

3. Binnenklimaat

3.1 Luchtvochtigheid in gebouwen

De absolute luchtvochtigheid in een ruimte wordt bepaald door de absolute luchtvochtigheid van de buitenlucht, de interne vochtproductie, de eventuele vochttoevoer door luchttransport vanuit een kruipruimte en de vochtafgifte door droging van gebouwconstructies of vochtonttrekking door condensatie. Op de relatieve luchtvochtigheid is daarnaast natuurlijk de temperatuur bepalend. Er geldt:

$$n_a V \cdot c_a + G_p - G_o = n_i V \cdot c_i + d(V \cdot c_i) / dt \quad (96)$$

met:

- V volume van het vertrek [m^3]
- $n_a V$ luchtstroom van buiten naar binnen [m^3/s]
- $n_i V$ luchtstroom van binnen naar buiten [m^3/s]
- c_i waterdampconcentratie van de binnenlucht [kg/m^3]
- c_a waterdampconcentratie van de buitenlucht [kg/m^3]
- G_p vochtproductie [kg/s]
- G_o vochtonttrekking [kg/s]

In een stationaire situatie, waarin geen verandering van de dampconcentratie plaatsvindt, en indien de binnentredende en uittredende luchtstroom gelijk is, kan (35) geschreven worden als:

$$(c_i - c_a) = (G_p - G_o) / nV. \quad (97)$$

met

- nV ventilatiedebiet [m^3/s]

Vochtonttrekking kan plaats vinden door gebruik te maken van hulpmiddelen (groot: luchtdrogers, klein: 'vochtvreters') of door bijvoorbeeld condensatie op koude oppervlakken. Ook door hygroscopische effecten kan vochtonttrekking aan de binnenlucht plaatsvinden: wanneer de relatieve luchtvochtigheid stijgt. De invloed van vochtonttrekking is veelal klein.

Vochtproductie vindt in een woning plaats door vele processen.

3.2 Vochtproductie in woningen

De vochtproductie in een woning ligt veelal tussen 5 en 15 kg/etmaal.

Door allerlei activiteiten kan vochtproductie plaatsvinden: koken, drogen van de was, douchen, etc. Ook bewoners produceren vocht, deels doordat de lucht die wordt uitgedemd meer vocht bevat dan de ingedemde lucht, deels door transpiratie. In tabel 11 zijn een aantal cijfers gegeven.

Tabel 11; vochtproductie in woningen

bron	vochtproductie	
aanwezigheid 2 personen, 12 uur	2	kg/etmaal
persoon, lichte activiteit	30 - 60	g/h
persoon, matige inspanning	120 - 200	g/h
persoon, zware inspanning	200 - 300	g/h
planten (gemiddelde hoeveelheid)	0,5	kg/etmaal
plant	5 - 50	g/h
afwas met de hand	1	kg/etmaal
koken zonder afzuiging	2 - 3	kg/etmaal
aquarium	0,5 - 1	kg/etmaal
was drogen (nat ophangen)	tot 5	kg/was (volle machine)
was drogen (nat ophangen)	100 - 500	g/h per was “
was drogen (na centrifugeren)	1	kg/was (volle machine)
was drogen (na centrifugeren)	50 - 100	g/h per was “
baden	500	g/keer
baden	700	g/h
douchen	250	g/keer
douchen	tot 2500	g/h
open geiser	1-2	kg/etmaal
open geiser (12 kW)	1900	g/h

Een deel van de vochtbronnen levert een gelijkmatig over de dag gespreide vochtproductie.

Andere bronnen geven in een korte periode veel vocht af aan de binnenlucht. Deze pieken in de luchtvochtigheid kunnen verantwoordelijk zijn voor (kortdurende) oppervlaktecondensatie.

