

Goede ventilatie beperkt schimmelrisico in badruimte

Schimmels in woningen vormen een esthetisch probleem en een risico voor de gezondheid. In circa 20 % van de woningen komen vocht- en schimmelproblemen voor, vooral in de douche-ruimte. Onderzoeksinstituut OTB van TU Delft deed onderzoek naar de relatie tussen de aanwezigheid van schimmel en 75 kenmerken van de woning en de wijze van bewoning. Daaruit bleek de kans op schimmelvorming toe te nemen met het aantal douches per week, de leeftijd van de ventilatie-unit en ventilatie met warme en vochtige binnenlucht. Een uitgekende woningplattegrond en goed onderhoud en dimensioneren van het ventilatiesysteem lijken daarmee effectieve wapens in de strijd tegen schimmel. Als schimmels toch groeien is het gemakkelijk kunnen verwijderen van schimmels een belangrijk kenmerk.

Dr.ir. J.T. van Ginkel* en dr. E. Hasselaar**

Vochtproblemen komen voor in circa 20 % van de Nederlandse woningen [8]. Dit gaat vaak samen met de aanwezigheid van schimmels op wanden, vloeren en plafonds. Naast esthetische problemen kunnen schimmels hinder en lichte tot ernstige gezondheidsklachten veroorzaken, vooral aan de luchtwegen [9 en 10]. Deze negatieve gezondheidseffecten zijn een gevolg van de inademing van schimmelsporen en door schimmels afgescheiden gifstoffen, zogenaamde mycotoxinen.

Dit artikel beschrijft een onderzoek naar het statistische verband tussen de aanwezigheid van schimmels enerzijds en woningkenmerken en bewonersgedrag anderzijds. Speciale aandacht gaat uit naar de badkamer omdat daar in het algemeen het hoogste schimmelrisico optreedt vanwege de grote periodieke vochtproductie die er plaatsvindt. Tevens wordt met simulatiebe-

rekeningen onderzocht wat de invloed is van twee verschillende ventilatiescenario's op het drogen van de badruimte en daarmee op het voorkomen van schimmelmultiplicatie. De sleutel tot de genoemde relatie tussen woningkenmerken en schimmels ligt in de abiotische factoren die de groei van schimmels bepalen, namelijk: water, temperatuur en nutriënten. In het binnenmilieu is van deze drie genoemde factoren de hoeveelheid beschikbaar water de enige factor die de schimmelmultiplicatie bepaalt. Gangbare binnentemperaturen zijn in het algemeen optimaal voor schimmelmultiplicatie [3]. De beschikbaarheid van voor schimmel belangrijke nutriënten is in woningen altijd verzekerd door de aanwezigheid van bouw- en afwerkingsmaterialen en de daarop aanwezige stofaanslag. Tegels en gladde waterdichte afwerkingsmaterialen die regelmatig worden afgenomen vormen hierop een uitzondering. Algemene

soorten schimmelsporen ontkiemen indien de relatieve luchtvochtigheid (RV) groter is dan 80 % [1]. Dit vochtgehalte geldt voor de lucht in direct contact met de schimmel; dit is in het algemeen de lucht aan het oppervlak van het betreffende bouwdeel waarop de schimmel groeit. De RV van de binnenlucht, de thermische isolatie van het bouwdeel en de temperaturen binnen en buiten de woning bepalen de RV aan wand-, vloer-, of dakoppervlak. Daarnaast varieert de RV in een dagelijks patroon als gevolg van de periodieke vochtproductie door bewonersgedrag: het drogen van wasgoed, douchen en baden, koken en schoonmaken. Schimmelmultiplicatie is mogelijk indien de aaneengesloten periode waarin de RV groter is dan 80 %, langer duurt dan 50 % van een etmaal [1]. Deze periode wordt de Time of Wetness (TOW) genoemd. Het aantal douches per week en de ventilatiecapaciteit bepalen in hoge mate de TOW. In woningen met mechanische ventilatie varieert de ventilatiecapaciteit met de gekozen schakelstanden 1, 2 of 3. Uit diverse onderzoeken [4, 7; Soldaat, 2006] blijkt dat Nederlandse bewoners in het algemeen schakelstand 1 kiezen gedurende circa 23 uren per dag. Schakelstand 3 wordt meestal alleen gebruikt tijdens het koken van de (hoofd)maaltijd. Bij dit gebruik varieert de ventilatiecapaciteit voornamelijk op basis van leeftijd en vervuiling van het afzuigstelsel. Dit betekent dat de leeftijd van de ventilator en het aantal douches per week naar verwachting belangrijke indicatoren van schimmelmultiplicatie in de douche-ruimte zullen zijn. Naast de ventilatie-

