

Bouwfysica

Principes van thermische bruggen

Meer informatie vindt u in ons
bouwphysica portaal.



www.schock.nl/bouwphysica

Inhoudsopgave

05 Inleiding

- 06 Trias energetica
- 07 Warmteverlies gebouwen

09 Thermische bruggen

- 10 Algemeen
- 10 Typen thermische brug
- 12 Warmteverlies via thermische bruggen
- 13 Lijnvormige thermische bruggen
- 14 Puntvormige thermische bruggen
- 15 Driedimensionale thermische bruggen
- 16 Thermische bruggen en Passief Bouwen

17 Vocht

- 18 Algemeen
- 18 Luchtvochtigheid
- 19 Condensatie
- 21 Schimmelvorming
- 22 Binnenoppervlaktetemperatuurfactor (f -factor)

23 Normen en regelgeving

- 24 NEN 1068:2012
- 25 NEN 2778
- 25 NEN 7120
- 25 NEN-EN-ISO 13788
- 26 NEN-EN-ISO 6946
- 26 NEN-EN-ISO 10211
- 26 PHPP-NL

27 Thermische bruggen in de praktijk

- 28 Balkon of galerij aansluiting
- 29 Dakrand
- 29 Voorzetwand
- 30 Staal-beton en staal-staal aansluiting
- 30 Thermische bruggen in de EPC

33 Lexicon

- 34 Jaarlijkse warmtebehoefte
- 35 Jaarlijkse primaire energieverbruik
- 36 Warmteverliescoëfficiënt door transmissie
- 37 Zomercomfort
- 37 Warmtestroom Φ
- 37 De warmtegeleidingscoëfficiënt λ
- 38 Warmteweerstand
- 39 Warmtedoorgangcoëfficiënt
- 40 De warmtedoorgangcoëfficiënt ψ en χ
- 41 Dauwpunttemperatuur

Inleiding

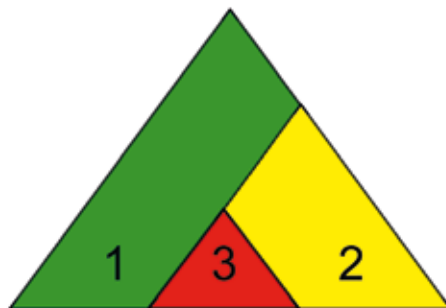
Trias energetica

Energiegebruik en energie besparen hebben de afgelopen jaren volop in de aandacht gestaan. Dat blijkt bijvoorbeeld uit de ontwikkeling van de eisen met betrekking tot de thermische kwaliteit van constructies; die eis is per 1 januari 2015 vastgesteld op $R_c \geq 4,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ voor gevels en $R_c \geq 6,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ voor daken. Een verdere aanscherping van de energieprestatie van een gebouw is al voorzien voor 2020. De EPC (Energie Prestatie Coëfficiënt) zal dan ook de eisen met betrekking tot de energieprestatie van een gebouw bepalen.

Doordat de warmteweerstand van constructies steeds hoger wordt, is aandacht voor de thermische kwaliteit van de detaillering steeds belangrijker. Het aandeel van het warmteverlies in knooppunten wordt bij hogere warmteweerstanden immers groter dan bij slecht geïsoleerde gebouwen.

Om te komen tot een energiezuinig gebouw wordt vaak gebruik gemaakt van het principe van de Trias Energetica. De Trias Energetica houdt er rekening mee dat er in eerste instantie gestreefd wordt naar een lage energiebehoefte (stap 1). Dit kan gerealiseerd worden door een goede thermische kwaliteit van de gebouwschil en door gebruik te maken van de zon. Duurzame bronnen worden zo veel mogelijk gebruikt (stap 2). Bijvoorbeeld door de elektriciteitsbehoefte op te wekken met PV-panelen, warmtapwater op te wekken met een zonnecollector of voor de ruimteverwarming gebruik te maken van de warmte uit grondwater of de bodem. De energiebehoefte die overblijft en niet bij stap 2 wordt ingevuld moet zo efficiënt mogelijk worden opgewekt; dat is stap 3 van de Trias Energetica.

De Trias Energetica en het principe is onderstaand schematisch weergegeven:

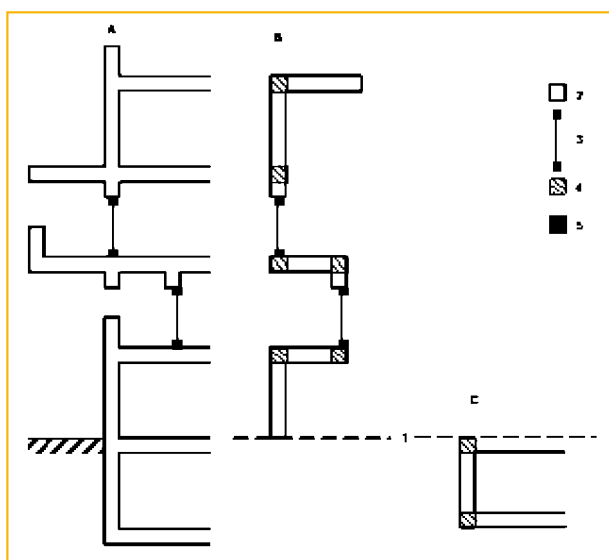


Afbeelding 1: Trias Energetica.

- Stap 1: beperk de energiebehoefte
- Stap 2: gebruik duurzame bronnen
- Stap 3: gebruik niet duurzame bronnen efficiënt

Warmteverlies gebouwen

In de winter is de binnentemperatuur hoger dan de buitentemperatuur. Dit betekent dat er een warmtestroom optreedt van binnen naar buiten. Dit warmteverlies kan beperkt worden. Aandacht voor de thermische kwaliteit van constructies is daarbij van belang, maar ook het warmteverlies ter plaatse van waar constructies op elkaar aansluiten speelt een grote rol. Denk bijvoorbeeld aan de aansluiting van een hellend dak op een gevel, een balkonaansluiting of funderingsaansluiting.



Afbeelding 2: Warmteverlies daar waar constructies op elkaar aansluiten.

Thermische bruggen

Algemeen

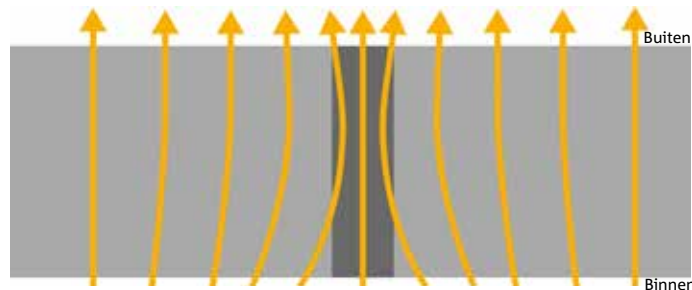
Thermische bruggen zijn aansluitingen waarbij er plaatselijk sprake is van een hogere warmtegeleiding. Een hoge mate van warmtegeleiding leidt tot een hoger warmteverlies, met een lagere binnenoppervlaktetemperatuur als gevolg. Door deze lage binnenoppervlaktetemperatuur ontstaat het risico op condensatie met schimmelvorming (gezondheidsgevaar) als gevolg. Andere risico's van oppervlaktecondensatie bestaan uit het beschadigen van bouwconstructies door het condensatievocht.

Er zijn meerdere oorzaken voor het ontstaan van een thermische brug. Een voorbeeld hiervan is dat een bouwdeel wordt onderbroken door een materiaal met een hogere warmtegeleidingscoëfficiënt (thermische brug als gevolg van materialisatie). Een thermische brug kan ook ontstaan door de detailpositie in het een gebouw (geometrische thermische brug).

Typen thermische brug

Thermische brug als gevolg van materialisering

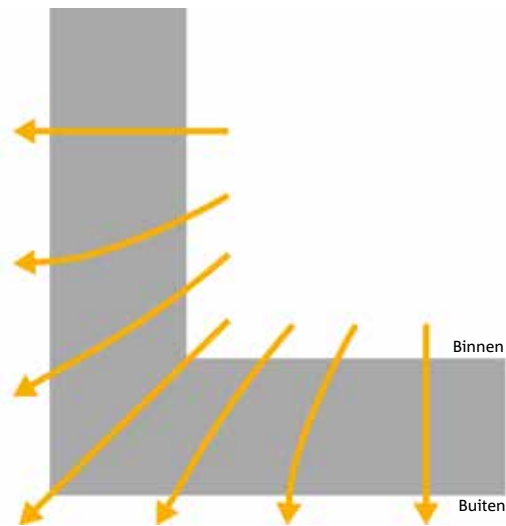
Zodra materialen met grote verschillen in warmtegeleidingscoëfficiënt aan elkaar grenzen ontstaat een thermische brug als gevolg van materialisatie. Een typisch voorbeeld hiervan is een spouwanker door een isolatieplaat; het warmteverlies door het spouwanker met een hoge warmtegeleidingscoëfficiënt (staal: $\lambda = 50 \text{ W/mK}$) is vele malen groter dan het warmteverlies door het isolatiemateriaal ($\lambda = 0,030 \text{ W/mK}$).



Afbeelding 3: Doorsnede met twee materialen (donker met een hoge warmtegeleidingscoëfficiënt, licht met een lagere warmtegeleidingscoëfficiënt). De richting van de warmtestroom is door pijlen weergegeven. De warmtestroom vindt door de materialen plaats van warm (onderzijde afbeelding) naar koud.