Bedacht dient te worden dat een zelfde vochtproductie in een kleine woning vaak tot een hogere luchtvochtigheid leidt dan in een grote woning:

- het luchtvolume is kleiner, dus bij een zelfde vochtproductie meer grammen vocht per m³ lucht
- het wand- en vloeroppervlak is kleiner: minder vochtbuffering bij pieken door minder hygroscopische materialen (pleisterwerk etc.)
- minder inventaris: dus eveneens minder hygroscopische buffering in woningtextiel etc.
- bij een kleinere woning zit men vaak dicht bij een ventilatierooster: men heeft daardoor eerder last van tocht
- in een kleinere woning is de vochtproductie niet noodzakelijkerwijze evenredig kleiner met het vloeroppervlak: de capaciteit van ventilatievoorzieningen is voor grotere vertrekken echter wel afhankelijk van dit oppervlak

3.3 Beoordeling luchtvochtigheid

Voor de beoordeling van de luchtvochtigheid in woningen wordt gebruik gemaakt van het dampdrukverschil tussen binnen- en buitenlucht, of het verschil in waterdampconcentratie. Hoe hoger de buitentemperatuur, hoe lager het verschil in waterdampconcentratie tussen binnen- en buitenlucht. Dat het verschil in waterdampconcentratie bij lage buitentemperatuur (in de winter) groter is dan bij hogere buitentemperatuur wordt veroorzaakt door een aantal factoren:

- bij lage buitentemperatuur ventileert men in het algemeen minder (redenen: energiebesparing, comfort);
- in de winter wordt de was vaker binnen gedroogd dan 's zomers

Ook speelt een beperkte rol dat 's winters, bij lage buitentemperatuur, de relatieve luchtvochtigheid in de woningen lager is dan 's zomers, waardoor - door de hygroscopische eigenschappen van bouwmaterialen, woningtextiel etc. - vocht aan de binnenlucht wordt afgegeven. Dit laatste aspect kan alleen in het najaar, bij dalende absolute luchtvochtigheid van de buitenlucht, een rol spelen.

De luchtvochtigheid in een ruimte wordt veelal in eerste instantie gegeven als de relatieve luchtvochtigheid. Een goede beoordeling kan echter beter plaats vinden aan de hand van het verschil in waterdampconcentratie of in dampspanning. Voor de beoordeling van het binnenklimaat in woningen wordt in het algemeen gebaseerd op een onderzoek naar het dampdrukverschil tussen binnen- en buitenlucht bij woningen, uitgevoerd door Van der Kooi in de zeventiger jaren. Latere onderzoeken (herijking luchtvochtigheid in woningen) en buitenlands onderzoeken in landen met een vergelijkbaar klimaat bevestigen in grote lijnen het onderzoek van Van der Kooi, al lijkt er een tendens naar een wat groter dampconcentratieverschil bij gematigd lage buitentemperatuur te zijn.

Figuur 5.1 geeft, in het gearceerde gebied, het waterdampconcentratieverschil dat in het algemeen als acceptabel wordt beschouwd.

In de figuur wordt het daggemiddelde waterdampconcentratieverschil uitgezet tegen de daggemiddelde temperatuur. Woningen met een (ontoelaatbaar) hoge luchtvochtigheid liggen boven de bovenste curve van de grafiek.

3.4 Luchtvochtigheid in gebouwen, klimaatklassen.

Voor de beoordeling van het binnenklimaat van gebouwen wordt gebruik gemaakt van een indeling in klimaatklassen, naar Tammes en Vos.

Deze indeling is gebaseerd op een beoordeling of c.q. in welke mate inwendige condensatie in een constructie voorkomt, aan de hand van de methode Glaser. De grenzen tussen de klimaatklassen komen overeen met de navolgende grenssituaties;

- grens klimaatklasse I en II: er treedt geen inwendige condensatie op in de slechtst mogelijke constructie
- grens klimaatklasse II en III: er is net geen resulterende condensatie in een wand zonder dampremmende laag (binnenzijde) met dampdichte buitenafwerking

- grens klimaatklassen III en IV: de hoeveelheid geaccumuleerd vocht, door inwendige condensatie in de winterperiode kan in de zomerperiode juist door droging verdwijnen: er is juist geen jaarlijkse vochtaccumulatie in ongunstige constructie.