* GGD Regio IJssel-Vecht en Regio Twente,
** Onderzoeksinstituut OTB, TU Delft

Tijdstip van de dag [u]	1	2	8	9	10	11	12	13	20	21	22	23	24	Totaal
Dampproductie [g/u]	80	50	370	230	100	50	20	10	50	200	240	200	110	1.710

Geschatte dampproductie in de badkamer als gevolg van douchen en aansluitende verdamping van condens. Op niet vermelde tijdstippen is de productie gelijk aan nul verondersteld.

- TABEL 1 -

capaciteit is voor de mate van dampafvoer ook het dampdeficit van belang. Dit is het verschil tussen de absolute hoeveelheid vocht die op een bepaald moment in de lucht aanwezig is en de maximale hoeveelheid behorende bij de actuele temperatuur waarbij nog net geen condensatie optreedt. In verband hiermee is de herkomst van de naar de douche aan te voeren ventilatielucht van belang; binnenlucht bevat in het algemeen meer vocht dan buitenlucht. Simulatieberekeningen van de vochtbalans in een badruimte geven hierin inzicht.

MATERIAAL EN METHODE

Statistisch verband tussen woningkenmerken en schimmels

In diverse studies uitgevoerd door onderzoeksinstituut OTB werden in totaal 186 woningen onderzocht [6]. Door visuele inspectie en een interview met de hoofdbewoner werden woning- en gedragskenmerken geïnventariseerd. Schimmel werd beschouwd aanwezig te zijn indien schimmelplekken daadwerkelijk werden waargenomen of dat de bewoner aannemelijk kon maken dat de schimmel aanwezig was, maar was bestreden met schimmelwerende middelen. De volgende vochtgerelateerde categorieën woning- en gedragskenmerken werden onderscheiden:

- vochtproductie, zoals: aantal wasmachine beurten per week, wijze van wasdrogen, aantal douches, lekkage;
- condensatie op koudebruggen;
- vochttransport door optrekkend vocht en ventilatie.

De relatie tussen woningkenmerken en schimmelgroei werd onderzocht op basis van bivariate correlatie en logistische regressieanalyse met behulp van het pakket SPSS.

SIMULATIE VAN RV-VERLOOP IN BADRUIMTE

In een simulatiestudie onderzochten wij het dagelijkse patroon van vochtproductie en -afvoer in een eengezins-

woning [5]. Uitgangspunt daarbij was een familie bestaande uit twee volwassenen en drie kinderen. De man en twee kinderen nemen 's morgens een douche, de vrouw en het jongste kind 's avonds. De doucheruimte had een vloeroppervlak van 4,8 m² en was 2,4 m hoog. Per douchebeurt komt ongeveer 500 g waterdamp vrij dat condenseert op muren, vloer en plafond en achterblijft in de handdoek. De rest loopt tijdens het douchen in het afvoerputje. Die 500 g moet door ventilatie worden afgevoerd. Wanneer enkele personen direct na elkaar douchen, zal naar verwachting per douchebeurt minder achterblijven omdat een overmaat aan condensdruppels langs de muren loopt en in de afvoer verdwijnt. Op basis hiervan wordt voor het genoemde huishouden in tabel 1 gegeven dampproductie in de badkamer gedurende de dag voorzien.

De ventilatieberekeningen werden uitgevoerd met onderstaande, eenvoudige rekenschema. Voor het ventilatie-debiet werd uitgegaan van het minimum van 14 dm³/u (50 m³/u) (Bouwbesluit 2003) en de eerder beschreven Nederlandse gewoonte betreffende de te hanteren schakelstanden van de mechanische ventilatie. Daarnaast werd rekening gehouden met natuurlijke infiltratie. Deze laatste waarde werd gesteld op 0,15 dm³/u (per m² vloeroppervlak en werd ontleend aan metingen in het Ecobuild Research Project (Anoniem, 2005). Op basis hiervan werd het effectieve ventilatie-debiet berekend volgens:

$$\phi = [23 \cdot \sqrt{(\phi_i^2 + (0,4 \cdot \phi_{mv})^2)} + \sqrt{(\phi_i^2 + \phi_{mv}^2)}] / 24 \quad (1)$$

waarin ϕ_i gelijk is aan het infiltratiedebiet en ϕ_{mv} het debiet door mechanische ventilatie. Dit effectieve ventilatiedebiet is dan gelijk aan 6,1 dm³/u (22 m³/u).