Geometrische thermische brug

Geometrische thermische bruggen ontstaan op het moment dat het oppervlak dat warmte afgeeft groter is dan het oppervlak dat warmte opneemt. Een typisch voorbeeld hiervan is een uitwendige hoek van een gebouw of de dakrand van een plat dak. Door het grote warmteverlies in de thermische brug daalt de oppervlaktetemperatuur sterk.



Afbeelding 4: Doorsnede van een gebouwhoek. De pijlen geven de richting van de warmtestroom van warm naar koud aan. Het lijnvormige warmteverlies dat bij een homogene wand gebruikelijk is, wordt door het knooppunt sterk beïnvloed.

Samengevat zijn de gevolgen van thermische bruggen de volgende:

- Verhoogd energieverbruik
- Verminderd comfort
- Kans op oppervlaktecondensatie
- Kans op schimmelvorming
- Kans op aantasting van de gezondheid

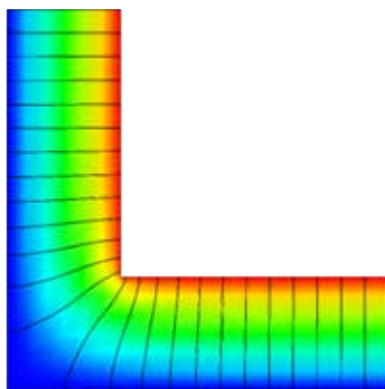
Warmteverlies via thermische bruggen

Bij het warmteverlies via thermische bruggen kan een aantal karakteristieke waarden worden onderscheiden. De lineaire warmtedoorgangscoefficiënt ' ψ ' (Psi) en de puntvormige warmtedoorgangscoefficiënt ' χ ' (Chi) geven informatie over het warmteverlies. De binnenoppervlaktetemperatuurfactor (f-factor) en de bijbehorende minimale oppervlaktetemperatuur geven informatie over de kans op oppervlaktecondensatie met mogelijke schimmelvorming als gevolg.

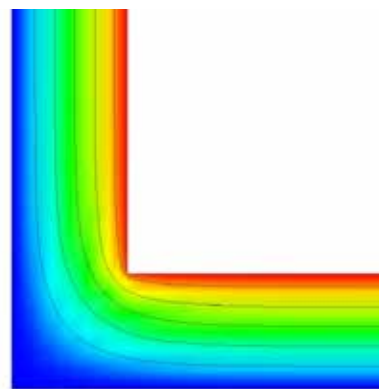
De rekentechnische bepaling van deze grootheden voor een detail is uitsluitend mogelijk door gebruik te maken van een eindige-elementen-model. Om een dergelijke berekening te maken wordt een model van het detail in het rekenmodel ingevoerd. Afmetingen en materiaaleigenschappen (λ -waarde) en de omgevingsfactoren (overgangsweerstand en ruimtetemperaturen) zijn daarbij van belang; deze waarden zijn in NEN 1068 en NEN 2778 beschreven (informatie met betrekking tot respectievelijk de ψ -waarde en de f-factor).

Het rekenmodel volgens het eindige-elementen-model bepaalt warmtestromen en temperaturen. Het temperatuurverloop of de warmtestroomdichtheid kan dan grafisch in een constructie worden weergegeven; een voorbeeld daarvan is gegeven in afbeelding 5 en 6.

De warmtestroomdichtheid toont het deel van de aansluiting met het meeste warmteverlies en op die manier de zwakke delen van een aansluiting. In het isothermenverloop zijn lijnen of vlakken met gelijke temperatuur weergegeven. De lijnen met de warmtestroomdichtheid en het isothermenverloop staan loodrecht op elkaar.



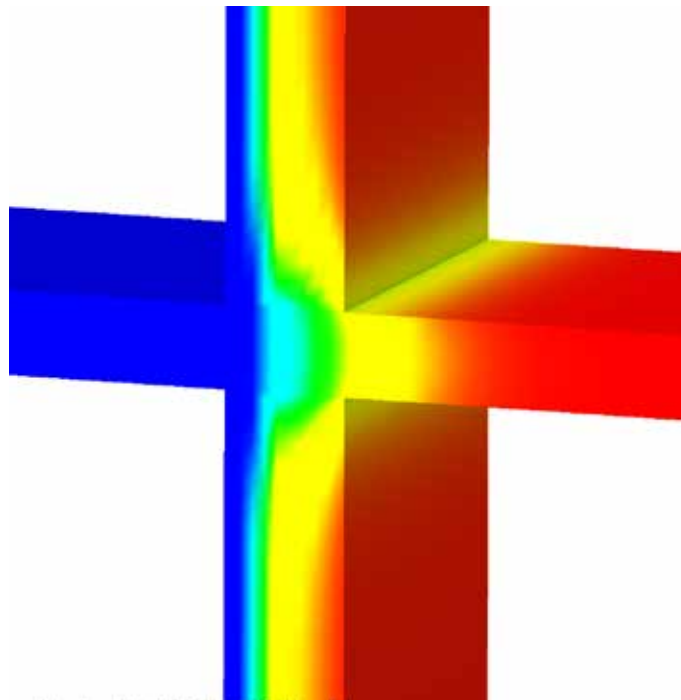
Afbeelding 5: grafische weergave met warmtestroomdichtheid



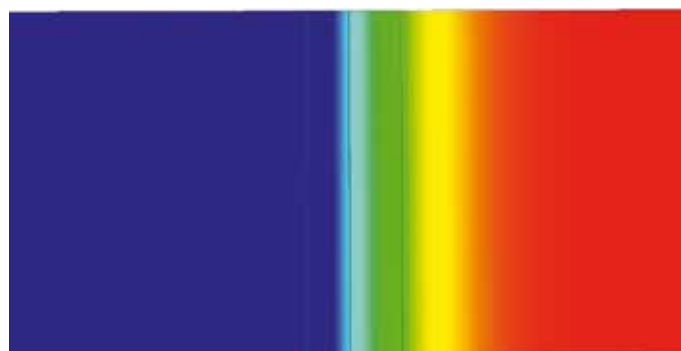
Afbeelding 6: grafische weergave van temperatuurverloop (isothermen)

Lijnvormige thermische bruggen

Lijnvormige thermische bruggen zijn onderbrekingen in de thermische schil over een zekere lengte. Kenmerkende voorbeelden hiervan zijn de balkonaansluiting met de verdiepingsvloer (zie o.a. ‘thermische bruggen in de praktijk’), maar ook de aansluiting van de dakrand van een plat dak of de spouwlat ter plaatse van een kozijn. Het warmteverlies door lijnvormige koudebruggen wordt uitgedrukt in de ψ -waarde [W/mK].



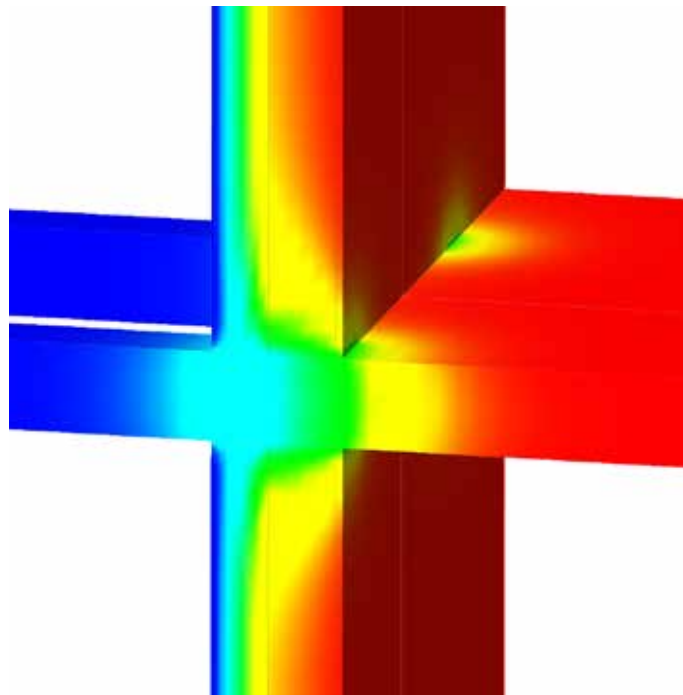
Afbeelding 7a: Weergave van een lijnvormige thermische brug: balkonaansluiting. Rechts is met het rode oppervlak de warme (binnen)zijde van het detail weergegeven. Links is met het blauwe oppervlak het koude gedeelte (buitenzijde) weergegeven. Ter plaatse van de binnenhoecken is door de geel-groene kleuren de lagere binnenoppervlaktetemperatuur goed te herkennen.



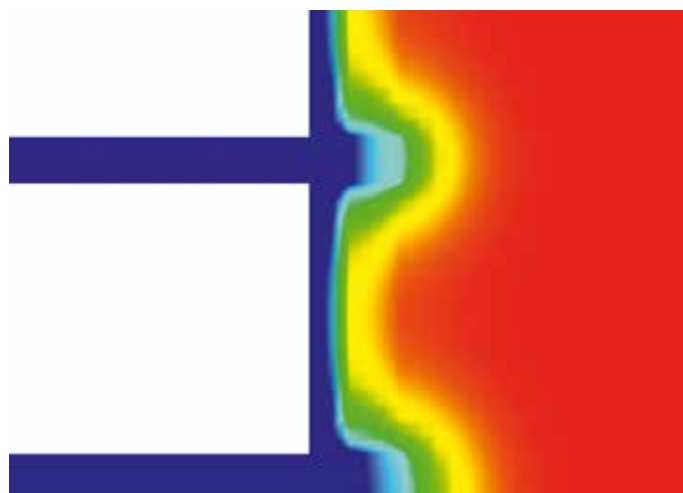
Afbeelding 7b: In deze afbeelding is een horizontale doorsnede door de in 7a getoonde balkonplaat getoond. In de afbeelding is te zien dat het warmteverlies over de balkonaansluiting in lengterichting gelijk blijft en dus lijnvormig is.