Voor de jaargemiddelde dampspanning in Nederland kan 1030 Pa aangehouden worden.

Voor de klimaatklassen gelden dan voor de jaargemiddelde dampspanning de in tabel 12 gegeven waarden.

Klasse I: gebouwen met een verwaarloosbare vochtproductie

Klasse II: gebouwen met een lage vochtproductie en goede ventilatie

Klasse III: gebouwen met een behoorlijke vochtproductie of met bevochtiging en een goede ventilatie, of een beperkte vochtproductie en een (zeer) matige ventilatie

Klasse IV: gebouwen met een hoge vochtproductie

Tabel 12: klimaatklassen

klasse	dampspanning [Pa]		bijvoorbeeld
	ondergrens	bovengrens	
I	1030	1080	magazijnen, sportzalen
II	1080	1320	woningen, kantoren en winkels zonder luchtbevochtiging
III	1320	1430	scholen, kantoren met beperkte luchtbevochtiging
IV	1430	geen	drukkerijen, zwembaden, bottelarijen, zuivelfabrieken

3.5 Ventilatie van woningen

Woningen moeten geventileerd worden om de binnenlucht te verversen, en voor het afvoeren van schadelijke stoffen en waterdamp. Het in de woning geproduceerde vocht wordt nagenoeg geheel door ventilatie afgevoerd: slechts een klein deel van het vocht verdwijnt door diffusie door gevels en daken.

In het bouwbesluit worden eisen gesteld ten aanzien van de ventilatievoorzieningen. Deze eisen hebben niet alleen betrekking op de minimaal te realiseren ventilatiedebieten, maar gaan ook over de regelbaarheid van de ventilatievoorzieningen.

Een woning moet goed geventileerd worden. Daar de woningen tegenwoordig veel meer luchtdicht zijn dan de woningen die voor de energiecrisis werden gebouwd, wordt de luchtverversing in de moderne woning voor het grootste deel bepaald door de invloed van de bewoner: het bewust ventileren. De infiltratie van buitenlucht door naden en kieren was in de oudere woningen vaak haast al voldoende om een redelijke woningventilatie te verzekeren. Indien de bewoner weinig gebruik maakte van ventilatievoorzieningen was toch een basis luchtverversing verzekerd: door de

onbedoelde en oncontroleerbare ventilatie- de infiltratie van de buitenlucht door naden en kieren. In de meer luchtdichte woningen die heden worden gebouwd - en de meer luchtdichte woningen die bij renovatie van gevels worden gerealiseerd moeten de bewoners goede ventilatie-voorzieningen worden geboden. Het moet de bewoner makkelijk gemaakt worden om goed en gedoseerd te ventileren.

De ventilatie wordt - naast het gebruik door de bewoner van de ventilatievoorzieningen - bepaald door:

- het drukverschillen over de woning ten gevolge van windaanval
- het drukverschil over de gevels door temperatuureffecten: in de winterperiode heerst in een eengezinswoning op de beganegrondniveau een onderdruk - op verdieping- en/of zolderniveau een overdruk
- mechanische ventilatie.

3.5.1 Ventilatie onder invloed van windaanval en temperatuurseffecten

De infiltratie van buitenlucht door windeffecten is afhankelijk van onder meer de ligging (beschutting door de bebouwing en begroeiing in de omgeving - of onbeschermt) en van de hoogte van de woning.

Wanneer een goede kierdichting is toegepast bij te openen ramen en deuren en indien bouwnaden goed zijn afgedicht, is ventilatie door kieren en naden van ondergeschikt belang.