Verondersteld werd dat het instellen van het evenwicht tussen dampproductie en dampafvoer instantaan plaatsvindt. Onder die voorwaarde

wordt de evenwichtsconcentratie waterdamp C_E [kg/m³] berekend volgens:

$$C_E = C_o + \frac{Q}{\phi} \quad (2)$$

waarin C_o [kg/m³] gelijk is aan de dampconcentratie in de buitenlucht en Q [kg/u] de dampproductie. Vervolgens werd de dampafvoer ϕ_v berekend uit:

$$\phi_v = \phi \cdot (C_E - C_o) \quad (3)$$

De vergelijkingen (2) en (3) gelden alleen indien de verzadigde dampspanning nog niet is bereikt. De verzadigde dampconcentratie C_S werd berekend volgens de formule van Goff and Gratch (1946). Indien C_E groter was dan C_S , C_E werd gelijk gesteld aan C_S . Dan volgt:

$$\phi_v = \phi \cdot (C_S - C_o) \quad (4)$$

waardoor de dampafvoer kleiner was dan de dampproductie. Het verschil werd verondersteld te condenseren en op een later tijdstip weer te verdampen indien de actuele dampspanning lager zou worden dan de verzadigde dampspanning. Hierdoor kan uren na het douchen nog dampproductie plaatsvinden (tabel 1). In de berekeningen werd van de volgende condities uitgegaan:

- buitentemperatuur: 6 °C; RV 85 %
- binnentemperatuur variërend tussen 15 °C 's nachts en 22 °C overdag
- effectieve ventilatiedebiet in de badruimte is 22 m³/u.

De volgende twee ventilatiescenario's werden bestudeerd:

1. scenario I met ventilatielucht rechtstreeks betrokken wordt vanuit de buitenlucht en
2. scenario II met ventilatielucht vanuit de binnenruimten.

RESULTATEN

Statistisch verband tussen woningkenmerken en schimmels
Ongeveer 65 % van de woningen in

het onderzoek was minder dan 30 jaar oud (figuur 1A); 69 % betrof huurwoningen, 31 % was in eigendom; 49 % behoorde tot de categorie eengezinswoning en 51 % tot de categorie flat. In 41 % van de woningen in het onderzoek werden schimmels in de badruimte aangetroffen. Dat is twee keer zo veel als de gemelde vochtproblemen in het nationale onderzoek [8]. In 76 % van de woningen woonden vier of minder bewoners (figuur 1B). De verdeling van het aantal douches per week hangt uiteraard samen met het aantal bewoners (figuren 1B en C); het aantal douches vertoont een piek bij elke veelvoud van zeven keer per week. Dit suggereert dat bewoners bijna elke dag douchen. De verdeling van de leeftijd van de ventilatiebox (figuur 1E) vertoont een piek bij zes jaar. Dit is een gevolg van een onevenwichtige verdeling van de leeftijdscategorieën van woningen in ons onderzoek. Een belangrijk aantal woningen tussen nul en tien jaar was zes jaar oud.

In totaal werden 75 verschillende woningkenmerken onderzocht op een relatie met de aanwezigheid van schimmels. Daarvan waren slechts tien kenmerken statistisch significant (tabel 2). Aansluitende logistische regressie-analyse leidde tot het volgende model. De kans op schimmel in de badruimte wordt bepaald door de leeftijd van de ventilatie-unit en het aantal douches per week volgens:

$$P_{\text{mould}} = \frac{e^{(-2.8 + 1.9 * (\text{Leeftijd ventilatie unit} > 6) + 1.8 * (\text{aantal douches/w} > 14))}}{e^{(-2.8 + 1.9 * (\text{Leeftijd ventilatie unit} > 6) + 1.8 * (\text{aantal douches/w} > 14))} + 1} \quad (5)$$

De resultaten van dit statistische model gaven in 80 % van de 186 woningen in het databestand een correcte voorspelling van de aanwezigheid van schimmel. Voorafgaande aan de regressie-analyse werden de variabelen dichotoom gemaakt; dat wil zeggen dat zij de waarde nul of één konden aannemen. Dit betekent dat de afhankelijke variabele “schimmel” gelijk werd gesteld aan één, indien schimmel aanwezig was en aan nul bij afwezigheid van schimmel. Het best passende statistische model werd verkregen indien het omslagpunt voor het “aantal douches/week” gelijk was aan veertien en voor de “leeftijd ventilatie-unit” gelijk aan zes jaar. Dat betekent

