

3. Isolatie, ventilatie, condensatie en schimmelvorming

Om iets over dit onderwerp te kunnen bespreken of berekenen moeten we het eerst hebben over luchtvochtigheid, waterdampconcentratie c.q. waterdampspanning, relatieve vochtigheid, enz.

Vocht, relatieve vochtigheid, condensatie

Als we spreken over vocht in de lucht gaat het over waterdamp, water in dampvorm. Waterdamp zie je niet in het mengsel van de ons omringende lucht, het is een gas net als andere stikstof en zuurstof. Droge lucht bestaat voor ongeveer 78% uit stikstof en voor ongeveer 21% uit zuurstof. De laatste 1% bestaat voor het grootste deel uit Argon en verder nog een aantal gassen waaronder kooldioxide (CO₂). Deze samenstelling van droge lucht is bij benadering constant.

In de ons omringende lucht, zowel buiten als binnen, zit bij dit mengsel ook waterdamp. Dan bestaat de lucht bijvoorbeeld uit 99% droge lucht en 1% waterdamp. Normaal zit er binnenhuis 7 - 10 gram waterdamp in een m³ lucht. In vloeibare vorm 2 - 3 borrelglasjes.

Als we het hebben over “de vochtigheid in huis”, gemeten met een hygrometer bedoelen we de “relatieve vochtigheid”. Deze wordt uitgedrukt in %. Maar ... procenten waarvan?

Water verdampt. De goudvissenkom moet je zo nu en dan bijvullen. Het verdampte water wordt opgenomen in de lucht. Stel je nu voor dat je een bodempje water in een fles doet en de fles goed afsluit. Dan gaat dat water ook verdampen. Maar op een gegeven moment stopt dat, tenzij je maar een paar druppels water in de fles had gedaan. Die kunnen misschien helemaal verdampen. Maar normaal blijft er een bodempje water staan en is de hoeveelheid waterdamp in de lucht na een poosje in evenwicht met het vloeibare water.

Waar dat evenwicht ligt is afhankelijk van de temperatuur. Bij elke temperatuur hoort een bepaalde maximale waterdampconcentratie die je kunt berekenen of in een tabel opzoeken. Deze maximale waterdampconcentratie (c_{\max}) drukken we uit in gram per m³ (g/m³).

Als de temperatuur 20°C is, is de “maximale waterdampconcentratie” (c_{\max}) 17,3 g/m³. Hoger kan de concentratie van de waterdamp in de lucht bij die temperatuur nooit worden. Bij 0°C is dat veel minder: $c_{\max} = 4,84$ g/m³ en bij hogere temperaturen juist weer meer.

Stel dat er in de lucht in een kamer waar de temperatuur 20°C is nu maar 10 gram waterdamp in een kubieke meter lucht zit ($c = 10$ g/m³).

Dan is de relatieve vochtigheid $r.v. = c / c_{\max} = 10 / 17,3 \times 100\% = 58\%$.

De relatieve vochtigheid geeft dus aan hoeveel waterdamp er in de lucht zit ten opzichte van de hoeveelheid die er bij die bepaalde temperatuur maximaal in kan zitten.

Stel dat de temperatuur in de ruimte zakt tot 17°C, dan kan de lucht nog maar 14,5 g/m³ waterdamp bevatten. Als de lucht nog steeds 10 g/m³ waterdamp bevat, stijgt daardoor de relatieve vochtigheid tot $r.v. = 10 / 14,5 \times 100\% = 69\%$.

Als de temperatuur zakt tot 11 °C wordt de maximale waterdampconcentratie ook 10 g/m³ en wordt de relatieve vochtigheid 100%. Als de temperatuur nog lager zakt, kan dat vocht niet in de lucht blijven en vindt er condensatie plaats. Als dat buiten gebeurt krijg je mist, hele kleine waterdruppeltjes; als dat op een koud oppervlak gebeurt, zoals op een glas vers getapt glas bier, krijg je condens aan de buitenkant van het glas.



