

Auteur

Dr.ir. E.(Evert) Hasselaar, gepensioneerd onderzoeker en docent TU-Delft, nu actief als filmmaker en architect bij Klimaatbouw BV

Schimmelrisico's voorspellen in badkamers

Schimmels in huis kunnen gezondheidsklachten bij bewoners veroorzaken. Een huurder kan zichtbare schimmels aangrijpen om de huurverhoging aan te vechten. Bouwkundige oorzaken en ventilatiegedrag zijn aanwijsbare problemen, die zelden goed worden opgelost. Onder welke omstandigheden is schimmelgroei voorspelbaar? Helpt ventilatie volgens het Bouwbesluit om schimmelgroei te voorkomen? Maakt het in schimmelrisico uit of de badkamer inpandig ligt of aan de gevel? Kunnen we schimmelrisico verwachten in energiezuinige woningen met moderne installaties? Dit artikel schetst deze problemen en hanteert een berekeningswijze dat het ontstaan van schimmels in badkamers voorspelt, ook in energiezuinige woningen. Ventilatie plus de temperatuur vormen de hoeksteen voor een gezond badkamermilieu.

De prestaties van de badkamer omvatten gebruiksaspecten, verwarming, ventilatie, warm tapwater en daglicht/verlichting. In oudere woningen stellen de prestaties van de badkamer vaak weinig voor. Pas vanaf 1951 werd een wasgelegenheid verplicht, meestal een wastafel in een slaapkamer. Vanaf midden jaren '60 verscheen een kleine aparte badruimte met lavet. In die woningen is inmiddels wel een betere badvoorziening aangebracht, maar die voldoet lang niet altijd aan genormeerde prestaties. Vanaf eind jaren '70 werd de badkamer vaak een inpandige ruimte. Miljoenen Nederlanders ondervinden nog de kenmerken van oude regelgeving: een kleine douchecel of krappe badkamer, als er een wasmachine en intussen ook een droger in staan, zonder toilet.

Omdat plafond en wanden kouder zijn dan de luchttemperatuur na douchen, veroorzaken deze oppervlakken mogelijk condensatie. In slecht geïsoleerde woningen is het temperatuurverschil tussen constructiedelen en de binnentemperatuur relatief hoog. Vanaf 1992 regelt het Bouwbesluit via de f-factor het vermijden van koudebruggen. Ook moet vanaf die tijd de kruipruimte goed afgedicht zijn. Met andere woorden:

bouwkundige vocht oorzaken zijn er niet meer. In nieuwe woningen zien we ruimere badkamers, vanwege de vereiste bewegingsvrijheid. Door betere isolatie leveren interne warmtebronnen, zoals apparaten, koken en personen een grotere bijdrage aan de verwarming. De temperatuur zonder verwarming is hoger en de stookperiode korter. Kortom, moderne energiezuinige woningen zijn droger. Overigens hoeft dat niet te betekenen dat de badkamer na douchen snel droogt, want in energiezuinige woningen is het ventilatievolume soms tot een (ongezond) minimum teruggebracht. Door betere kierdichting is de ongecontroleerde ventilatie afgenomen.

Volgens landelijke woningonderzoeken heeft ruim 15% van de woningvoorraad vochtproblemen. De badkamer is de topper en daar kunnen we schimmels aantreffen op het douchegordijn, op het plafond, in koude hoeken of voegen. Bij natuurlijke afzuiging is de capaciteit overwegend gering en moet een open raampje na het douchen soelaas bieden. Sinds 1975 zien we mechanische afzuiging (bij flats vanaf 1965), vaak in combinatie met een inpandige badkamer. De mechanische ventilatie staat over het algemeen op de laagste stand [1].

