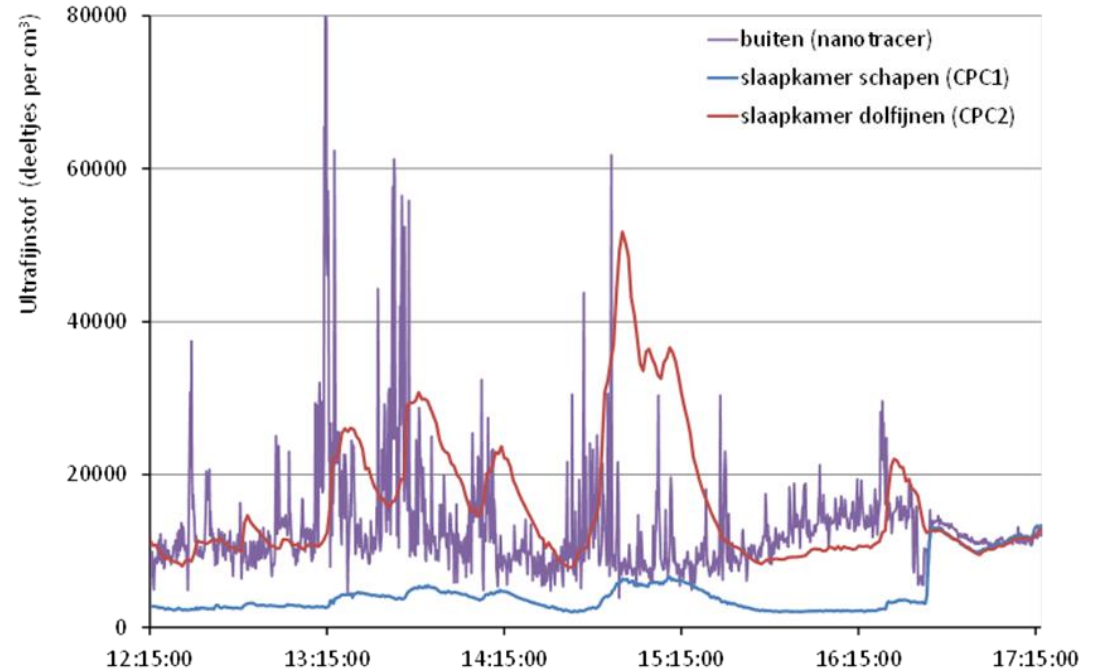
Bron: <https://www.vfa-solution.com/our-technology/aspra-air-cleaning/>

s.com/onze-techniek/aspra-

## Mechanische filters G4 / F7 / F8



# ELEKTROSTATISCH FILTER KINDERDAGVERBLIJF 2011



80% reductie ten opzichte van referentie slaapkamer  
85% reductie ten opzichte van buiten

