

# Fijnstof en HVAC-systemen

Verkeer wordt als een van de belangrijkste bronnen gezien met betrekking tot fijnstof. Het veroorzaakt ziekte en sterfte vanwege longkanker, hart- en vaatziekten en astma. HVAC systemen moeten ons beschermen tegen dergelijke bronnen. Echter, in werkelijkheid filteren zij minder dan de helft van het fijnstof. In deze studie is het effect van onderhoud aan filters op de binnenluchtkwaliteit onderzocht. De fijnstof concentraties zijn gemeten op de werkplekken van een Nederlands kantoor dat mechanisch geventileerd is. Er is een sterke correlatie gevonden tussen binnen en buiten met betrekking tot de kleinere deeltjes die zijn gemeten (0,2-0,7  $\mu\text{m}$ ). Het effect van een HVAC-systeem dat in bedrijf is, het vervangen van het filter en de aanwezigheid van bewoners in het gebouw was minimaal ten opzichte van de buitenluchtconcentratie. De luchtdichtheid van de gevel lijkt daarmee de dominante factor bij gebouwen uit de jaren '80.

Dr.ir. F. (Francesco) Franchimon, ir. J.R. (Jaap) Balvers;  
BAM Energy Systems

## ■ MENS EN TECHNIEK

Verkeer gerelateerd PM10 veroorzaakt 25.000 nieuwe gevallen van chronische bronchitis (volwassenen), 290.000 bronchitis aanvallen (kinderen), 500.000 astma aanvallen en 16 miljoen mandagen aan restricties elk jaar in Oostenrijk, Frankrijk en Zwitserland samen. In Nederland is een reductie van 180.000 gezonde levensjaren vastgesteld, voornamelijk door vroegtijdige sterfte.

Het ultrafijne stof bereikt de longen, de bloedbanen en het hart en veroorzaakt ontstekingen en oxidatieve stress (een stofwisselingstoestand waarbij de balans tussen de productie van reactieve zuurstofverbindingen en antioxidanten verstoord is wat beschadigingen

teweeg kan brengen in alle delen van de cel). Ondanks het feit dat de meeste epidemiologische studies gericht zijn op het grovere deel van het fijnstof spectrum, hebben juist de ultrafijne deeltjes de hoogste waarschijnlijkheid om achter te blijven in de longen.

Fijnstof kan het gebouw penetreren door deuren, ramen, gevels en HVAC systemen. HVAC systemen zouden het fijnstof moeten reduceren met behulp van de luchtfilters. De werkelijke penetratie hangt af van de luchtdichtheid van de gevel (infiltratie) en het HVAC-systeem. Voor de grovere deeltjes (> 1,0  $\mu\text{m}$ ) laten de filters die normaliter gebruikt worden in HVAC systemen een hoge efficiency zien. Echter, de efficiency van dergelijke filters

voor de kleinere deeltjes (0,1-0,4  $\mu\text{m}$ ) is veel lager. Het is interessant te vermelden dat hoe ouder de filters worden hoe hoger de efficiency van het filter wordt. De deeltjes die gevangen worden vergroten namelijk het oppervlak van het filter.

Gebouwen zijn bedoeld om mensen te beschermen tegen de buitenwereld. Dat geldt niet alleen voor weer en wind maar uiteraard ook voor fijnstof concentraties. Om die reden is onderzoek gedaan naar het effect van het onderhoud aan de luchtbehandelingskast, het vervangen van filters en het lekken van lucht rondom de filters. HVAC systemen moeten ons beschermen tegen verkeer gerelateerde fijnstof. Maar is dat waar?