Schimmels zijn uit den boze vanuit gezondheidsoverwegingen [2] en er is een goede wettelijke bescherming: schimmelgroei resp. vochtproblemen op een kwart vierkante meter mogen in woningen niet voorkomen; daarboven is sprake van een ernstig gebrek en zijn maatregelen nodig [3]. Zodra de huurder over die schimmels een klacht heeft ingediend bij de huurcommissie, kan de huur niet verhoogd worden. De huur kan zelfs verlaagd worden als wordt aangetoond dat die klacht bekend was en jaren onvoldoende behandeld bleef. Voor woningverhuurders betekent zo'n bezwaarschrift ellende [4]. Een woninginspecteur komt langs, geeft advies en belooft schimmelwerende verf, zelf aan te brengen. Soms vervangt men het rooster op de opening van het natuurlijke afzuigkanaal door een afzuigventiel. Ziet er goed uit, er is weer iets gedaan, maar het is een foute aanpak. Ingrijpender en zelfs door een kantonrechter aanbevolen is het monteren van een badkamerventilator met na-draaitijd op het natuurlijke afzuigkanaal. De motor en de waaier van de ventilator blokkeren een deel van het kanaal, waarmee natuurlijke afvoer wordt belemmerd. De na-draaitijd is bijna altijd te kort voor voldoende droging, zodat

die maatregel de situatie verergert. De favoriete maatregel is het ombouwen van natuurlijke naar individuele mechanische afzuiging. Daarmee kan de verhuurder aantonen dat afzuiging volgens het Bouwbesluit mogelijk is. In combinatie met de veronderstelling dat bij dat ventilatievolume schimmelgroei niet voor komt, koopt de verhuurder de verantwoordelijkheid af: schimmels komen in die situatie immers door slecht bewonersgedrag. De huur kan weer omhoog. Is dat terecht?

Parameters van schimmelvorming

Den Haag was tot in de jaren '90 een van de weinige gemeenten, die nog ventilatiemetingen deed bij de oplevering van woningen. Het databestand is gebruikt voor herhalingsmetingen, inclusief opnamen van schimmelgroei, type woning en badkamer, omvang huishouden, aantal douches en ventilatiemogelijkheden. De analyse geeft inzicht in de betekenis van enkele kenmerken van schimmelvorming [5]. De belangrijkste is dat schimmels veel vaker voorkomen vanaf drie of meer douches per dag. De capaciteits-terugval van

de mechanische afzuiging bleek zo'n 10% per jaar te zijn. De afzuiging werd niet alleen slecht gebruikt, ook het afzuigvolume was veel minder dan normen eisen. Vervolgonderzoek betrof de hoeveelheid vocht die per douchebeurt wordt geproduceerd en achterblijft als damp, als druppels en (geraamd) als geabsorbeerd vocht. Op basis van 500 woningopnamen zijn de bewonings- met woningkenmerken in verband gebracht [6].

Vochtproductie

Metingen en observaties hebben een vochttabel opgeleverd, gebaseerd op [1]. De geproduceerde vochttabel wordt door andere onderzoekers verspreid, maar is zover bekend niet door derden gevalideerd. De tabel is gebruikt voor dit artikel en dat levert het uitgangspunt dat een douchebeurt grofweg 1 liter vocht produceert. Naast douchen blijkt met name drogen van wasgoed belangrijk. Handwasjes worden regelmatig in de badkamer te drogen gehangen. Ondanks stevig centrifugeren kan het drogen van een volle wasbeurt meerdere liters vocht afgeven. Zie Tabel 1.

Tabel 1: Vocht-productie per etmaal in een woning met vier personen

Vochtproductie bewoners	Woonkamer	Keuken	Slapen I	Slapen II	Slapen III	Badkamer	Overig
	cm³	cm³	cm³	cm³	cm³	cm³	cm³
Slapen 8 uur (2, 1, 1, 1 personen)			640	400	200		
Douches 2x ochtend						570	
Wassen aan de wastafel 1x						60	
Thee zetten, elektrische waterkoker	15						
Keukenvloer nat afnemen	80	20					
Afgifte planten (water(2x/week 1,5 liter))	500						
Een persoon aanwezig 8.00-16.00 uur	600						
Wasmachine draaien 4kg						30	
Was drogen op zolder							2000
Handwasje van 300gram						30	
Drogen handwas aan rekje						100	
Drie personen 16.00-18.00 uur	350						
Koken tussen 17.30- en 18.00 uur		500					
Vijf personen tussen 18.00-22.00 uur	1200						
Vaatwas 19:00, thee en koffie 20.00 uur	20	200					
Twee natte jassen in de hal							300
Douche 1x rond 21.00 uur						400	
Bad 1x om 22.00 uur						300	
Natte handdoeken in de badkamer						200	
Productie door bewoning	2765	720	640	400	200	1690	2300