donderdag 4 april 2019

# BASISSCHOOL DEN HAAG NAAST DRUKKE WEG

Interventies: M5 → F7 filter  
Verplaatsing van de buitenluchtaanzuig

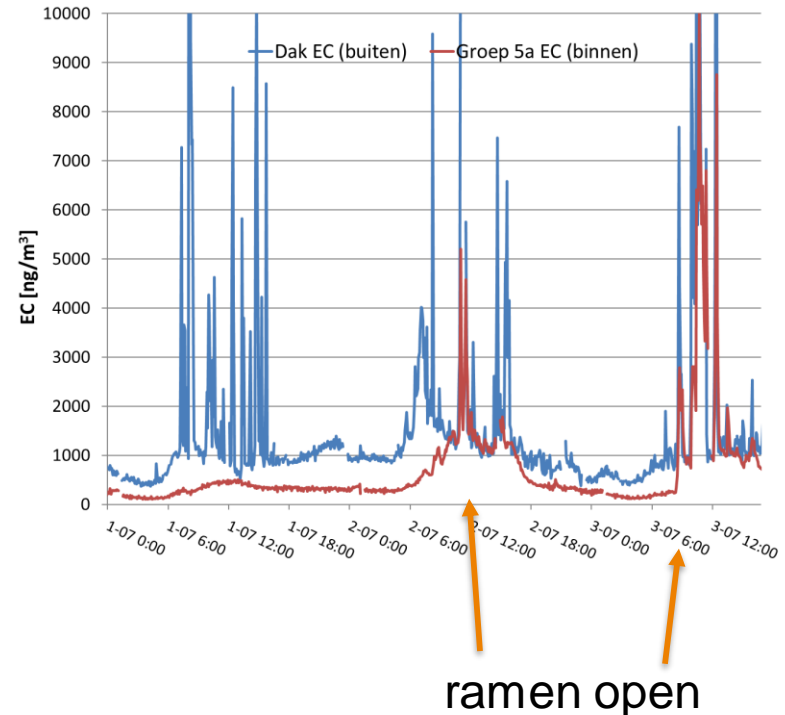


# EFFECT VAN M5 NAAR F7 FILTER

PM<sub>2,5</sub> jaargemiddeld:  
15 → 6 µg/m<sup>3</sup>

Roet:  
1,1 tot 1,5 µg/m<sup>3</sup> → 0,3 – 0,5 µg/m<sup>3</sup>

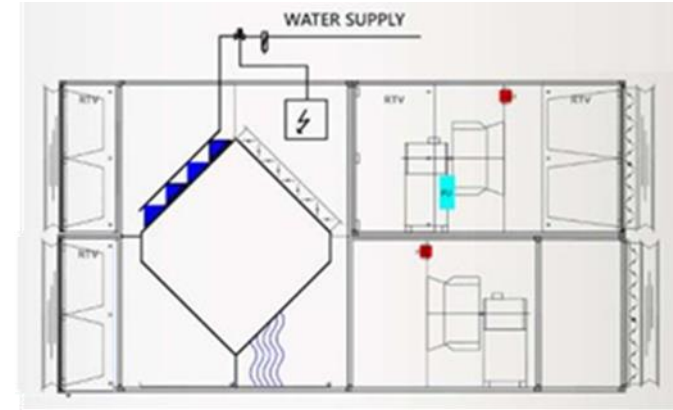
Luchtdebiet na 4 maanden standtijd  
niet afgenomen





# TKI SCHOOLVENT

- › Looptijd: januari 2018 – december 2019
- › Energiezuinige luchtbehandelingskast voor 5 klaslokalen
- › Klasse A: CO<sub>2</sub>, temperatuur, geluid en fijnstof



Te ontwikkelen:

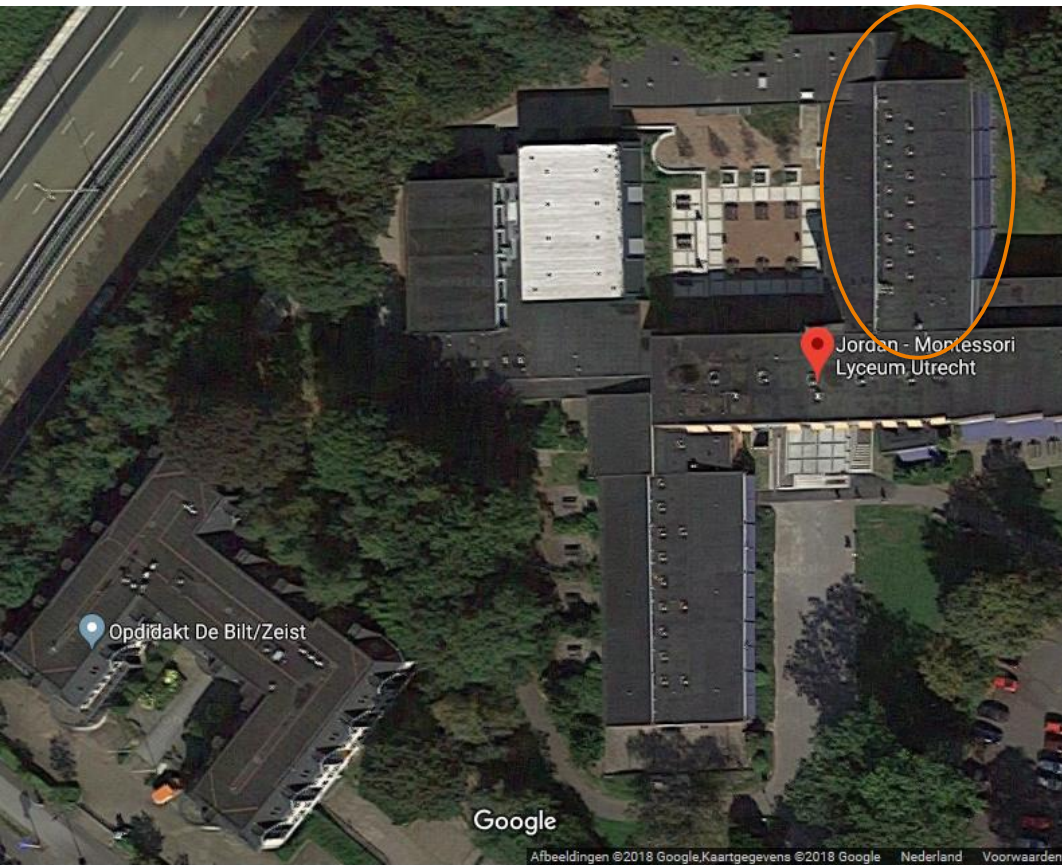
1. Elektrostatische filtermodule 10.000 m<sup>3</sup>/uur, E10 filterkwaliteit met 80% lagere drukval
2. Dauwpuntkoeling 80% energiebesparing op koeling
3. Smart sensing