## METHODE

Het onderzochte kantoorgebouw, gebouwd in 1989, bevindt zich in het westen van Nederland, 200 meter ten oosten van het knooppunt A4/A13. Het gemiddeld aantal verkeersbewegingen betreft 180.000 voertuigen per dag. Het gebouw heeft drie verdiepingen en een conferentieruimte op de vierde verdieping waar ook de technische ruimte zich bevindt. Het HVAC-systeem bestaat uit een warmtewiel, F7 zakkenfilters, warmtebatterij en koelbatterij. De bevochtiging is voor dit onderzoek tijdelijk uitgezet. Het HVAC-systeem heeft in het weekend gelijke bedrijfstijden ten opzichte van de weekdays (6.00 - 19.00 uur). Hiermee kon inzicht verkregen worden in de invloed van menselijke activiteit op de fijnstof concentratie (huidschilvers, opdarrelen van stof door beweging). Op maandag start het systeem een uur eerder. De concentratie van het fijnstof (in massa en aantal) binnen en buiten is gemeten voor en na het onderhoud. Binnen is op drie verschillende werkplekken gemeten. Voor de massaconcentratie is PM10, PM2,5 en PM1,0 gemeten. Voor de deeltjesconcentratie is gemeten in de bandbreedte 0,2-0,3  $\mu\text{m}$ , 0,3-0,5  $\mu\text{m}$  en 0,5-0,7  $\mu\text{m}$ . De sampletijd betrof vijf minuten. Meteorologische gegevens (windsnelheid, windrichting en neerslag) zijn betrokken van de twee dichtstbijzijnde weerstations (Den Haag en Rotterdam) van het KNMI. De eigen metingen zijn uitgevoerd op het dak van het gebouw op ongeveer 2,5 meter van het buitenlucht aanzuigrooster van het HVAC-systeem. De aanname is gedaan dat de concentratie op deze plek gelijk is aan de werkelijke (gemiddelde) buitenconcentratie. De drie gemeten werkplekken zijn verdeeld over verschillende verdiepingen. Een werkplek op de bovenste verdieping dicht bij het HVAC-systeem (kanaallengte circa 9 meter), een werkplek op de bovenste verdieping aan het einde van de vleugel in een kantoortuin (kanaallengte circa 47 meter) en een werkplek op de begane grond eveneens aan het einde van de vleugel (kanaallengte circa 58 meter). De meetinstrumenten zijn naast het bureau neergezet en drie meter vanaf de buitengevel, één meter van de luchtafzuiging en op 110 centimeter hoogte. Aangenomen is dat de meting representatief is voor de gehele ruimte. Hiermee is de ruimte als volledig gemengd verondersteld. De metingen zijn uitgevoerd voor en na het jaarlijkse onderhoud in de periode tussen 14 december 2007 en 8 februari 2008. De onderhoudsactiviteiten betroffen: filter vervanging inclusief strippen ter voorkoming van luchttekages rondom het filter en het schoonmaken (nat en droog) van de ventilatoren. Tevens is de

V-snaar vervangen en geolied. De verwarmingsbatterij en koelbatterij zijn, vanwege de slechte bereikbaarheid, niet gecoat. Voor de statistische analyse is voor de correlaties de non-parametrische verdeling Spearman's rho gebruikt. De data is verdeeld in drie categorieën: (i) HVAC-systeem was uit bedrijf en er vonden geen menselijke activiteiten plaats, (ii) HVAC-systeem was in bedrijf en er was menselijke activiteit (weekdagen) en (iii) HVAC was in bedrijf maar er was geen menselijke activiteit (weekend- en vakantie-dagen).

## RESULTATEN

Gedurende de meetperiode was de gemiddelde dagtemperatuur  $13 \pm 1^\circ\text{C}$ , de gemiddelde luchtvochtigheid  $78 \pm 3\%$ , de gemiddelde windrichting Zuid-Zuidwest en de gemiddelde windsnelheid 3 m/s. De maximale neerslag was 6,5 mm per uur met een totaal van 95 mm over de gehele meetperiode en 19% van het aantal gemeten uren. De buitenconcentratie van PM10 was lager dan de Europese Norm van  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gedurende 94% van de tijd en voor PM2,5 was de concentratie lager dan  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gedurende 84% van de tijd. Voor PM1,0 zijn geen richtlijnen. Voor de deeltjesconcentratie lag het aantal deeltjes voor de bandbreedte 0,2-0,3  $\mu\text{m}$  22% hoger tijdens de weekdays ten opzichte van de weekenddagen. De verkeersintensiteit is in het weekend lager. Gedurende de weekdays was de gemiddelde massaconcentratie  $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$  voor PM10 en  $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$  voor PM2,5. Voor de weekenddagen zijn soortgelijke meetresultaten verkregen,  $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$  voor PM10 en  $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$  voor PM2,5. Het geeft aan dat de uitstoot van het fijnstof van het verkeer vooral