Het ventilatievoud van natuurlijk geventileerde, weinig kierdichte woningen bedraagt circa 0,5 tot 1,5 h⁻¹. Bij een redelijk kierdichte woning en een zuinig ventilatiegedrag van de bewoner kan het ventilatievoud in de orde van 0,6. Gebruik van de ventilatievoorzieningen is dan wel nodig. Wordt in een (erg) kierdichte woning geen gebruik gemaakt van de ventilatievoorzieningen, dan kan het ventilatievoud 0,2 h⁻¹ of minder bedragen.

Een ventilatiekanaal in de keuken zal alleen afvoer van ventilatielucht tot gevolg hebben als toevoer van ventilatielucht verzekerd is.

Ventilatievoorzieningen moeten voldoen aan de eisen die in de NEN 1087 zijn opgenomen.

Er worden twee wijzen van ventileren onderscheiden:

- 1 het spuien van een vertrek (luchten) door ramen open te zetten,
- 2 basisventilatie: een continue ventilatie, meestal door gebruik van ventilatieroosters.

Het ontbreken van de basisventilatie kan niet worden gecompenseerd door regelmatig, kortstondig luchten.

Door de afgifte van het hygroscopisch vocht in pleisterlagen, woningtextiel, enzovoort zal de vochtigheid in de woning na het spuien weer snel op het oude niveau terugkomen.

Veel woningen worden regelmatig gelucht. Doordat kierdichting is aangebracht of ventilatieroosters gesloten blijven ontbreekt vaak de basisventilatie.

Aan voorzieningen voor natuurlijke ventilatie zouden een aantal eisen gesteld moeten worden:

- regelbaar
- afsluitbaar
- goed bedienbaar
- voldoende capaciteit
- geen (groot) risico van inbraak (bij ventilatievoorziening in geopende stand)
- weinig of geen tocht veroorzakend
- in geopende toestand regendicht

Indien aan de gegeven voorwaarden niet wordt voldaan, bestaat een grote kans dat de ventilatievoorzieningen onvoldoende worden gebruikt. Bedacht moet worden dat de roosters ook in de nachtperiode de basisventilatie moeten kunnen verzorgen - en bij afwezigheid van de bewoners (dus inbraakveilig) - dat een goede ventilatie juist in de winterperiode is gewenst (geen tocht), dat ook bij (hevige) wind geventileerd moet worden (regelbaar), als het regent (regendicht), dat er meer geventileerd moet worden als de vochtproductie hoger is (meer mensen op bezoek: rooster verder open: dus regelbaar en voldoende capaciteit) en dat ook ouderen de ventilatievoorzieningen goed moeten kunnen gebruiken (bedienbaar: zonder hulpmiddelen, niet te zwaar; goed bereikbaar). Maak het de bewoners niet moeilijk om goed te kunnen ventileren.

3.5.2 Mechanische ventilatie

De mechanische ventilatievoorziening die meestal wordt toegepast bestaat uit een systeem waarmee gewoonlijk: keuken, toilet, badkamer worden afgezogen. Wordt een woning mechanisch geventileerd door de hiervoor genoemde ruimten af te zuigen, dan zullen de overige vertrekken (slaapkamers) toch nog bewust geventileerd moeten worden.

3.6 **Schimmels en binnenklimaat.**

Er zijn twee groepen schimmels, die in gebouwen schade of hinder kunnen veroorzaken: de houtaantastende (hogere) schimmels, en de schimmels die op behang en pleisterwerk -maar ook op meubilair- kunnen voorkomen. Deze laatste groep schimmels (lagere schimmels, vooral fungi imperfectie) veroorzaken niet direct bouwkundige schade die een bedreiging vormt voor de sterkte of stijfheid van de constructie, maar vormt vooral een esthetisch, en in mindere mate, een gezondheidsprobleem.

Schimmels op behang en pleisterwerk in woningen worden vaak gezien als het gevolg van een vochtprobleem. Als oorzaak wordt dan bijvoorbeeld een bouwkundig gebrek (bijvoorbeeld lekkage) of een onjuist binnenklimaat (onvoldoende ventilatie) genoemd.