Mist bij daling van de buitentemperatuur



Condens bij lage oppervlaktetemperatuur

In het stuk hiervoor is de luchtvochtigheid beschreven met behulp van de waterdampconcentratie in g/m^3 omdat deze grootheid niet zo abstract is. Bij een waterdampconcentratie van $10 \text{ g}/\text{m}^3$ kun je je voorstellen dat er drie borrelglaasjes water in de vorm van damp in een m^3 lucht zitten, zoals hiervoor al aangegeven.

Voor fysisch correcte berekeningen wordt echter normaliter de waterdampspanning in pascal (N/m^2) gebruikt. Zie hiervoor en voor meer over luchtvochtigheid, relatieve vochtigheid en condensatie paragraaf 2.1 t/m 2.3 van het boek Bouwfysica, ThiemeMeulenhoff 2016 - ISBN 978 90 06 21499 4.

Vochthuishouding in een gebouw/woning

De relatieve vochtigheid in huis wordt bepaald door de hoeveelheid geproduceerde waterdamp, de ventilatie en de temperatuur van de binnenlucht.

Mensen, rustig zittend, geven bijvoorbeeld ca. $50 \text{ g}/\text{h}$ aan waterdamp af. Bij enige beweging loopt dat al snel op. Bij kantoorarbeid wordt het $100 - 120 \text{ g}/\text{h}$.

Stel in een ruimte waar 3 mensen bij elkaar zitten en ook planten wat waterdamp afgeven wordt bijvoorbeeld 320 g waterdamp per uur geproduceerd.

Als de ruimte een volume heeft van 80 m^3 heeft en als de lucht in de ruimte één maal per uur wordt ververs (ventilatievoud $n = 1$) dan neemt, nadat een evenwichtssituatie is ontstaan, iedere m^3 lucht 4 gram waterdamp mee naar buiten.

Stel dat de hoeveelheid waterdamp die zich in de buitenlucht ($0 - 5 \text{ }^\circ\text{C}$) bevindt in de kamer een vochtgehalte van $5 \text{ g}/\text{m}^3$ tot gevolg heeft.

De relatieve vochtigheid in de kamer (20°C) zou dan $r.v. = 5 / 17,3 \times 100\% = 29\%$ zijn.

Door de vochtproductie in de ruimte stijgt het vochtgehalte van de lucht echter tot $9 \text{ g}/\text{m}^3$.

Daarbij is de relatieve vochtigheid $r.v. = 9 / 17,3 \times 100\% = 52\%$.

Als er minder wordt geventileerd, stel $n = 0,5$ waarbij dus maar $40 \text{ m}^3/\text{h}$ ventilatielucht wordt toe- en afgevoerd, stijgt het vochtgehalte in de binnenlucht met $8 \text{ g}/\text{m}^3$ en wordt de relatieve vochtigheid $r.v. = 13 / 17,3 \times 100\% = 75\%$. En dat is best hoog.

Hoewel er in de buitenlucht veel minder waterdamp zit dan in de lucht in de ruimte, is de relatieve vochtigheid buiten met $80 - 90\%$ echter wel veel hoger doordat de maximaal mogelijke waterdampconcentratie bij $0 - 5 \text{ }^\circ\text{C}$ met $c_{\text{max}} = 5 - 7 \text{ g}/\text{m}^3$ veel lager is dan binnen ($c_{\text{max}} = 17,3 \text{ g}/\text{m}^3$).

Een en ander betekent dat door de vochtproductie bij te weinig ventilatie het vochtgehalte in de binnenlucht en de daarbij behorende relatieve vochtigheid in een ruimte heel snel kunnen oplopen. Als die lucht nu ook nog in contact komt met relatief koude vlakken, ruiten, slecht geïsoleerde wanden, koudebruggen, dan zal in de buurt van die oppervlakken de relatieve vochtigheid nog hoger zijn en kan zelfs condensatie plaatsvinden, zoals hiervoor al beschreven.