Op minder dan 50 m ten oosten van de snelweg A28 en ten NO van de Utrechtse weg

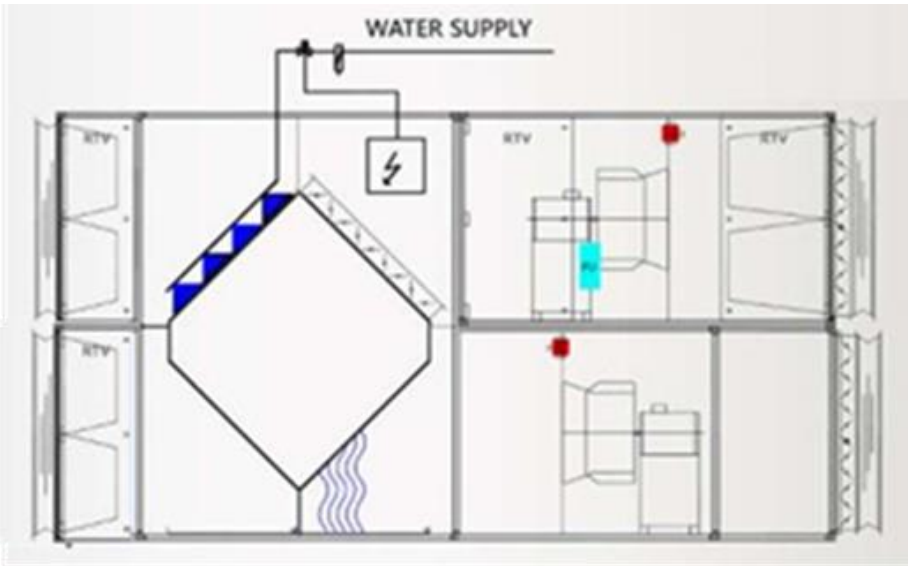
Bij ZW wind maximale blootstelling

School in 2018 enkele dagen gesloten vanwege oververhitting



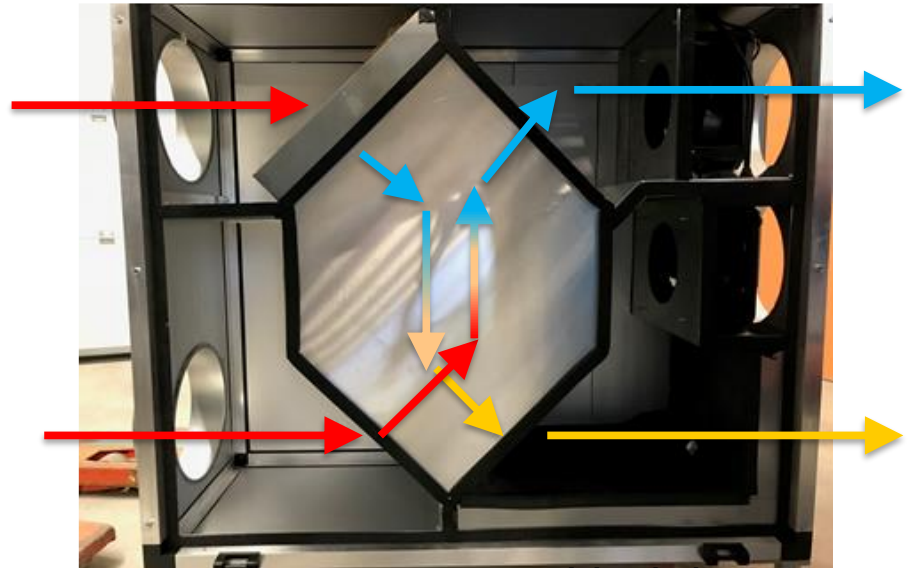


# 670 M3/UUR TEST MODEL



Warme lucht uit  
klaslokaal: 25 C

lucht naar  
klaslokaal: 20 C



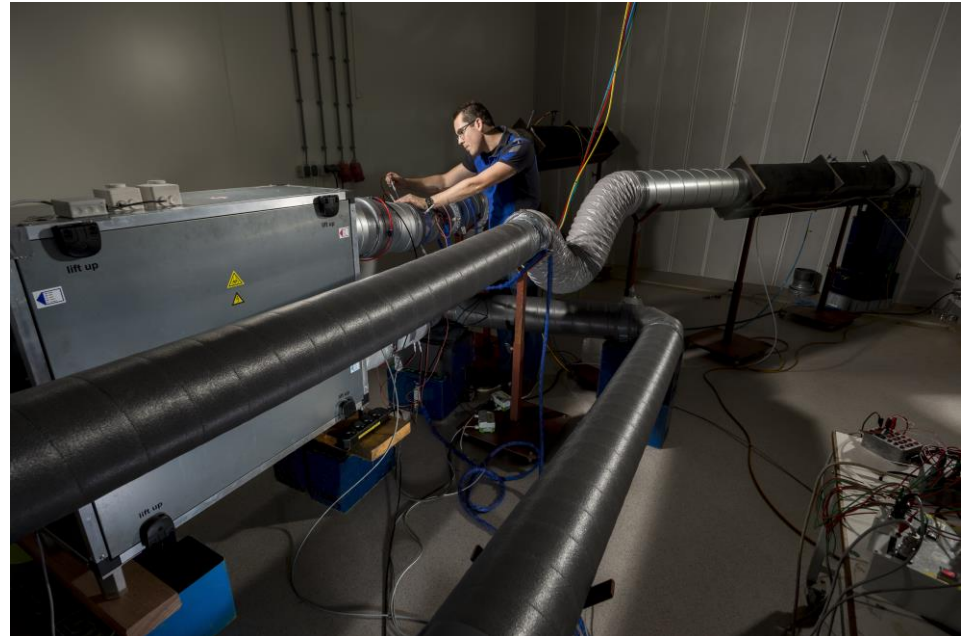
Verse buitenlucht: 25 C

Vochtige  
afvoerlucht: 22 C

# BEPALEN KOELVERMOGEN IN TNO LAB IN DELFT

1 kW koelvermogen bij  
670 m<sup>3</sup>/h  
Ca. 10 liter water/uur

3 kW koeling nodig, dus  