Er zijn echter veel factoren van invloed op de groei van schimmels. In deze paragraaf wordt ingegaan op een deel van de invloedsfactoren, namelijk die samenhangen met het binnenklimaat in woningen.

Ook de schimmelgevoeligheid van afwerkmaterialen is erg belangrijk. Hiernaar is onderzoek gedaan maar van nog veel te weinig materialen is de

schimmelgevoeligheid bekend. De schimmelgevoeligheid van materialen wordt bepaald door:

- de aanwezigheid van voedingsstoffen; soort, hoeveelheid en bereikbaarheid
- de aanwezigheid van schimmeldodende (fungicide) of -groeiremmende (fungistatische) stoffen
- de zuurgraad
- de vochtbufferende werking (beschikbaarheid van vocht in perioden met lage luchtvochtigheid in het vertrek)

In een vertrek met een stabiel binnenklimaat zal het microklimaat aan het oppervlak van een wand of plafond of vloer niet sterk variëren. Uit onderzoek is gebleken dat, wanneer de relatieve luchtvochtigheid langdurig minder is dan 80% ook op schimmelgevoelige materialen geen schimmelgroei optreedt.

In een vertrek zal bij lage buitentemperatuur ter plaatse van een koudebrug de relatieve luchtvochtigheid natuurlijk hoger zijn dan in het midden van een vertrek. Een minimale temperatuurfactor van 0,65 lijkt in deze situatie een redelijke eis, wanneer tenminste geen erg schimmelgevoelige materialen worden toegepast..

NB wel kan, door 'eigenaardigheden' in de bepaling van de temperatuurfactor volgens NEN 2778, de oppervlaktetemperatuur in de praktijk lager zijn dan verwacht zou worden op grond van de berekende temperatuurfactor.

In vertrekken met een wisselend binnenklimaat kan het microklimaat op een wand- of plafondoppervlak sterk variëren. Zo kunnen in een keuken en in een badkamer grote pieken in de luchtvochtigheid voorkomen. Doordat het belangrijkste vochttransport in een ruimte plaatsvindt onder invloed van luchtstroming, kan in een dunne laag langs plafond en wand een relatieve luchtvochtigheid heersen die sterk afwijkt van de gemiddelde luchtvochtigheid.

Bij koken zal de warme lucht van het gasfornuis opstijgen, het verdampende vocht -en het door verbranding geproduceerde vocht- zal met de stijgende luchtstroom langs het plafond stromen, en langs de wanden afkoelend naar beneden zakken. De relatieve luchtvochtigheid in de grenslaag kan daarbij enkele tientallen procenten hoger zijn dan de relatieve luchtvochtigheid in het midden van de ruimte. Ook oppervlaktecondensatie kan dan voorkomen. In een badkamer kunnen vergelijkbare effecten leiden tot een microklimaat in de grenslaag langs plafond- en wandoppervlakken die beduidend ongunstiger (hogere vochtigheid) zijn dan elders in het vertrek.

Hygroscopische materialen kunnen dit vocht opnemen, waardoor na beëindiging van de vochtproductie het microklimaat nog langdurig gunstig kan blijven voor schimmels.

Wanneer de relatieve luchtvochtigheid in de grenslaag langer hoger is dan 80% dan de periode dat de relatieve luchtvochtigheid lager is dan deze drempelwaarde, neemt de kans op schimmelgroei sterk toe. De tijdsduur dat de relatieve luchtvochtigheid in de grenslaag hoger is dan 80 % wordt de 'time of wetness' genoemd.

Het is daarmee van groot belang pieken in de luchtvochtigheid te voorkomen, cq de tijdsduur dat een piek voorkomt zo kort mogelijk te laten zijn. De ventilatie-efficiency is hierdoor een belangrijk aandachtsgebied.

In ruimten met een weinig stabiel binnenklimaat dienen geen schimmelgevoelige materialen toegepast te worden.