Schimmelvorming

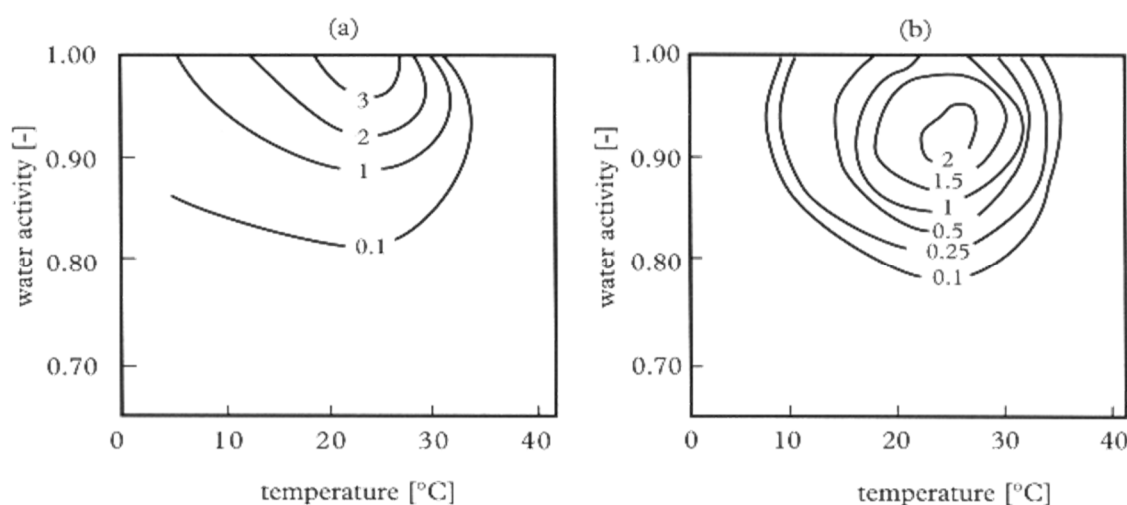
Schimmelvorming kan plaatsvinden op oppervlakken waar het watergehalte van de ondergrond relatief hoog is. Het hygroscopisch watergehalte, fijn verdeeld water in de poriën van een materiaal, hangt af van de afmeting van die poriën én de relatieve vochtigheid van de omringende lucht. Dat water hoort gewoon in het materiaal en is in evenwicht met de waterdamp in de lucht er omheen.

materialen	$\varphi = 40\%$	$\varphi = 65\%$	$\varphi = 95\%$
grindbeton	2	3	7
hout	6	10	18
baksteen enz.	–	–	–
kalkzandsteen	2	4	10
pleisterlagen	1	2	4
houtwolcement	1	3	6
minerale wol	< 0,1	< 0,1	< 0,1
polystyreen	0	0	< 0,2

Bij stijgende relatieve vochtigheid in de omringende lucht stijgt ook het “evenwichtsvochtgehalte” in het materiaal. Daardoor wordt ook tijdelijk vocht gebufferd, waarmee de stijging van de relatieve vochtigheid in de ruimte (bijvoorbeeld een keuken of badkamer) ook wat wordt afgeremd. Het opgenomen vocht, wordt op een later tijdstip weer afgegeven aan de binnenlucht, als de vochtproductie weer stopt en de relatieve vochtigheid, dus ook wat langzamer, weer daalt.

Volumeprocent vocht in het materiaal bij een bepaalde relatieve vochtigheid van de lucht

De relatieve vochtigheid aan de oppervlakte van een materiaal en de daarmee gelijk te stellen wateractiviteit in de buitenste laag van het materiaal is van invloed op de ontwikkeling van schimmels. In de figuur hieronder staat de relatieve groeisnelheid van twee typen schimmel in afhankelijkheid van de temperatuur en de wateractiviteit



Als de wateractiviteit langdurig hoger is dan 0,8 (relatieve vochtigheid hoger dan 80%) beginnen de schimmels zich, als er sporen en een voedingsbodem aanwezig zijn, steeds sneller te ontwikkelen.