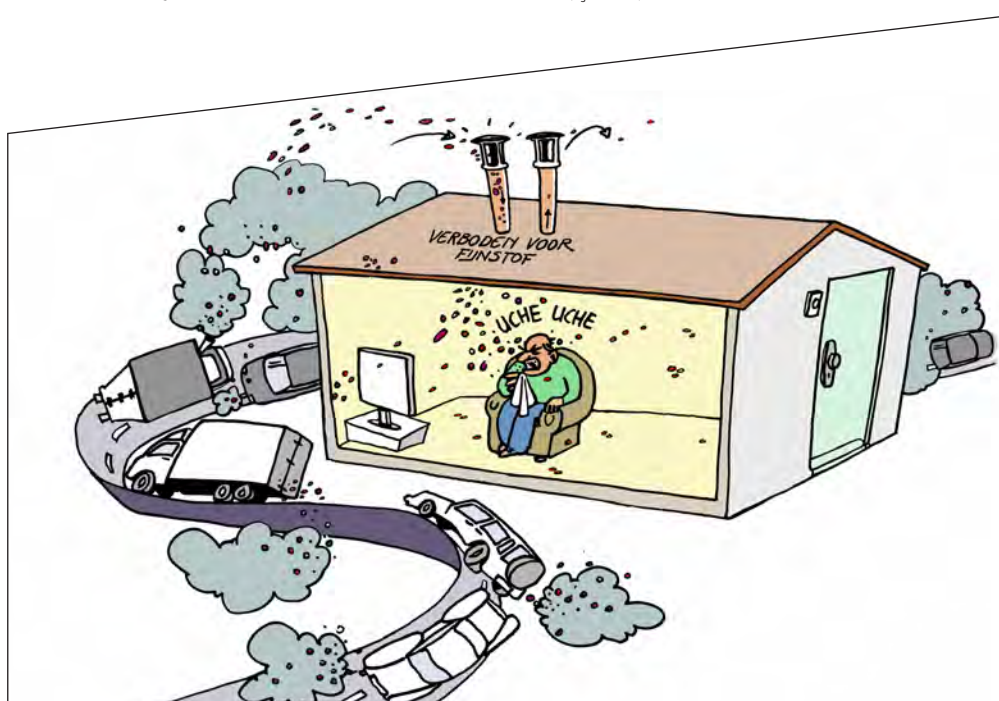
de kleinere deeltjes betreft.

Gedurende de weekdays lieten de metingen van de deeltjesconcentratie in de bandbreedte 0,2-0,3  $\mu\text{m}$  pieken zien op de momenten van verkeersdrukte.

De deeltjesconcentratie in de bandbreedte tussen 0,2-0,7  $\mu\text{m}$  maar ook voor de massaconcentratie PM1,0 waren significant verschillend als de windrichting van Zuidoost kwam. De buitenconcentratie in deze bandbreedte bleek 40% hoger wanneer de wind vanaf de snelweg naar het gebouw blies.

Wanneer het HVAC-systeem in bedrijf was en geen menselijke activiteit aanwezig was (weekend- en vakantiedagen), bedroeg de mediaan voor PM10  $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . De mediaan van PM10 gedurende de weekdays was hoger, namelijk  $4,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Gedurende de nacht was de mediaan  $4,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Hieruit kan geconcludeerd worden dat menselijke activiteiten de massaconcentraties verhogen. Dit effect was alleen zichtbaar voor PM10 en niet voor PM2,5 en PM1,0. Bekeken vanuit de Europese Norm: de binnenconcentraties waren voor 99,9% van de tijd lager.

De mediaan van de deeltjesconcentratie van de bandbreedte 0,2-0,3  $\mu\text{m}$  betrof ongeveer 28.000 deeltjes per liter gedurende de weekend- en vakantiedagen en 37.000 deeltjes per liter voor weekdays. Gedurende de nacht betrof dit 35.000 deeltjes per liter. De correlatie tussen binnen en buiten was het hoogst voor de bandbreedte 0,3-0,5  $\mu\text{m}$  ( $r_s=0,97$ ) maar voor de andere bandbreedtes zijn ook sterke correlaties gevonden: 0,2-0,3  $\mu\text{m}$  ( $r_s=0,88$ ) en 0,5-0,7  $\mu\text{m}$  ( $r_s=0,93$ ). Voor de massaconcentraties waren de correlaties aanzienlijk minder sterk, behoudens voor PM1,0 ( $r_s=0,67$ ).