Puntvormige thermische bruggen

Puntvormige thermische bruggen zijn onderbrekingen in de thermische schil die begrensd zijn tot een lokale aansluiting. Kenmerkende voorbeelden zijn spouwankers of bevestigingsankers van geventileerde gevels of het buitenblad van metselwerk. Het warmteverlies als gevolg van puntvormige thermische bruggen wordt uitgedrukt in een χ -waarde. De bepalingmethode van de χ -waarde is beschreven in de NEN 1068.



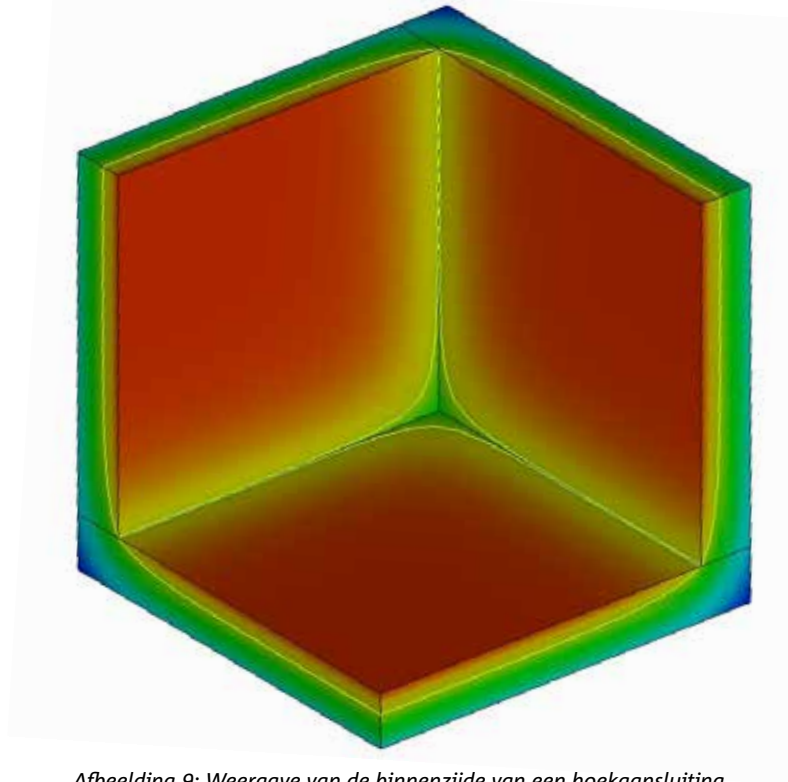
Afbeelding 8a: Weergave van een puntvormige thermische brug ter plaatse van een balkonaansluiting. Hier is aan de buitenzijde een staalprofiel tegen de rand van de betonnen vloer aangebracht. Ter plaatse van de binnenhoeken is door de geel-groene kleuren de lagere binnenoppervlaktetemperatuur ter plaatse van twee stalen hoeklijnen goed te herkennen.



Afbeelding 8b: In deze afbeelding is een horizontale doorsnede van de in 8a getoonde balkonplaat getoond. In de afbeelding is te zien dat het warmteverlies wordt veroorzaakt door de beide doorlopende opleggingen. Hier zijn de warmteverliezen lokaal aanwezig, met een sterke uitstraling in de directe aangrenzende zone. Er is dus sprake van een puntvormige thermische brug.

Driedimensionale thermische bruggen

Een voorbeeld van een driedimensionale thermisch brug is de uitwendige hoek van een ruimte. In afbeelding 4 is weergegeven hoe de warmtestroom zich in een tweedimensionaal vlak verhoudt. Bij een driedimensionale aansluiting wordt deze warmtestroom groter. De binnenoppervlaktetemperatuur, die bij de aansluiting van het knooppunt bij tweedimensionale aansluitingen al lager is, is in de hoek van het driedimensionale detail nog lager. De reden hiervoor is het geometrische effect als gevolg van de ongunstige verhouding van het buitenoppervlak ten opzichte van het binnenoppervlak.



Afbeelding 9: Weergave van de binnenzijde van een hoekaansluiting (uitwendige hoek). De aangrenzende buitenruimte is koud, waardoor het kleurverloop van rood (warm) naar blauw (koud) loopt. In de drie lijnvormige lineaire thermische bruggen is een lagere temperatuur te zien. Dat geldt nog sterker voor de zone in de ruimte waar de drie vlakken samenkomen. Hier is de laagste binnenoppervlaktetemperatuur aanwezig.

Thermische bruggen en Passief Bouwen

Passief Bouwen is een ontwikkeling waarbij het energieverbruik voor ruimteverwarming en -koeling zo veel mogelijk wordt beperkt; stap 1 van de Trias Energetica. Kenmerkend voor het Passief Bouwen zijn hoge warmteweerstanden ($R_c = 10 \text{ m}^2\text{K/W}$), triple beglazing (met $U < 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$) en een hoge mate van luchtdichtheid. De detaillering van de thermische bruggen speelt daarnaast een grote rol; bij Passief Bouwen wordt sterk aangeraden om te ontwerpen zonder thermische bruggen.

Bij Passief Bouwen wordt, bij voorkeur in het compacte ontwerp, slim gebruik gemaakt van de zon door de oriëntatie van het gebouw. De zon wordt in de winter binnengelaten voor de beperking van de warmtebehoefte, in de zomer wordt de zon geweerd (overstek / zonwering) om oververhitting te voorkomen. Om het warmteverlies als gevolg van ventilatie zo veel mogelijk te voorkomen wordt er gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning toegepast.

Vocht

Algemeen

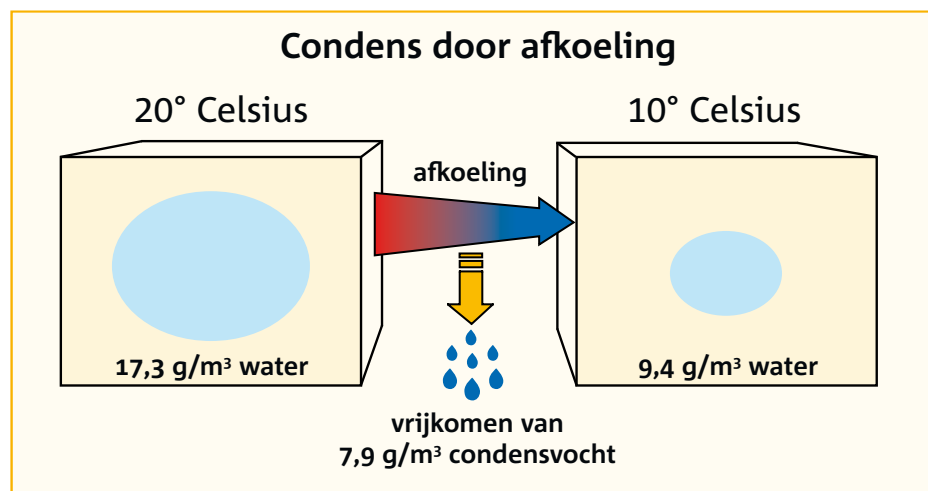
Vocht in een gebouw ontstaat tijdens het gebruik, door bijvoorbeeld koken of douchen. Door te ademen produceert de mens ook vocht. Doorslaand vocht of optrekend vocht zijn andere vochtbronnen in een gebouw.

Door vocht kan er een binnenklimaat ontstaan waarin organismen als schimmels zich vormen. Schade aan constructies als gevolg van vocht ontstaan door vorst en corrosie. Daarnaast verslechtert de thermische kwaliteit van materialen op het moment dat ze vochtig zijn, met een groter warmteverlies tot gevolg.

Om deze negatieve gevolgen van vocht te voorkomen dient men maatregelen te treffen. Het realiseren van een voldoende hoge binnenoppervlaktetemperatuur is daarbij een belangrijke maatregel. Op basis van de eis aan de minimale f-factor wordt er in het Bouwbesluit een eis gesteld aan de binnenoppervlaktetemperatuur.

Luchtvochtigheid

Doorgaans wordt met de luchtvochtigheid het aandeel van waterdamp in de lucht bedoeld. Hoeveel waterdamp de lucht kan bevatten hangt (naast de luchtdruk) van de temperatuur van de lucht af. Hoe hoger de luchttemperatuur, hoe meer waterdamp in de lucht wordt opgenomen.



Figuur 1: Condensatie bij 1 m³ lucht (links) met een bepaalde hoeveelheid waterdamp ontstaat op het moment dat deze lucht wordt afgekoeld. De lucht kan dan minder waterdamp bevatten (rechts) met condensatie tot gevolg.