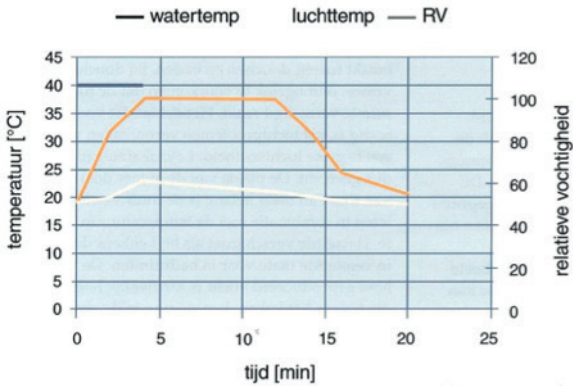
Een volwassene droogt zich na een douche af en dan blijft 100 cm³ water in de handdoek achter (meer met een forse natte haardos). Damp in de lucht draagt minder bij aan de vochthoeveelheid dan over het algemeen wordt gedacht: 100 – 200 cm³. Absorptie vertoont een brede variatie: slechts 50 cm³ in een goed afgesloten douchecabine tot meer dan 500 cm³ bij absorberende oppervlakken. Daarbij zijn leemstuc, niet waterafstotend behandeld hout en kalkstuc kampioenen in absorptievermogen. Een simpele verflaag, ook dampopen sauswerk, vermindert het absorptievermogen in hoge mate en verhoogt vervolgens weer het risico van oppervlaktecondensatie en daarmee van schimmelgroei [5]. Spatwater is de grootste vochtbron: 200 tot 600 cm³, vooral met nat douchegordijn of natte muren en vloer zonder afscherming. Een badkamer begint pas te drogen nadat druppels verdampt zijn. Verspreide douches produceren meer vocht dan douches kort na elkaar. Een tienerager die even lang doucht als drie anderen verspreid over een etmaal, veroorzaakt minder vochtbelasting.

Berekeningen

Ventilatie en vochtproductie bepalen het risico op schimmelgroei. De luchttemperatuur is eveneens van belang, maar dan via invloed op het vochtgehalte van de lucht. Volgens Adan [6] ontkiemt en groeit schimmel op gipsplaat (en naar men mag verwachten ook bij veel andere afwerkmaterialen, behalve tegels) bij een "time of wetness" van 50% en RV > 80%, ofwel, als op een oppervlak meer dan de helft van de tijd een hoge luchtvochtigheid optreedt, dan is schimmelgroei voorspelbaar. Bijna altijd zijn er schimmelsporen en is er voldoende voedsel. Er is een formule gekozen, dat de afname van de vochtigheid in relatie brengt met vochtproductie en ventilatie. Zie formule 1.

Tabel 2

Vochtproductie van een douchebeurt		
Oorsprong	Minimum vochtproductie cm ³	Maximum vochtproductie cm ³
Afdrogen nat lichaam	100	140
Vocht in de lucht	100	200
Absorptie door afwerklagen	50	500
Spatwater	200	600
Totaal	450	1440



Figuur 1: Verloop luchttemperatuur en RV na vier minuten douchen

De veronderstelling is dat 80% RV op koude oppervlakken optreedt zodra de luchtvochtigheid in de badkamer boven 65% stijgt. Via de formule van de concentratieverandering kunnen de omstandigheden van dat omslagpunt gevonden worden. Gemiddelde buitencondities in de herfst vormen de achtergrondconcentratie van de verse lucht: 85% RV bij 11°C gemiddeld. De beginconcentratie van vocht in de badkamer is na vier minuten douchen: 100% RV en 3 graden verhoogde luchttemperatuur vanwege de warme douchedampen (zie figuur 1, op basis van metingen van Piet Jacobs, TNO-Bouw). De vochtbelasting van elders in de woning wordt meegewogen, ingeval de badkamer inpandig ligt. De vochtconcentratie wordt uitgedrukt in gram per m³, waarbij dus relatieve vochtigheid en temperatuur samen verdisconteerd zijn. Bij de gekozen ventilatiescenario's is stand 3 van een mechanisch systeem de minimum ventilatiehoeveelheid volgens het Bouwbesluit.