| Situatie       | Fractie   |       |       |            |            |            |
|----------------|---|-------|-------|------------|------------|------------|
|                | PM10  | PM2,5 | PM1,0 | 0,5-0,7 µm | 0,3,0,5 µm | 0,2-0,3 µm |
|                | HVAC uit, geen activiteit (nacht)                     |       |       |            |            |            |
| r <sub>s</sub> | 0,23  | 0,35  | 0,41  | 0,62       | 0,88       | 0,78       |
| N              | 3.170   | 3.170 | 3.170 | 2.370      | 2.370      | 2.370      |
|                | HVAC aan, wel activiteit (weekdagen)                  |       |       |            |            |            |
| r <sub>s</sub> | -0,13   | 0,01  | 0,49  | 0,88       | 0,97       | 0,89       |
| N              | 2.869   | 2.869 | 2.869 | 2.125      | 2.125      | 2.125      |
|                | HVAC aan, geen activiteit (weekend- en vakantiedagen) |       |       |            |            |            |
| r <sub>s</sub> | 0,49  | 0,59  | 0,62  | 0,78       | 0,88       | 0,88       |
| N              | 1.077   | 1.077 | 1.077 | 845        | 845        | 845        |

-Tabel 1- Correlaties binnen/buiten onder verschillende situaties

| Situatie                  | Mediaan ratio's per bandbreedte |      |            |      |            |      |
|---------------------------|---------------------------------|------|------------|------|------------|------|
|                           | 0,5-0,7 µg                      |      | 0,3-0,5 µg |      | 0,2-0,3 µg |      |
|                           | voor                            | na   | voor       | na   | voor       | Na   |
| HVAC uit, geen activiteit | 0,18                            | 0,22 | 0,32       | 0,31 | 0,60       | 0,38 |
| HVAC aan, wel activiteit  | 0,21                            | 0,22 | 0,37       | 0,31 | 0,55       | 0,39 |
| HVAC aan, geen activiteit | 0,23                            | 0,18 | 0,41       | 0,33 | 0,54       | 0,37 |

-Tabel 2- Mediaan per bandbreedte voor verschillende bedrijfsactiviteiten

Wanneer de meetdata wordt verdeeld in de beschreven categorieën: (i) HVAC-systeem was uit bedrijf en er vonden geen menselijke activiteiten plaats, (ii) HVAC-systeem was in bedrijf en er was menselijke activiteit (weekdagen) en (iii) HVAC was in bedrijf maar er was geen menselijke activiteit (weekend- en vakantiedagen), laten die een ander beeld zien. De zwakke, negatieve correlatie van PM10 tijdens de weekdagen correspondeert met de gemeten gemiddelde concentratie van 4,0 µg/m<sup>3</sup>. De correlatie voor PM2,5 is zwak tijdens de weekdagen dus wanneer het HVAC-systeem in bedrijf is en er menselijke activiteit is. Het vermoeden is een soortgelijke oorzaak als bij PM10. Daarentegen lieten de bandbreedten 0,2-0,3 µm, 0,3-0,5 µm en 0,5-0,7 µm in dezelfde situatie hele sterke correlaties zien. Het is opmerkelijk dat dit gedurende de nacht niet veel lager was dan overdag. Uitgedrukt in meetresultaten, de mediaan van PM10 was 20,7 µg/m<sup>3</sup> voor de nacht en 18,4 µg/m<sup>3</sup> voor de weekdagen en 26,4 weekend- en vakantiedagen. Voor de deeltjesconcentratie in de bandbreedte 0,2-0,3 µg was de mediaan 105.000 deeltjes per liter gedurende de nacht en 107.000 deeltjes per liter overdag. Voor de weekend- en vakantiedagen lag de mediane concentratie op 74.000 deeltjes per liter. Het effect van de ultra fijne deeltjes is dus het meest waardevol om verder te onderzoeken. In

het experiment van het onderhoud is daarom alleen onderzoek gedaan naar deze deeltjesgrootte. Er penetreren meer deeltjes in de bandbreedte 0,2-0,3 µm dan in de bandbreedte 0,3-0,5 µm en 0,5-0,5 µm. Het is opvallend dat de mediaan in de bandbreedte 0,2-0,3 µm hoger is indien de HVAC uit bedrijf is. De correlatie tussen binnen en buiten is echter zwakker als het systeem uit bedrijf is. Na het onderhoud vallen de ratio's terug in de bandbreedte 0,2-0,3µm. Dat geldt ook voor de bandbreedte 0,3-0,5 µm. Het kan echter niet veroorzaakt worden door het onderhoud aangezien de val ook te zien is in de situatie dat het HVAC uit bedrijf is. Uit een andere statistische test, niet beschreven in dit artikel, is het effect van het onderhoud wel significant (P<0,001) behoudens de situatie dat de HVAC in bedrijf was en er menselijke activiteit aanwezig was (weekdagen) en alleen voor bandbreedte 0,5-0,7 µm.