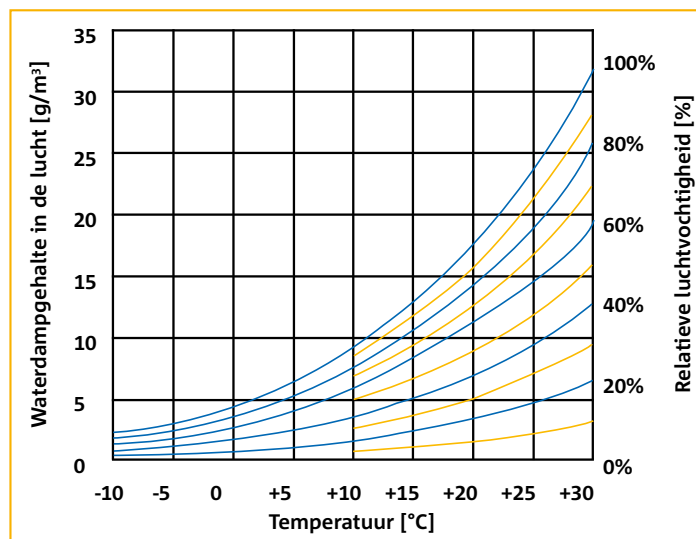
Zoals in figuur 1 te zien is, condenseert een deel van de waterdamp dat opgenomen is in de lucht op het moment dat de lucht wordt afgekoeld. Dit is een probleem bij koude vlakken in een verwarmde ruimte, denk dan bijvoorbeeld aan een (enkel)glasvlak of een van buiten naar binnen doorlopende stalen balk. Bij een hoge luchtvochtigheid bestaat de kans op schimmelvorming, zelfs al voordat er sprake is van condensatie. Om de invloed van het vochtgehalte bij deze processen te duiden wordt de term 'relatieve vochtigheid' gebruikt.

De relatieve vochtigheid

De relatieve vochtigheid is een procentuele waarde die aangeeft in welke mate de lucht 'verzadigd' is met waterdamp. Een relatieve vochtigheid van 100% betekent dat er niet meer vocht opgenomen kan worden door de lucht; als er nog meer vocht wordt geproduceerd leidt dat tot condensatie. De relatieve vochtigheid is afhankelijk van de luchttemperatuur. Lucht met een hoge temperatuur kan meer vocht opnemen dan koude lucht. Bij een veranderende luchttemperatuur wijzigt dus ook de relatieve vochtigheid op het moment dat de absolute vochtigheid gelijk blijft.

Voorbeeld:

Als lucht van 20°C met een relatieve vochtigheid van 50% wordt afgekoeld naar 18°C, dan stijgt de relatieve vochtigheid met 7%. De reden hiervoor is dat koude lucht minder vocht kan bevatten dan warme lucht.



Figuur 2: Diagram welke de verhouding tussen temperatuur, relatieve luchtvochtigheid en absolute vochtigheid weergeeft.

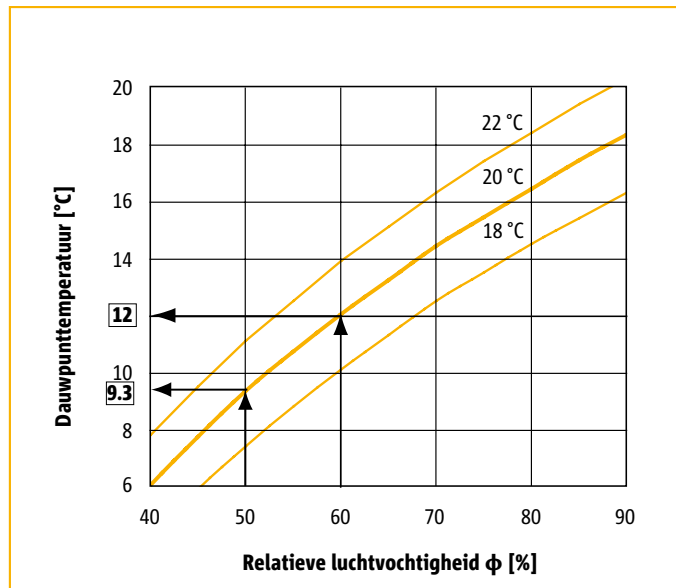
Condensatie

Bij oppervlaktecondensatie condenseert vocht uit de lucht op een koud oppervlak. De luchttemperatuur daalt als gevolg van een koud bouwdeel. Hierdoor kan er minder vocht in de lucht worden opgenomen waardoor er condensatie kan ontstaan. Op het moment dat de relatieve vochtigheid 100% wordt dan vindt er condensatie plaats (zie ook figuur 1). De temperatuur waarbij condensatie plaatsvindt wordt de dauwpuntstemperatuur genoemd.

Het dauwpunt hangt af van de temperatuur van de ruimte en van de luchtvochtigheid in de ruimte (zie ook figuur 3). Een hoge relatieve vochtigheid met een hoge ruimtetemperatuur leidt tot een hoger dauwpunt. Bij een hoog dauwpunt zal er eerder oppervlaktecondensatie ontstaan.

Een relatieve vochtigheid van circa 50% is gebruikelijk in een ruimte van circa 20°C. Daarbij hoort een dauwpuntstemperatuur van 9,3°C. In ruimten met een hogere vochtbelasting, zoals de badkamer, wordt een relatieve vochtigheid van meer dan 60% gemeten. Als gevolg daarvan ligt het dauwpunt hoger en is het risico op condensatie groter. Bij een relatieve vochtigheid van 60% en een ruimtetemperatuur van 20°C ligt het dauwpunt al bij 12°C. Dat het dauwpunt sterk afhankelijk is van

de relatieve vochtigheid blijkt goed uit de helling van de lijn in figuur 3: een kleine verhoging van de relatieve vochtigheid leidt tot een aanzienlijke verhoging van het dauwpuntstemperatuur. Dit heeft een duidelijke verhoging van het risico op condensatie ter plaatse van koude oppervlakken tot gevolg.



Figuur 3: De dauwpuntstemperatuur is afhankelijk van de relatieve vochtigheid en de ruimtetemperatuur.

Voorbeeld: Een kast voor een buitengevel; de vochtige lucht tussen wand en kast kan condenseren door een lage luchtstroom en dus beperkte opwarming van de gevel vanuit de ruimte. Op een zelfde manier kan condensatie ontstaan tussen een gordijn en een raam.

Inwendige condensatie

Met een dampspanningsberekening volgens de Glaser-methode uit NEN-EN-ISO 13788 kan naast het gevaar op inwendige condensatie ook de hoeveelheid condensatie worden beoordeeld.

Uitgangspunt in een berekening volgens de Glaser-methode is een stationaire situatie. Daarbij wordt de invloed van vocht op de warmtegeleidingscoëfficiënt niet beschouwd. De analyse volgens de Glaser-methode heeft betrekking op de vergelijking tussen de grensvlakken (binnen en buiten) van een constructie.

Schimmelvorming

De condities voor schimmelvorming op constructieoppervlakken worden al bij een relatieve vochtigheid van 80% bereikt. Dit betekent dat er al schimmelvorming kan ontstaan op het moment dat een constructievlak zo koud is dat de relatieve vochtigheid van de aangrenzende luchtlaag 80% is. De temperatuur waarbij schimmelvorming mogelijk al optreedt is dus hoger dan de dauwpuntstemperatuur.

De temperatuur waarbij schimmelvorming optreedt is 12,6°C bij een ruimte van 20°C, met een relatieve vochtigheid van 50%; 3,3°C hoger dan het dauwpunt (zie figuur 3). Om schimmelvorming te voorkomen is deze temperatuur dus maatgevend en niet de dauwpuntstemperatuur.

Samenvattend: het is onvoldoende om uitsluitend het dauwpunt te beoordelen. Schimmelvorming kan al eerder (bij een hogere temperatuur) optreden. Als grenswaarde kan daarvoor 80% relatieve vochtigheid worden aangehouden.

Veel problemen met schimmelvorming doen zich in bestaande bouw voor. Ter plaatse van ramen (enkel glas) ontstaat vaak condensatie door de lage oppervlakte-temperatuur van het glas. Dit is voor een bewoner een signaal dat er meer geventileerd moet worden. Bij renovatie wordt de beglazing vaak vervangen door HR++ glas waardoor de oppervlakte-temperatuur stijgt en oppervlaktecondensatie wordt voorkomen. De kans bestaat echter dat de knooppunten nog steeds thermische bruggen zijn, waardoor hier nog wel condensatie optreedt en het risico op schimmelvorming toeneemt.

Binnenoppervlaktetemperatuurfactor (*f*-factor)

De binnenoppervlaktetemperatuur geeft informatie over de warmtegeleiding van een bouwdeel. Een lage binnenoppervlaktetemperatuur betekent een groot warmteverlies ter plaatse van het knooppunt. De *f*-factor is een temperatuurfactor met informatie over de oppervlaktetemperatuur. Daarmee zegt de *f*-factor iets over het risico op oppervlaktecondensatie.

De *f*-factor wordt bepaald door het temperatuurverschil tussen de binnenoppervlaktetemperatuur en de buitentemperatuur, ten opzichte van het temperatuurverschil tussen binnen en buiten:

$$f\text{-factor} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

Waarbij:

θ_e = buitentemperatuur: 0 °C

θ_i = binnentemperatuur: 18 °C

θ_{si} = binnenoppervlaktetemperatuur

Bouwbesluiten

In afdeling 3.5 'vering van vocht' van het Bouwbesluit worden eisen gesteld aan de minimale *f*-factor. Voor een woonfunctie geldt *f*-factor $\geq 0,65$. Voor utiliteitsfuncties (met uitzondering van 'overige gebruiksfunctie' en 'bouwwerk geen gebouw zijnde' zonder een *f*-factor eis) geldt *f*-factor $\geq 0,50$.

Om de *f*-factor van een knooppunt te kunnen bepalen is een berekening volgens de eindige-elementen-methode benodigd; een dergelijke berekening kan niet met de hand worden uitgevoerd. Bij een berekening van de *f*-factor wordt de binnenoppervlaktetemperatuur berekend bij een binnentemperatuur van 18°C en een buitentemperatuur van 0°C.