Indicator	Kendall's tau_b	P
Leeftijd van de woning	0,14	**
Aantal bewoners/woning	0,27	**
Aantal wasbeurten (machine en handwas)/week	0,14	*
Leeftijd mechanische ventilatie unit	0,20	*
Type verwarmingssysteem	0,26	**
Leeftijd van verwarmingssysteem	0,26	**
Koudebruggen	0,21	**
Aantal douches/week	0,18	**
Luchtdichtheid woning (tochtstrippen e.d.)	0,24	**
Condensatie op ramen	0,31	**

Statistisch significante bivariate correlaties (Kendall's tau_b (correlatiecoëfficiënt)) tussen woningkenmerken en de aanwezigheid van schimmel; betrouwbaarheidsinterval P is *: 95 %; **: 99 %).

- TABEL 2 -

dat de variabele “aantal douches/week” gelijk was aan nul indien het aantal douches kleiner of gelijk was aan veertien per week en gelijk aan één indien meer douches per week plaatsvonden. Meer dan veertien betekent in de praktijk in de meeste gevallen: drie douches per dag. De “leeftijd van de ventilatie-unit” was nul indien deze unit zes jaar of minder oud was en gelijk aan één indien hij ouder was dan zes jaar.

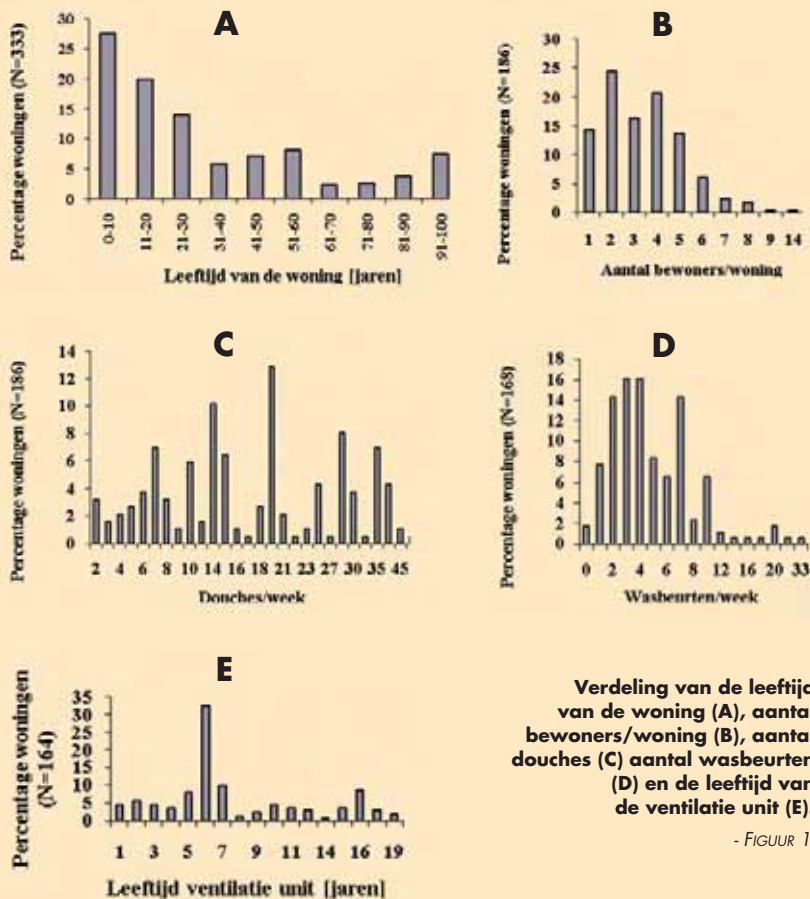
In dit logistische model heeft de varia-

SIMULATIE VAN RV-VERLOOP IN BADRUIMTE

In de simulaties van de vochtbalans in de badruimte werden twee ventilatie scenario's bestudeerd. In het eerste scenario werd de lucht rechtstreeks van buiten aangevoerd, in het tweede vanuit de gang en de rest van de woning. Ventileren van de badruimte met binnenlucht leidt tot veel langduriger hoge RV-waarden dan ventileren met buitenlucht (figuur 2). Bij ventilatie met buitenlucht komt de RV slechts beperkte tijd boven de 80 %. Het duurt ongeveer vier uur voordat de RV na een douche weer beneden de 80 % is gedaald; de time of wetness is kleiner dan 50 % en schimmeligroei is derhalve niet te verwachten. Bij ventilatie met binnenlucht is in dit scenario de RV vrijwel permanent 100 %. Dit komt doordat binnenlucht al warm is en in absolute zin veel vocht bevat door huishoudelijke activiteiten, waardoor slechts de helft, ten opzichte van buitenlucht, aan vochtafvoer uit de badkamer mogelijk is.

