

Koudebruggen, berekenen van F-waarden onder stationaire condities

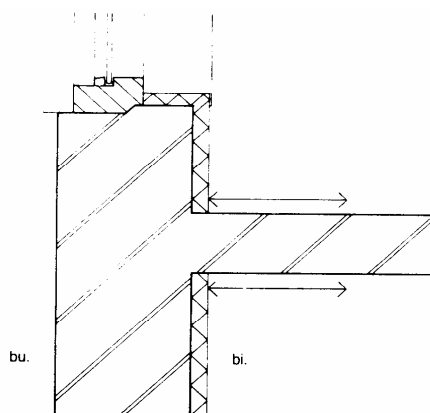
Kenniskbank Bouwfysica

Auteur: ir. Ruud van Herpen

1 Wat is een koudebrug?

Wanneer een constructie die aan de buitenlucht grenst niet op alle plaatsen dezelfde isolatiewaarde heeft, is er in principe sprake van een zogenaamde koudebrug. Dit is ook het geval indien het buitenoppervlak groter is dan het binnenoppervlak, zoals bij tweedimensionale hoekaansluitingen (lijnvormig: b.v. dakranden, funderingsranden, aansluiting kopgevel/langsgevel) of driedimensionale hoekaansluitingen (puntvormig: bij voorbeeld aansluiting dak/langsgevel/kopgevel). Immers, hierdoor treedt plaatselijk een grotere warmtestroom naar buiten op dan in de omringende constructie, waardoor aan de binnenzijde een lagere oppervlaktetemperatuur ontstaat.

Misschien zou het dan ook beter zijn om van een “warmtebrug” te spreken vanwege de plaatselijk grotere warmtestroomdichtheid. Desondanks wordt van een koudebrug gesproken. Deze naam vindt zijn oorsprong in de lagere oppervlaktetemperatuur aan de binnenzijde. Indien de binnenoppervlaktetemperatuur ter plaatse van een koudebrug lager is dan de dauwpuntstemperatuur van de binnenlucht zal condensatie op de constructie optreden.



Voorkomen van de koudebrug:
- de isolatie aan de buitenkant van de gevel aanbrengen.

Voorkomen van problemen t.g.v. de koudebrug:
- de isolatie over een gedeelte van de binnenwand, aan weerszijden, laten doorlopen (ca. 1000 mm). Men moet alert zijn op het verleggen van het koudste punt. Het toepassen van afschotplaten is een goede oplossing die tevens visueel acceptabel is;
- dampremmende laag aan binnenzijde van het isolatiemateriaal van condensvorming te voorkomen.

figuur 1. horizontale doorsnede: aansluiting binnenwand op een aan de binnenzijde geïsoleerde gevel (renovatie-oplossing); de pijlen geven het risicogebied aan.

Condens op bouwmaterialen kan aanleiding geven tot aantasting van (aansluitende) materialen, vervuiling, schimmelvorming etc.. Daarbij geven ruwe en poreuze oppervlakken (bij voorbeeld schuurpleister, voegen van betegelde wanden) eerder aanleiding tot schimmeligroei dan gladde oppervlakken, aangezien “oppervlakteschimmels” hun voedingsbron meestal vinden in de verontreiniging op dit oppervlak. Daarnaast zijn ook vooral zwak zuur reagerende minerale ondergronden (bij voorbeeld gipspleister, spuitpleister) gevoelig voor schimmeligroei. Dit geldt ook voor hout en behang. Bovendien is bij hout het risico aanwezig op houtaantastende schimmels. Deze gebruiken het hout als voedingsbodem en tasten daarmee de houtstructuur zodanig aan dat dit zijn constructieve eigenschappen

verliest (houtrot). Alkalische ondergronden (beton en kalkzandsteen) zijn minder gevoelig voor schimmelvorming.

Condensvorming op (enkel)glas is in principe toelaatbaar, mits er voor een goede afvoer van het condenswater wordt gezorgd.

Overigens is het voor het ontstaan van oppervlakteschimmels niet altijd noodzakelijk dat oppervlaktecondensatie optreedt. Of er schimmelgroei ontstaat, hangt voornamelijk af van de relatieve luchtvochtigheid van de binnenlucht, direct voor het oppervlak. Indien de relatieve luchtvochtigheid van de binnenlucht direct voor een oppervlak gedurende langere tijd 85% of meer bedraagt, zal in het materiaal of in eventuele vervuiling op het oppervlak het evenwichtsvochtgehalte zodanig zijn dat schimmelgroei kan optreden.