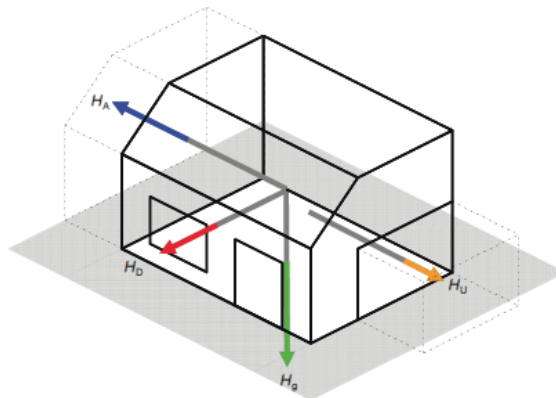
Ter plaatse van een thermische brug treedt de laagste binnenoppervlaktetemperatuur op; lager dan ter plaatse van een geïsoleerde constructie. Op basis van de laagste binnenoppervlaktetemperatuur kan worden beoordeeld of er ter plaatse van een thermische brug condensatie en/of gevaar voor schimmelvorming ontstaat. Daarmee is de laagste binnenoppervlaktetemperatuur een maat voor het risico op oppervlaktecondensatie en/of schimmelvorming.

Normen en regelgeving

NEN 1068:2012

De NEN 1068 beschrijft de bepaling van het warmteverlies door transmissie van een gebouw, uitgedrukt in de waarde H_T [W/K]. Het warmteverlies wordt bepaald door vier waarden:

- H_D : het warmteverlies tussen binnen en de buitenlucht;
- H_g : het warmteverlies via de grond;
- H_U : het warmteverlies via een aangrenzende onverwarmde ruimte (bijvoorbeeld een trappenhuis);
- H_A : het warmteverlies via een aangrenzende verwarmde ruimte (gelijkgesteld aan 0 W/K).



Afbeelding 10: Schematisch weergave van het warmteverlies door transmissie.

Bij de bepaling van de H_T wordt rekening gehouden met het warmteverlies via oppervlaktes en via lineaire thermische bruggen. In NEN 1068 is de methode voor het bepalen van het verliesoppervlak en de lengte van de thermische bruggen beschreven. Daarnaast is de bepalingsmethode voor de thermische kwaliteit van constructies en van lineaire thermische bruggen beschreven. Tevens is een bepalingsmethode gegeven voor de χ -waarde (zie paragraaf 3.5). Regelmatig voorkomende puntvormige aansluitingen zoals bevestigingshulpmiddelen (ankers) worden meegenomen in de bepaling van de warmteweerstand van een constructie.

NEN 1068 wordt vanuit het Bouwbesluit aangestuurd als bepalingsmethode voor de warmteweerstand en warmtedoorgangscoefficiënt van constructies. In het Bouwbesluit worden eisen gesteld aan de thermische kwaliteit van constructies. Voor nieuwbouw gelden per 01-01-2015 de volgende eisen:

- Vloeren $R_c \geq 3,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ (niet gewijzigd)
- Gevels $R_c \geq 4,5 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Daken $R_c \geq 6,0 \text{ m}^2\text{K/W}$

Vanuit NEN 7120 (EPC-berekening) wordt de bepalingsmethode van het warmteverlies door transmissie aangestuurd.

NEN 2778

In NEN 2778 is, onder andere, de bepalingmethode van de binnenoppervlakte-temperatuur beschreven. Daarbij komt de modellering van een aansluiting (detail) aan de orde. Deze is van belang bij de invoer van een knooppunt in het rekenmodel volgens de eindige-elementen-methode. Tevens worden de te hanteren uitgangspunten beschreven voor de berekening van de binnenoppervlakte-temperatuur.

NEN 2778 wordt vanuit het Bouwbesluit aangestuurd als bepalingmethode voor de f -factor.

NEN 7120

In NEN 7120 is de berekening van de EnergiePrestatieCoëfficiënt (EPC) beschreven. Met de EPC-berekening wordt het gebouwgebonden energiegebruik bepaald. Naast het ontwerp en de bouwkundige kenmerken van het gebouw zijn ook de installatietechnische eigenschappen van het gebouw van belang. Het energiegebruik voor verwarming, warm tapwater, koeling/zomercomfort, ventilatoren en verlichting wordt bepaald. Het opwekken van energie, door bijvoorbeeld PV-panelen, wordt in de EPC-berekening gewaardeerd.

Uitkomst van de EPC-berekening is een getal; hoe lager de uitkomst, hoe energiezuiniger het gebouw is.

NEN 7120 wordt vanuit het Bouwbesluit aangestuurd. In het Bouwbesluit wordt er per gebruiksfunctie een eis aan de uitkomst van de EPC gesteld. Conform het Bouwbesluit is per 01-01-2015 de EPC eis $\leq 0,4$ voor woongebouwen.

NEN-EN-ISO 13788

NEN-EN-ISO 13788 is een Europese norm waarin de Glaser-methode beschreven is. Aan inwendige condensatie wordt in het Bouwbesluit geen eisen gesteld; de bepalingmethode wordt dan ook niet in het Bouwbesluit aangestuurd.

NEN-EN-ISO 6946

NEN-EN-ISO 6946 is een Europese norm waarin de bepalingmethode voor de warmteweerstand voor constructies beschreven is. De norm is de basis voor NEN 1068, die in het Bouwbesluit is aangestuurd.

NEN-EN-ISO 10211

NEN-EN-ISO 10211 is de Europese norm die als basis heeft gediend voor de Nederlandse NEN 2778. De bepalingmethode voor warmtestromen en oppervlaktetemperatuur is in de norm beschreven.

PHPP-NL

Met het PassivHausProjektierungProtokoll PHPP-NL rekenmodel kan de warmtebehoefte van een gebouw worden bepaald. Doorgaans wordt dit rekenmodel gebruikt om aan te tonen dat er voldaan wordt aan de voorwaarden van 'Passief Bouwen'.

Belangrijke voorwaarden voor het ontwerp zijn daarbij:

- Een maximale warmtebehoefte van 15 kWh/m²;
- Een maximale luchtdoorlatendheid van n_{50} van 0,6 h⁻¹ (infiltratievoud).

Thermische bruggen in de praktijk

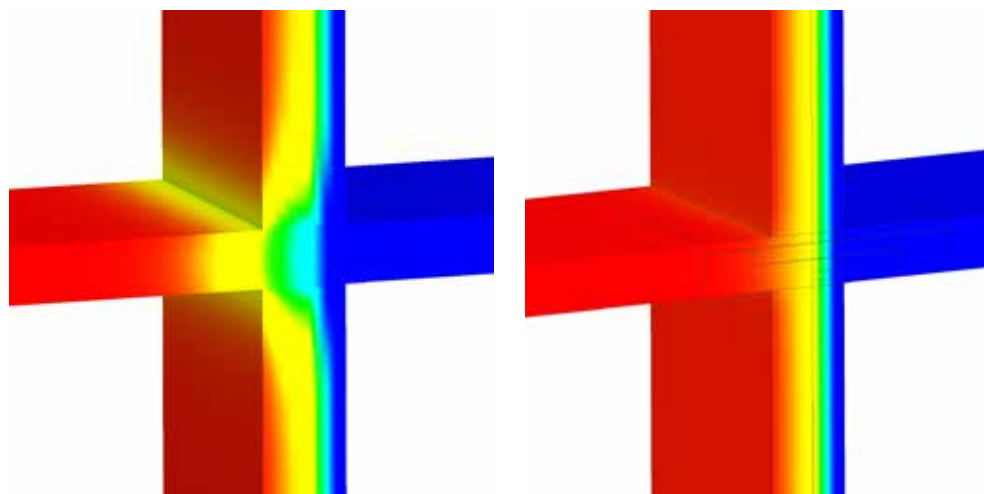
In dit hoofdstuk wordt een aantal thermische bruggen beschreven die regelmatig in de nieuwbouw en renovatiepraktijk voorkomen. Een extra warmteverlies ter plaatse van een thermische brug is vaak niet te voorkomen. Door een aansluiting goed te ontwerpen is het wel mogelijk om het extra warmteverlies zo veel mogelijk te beperken.

Balkon of galerij aansluiting

Bij de aansluiting van een balkon of galerij is er sprake van extra warmteverlies. De detaillering bepaalt de mate van warmteverlies en de oppervlaktetemperatuur ter plaatse van het detail. In de (oudere) bestaande bouw is het balkon veelal aangestort aan de verdiepingsvloer. In dat geval is er sprake van een groot warmteverlies en een lage oppervlaktetemperatuur, met een groot risico op schimmelvorming tot gevolg.

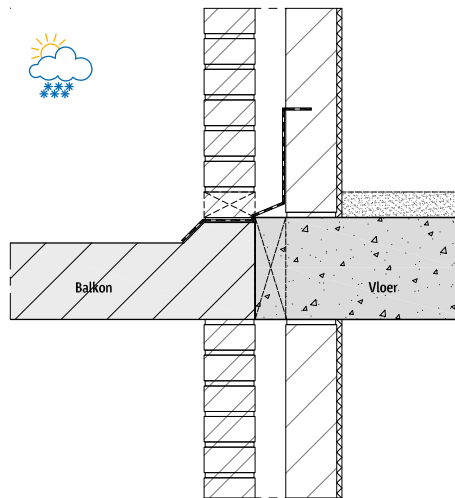
Door het balkon te ontkoppelen van de vloer wordt het warmteverlies ter plaatse van de thermische brug beperkt. Als gevolg daarvan stijgt ook de oppervlaktetemperatuur. Afhankelijk van de constructieve bevestiging van het balkon kan er bij de ont koppeling onderscheid worden gemaakt tussen:

- Beton-beton aansluiting: hierbij wordt het betonnen balkon via een geïsoleerd verankeringssysteem ontkoppeld van de vloer. Deze oplossing wordt gebruikt op het moment dat het balkon meegestort wordt tijdens de (nieuw-)bouw, maar kan ook gebruikt worden bij renovatie waarbij het balkon ontkoppeld moet worden.
- Beton-staal aansluiting: hierbij wordt een staalconstructie bevestigd aan het casco. Het balkon steunt vervolgens op de staalconstructie.