per lokaal maximaal  
2000 m<sup>3</sup>/uur lucht



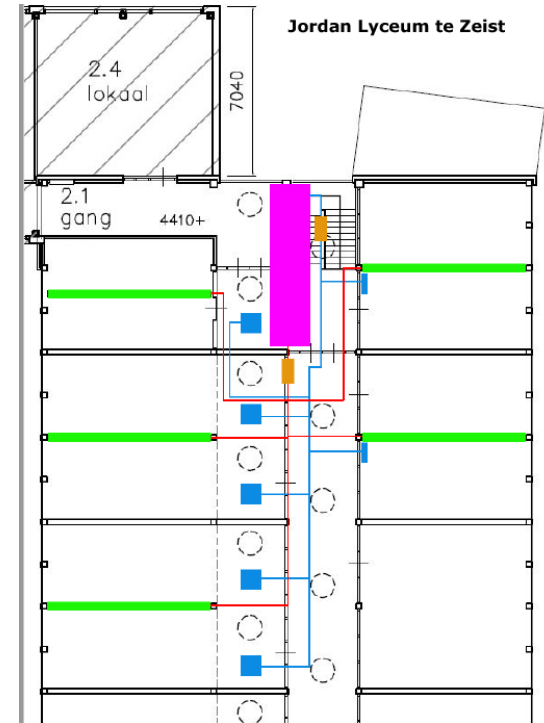
# VARIABEL AIR VOLUME SYSTEEM

Vraagsturing per lokaal op basis van:

- CO<sub>2</sub>
- Koelbehoefte

Geplande installatie: mei vakantie

Monitoring t/m mei 2020



# BEDANKT VOOR UW AANDACHT

## › Vragen ?

› [piet.jacobs@tno.nl](mailto:piet.jacobs@tno.nl)

› *De projecten zijn mede gefinancierd met TKI (toeslag) subsidie van het ministerie van economische zaken voor TKI Urban Energy, Topsector Energie, [www.tki-urbanenergy.nl](http://www.tki-urbanenergy.nl)*

## 27% NO<sub>2</sub> REDUCTIE, KOSTEN 15 KEURO