DISCUSSIE

De statistische analyse laat zien dat schimmel in de douche aanzienlijk vaker optreedt indien drie of meer douches per dag plaatsvinden en de ventilatie-unit ouder is dan zes jaar. Deze resultaten zijn gebaseerd op de aanwezige ventilatiecapaciteit en venti-

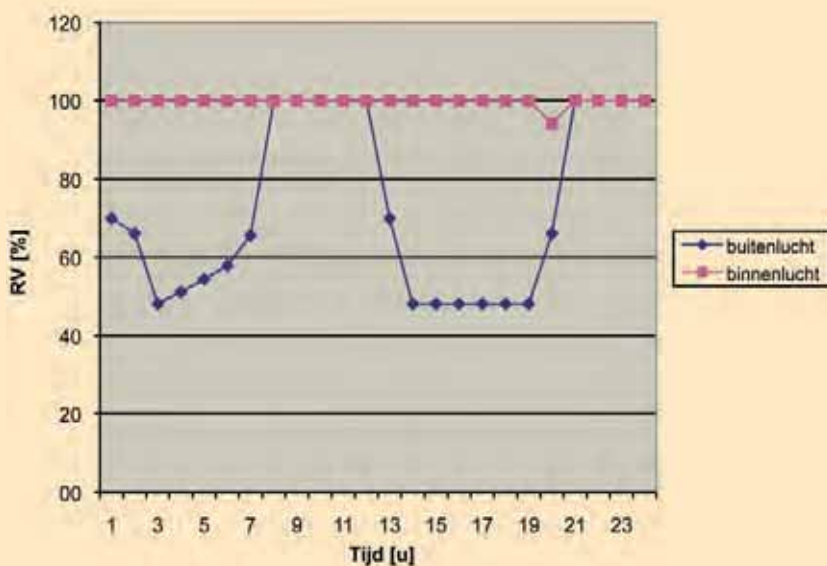


latie scenario's (binnenlucht versus buitenlucht) zoals aanwezig in de onderzochte woningen. Aangezien het hier geen willekeurige (aselecte) steekproef betreft kan geen algemene uit-

spraak worden gedaan over "de Nederlandse woning". Ons databestand bevat 10 % meer woningen jonger dan 30 jaar en 20 % meer flats in vergelijking met de Kwalitatieve Woning-

registratie van 1993. Ook de exacte waarde van de omslagpunten veertien douches/week en ventilatie unit ouder dan zes jaar hebben uitsluitend betrekking op het gebruikte databestand. Echter, in een vorige studie [7] bleek dat de capaciteit van de ventilatie per jaar afnam met gemiddeld 10 % van de oorspronkelijke waarde bij oplevering. Na vijfjaar was in 80 % van de woningen de mechanische afvoercapaciteit gereduceerd tot 50 % van de oorspronkelijke waarde. Hoewel de exacte waarde van de omslagpunten kan afwijken van veertien en zes, is de tendens wel duidelijk. Veel douchebeurten per week en een slecht functionerende ventilatie geven een grote kans op schimmel.


Daarnaast bleek uit de simulatie van de vochtbalans van de badruimte dat luchttoevoer rechtstreeks van buiten de time of wetness en daarmee de kans op schimmelgroei aanzienlijk reduceert ten opzichte van ventilatie met binnenlucht. Zelfs bij ventilatie met buitenlucht duurt het nog altijd vier uren voordat de RV beneden de 80 % is gedaald. Die langzame afname hangt natuurlijk ook samen met de gewoonte van bewoners om de mechanische afzuiging direct na het douchen weer op stand 1 te zetten. Dit gedrag heeft weer te maken met geluidhinder die optreedt als gevolg van de mechanische ventilatie [4 en 7]. Bij (mechanische) ventilatie speelt niet alleen een kwantitatief, maar ook een kwalitatief probleem: de geluidproductie van de ventilatie moet naar beneden en de aan te voeren lucht moet rechtstreeks van buiten worden betrokken. Dat laatste zou goed kunnen worden ingevuld met gebalanceerde ventilatie, mits in de badruimte naast afzuiging ook een inblaaspunt wordt aangebracht. Door alle commotie van de laatste tijd over balansventilatie, lijkt ook de wetgever wakker geschud: als de Tweede Kamer ermee akkoord gaat, komt er een geluidseis voor mechanische ventilatie in het Bouwbesluit. Naast ventilatie kan ook aan de afwerking van de badkamer aandacht worden besteed: schimmels komen meestal niet voor op de tegelwanden en op douchecabines. Door de afwerking glad en waterafstotend en goed reinigbaar te maken, kunnen schimmels effectief onschadelijk worden gemaakt.