## ■ DISCUSSIE

De afname in blootstelling aan fijnstof dient een belangrijk maatschappelijk belang. Feitelijk worden binnen het gebouw de maximaal toegestane concentraties voor PM10 en PM2,5 niet overschreden. Echter, maximale concentraties voor de ultra fijne deeltjes bestaan niet. Ondanks de impact die juist deze deeltjes hebben op de volksgezondheid. Dit

## ■ INTERMEZZO FIJNSTOF

Fijnstof wordt meestal uitgedrukt in PM (Particulate Matter) met een aerodynamische diameter grootte. Zo betekent PM10, fijnstofdeeltjes met een aerodynamische diameter kleiner dan 10 micrometer. De eenheid waarin het gemeten wordt is µg/m<sup>3</sup> het betreft het totale gewicht per m<sup>3</sup> lucht dat behoort tot de aangegeven diameter.

De Europese norm hanteert de maximale concentratie van PM10. Voor ultrafijnstof wordt daarentegen het aantal deeltjes geteld binnen een bandbreedte. Dit gaat meer richting het nanogebied, in dit onderzoek 200-700 nanometer. De uitstoot van fijnstof door verkeer kent verschillende pieken met betrekking tot de deeltjesgrootte. De piek van het verkeer ligt tussen de 0,3-0,5µm.

onderzoek laat zien dat de reductie van fijnstof binnen ongeveer 40% lager is ten opzichte van buiten en dat de correlatie 0,78 of hoger is. Om die reden mag aangenomen worden dat fijnstof penetreert van buiten naar binnen. Dit is ook vastgesteld in onderzoek uit andere landen zoals Australië, Verenigde Staten en Finland. Een gebouw en ventilatiesysteem beschermen ons dus niet (volledig) voor schadelijke deeltjes in de buitenlucht.

Er is een groot verval in de nachtsituatie bij PM10 en PM2,5 maar deze reductie was minder waarneembaar bij de kleinere deeltjes. In een ander internationaal onderzoek is ook vastgesteld dat de grotere deeltjes een groter verval hebben dan de kleinere deeltjes. Simpel gezegd: met name de grotere deeltjes slaan neer, maar als er mensen zijn dan komen deze deeltjes weer in de lucht en kunnen ze ingeademd worden. De impact van de (menselijke) activiteit speelt dus een belangrijke rol in de fijnstof concentratie binnen.

De zwakkere correlaties tussen binnen en buiten bij de grotere deeltjes (PM10-PM2,5) zijn minder goede voorspellers aan de blootstelling van fijnstof binnenshuis. Het zijn juist de kleinere deeltjes die dit veel beter voorspellen. De Europese Norm en daarmee ook de Nederlandse regelgeving monitort landelijk de massaconcentraties PM10 en PM2,5 in het buitenmilieu om te beoordelen of Nederland

haar afspraken nakomt. Echter, deze grovere deeltjes hebben ten opzichte van de kleinere deeltjes een minder groot gezondheidseffect. Daarnaast leven Nederlanders een significant deel van hun tijd binnen en zou de norm moeten gelden voor het binnenmilieu. Een fijnstofnorm voor de binnenluchtkwaliteit is dus een logische vervolgstap.

Verkeer gerelateerd fijnstof is een grote bron in het totale spectrum van het fijnstof, zeker bij grotere verkeerspunten en binnenstedelijke gebieden met veel verkeer. Australisch onderzoek laat zien dat binnen 200 meter van dergelijke bronnen er maar een heel beperkte afname is van het aantal deeltjes. Het bouwen in dergelijke omgevingen vraagt dus om extra aandacht.

De hoge penetratie van de allerkleinste deeltjes (0,2-0,3 µm) lag in lijn met de verwachting. De efficiency van F7 filters is voor deze deeltjesgrootte beperkt. Ook in luchtkanalen vindt er nauwelijks depositie plaats van deeltjes in deze bandbreedte. In dit onderzoek is slechts één gebouw onderzocht uit 1989. In een Fins onderzoek zijn meerdere gebouwen onderzocht waar de penetratie van PM<sub>2,5</sub> in relatief oude gebouwen (voor 1990) en relatief nieuwe gebouwen (1990-1997) is gemeten. De

oudere gebouwen hadden een hogere penetratiegraad dan de nieuwere. Dit suggereert dat de gevelkwaliteit met betrekking tot de luchtdichtheid een rol speelt.