2 Koudebruggen, eisen en bepalingmethode

2.1 Eisen

In het Bouwbesluit is een prestatie-eis opgenomen aan de thermische kwaliteit van scheidingsconstructies uit oogpunt van wering van vocht en allergenen in de vorm van een temperatuurfactor. De temperatuurfactor (f) is een dimensieloze grootheid op een schaal van 0 tot 1 en is als volgt gedefinieerd:

$$f = \frac{(T_{io} - T_e)}{(T_i - T_e)} \quad [-]$$

Waarin:

T_i	binnenluchttemperatuur	[°C]
T_{io}	binnenoppervlakte-temperatuur	[°C]
T_e	buitenluchttemperatuur	[°C]

In het Bouwbesluit wordt een ondergrenswaarde van de temperatuurfactor geëist van $f=0,65$ in verblijfsgebieden van woningen, woongebouwen en logiesgebouwen en van $f=0,50$ in verblijfsgebieden van overige gebouwfuncties.

In deze grenswaarden is rekening gehouden met het voorkomen van zowel oppervlaktecondensatie (wering van vocht) als schimmelvorming (wering van allergenen).

2.2 Bepalingmethode

Normblad NEN 2778 is door het Bouwbesluit aangewezen als bepalingmethode voor de temperatuurfactor. In dit normblad is de rekenmethode met de bijbehorende randvoorwaarden en uitgangspunten voor het uitvoeren van thermische berekeningen aan koudebrugdetails beschreven.

Kort samengevat dienen de volgende randvoorwaarden (overgangscondities) gehanteerd te worden:

Binnenzijde:

$\theta_i = 18 \text{ }^\circ\text{C}$; $\alpha_i = 2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$; vanaf vloerniveau tot 1,5 m boven vloerniveau.
 $\theta_i = 18 \text{ }^\circ\text{C}$; $\alpha_i = 4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$; boven 1,5 m boven vloerniveau;
 3-vlaks buitenhoeken in een kubus van $0,5 \times 0,5 \times 0,5 \text{ m}$;
 een strook van $0,25 \text{ m}$ rond kozijnen en ramen.
 $\theta_i = 18 \text{ }^\circ\text{C}$; $\alpha_i = 7,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$; beglazingen.

Buitenzijde:

$\theta_e = 0 \text{ }^\circ\text{C}$; $\alpha_e = 25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

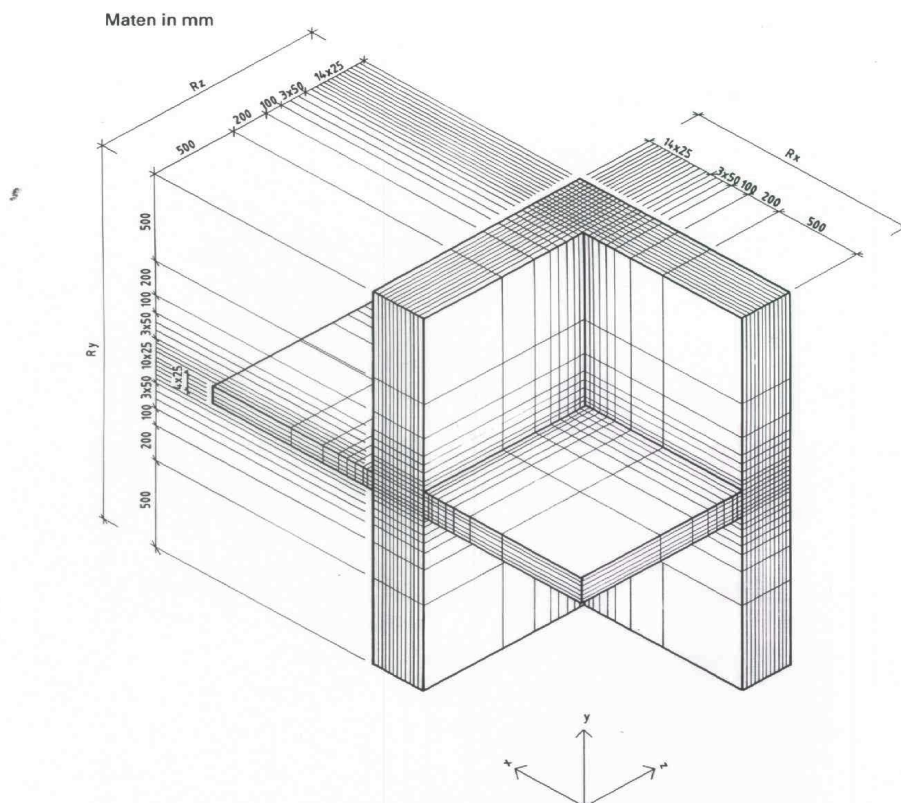
Grond:

$\theta_g = 10 \text{ }^\circ\text{C}$; $\alpha_g = \infty \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$; op 3 meter diepte.

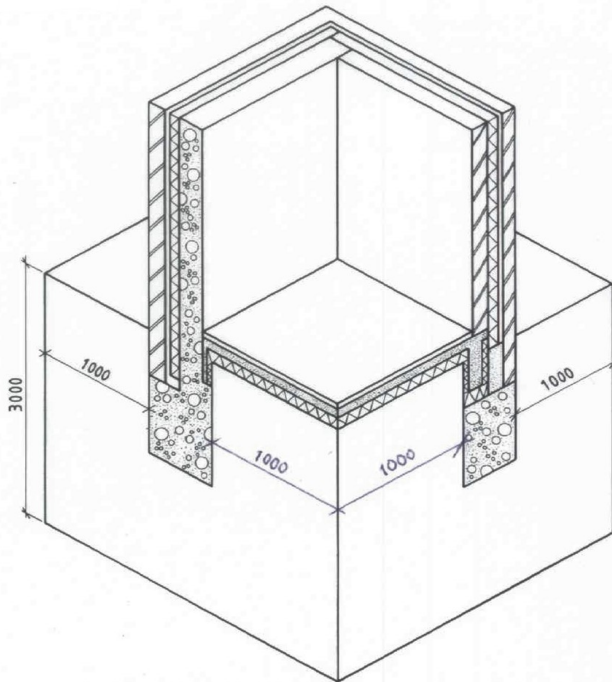
Hierin is:

θ temperatuur [$^\circ\text{C}$]
 α overgangscoefficiënt [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$]
 (het omgekeerde van de overgangswaerstand aan het oppervlak)

Numerieke berekeningen worden vervolgens met een eindige-elementenmethode uitgevoerd. Het bouwkundige detail wordt daartoe eerst in kern- en aansluitelementen verdeeld. In de kernelementen is een maximaal orthogonaal raster van $25 \times 25 \times 25 \text{ mm}$ toegestaan. In de aansluitelementen worden grotere rastermaten toegestaan naarmate de afstand tot het kernelement toeneemt. De kleinste volume-elementjes bevinden zich dus in de kern van de bouwkundige aansluiting. Hier is de rekennauwkeurigheid dan ook het grootst. Verder van het detail kan met grotere volume-elementen volstaan worden in de eindige-elementenberekening.



figuur 2. discretisering van een detail (kernelementen en aansluitelementen) in het minimale raster volgens NEN 2778



figuur 3. omvang van het rekendetail: de lengte van aansluitelementen dient ten minste een meter te bedragen; een eventueel grondpakket dient ten minste drie meter diep meegenomen te worden in het rekendetail

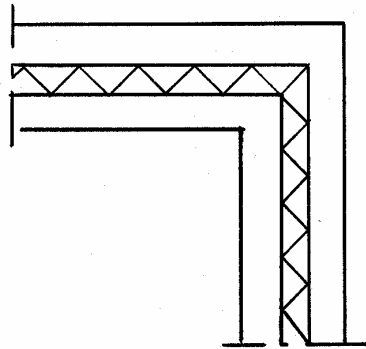
3 Categorieën van koudebruggen

Koudebruggen zijn plekken in een constructie waar meer warmte naar buiten weglekt dan op andere plaatsen. Deze zwakke plekken kunnen bij voorbeeld worden gevormd door spouwankers, maar ook door doorstekende of aansluitende constructiedelen. In de huidige nieuwbouw worden hinderlijke koudebruggen vooral vermeden ter voorkoming van schimmelgroei en de gezondheidsrisico's die daarmee samenhangen.