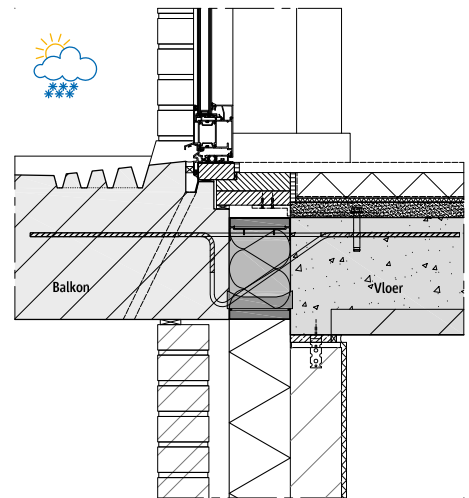


Afbeelding 11: Doorgaande balkonplaat (links) en een aansluiting met Schöck Isokorf® (rechts).

In afbeelding 11 is een thermografisch beeld gegeven van een balkon uit gewapend beton met (rechts) en zonder (links) thermische scheiding. In de linker situatie is het balkon aangestort aan de verdiepingsvloer. Deze situatie komt niet in nieuwbouw voor (vanwege de f-factor eis), maar komt wel regelmatig voor bij bestaande bouw. Aan de hand van de kleurenverdeling in de afbeelding is te zien hoe het warmteverlies via de balkonplaat plaatsvindt van binnen (rood) naar buiten (blauw). De rechter afbeelding toont een balkonaansluiting die thermisch ontkoppeld is. Hier is een gelijkmatig temperatuurverloop te zien door de dragende thermische ontkoppeling; het warmteverlies is aanzienlijk beperkt.



Afbeelding 12a: Een doorgestort balkon in een oud appartementengebouw.



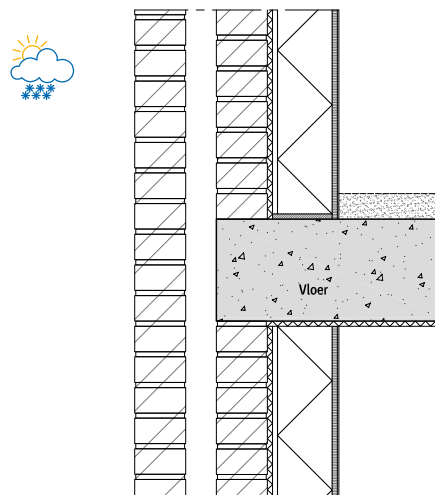
Afbeelding 12b: Een thermisch onderbroken bevestiging van een balkon in een nieuw appartementengebouw.

Dakrand

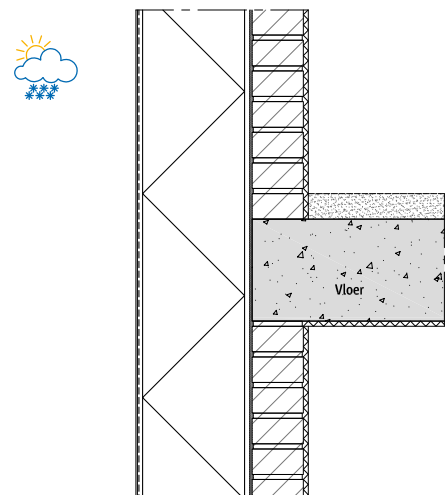
Dakranden worden vaak verfraaid met betonnen sierelementen. Omdat de betonnen dakconstructie niet door mag lopen van binnen naar buiten, moet de bevestiging van de prefab elementen thermisch onderbroken worden.

Voorzetwand

De positie van het isolatiemateriaal bepaalt voor een deel de kans op thermische bruggen. Bij toepassing van een buitengevelisolatie worden knooppunten veelal 'ingepakt', waardoor er geen thermische brug ontstaat. Anders is dat op het moment dat er 'van binnenuit' wordt geïsoleerd. Die oplossing is ongebruikelijk bij nieuwbouw, maar wordt bij renovatie regelmatig toegepast. De aansluiting van een verdiepingvloer met de gevel is in dat geval kritisch. Er ontstaat bij een isolatie 'van binnenuit' een onderbreking ter plaatse van de verdiepingvloer.



Afbeelding 13a: Voorzetwand (isolatie van binnenuit).



Afbeelding 13b: Buitengevelisolatie.

Staal-beton en staal-staal aansluiting

Puntvormige aansluitingen van bijvoorbeeld staalconstructies worden momenteel niet meegenomen in de EPC-berekening. Er vindt echter wel degelijk warmtetransport plaats. Dit wordt uitgedrukt in de χ -waarde. In NEN 1068 wordt ten aanzien van incidentele puntvormige thermische bruggen vooralsnog alleen bevestigings van bijvoorbeeld metselwerk (spouwankers) en dakisolatie meegenomen in de berekening van de warmteweerstand van een constructie-onderdeel. Consoles of staalconstructies (nog) niet.

De goede geleidende eigenschappen van puntvormige thermische bruggen kunnen echter in de praktijk als snel tot oppervlaktecondensatie aan de binnenzijde van het gebouw leiden. Het thermisch onderbreken van een dergelijke aansluiting heeft dan ook, zowel uit energetisch als hygrisch oogpunt, sterk de voorkeur.



Afbeelding 14: Aansluiting van een staalconstructie op de gevel.

Thermische bruggen in de EPC

Het warmteverlies via lineaire thermische bruggen wordt in de EPC-berekening meegenomen (zie ook hoofdstuk 5). De lineaire thermische bruggen zijn op verschillende manieren mee te rekenen:

- ▶ Forfaitaire methode conform 5.1.3 van NEN 1068 waarbij een toeslag op de U-waarde van de uitwendige scheidingsconstructies in rekening wordt gebracht;
- ▶ Uitgebreide methode waarbij voor de bepaling van de ψ -waarde gebruik wordt gemaakt van de database uit bijlage G van NEN 1068;
- ▶ Uitgebreide methode waarbij voor de bepaling van de ψ -waarde gebruik wordt gemaakt van de database van SBR-referentiedetails + 25% (in verband met marginale verschillen);
- ▶ Uitgebreide methode waarbij voor de bepaling van de ψ -waarde gebruik wordt gemaakt van de numerieke methode conform hoofdstuk 6 van NEN 1068.

De eerste methode (forfaitair) vergt het minste arbeid bij het opstellen van de EPC, maar geeft ook het meest conservatieve rekenresultaat als gevolg (hoogste energieverlies).

In de tabel zijn de rekenresultaten van een EPC-berekening van een referentie tussenwoning weergegeven voor de verschillende rekenmethoden. Hieruit blijkt de grote invloed van de ψ -waardes op de uitkomst van de EPC-berekening.

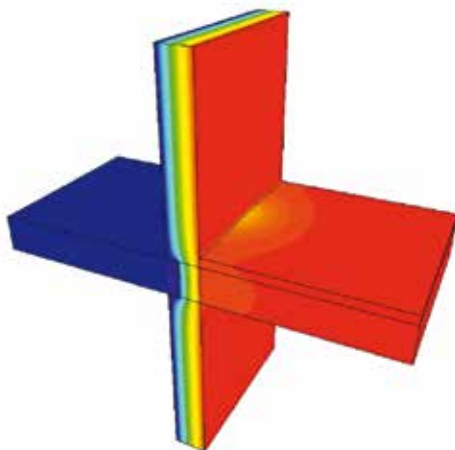
Bepalingmethode ψ -waarde	EPC
Forfaitaire methode conform 5.1.3 van NEN 1068	70 %
Uitgebreide methode invoer ψ -waarden	0,56
Database ψ -waarden: bijlage G NEN 1068	
Uitgebreide methode invoer ψ -waarden	0,52
Database ψ -waarden: SBR-details + 25%	
Uitgebreide methode invoer ψ -waarden	0,51
Database ψ -waarden: numerieke bepaling conform hoofdstuk 6 NEN 1068	

Uit onderstaande afbeeldingen en tabel blijkt duidelijk het effect van beter isoleren op het energieverlies ter plaatse van de lijnvormige aansluiting:

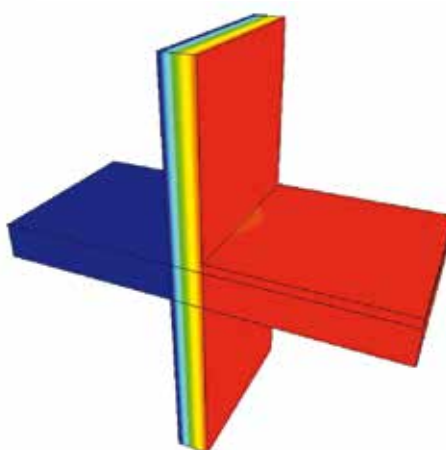
Detailopbouw gevel	Totale warmtestroom bij een ΔT van 18K	Vershil
$R_c = 5,0$ 25% betonnok 80 mm	14,79 W	
$R_c = 5,0$ 25% Schöck Isokorf® 80 mm	9,49 W	-39%
$R_c = 5,0$ 25% Schöck Isokorf® 120 mm	8,14 W	-45%

Uit de berekende waarden valt het volgende te concluderen:

- De warmtestroom door een balkondetail in een gevel met $R_c = 5,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ wordt door toepassing van Schöck Isokorf® 80 mm met 39% verlaagd.
- De warmtestroom door een balkondetail in een gevel met $R_c = 5,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ wordt door toepassing van Schöck Isokorf® 120 mm met 45% verlaagd.