Bijgaande foto laat zien waar een en ander toe kan leiden. In buitenhoeken is de oppervlakte-temperatuur van een muur altijd lager dan op de vlakke stukken. Daar begint dus doorgaans de schimmelvorming.

Voorkomen van schimmelvorming

Om schimmelvorming te voorkomen zijn er twee zaken belangrijk:

- Zorgen voor een voldoende hoge temperatuur van het oppervlak van de constructie
- Zorgen voor voldoende ventilatie om een hoge relatieve vochtigheid te voorkomen

Bij een ongeïsoleerde spouwmuur kan de binnenoppervlaktetemperatuur als het buiten bijvoorbeeld 0°C is ook erg laag zijn. Bij een binnentemperatuur van 20°C ontstaan aan het binnenoppervlak dan temperaturen van 15°C of lager, tot 9-10°C toe in hoeken of achter kasten.

Dat hoeft nog niet tot schimmelvorming te leiden, als de relatieve vochtigheid aan het oppervlak maar lager blijft dan de genoemde r.v. = 80% als grens voor de ontwikkeling van schimmels.

Daarvoor mag de relatieve vochtigheid in de ruimte in dit geval niet hoger worden dan r.v. = 40%.

Hiervoor grijpen we terug op wat in het eerste deel van de notitie is beschreven.

Een r.v. = 80% bij een temperatuur van 9°C ($c_{\max} = 8,82 \text{ g/m}^3$) betekent een waterdampconcentratie in de lucht van niet meer dan $0,8 \times 8,82 = 7,06 \text{ g/m}^3$.

Dat is echter dezelfde lucht die verderop in de ruimte een temperatuur van 20°C heeft en bij een temperatuur van 20°C betekent die waterdampconcentratie r.v. = $7,06 / 17,3 \times 100\% = 40\%$

Bij goed ventileren zou dat net moeten kunnen. Maar heel vaak wordt er niet goed geventileerd. Meestal omdat de ventilatievoorzieningen (roosters, klepraampjes) niet echt handig te bedienen zijn en ook omdat een doorsnee woninggebruiker als het koud is juist alle zaken wat meer dicht houdt. Ook komt het helaas erg vaak voor dat de roosters niet groot genoeg zijn of dat anderszins de ventilatievoorzieningen niet deugen.

Zodra de spouwmuur is geïsoleerd, is er bij een beetje normaal ventileren niets meer aan de hand. Bij 0°C buiten is de oppervlaktetemperatuur aan de binnenzijde van de muur ca. 18,5 °C en in een hoek of achter een kast 15°C ($c_{\max} = 12,85 \text{ g/m}^3$). Dezelfde berekening als hiervoor laat zien dat alles dan goed gaat tot aan een relatieve vochtigheid van de binnenlucht van r.v. = 60%.

Maximaal toelaatbaar aan het oppervlak van de wand $c = 0,8 \times 12,85 = 10,3 \text{ g/m}^3$.

Voor de binnenlucht (20°C; $c_{\max} = 17,3 \text{ g/m}^3$) leidt dit tot r.v. = $10,3 / 17,3 \times 100\% = \text{ca. } 60\%$

Dat is bij een beetje redelijk ventileren geen probleem.

Ventilatievoorzieningen

Ventileren is in de eerste plaats nodig om de mensen in het gebouw/de woning van verse lucht te voorzien. Een mens heeft bij gewone activiteiten binnenshuis maximaal 180 liter zuurstof per uur nodig. Bij zeer zware inspanning (topsport) kan dat oplopen tot 400 l/h. De lucht die we inademen bestaat voor 20% uit zuurstof, de lucht die we uitademen nog maar voor 16%. Het verschil hebben we opgenomen in onze longen. Op basis hiervan zou je kunnen zeggen dat een mens binnenshuis genoeg heeft aan ca. 4,5 m³ verse lucht per uur (N.B. één m³ is 1000 liter).