Bij goed geïsoleerde constructies vormen koudebruggen echter ook belangrijke thermische lekken, die extra warmteverlies veroorzaken. Dit geldt ook voor koudebruggen die voldoen aan de huidige eisen. Hierbij moet serieus worden gekeken naar lekken die tot voor kort als minder ernstig werden beschouwd zoals kozijnen, gebouwhoeken en aansluitingen van gebouwdelen onderling (funderingsranden, dakranden en dergelijke). Om de energetische consequenties van dergelijke koudebruggen te kunnen vaststellen, is in NEN 1068 dezelfde rekenmethode als in NEN 2778 opgenomen, zij het dat het accent nu niet ligt op de temperatuur, maar op de warmtestroomdichtheid.

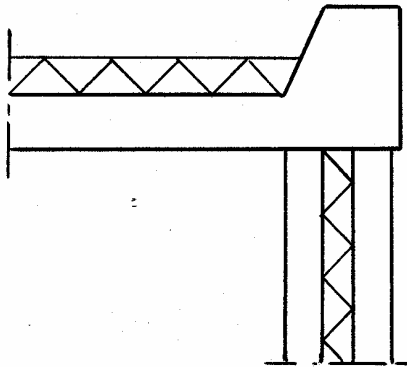
Er zijn drie soorten thermische lekken:

1. een geometrische koudebrug als gevolg van een buitenoppervlak dat groter is dan het binnenoppervlak van de constructie (zie figuur 4a);
2. een constructieve koudebrug als gevolg van het verspringen van de plaats van de isolatie in de constructie (zie figuur 4b);
3. een constructieve koudebrug als gevolg van het doorbreken van de isolatielaag. Deze koudebruggen zijn veelal een gevolg van constructieve koppelingen (zie figuur 4c).



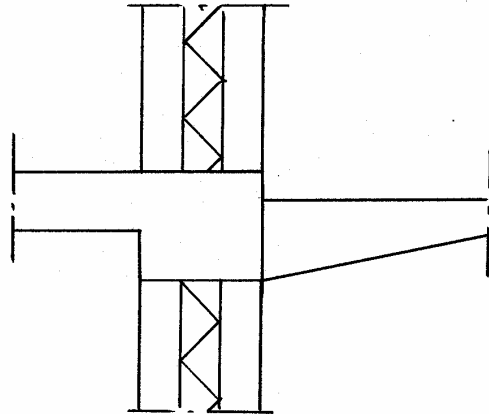
figuur 4a: geometrische koudebrug (buitenhoek)

Het aantal geometrische koudebruggen kan worden gereduceerd door het aantal uitwendige hoeken in de schil te beperken. Dit heeft belangrijke gevolgen voor de vormgeving van het gebouw. Het is dan ook goed om te beseffen dat een geometrische koudebrug vergeleken met de beide andere typen slechts een beperkt effect heeft.



figuur 4b: verspringen van de isolatielaag (dakrand)

Het verspringen van de isolatielaag is te voorkomen of te beperken door een goede constructiekeuze en detaillering. Uiteraard zijn constructieve koppelingen niet te vermijden. Vanuit het oogpunt van thermische isolatie verdient het aanbeveling de koudebrug te beperken door geen oplegging over de volle lengte toe te passen, maar te kiezen voor oplegging op nokken.



figuur 4c: doorbreking van de isolatielaag (console)

Constructieve doorbrekingen van de isolatielaag vormen vrijwel altijd ernstige thermische lekken. Deze koudebruggen doen zich met name voor bij balkons, trappenhuizen en uitkragende bouwvolumes. Zonder onderbreking voldoet dit type koudebrug meestal niet meer aan het Bouwbesluit.

Dit type koudebruggen heeft grote invloed op de totale warmteweerstand van de gebouwschil. De voorkeur gaat daarom uit naar toepassing van een zelfstandige draagconstructie voor deze bouwelementen. Als koppelingen onvermijdelijk zijn, moeten deze zodanig worden ontworpen dat de warmtedoorgang zo klein mogelijk is, bijvoorbeeld door het contactvlak te minimaliseren en door een materiaal met een kleine geleiding te gebruiken voor het overdragen van de krachten. Concrete mogelijkheden om het effect van doorbrekingen te beperken, zijn:

- het plaatsen van een thermische scheiding op plaatsen waar geen krachten worden overgedragen;
- het plaatsen van drukbestendig isolatiemateriaal op plaatsen waar krachten worden overgebracht;
- het gebruik van roestvrij staal (RVS) op plaatsen waar druk- of trekwapening de isolatielaag doorbreekt. RVS heeft een warmtegeleiding die twee tot drie keer zo laag is als die van conventioneel constructiestaal.