### CONCLUSIE

Fijnstofconcentraties in de bandbreedte van 0,2 – 0,7 µm waren in de binnenlucht volledig afhankelijk van de buitenluchtconcentratie. Hoewel de concentratie van deze kleine deeltjes 15 – 71% lager lag dan buiten, is er een zeer sterke correlatie met de buitenlucht. Dit suggereert dat in soortgelijke gebouwen (jaren '80, mechanisch geventileerd) de luchtvervuilingen van buiten voor een groot deel doordringen naar de binnenlucht. Het gebouw

en het ventilatiesysteem beschermen ons dus niet zo goed als we mogen verwachten. Nadat onderhoud aan de luchtbehandelingskast was uitgevoerd, bleek de binnen/buiten-ratio voor alle deeltjesafmetingen gereduceerd. Dit bleek echter ook het geval wanneer het HVAC-systeem uit stond. Dit suggereert dat externe factoren zoals de windrichting en drukverschillen over de gevel een grote invloed hebben in het naar binnen brengen van fijnstofdeeltjes.

### REFERENTIE

- 1 Franchimon, F. Healthy Building Services for the 21st Century. Proefschrift, Technische Universiteit Eindhoven, 2009.

### DANKWOORD

Wij danken Deerns Raadgevende Ingenieurs die het Hoofdkantoor te Rijswijk voor het onderzoek ter beschikking heeft gesteld. Tevens danken wij Stichting Promotie Installatietechniek (PIT) die het onderzoek gefinancierd heeft.

Dit onderzoek was onderdeel van het Promotieonderzoek 'Healthy Building Services for the 21st Century' dat op 23 maart 2009 verdedigd is aan de Technische Universiteit Eindhoven [1] met als promotor prof.dr. J.E.M.H. Van Bronswijk.

Systemair is fabrikant en leverancier van het meest complete én flexibele assortiment in ventilatie en klimaatbeheersing. Of het nu gaat om een ventilatieconcept voor een school, een zorginstelling, een bedrijfsgebouw of een parkeergarage: De experts bij Systemair kennen de omstandigheden en weten wat belangrijk is.

Voor onze locatie in Harderwijk zijn we op zoek naar een enthousiaste **Verkooper Binnendienst**.

#### Jouw functie

De verkoop binnendienst medewerker is verantwoordelijk voor het onderhouden van contacten met de klanten en de buitendienst, alsmede het uitbrengen van offertes en beantwoorden van technische vragen op het gebied van ventilatie en klimaatbeheersing. Binnen deze functie houd jij je onder ander bezig met het:

- adviseren bij nieuwe aanvragen;
- opstellen van prijsopgaven en offertes;
- beantwoorden van technische vragen van klanten;
- ondersteunen van de buitendienst;
- doorspelen van sales leads richting de buitendienst;
- uitbouwen van de omzet bij bestaande klanten.

#### Jouw profiel

We zoeken een resultaatgerichte collega, communicatief sterk, commercieel gedreven en kwaliteits-, en klantgericht:

- Je beschikt over een afgeronde commercieel-technisch georiënteerde MBO of HBO opleiding. TVVL Luchtbehandeling is een pré.
- Je beheerst zowel de Nederlandse als de Engelse taal in woord en geschrift.
- Je beschikt over het vermogen om mee te denken met onze klanten, deze technisch te adviseren en hierdoor verkopen tot stand te brengen.

#### Wat biedt Systemair?

Een afwisselende fulltime functie met een grote mate van zelfstandigheid. Een collegiale werksfeer in een gemotiveerd team in een professionele organisatie die de klant centraal stelt. Verder bieden wij je een compleet arbeidsvoorwaardenpakket, waaronder een marktconform salaris en prima secundaire arbeidsvoorwaarden.

Voor inhoudelijke vragen over de functie kun je contact opnemen met onze hoofd verkoop binnendienst Martin Verweij [martin.verweij@systemair.nl](mailto:martin.verweij@systemair.nl). Herken jij jezelf in bovengenoemd functieprofiel, dan komen wij graag in contact. Je mag een sollicitatie sturen naar:

#### Systemair B.V.

T.a.v. Kitty van Maasackers  
Zanddonkweg 7a  
Postbus 159, 5140 AD Waalwijk  
Telefoon: 0416 – 685 555 / E-mail: [humanresources@systemair.nl](mailto:humanresources@systemair.nl)

*Acquisitie naar aanleiding van deze advertentie wordt niet op prijs gesteld.*



 **systemair**