De ventilatiehoeveelheid die als invoer in de formule wordt gebruikt, is van praktijkomstandigheden afgeleid [7]: CO₂ gestuurd: 3 dm³/s; mechanische afzuiging stand 1: 4-5 dm³/s, stand 3 oud: 8-10 dm³/s, stand 3 nieuw of met vochtsturing 14 dm³/s of meer [7]. De formule rekent met ventilatievoud, ofwel luchthoeveelheid bepaald door de ruimte-Inhoud per tijdseenheid), terwijl de afzuiging in dm³/sec is. Het volume van de badkamer is dus van belang. Gerekend is met een ruimte van 15 resp. 25 m³ inhoud (5,76 resp. 9,6 m² bij 2,6 m hoogte).

De parameters van de berekeningen zijn:

1. achtergrondconcentratie 6,93x10⁻³ g/m³
2. eenmalig 1 kg vocht/douche plus extra vochtaanvoer bij ventilatie met binnenlucht
3. beginconcentratie na een douche: 100% RV en 3°C hogere temperatuur
4. eindconcentratie bij 65% RV en 18 of 21°C
5. badkamer van 15 of 25 m³ inhoud
6. tijdsduur waarin 65% RV wordt bereikt, in uren

Formule 1

$$VV = \log_n \left\{ \frac{\text{beginconcentratie binnen} + \text{productie in badkamer} - \text{buitenconcentratie}}{\text{eindconcentratie binnen} - \text{buitenconcentratie}} \right\} / \text{tijd}$$

VV = ventilatievoud (aantal keren per uur dat inhoud van de badkamer wordt ververs)

Log_n = n-logaritme van vocht-concentratieveranderingen

Concentratie in gram/m³

Productie in gram toegevoerd via ventilatielucht in de gekozen tijdseenheid

Tijd in uren

Na hoeveel tijd wordt bij een bepaald ventilatievolume en een gegeven eindtemperatuur in de badkamer een luchtvochtigheid van 65% RV bereikt, na 1 douchebeurt? Als deze tijdsduur bijvoorbeeld vier uur is, en drie douchebeurten vinden goed gespreid over een etmaal plaats, dan wordt 12 uur "time of wetness" bereikt en is er sprake van schimmelrisico.

Bij een gegeven vochtgehalte in een ruimte, en toevoer van droge lucht, is eenvoudig te bepalen hoeveel verse lucht theoretisch nodig is om de eindconcentratie te bereiken. Delen door de ventilatiecapaciteit per uur levert de tijdsduur. Echter, om te benadrukken dat de concentratie niet rechtlijnig afneemt, is de n-log functie van de concentratieverandering gebruikt. Deze formule is ontleend aan het berekenen van ventilatievoud van een ruimte op basis van gemeten CO₂ concentratie, vanaf de piek tot het bereiken van de buitenconcentratie. Inplaats van ppm CO₂ draait het nu om het absolute vochtgehalte van de lucht, waarin dan impliciet het tempartuurverloop na douchen verwerkt is. Omdat het om de tijdsduur gaat, levert de formule het beeld zoals in formule 1.