Afbeelding 15a: $R_c 5,0$ - balkon aangestort met 25% betonnok.



Afbeelding 15b: $R_c 5,0$ - balkon aangestort met 120 mm Isokorf®.

Lexicon

Jaarlijkse warmtebehoefte

De jaarlijkse warmtebehoefte van een gebouw is de hoeveelheid energie die nodig is om een gebouw te verwarmen. Hierbij wordt nog geen rekening gehouden met zaken als rendementsverliezen van installaties en transportverliezen. Het is dus een waarde die ingaat op een deel van het energiegebruik.

In NEN 7120 is beschreven hoe de jaarlijkse warmtebehoefte berekend kan worden:

$$Q_{H;nd} = (Q_{H;ht} - \eta_{H;gn} \cdot Q_{H;gn})$$

Waarbij:

- $Q_{H;nd}$: de warmtebehoefte in MJ;
- $Q_{H;ht}$: het totale warmteverlies voor de warmtebehoefteberekening;
- $\eta_{H;gn}$: de benuttingsfactor voor warmtewinst;
- $Q_{H;gn}$: de totale warmtewinst voor de warmtebehoefteberekening.

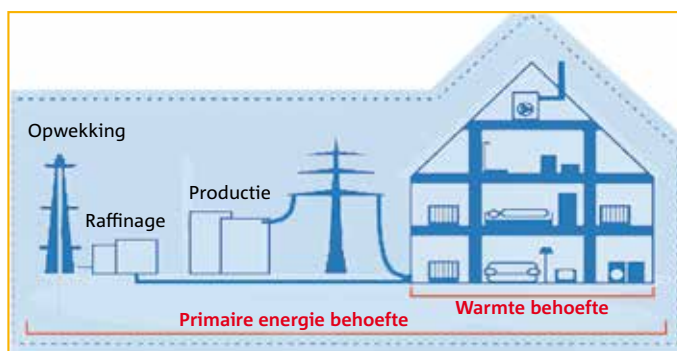
Het totale warmteverlies voor de warmtebehoefteberekening wordt bepaald door het warmteverlies door transmissie en het warmteverlies door ventilatie. Een deel van de warmtewinst door interne warmteproductie en door zonnewarmtewinst kan nuttig worden gebruikt. NEN 7120 is een maandelijkse methode; dit betekent dat de warmtebehoefte per maand berekend wordt. De cumulatieve waarde is de jaarlijkse warmtebehoefte.

Jaarlijkse primaire energiegebruik

In NEN 7120 wordt het jaarlijkse primaire energiegebruik berekend. Primaire energie wordt omschreven als 'energie die niet is onderworpen aan enig conversie- of transformatieproces'.

Bij het bepalen van het jaarlijkse primaire energiegebruik wordt rekening gehouden met de 'productie' en winning van energie, het transport van energie en het energiegebruik zelf. Dit betekent dus dat er gekeken wordt naar het gebouw en de efficiëntie van de installaties in het gebouw, maar ook naar hetgeen dat buiten het gebouw gebeurt.

Het primaire energiegebruik geeft een waarde voor het totale energiegebruik. Daarmee is het een waarde die gebruikt kan worden voor een eerlijke vergelijking van energiegebruiken.



Afbeelding 16: De begrenzing van het primaire energiegebruik. De warmtebehoefte is de hoeveelheid warmte die er ter plaatse van de warmteafgiftelichamen (radiatoren/ vloerverwarming/ convector/...) wordt afgegeven. Het primaire energiegebruik beschouwt naast het rendement (systeem- en opwekkingsrendement) van de installatie ook het energiegebruik buiten het perceel.

Warmteverliescoëfficiënt door transmissie

De warmteverliescoëfficiënt door transmissie beschrijft het warmteverlies via de gebouwschil. Om de warmteverliezen te bepalen wordt het warmteverlies via oppervlakten bepaald (gekoppeld aan een R_c of U-waarde). Daarnaast wordt er rekening gehouden met het warmteverlies via lineaire thermische bruggen (gekoppeld aan een ψ -waarde). Het warmteverlies via lineaire thermische bruggen is op verschillende manieren te bepalen, hier is in hoofdstuk 6.6 bij stilgestaan.

In de zogenaamde 'uitgebreide methode' wordt de warmteverliescoëfficiënt door transmissie volgens NEN 1068 formule (2) als volgt bepaald:

$$H_{T,mi} = H_D + H_{g,mi} + H_U + H_{A,mi}$$

Hier wordt H_D bepaald volgens (formule (10) van NEN 1068):

$$H_D = \sum_i (A_{T,i} \cdot U_{C,i}) + \sum_k (l_k \cdot \psi_k) + \sum_j \chi_j$$

Waarbij:

- $H_{g,mi}$: is de stationaire warmteverliescoëfficiënt via de grond, in W/K;
- $H_{g,mi}$: is de stationaire warmteverliescoëfficiënt via de grond, in W/K;
- H_U : is de warmteverliescoëfficiënt via aangrenzende onverwarmde ruimten, in W/K;
- $H_{A,mi}$: is de warmteverliescoëfficiënt via aangrenzende verwarmde ruimten, in W/K.

In de zogenaamde 'forfaitaire methode' is het niet nodig om de lengte van alle lineaire thermische bruggen in te voeren. Bij de 'forfaitaire methode' hoeft alleen de lengte van de perimeter worden ingevoerd. De perimeter is omschreven als de som van de lengtes van de randen van de vloerdelen, welke grenzen aan de buitenlucht of aan een onverwarmde ruimte buiten de thermische schil. Er wordt een vaste waarde aangehouden voor de ψ -waarde van de perimeter. Voor het warmteverlies van de lineaire thermische bruggen (buiten de perimeter) wordt een toeslag bepaald bovenop de U-waarde van dichte (ondoorschijnende) vlakken.

Het warmteverlies via aangrenzende onverwarmde ruimtes worden bij de 'forfaitaire methode' geacht niet aanwezig te zijn; een aangrenzende onverwarmde ruimte wordt beschouwd als buitenlucht. In de zogenaamde 'forfaitaire methode' wordt de warmteverliescoëfficiënt door transmissie volgens NEN 1068 als volgt bepaald:

$$H_{T,mi} = H_{D,for} + H_{g,for,mi} + H_{U,for} + H_{A,for}$$

Hier wordt H_D bepaald volgens (formule (4) van NEN 1068):

$$H_{D,for} = \sum_i (A_{T,i} \cdot (U_{C,i} + \Delta U_{for}))$$

Waarbij:

- $H_{g,for,mi}$: is de stationaire warmteverliescoëfficiënt via de grond, in W/K;
- H_U : is de warmteverliescoëfficiënt via aangrenzende onverwarmde ruimten en is 0 W/K;
- $H_{A,mi}$: is de warmteverliescoëfficiënt via aangrenzende verwarmde ruimten en is W/K.

Zomercomfort

Door opvallende zonnestraling die het gebouw binnenkomt warmt het gebouw op. Deze warmtewinst zorgt er in de winter voor dat de warmtebehoefte daalt. In de zomer leidt de warmtewinst mogelijk tot een oververhitting van het gebouw; de warmte is in dat geval ongewenst. De opvallende zonnestraling kan het gebouw binnenkomen via transparante delen (ramen), maar ook via dichte constructiedelen.

De hoeveelheid warmte die een gebouw binnenkomt kan op diverse manieren worden beperkt. Gedacht kan worden aan het toepassen van zonwerende beglazing of zonwering. Ook kan er gedacht worden aan het realiseren van uitkragende geveldelen, zoals een overstek of balkon.

Warmtestroom Φ

De warmtestroom (Watt) beschrijft het transport van energie (Joule) per tijdseenheid (s). Het warmtetransport wordt door de beweging van atomen en moleculen veroorzaakt, welke temperatuurafhankelijk is. Daarbij is het warmtetransport altijd van een hoge temperatuur naar een lagere temperatuur.

De warmtegeleidingscoëfficiënt λ

λ_D waarde

De λ_D waarde is de warmtegeleidingscoëfficiënt 'declared' zoals die bepaald is volgens voorgeschreven bepalingmethoden. Afhankelijk van het type materiaal is er een bepalingmethode voorgeschreven voor het bepalen van de λ_D .

λ_{calc} waarde

λ_{calc} is de warmtegeleidingscoëfficiënt die gebruikt wordt bij het bepalen van de warmteweerstand van een constructie. De λ_{calc} wordt volgens bijlage C van NEN 1068 als volgt bepaald:

$$H_{calc} = \lambda_D \cdot F_T \cdot F_M \cdot F_A \cdot F_{conv}$$

De λ_D waarde wordt hierbij gecorrigeerd met de volgende factoren:

- F_T : is een conversiefactor voor de invloed van de temperatuur;
- F_M : is een conversiefactor voor vochtinvloeden;
- F_A : is een conversiefactor voor veroudering met de waarde 1 voor fabrieksmatig vervaardigde isolatiematerialen;
- F_{conv} : is een correctiefactor voor de invloed van convectie.