CONCLUSIE

De kans op schimmelgroei in de badruimte wordt zoveel mogelijk beperkt door:

- direct na elkaar te douchen i.p.v. verspreid over de dag;
- oppervlakken droog te strippen en natte handdoeken buiten te hangen;
- toegevoerde ventilatielucht zoveel mogelijk rechtstreeks van buiten te betrekken;
- de mechanische afzuiging na het douchen meerdere uren op de hoogste stand (3) te laten draaien;
- mechanische ventilatiesystemen geluidarm uit te voeren en goed te onderhouden.

De kans op blootstelling aan schimmel in de badkamer wordt vermindert door de oppervlakken glad en goed reinigbaar uit te voeren en tevens deze oppervlakken na het douchen te drogen. 

LITERATUUR

1. Adan O.C.G., 1994. "On the fungal Defacement of interior finishes", Ph.D. Thesis, Eindhoven University (The Netherlands), 226 pages.
2. Anonymous, 2005. *Eindrapport Ecobuild Research Project fase II*; Itho, in Dutch.
3. Brock T.D. and Madigan M.T., 1988. "Biology of microorganisms", Prentice Hall int. ed., 5th ed., 835 pages.
4. Ginkel, J.T. van, 2007. *Inventarisatie woninggerelateerde gezondheidsklachten in Vathorst*. Onderzoeksrapport OTB van TUDelft
5. Ginkel, JT van & Hasselaar, E (2006). Moisture balance in dwellings. In E de Oliveira Fernandes, M Gameiro da Silva & J Rosado Pinto (Eds.), *Healthy Buildings 2006 proceedings (Volume 3); Design and operation of healthy buildings* (pp. 179-182). Lissabon: ISIAQ.
6. Ginkel, JT van & Hasselaar, E (2005). *Housing characteristics predicting mould growth in bathrooms*. In X Yang, B Zhao & R Zhao (Eds.), Proceedings of the 10th international conference on indoor air quality and climate; Indoor Air 2005 (pp. 2425-2429). Peking: Tsinghua University Press.
7. Ginkel, J.T. van, Hasselaar E., 2002. *De ontwikkeling van afzuighoeveelheden bij mechanische woningventilatie: oorzaak en gevolg*. Onderzoeksrapport OTB, 25 p. (in Dutch)
8. KWR, 1993. "Kwalitatieve woningregistratie 1989-1991. Resultaten landelijke steekproef", Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (in Dutch)
9. Samson R.A. et al., 1994. "Health implications of fungi in indoor environment", Elsevier, Amsterdam
10. Vesper S.J. et al., 2000. "Evaluation of *Stachybotrys chartarum* in house of an infant with pulmonary haemorrhage: quantitative assessment before, during, and after remediation", J. Urban Health, Vol 77(1), pp 68 – 85.



Als energieverbruik u bezig houdt.

Verstandig met energie.
De nieuwe standaard.

Met behoeftafhankelijke ventilatorregeling tot
50%
energie besparen
www.belimo.nl



Intelligente ventilator optimalisering via de Belimo MP-bus.

Het stroomverbruik van ventilatoren in VAV/CAV-installaties kan nu veel lager: De nieuwe Belimo Fan Optimiser ontvangt via de MP-bus continu de werkelijke behoefte aan druk van de VAV/CAV boxen en meldt deze door aan de ventilatorbesturing. Deze reduceert het verbruik, helpt kosten te besparen en is een zeer effectieve maatregel met betrekking tot de nieuwe EU-energieprestatie certificering. Meer hierover vindt u bij www.belimo.eu

BELIMO Servomotoren BV, Postbus 300, NL-8160 AH Epe
Tel. +31 (0)578 576836, Fax +31 (0)578 576915, www.belimo.nl, info@belimo.nl

BELIMO[®]