Resultaten

De resultaten zijn samengevat in tabel 3. Schimmelrisico ontstaat bij een lage ventilatiestand (1 en 2) en vanaf 3 douches per etmaal. In wezen komt dat neer op zo'n 20 douchebeurten per week, omdat 80% van de bewoners dagelijks een douche neemt [7]. Omdat stand 3 met oude ventilatorboxen niet meer capaciteit levert dan stand 2 bij nieuwe systemen, moet de leeftijd van een ventilator meegewogen worden. Vanwege de gekozen uitgangspunten in de berekeningen neemt bij CO₂ sturing het schimmelrisico in de badkamer toe. Er is weinig rekenkundig verschil tussen ventilatie met binnen- of buitenlucht. Met andere woorden, vocht van elders uit de

woning blijkt in de berekeningen van weinig invloed op het schimmelrisico in inpanidige badkamers. Dat is verrassend, omdat warme vochtige lucht minder vochtafvoer toelaat dan koele buitenlucht, die droger wordt door opwarming.

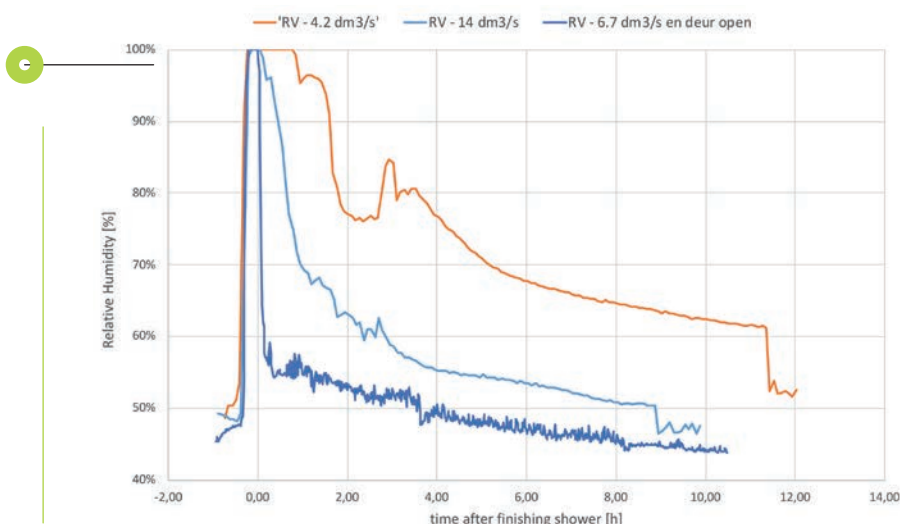
Validatie

Piet Jacobs van TNO-Bouw deed metingen in zijn badkamer thuis. Zijn woning heeft balansventilatie. De resultaten uit het rekenmodel sluiten redelijk aan bij zijn bevindingen. Verwacht wordt daarom dat de rekenresultaten nader inzicht geven in praktijkervaringen. Zie figuren 1 en 2. In het Monicair onderzoeksproject zijn ook data verzameld in badkamers, met als belangrijkste conclusie dat 70% RV in de onderzochte woningen gemiddeld over het stookseizoen slechts twee uur per etmaal wordt overschreden. In een tweetal woningen wordt ter illustratie in beeld gebracht dat het 65% uitgangspunt regelmatig en langdurig wordt overschreden [8]. Met andere woorden: schimmelsporen kunnen periodiek ontkiemen. Het Monicair onderzoek [8] stelt dat een CO₂ -sensor leidt tot een grotere luchthoeveelheid. Dat impliceert meer afzuiging in de badkamer, dus minder schimmelrisico. In het Monicair onderzoek blijkt CO₂ -sturing echter samen te vallen met

Tabel 3

scenario	Ventilatie Hoeveelheid dm³/sec	Tijdsduur grenswaarde 65% in uur
Ventileren met buitenlucht via systeem A (natuurlijke ventilatie)	14	2,25
	10	3,15
	5	6,2
	3	10,4
Ventileren met binnenlucht via systeem C (natuurlijke toevoer, mechanische afvoer)	14	2,3
	10	3,2
	5	7
	3	10,7
Ventileren via systeem D (balans-ventilatie ofwel mechanisch toe- en afvoer)	14	1,3
	10	1,8
	5	3,5
	3	6

Figuur 2



balansventilatie, waardoor de variabele CO₂ sturing geen uitspraken kan doen over het effect op de vochtigheid bij woningen met natuurlijke toevoer en mechanische afvoer (systeem C). Balansventilatie bevordert in het algemeen een droge en schimmelvrije badkamer als de woning warm is. Dat hoeft niet altijd het geval te zijn: ook in woningen met balansventilatie hanteren bewoners soms een lage temperatuur, van 16 - 18°C.