Warmteweerstand

De warmteweerstand geeft de thermische kwaliteit weer van een materiaallaag. De warmteweerstand wordt weergegeven als de warmtestroom (W) per m² oppervlak bij 1 K temperatuurverschil.

De warmteweerstand van een materiaallaag wordt berekend door de dikte van de materiaallaag te delen op de warmtegeleidingscoëfficiënt van het materiaal:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad \left[\frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}} \right]$$

Waarbij:

- λ : warmtegeleidingscoëfficiënt in W/mK;
- d: dikte materiaal in m.

Bij een constructie met meerdere materiaallagen kan de warmteweerstand van de materiaallagen gezamenlijk als volgt worden bepaald:

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda}$$

De warmteweerstand van de totale constructie (R_T), zonder correctie op de U-waarde, wordt als volgt bepaald:

$$R_T = R_{si} + \sum_i (R_{m,i}) + R_{se}$$

Waarbij:

- R_{si} : is de warmteovergangswaarde aan het inwendig oppervlak, in (m²K)/W;
- R_{se} : is de warmteovergangswaarde aan het uitwendig oppervlak, in (m²K)/W.

Warmtedoorgangscoefficiënt

In tegenstelling tot de warmteweerstand, die weergeeft hoe makkelijk warmte door een constructiedeel gaat, geeft de warmtedoorgangscoefficiënt weer hoe moeilijk warmte door een constructiedeel gaat.

De warmtedoorgangscoefficiënt, U_c , in W/m^2K wordt als volgt bepaald:

$$U_c = U_T + \Delta U$$

Hier is ΔU de toeslagfactor voor eventuele convectie, bevestigingshulpmiddelen, omgekeerd dak en bouwkwiteit, in W/m^2K . ΔU wordt als volgt bepaald:

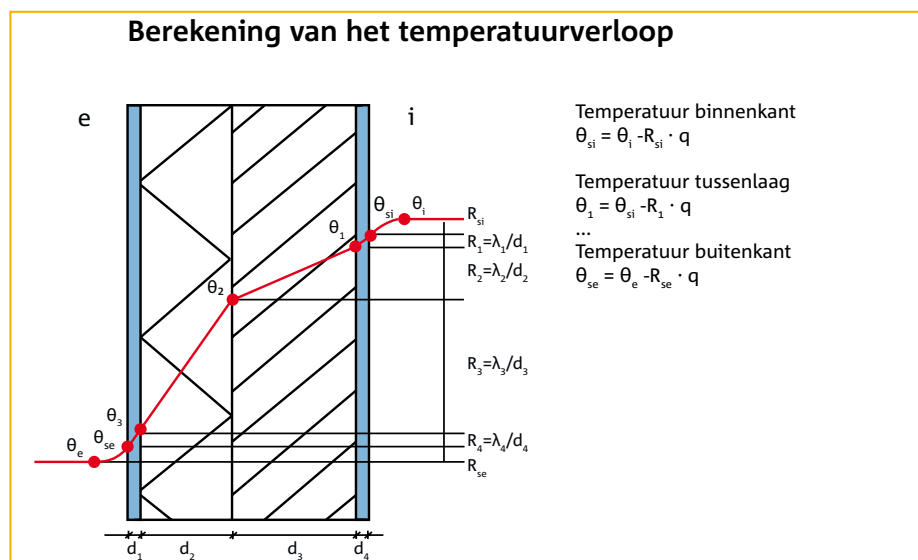
$$\Delta U = \Delta U_a + \Delta U_{fa} + \Delta U_r + \Delta U_w$$

Waarbij:

- ΔU_a : is de toeslagfactor voor convectie ('air voids');
- ΔU_{fa} : is de toeslagfactor voor bevestigingshulpmiddelen (ankers);
- ΔU_r : is de toeslagfactor voor een omgekeerd dak (indien van toepassing);
- ΔU_w : is de toeslagfactor voor bouwkwiteit.

U_T is de warmtedoorgangscoefficiënt van een totale constructie, zonder correctie op de U-waarde. Deze wordt bepaald volgens:

$$U_T = \frac{1}{R_T}$$



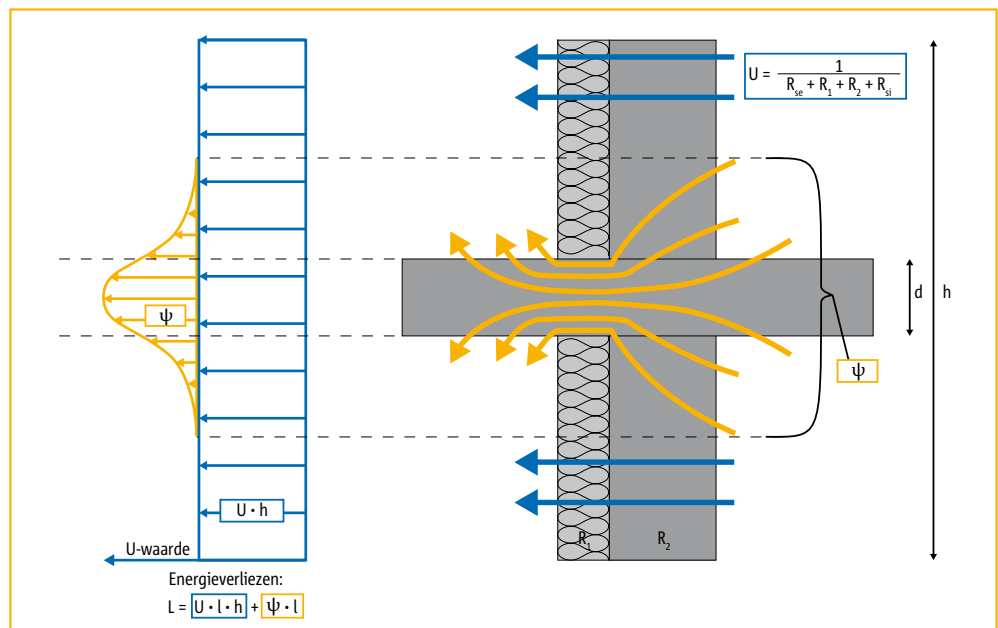
Figuur 4: Bepaling van het temperatuurverloop door een wand waarbij het temperatuurverloop door de dikte en de warmteweerstand van de materiaallagen wordt bepaald. Daarnaast zijn de overgangsweerstanden (R_{si} en R_{se}) ter plaatse van de luchtlagen aan weerszijden van de constructie van belang. Rechts in de figuur is aangegeven hoe het temperatuurverloop in de materiaallagen bepaald kan worden.

De warmtedoorgangscoefficiënt ψ en χ

De warmtedoorgangscoefficiënt geeft informatie over het warmteverlies via aansluitingen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen lineaire thermische bruggen (bijvoorbeeld een balkonaansluiting) en puntvormige thermische bruggen (bijvoorbeeld de aansluiting van de nok op de gevel).

Een lineaire thermische brug geeft het extra warmteverlies weer in een aansluiting van twee constructiedelen. Het warmteverlies via lineaire thermisch bruggen wordt bepaald door de ψ -waarde (W/mK) van de aansluitingen en door de lengte (l) van de aansluitdetails. De puntvormige thermische brug geeft het extra warmteverlies weer in een puntvormige aansluiting. Het warmteverlies via puntvormige thermisch bruggen wordt bepaald door de χ -waarde (W/K) van de aansluitingen en door het aantal aansluitingen.

De ψ - en χ -waarde wordt bepaald door de constructiekwaliteit, de afmetingen en de U-waardes van de constructiedelen. De ψ - en χ -waarde kan niet handmatig worden bepaald. Om de waarden te kunnen bepalen moet gebruik worden gemaakt van berekeningssoftware om de warmtestromen met de eindige-elementen-methode te kunnen bepalen.



Figuur 5: Weergave in de vorm van een doorsnede van de energieverliezen door een wand met een doorgaande balkonplaat. Rechts is de constructie met de optredende warmtestromen in de vorm van pijlen weergegeven. Links zijn in deze doorsnede de optredende energieverliezen weergegeven. Deze zijn ook als formule beschreven. Met l wordt hierbij de lengte van de constructie loodrecht op de tekening bedoeld.

In figuur 5 is het effect te zien van de psi-waarde bij een ononderbroken balkonaansluiting ter plaatse van een wand. Praktisch gezien wordt door de warmtestroom via de balkonplaat ook de wand boven en onder de balkonaansluiting wordt afgekoeld. Aan de pijlen rechts in de tekening is te zien welke weg de warmtestromen nemen. Daar waar de warmtestromen bij een ongestoorde wand horizontaal plaatsvinden (in blauw weergegeven) zijn de warmtestromen in thermische bruggen driedimensionaal (in geel weergegeven). Hier wordt duidelijk waarom de bepaling van de psi-waarde wezenlijk complexer is dan de U-waarde.

Dauwpunttemperatuur

De dauwpunttemperatuur van een ruimte is de temperatuur waarbij het vocht in de ruimte niet meer door de lucht kan worden opgenomen. Extra vocht dat wordt toegevoerd en niet meer wordt opgenomen leidt tot de vorming van condens. In dat geval bedraagt de relatieve vochtigheid 100%.

Schöck Nederland b.v.
Amersfoortseweg 15a, Apeldoorn
Postbus 4194, 7320 AD Apeldoorn
Telefoon: +31 55 526 88 20
Fax: +31 55 526 88 22
info@schock.nl
www.schock.nl