Maar een mens geeft ook CO₂ af als verbrandingsproduct van de stofwisseling in het lichaam, en daarnaast waterdamp én geurstoffen.

Om de lucht voldoende "fris" te houden is er per mens 25 - 30 m³ verse lucht per uur nodig.

Daarmee wordt ook de geproduceerde waterdamp in voldoende mate afgevoerd. Hoe dat werkt is hiervoor al beschreven. Een mens geeft per uur via de ademhaling, via de huid en bij enige inspanning ook via zweetverdamping 50 - 70 gram waterdamp per uur af aan de lucht.

Bij de aangegeven hoeveelheid verse lucht per persoon stijgt de waterdampconcentratie van de binnenlucht met maximaal 2 - 3 g/m³. Daardoor wordt de relatieve vochtigheid, uitgaande van bijvoorbeeld r.v. = 25% bij afwezigheid van mensen verhoogt tot r.v.= ca. 40%.

Dat zou betekenen dat er zelfs in matig geïsoleerde gebouwen/huizen weinig kans is op schimmelvorming. Maar dan moet er dus wel voldoende worden geventileerd.

En naast de waterdampafgifte van personen is er ook nog waterdampafgifte van planten, van koken, en andere activiteiten.

Voor een woning als geheel moet je toch minstens uitgaan van een ventilatievoud van $n = 0,5$. Dat betekent dat de lucht iedere twee uur volledig is ververs. Voor een huis van 300 m³ betekent dat een ventilatiehoeveelheid van 150 m³/h als een soort gemiddelde. Naast waterdamp en geurstoffen moeten er ook permanent ook bij afwezigheid van mensen, andere verontreinigingen worden afgevoerd. Denk daarbij aan door bouwmaterialen, meubilair en stoffering en dergelijke afgegeven stoffen.

Per vertrek kun je kijken naar wat er op een bepaald moment nodig is als er wel mensen aanwezig zijn of als er gekookt wordt of op een andere manier waterdamp geproduceerd.

Neem een woonkamer met daarin 4 mensen, dan is alleen voor de mensen op dat moment al minimaal 100 m³/h verse lucht nodig (4 x 25 m³/h per persoon).

Globaal kun je ervan uitgaan dat de lucht door een rooster of klepraam in de gevel met ca. 1 m/s aan snelheid binnenkomt. In de hiervoor genoemde situatie is er per seconde $100/3600 = 0,028$ m³ lucht nodig.

Als die lucht door een rooster in de gevel binnen moet komen moet dat rooster bij een luchtsnelheid van 1 m/s een vrije opening hebben van minimaal 0,028 m² (280 cm²).

Dat is bijvoorbeeld een klepraam van 1 m breed dat op een spleet van ca. 3 cm staat of een ventilatierooster van ca. 1 m lengte.

Als er gaas in de openingen zit, vaak aanwezig om vliegen en dergelijke buiten te houden, is zelfs een lengte van 2 m nodig.

Veel te vaak tref je situaties aan dat dit soort minimale ventilatievoorzieningen niet aanwezig zijn of niet goed bedient kunnen worden.

Ook moet, wil de verse lucht inderdaad binnen komen, de afvoerlucht ook weer ergens weg kunnen. In veel huizen worden de keuken de badkamer en het toilet mechanisch afgezogen. Maar de lucht van de woonkamer kan daar alleen maar heen als er doorvoer openingen zijn naar de gang en de keuken (spleet onder de deur, rooster in de deur of binnenwand). Bij een open keuken gaat het natuurlijk vanzelf goed. Bij een doorzonkamer moeten de roosters in beide tegenover elkaar liggende gevels open staan, anders gebeurt er niets.

Naast openingen voor continue ventilatie (klepraampjes, roosters) moeten er ook grotere ramen zijn voor spuiventilatie om 's morgens de slaapkamers even te kunnen kluchten of na een verjaardag de woonkamer. Ook zijn grotere openingen nodig voor warmte afvoer in de zomer.