Conclusie

De vraag, onder welke omstandigheden schimmelgroei voorspelbaar is, kan op basis van praktijkonderzoek, maar ook met een eenvoudig rekenmodel gestaafd worden. Bepalend is de "time of wetness" van constructiedelen, die niet goed schoon te houden zijn en daarom altijd voldoende voedingsstoffen voor schimmelgroei zullen bevatten. Ventilatie volgens het Bouwbesluit vermindert het risico op schimmelgroei, echter dan moet de ventilatiecapaciteit urenlang na het douchen benut worden, en tegelijk moet het aantal douches per dag beneden een kritisch aantal blijven. Belangrijk is daarbij dat de ventilatiecapaciteit door veroudering en vervuiling

terugloopt. De badkamer aan de gevel met ventilatie rechtstreeks van buiten lijkt in het voordeel tegenover een inpandige badkamer, vanwege opwarming door de zon en daglichtcomfort, maar rekenkundig is het schimmelrisico nauwelijks minder.

Aanbevelingen

Bij een gering aantal douches zijn risico's gering. Bij drie of meer douches per dag is het aan te bevelen om met een rubberstrip de druppels van wanden en de vloer naar het afvoerputje te trekken. Dat haalt twee-derde van het achtergebleven vocht op gladde oppervlakken weg, van tegels maar ook van gladde harde (wegen)verf. Een badkamertemperatuur hoger dan in slaapkamers wordt door bewoners gewaardeerd. De hogere temperatuur helpt ook schimmels voorkomen. Een goede luchtcirculatie, die vooral bepaald wordt door temperatuurverschillen, zorgt voor snellere droging. Hou daarom de deur van de douchecabine en zelfs van de badkamer open. Bij balansventilatie past zowel een toevoerventiel als afvoerventiel. Het afzuigstelsysteem moet comfortabel bruikbaar zijn op stand drie: met energiezuinige ventilatoren en geluiddemping [9]. Tot slot: vochtsturing van de ventilatie in de badkamer zou gecombineerd moeten worden met CO₂ sturing.



Dr. ir. E. (Evert) Hasselaar, gepensioneerd onderzoeker en docent TU-Delft, nu actief als filmmaker en architect bij Klimaatbouw BV

Referenties

1. Hasselaar E. Hoe gezond is de Nederlandse woning? 2001, Delft University Press
2. WHO, Technical and policy recommendations to reduce health risks due to dampness and mould, Project report. 2000, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen
3. Aanpak van vochtproblemen in woningen, 2017, Aedes Vereniging van woningcorporaties.
4. Hasselaar E, Custers J., De Schimmel voorbij. Aanpak van vochtproblemen in complexen met geshunte natuurlijke ventilatiekanalen, 2004. Amsterdam. Olympus Groep
5. Ginkel JT van, Hasselaar E, De ontwikkeling van afzuighoeveelheden bij mechanische woningventilatie. Oorzaak en gevolg. 2002, Onderzoeksinstituut OTB, Tufdelft, Delft
6. Adan OCG, On the fungal defacement of interior finishes, PhD thesis, 1994, Eindhoven (TUEindhoven)
7. Hasselaar E, Health performance of housing. Indicators and tools. PhD thesis, 2006, Delft University Press by IOS publishers Amsterdam
8. Itard L, Ioannou T, Meijer A, Rasooli A, (TU Delft), Kornaat W (TNO), Development of improved models for the accurate pre- diction of energy consumption in dwellings, 2016, Delft, OTN, fac. Bouwkunde TUDelft
9. Hasselaar E, Ventilatie in de praktijk. Kwaliteit voor bewoners, 2002, OTB, TUDelft, Delft.