Ventilatie bedienen

Ventilatieopeningen moeten ook goed bedienbaar zijn. Dat betekent dat klepraampjes niet alleen een "open-dicht sluiting" moeten hebben, maar traploos bedienbaar moeten zijn, zodat ze ook op een kleine kier kunnen worden gezet als het wat harder waait buiten. Hetzelfde geldt voor roosters. Er bestaan ook zelfregelende roosters. Daarin zit een klein motortje dat een klep bedient die verder dicht gaat naarmate het harder waait en weer verder open als de wind afneemt. Een en ander wordt aangestuurd door het meten van het drukverschil over het rooster.

Veel informatie hierover vind je ook op <https://www.milieucentraal.nl/informatiepunt-ventilatie/>.

Thermische isolatie en koudebruggen

Als een gebouw/woning niet of nauwelijks is geïsoleerd blijft er ook bij goede ventilatie kans bestaan op schimmelvorming zoals eerder in deze notitie aangegeven.

De meeste huizen van na 1920 hebben spouwmuren. In de meeste gevallen kunnen deze eenvoudig worden na-geïsoleerd. Daarbij wordt minerale wol, kunststofschuimkorrels of een ander materiaal via in het buitenspouwblad geboorde gaten in de spouw geblazen.

Oudere huizen hebben doorgaans "steensmuren". Muren die simpel de lengte van een gewone baksteen dik zijn, meestal ca. 21 cm. Aan de binnenzijde zijn deze, net als de spouwmuren doorgaans van een pleisterlaag voorzien.

Deze muren hebben een nog lagere warmte isolatie dan spouwmuren, waardoor het binnenoppervlak in de winter een zeer lage temperatuur kan hebben. Als het buiten 0°C is kan de temperatuur aan het binnenoppervlak van de muur dalen tot 13°C en in hoeken en vooral achter kasten zelfs tot 4°C bij een binnentemperatuur van 20°C.

Als je er voor zorgt dat er geen kasten tegen de buitenmuur staan en dat er in de hoeken geen gordijnen hangen of op andere manier de muur wordt afgeschermd lukt het misschien nog met goed ventileren, maar de situatie is uiterst kritisch.

Vooraf deze muren moeten daarom worden geïsoleerd. Meestal kan dat alleen aan de binnenzijde. Daarvoor zijn combinatieplaten van kunststofschuim met daarop gelijmd gipskartonplaat zeer geschikt. Bij het aan de binnenzijde isoleren van een constructie moet rekening worden gehouden met voorkomen van inwendige condensatie en extra aandacht is nodig als er ook vloer- of dakbalken in de buitenmuur rusten. Zie hiervoor de afzonderlijke notitie "Aan de binnenzijde isoleren van steensmuren".

Voor het voorkomen van condensatie en schimmelvorming is een isolatiedikte van 4 cm ruim genoeg. Meer is uiteraard goed uit oogpunt van energiebesparing, maar vaak is de totale buitenmuuroppervlakte relatief gering, zodat de eerste 4 cm isolatie al een hele verbetering is. Zie oom de notitie "Waar te beginnen met isoleren en hoe zwaar ...".

Doorlopende betonnen vloeren (als balkon of anderszins) en andere doorbrekingen van constructies kunnen koudebruggen vormen die vaak nog afzonderlijk moeten worden geïsoleerd. In de notitie “Binnenisolatie van buitenmuren” wordt hierop ook kort ingegaan.

Zie voor verdere informatie ook de website van Milieu Centraal:

- <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/energiezuinig-huis/isoleren-en-besparen/spouwmuurisolatie/>
- <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/energiezuinig-huis/isoleren-en-besparen/gevelisolatie-binnenkant/>

Delft, 27 december 2019

Kees (ir. A.C.) van der Linden

Deze notitie is er één van een serie

1. Energiebesparing en binnenklimaat – alles hangt met elkaar samen
2. Waar te beginnen met isoleren en hoe zwaar ...
3. Isolatie, ventilatie, condensatie en schimmelvorming
4. Binnenisolatie van buitenmuren