4 Voorbeeld: Koudebrug door betonconsole

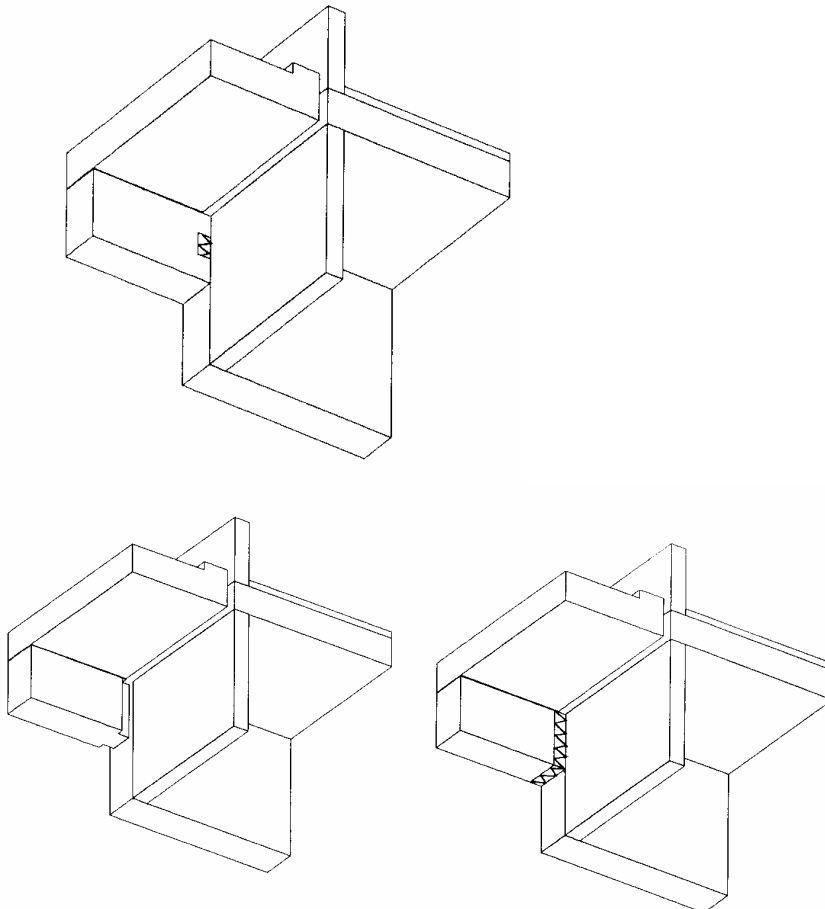
Voor consoles is het van belang goed rekening te houden met invloeden op de f-waarde, de temperatuurfactor van het binnenoppervlak. De voornaamste aspecten zijn:

- De afmeting van de console. Gelet op het koudebrug-effect en dus op de f-waarde verdient het de voorkeur een console zo slank mogelijk uit te voeren. De spouwmuurisolatie moet zoveel mogelijk in tact blijven. Dat wil zeggen dat er voldoende isolatiemateriaal aanwezig moet zijn tussen balkon of galerij en binnenspouwblad (vloerrand), minimaal 60 mm dik.
- In de standaarddetails, ontwikkeld door de Stichting Bouwresearch (publicatie SBR200) is als maat voor de consoles een breedte van 230 mm gekozen en een hoogte van 450 mm, in combinatie met een gietbouwskelet. Ter plaatse van de kopgevel is de console 180 mm breed. Deze maten sluiten aan bij de bouwpraktijk.

- Opbouw van de uitwendige scheidingsconstructie. De opbouw van de uitwendige scheidingsconstructie komt neer op een keuze voor binnen- en buitenspouwblad. De plaats van de thermische isolatie in de spouw en de mate waarin de spouw wordt onderbroken door bij voorbeeld houten stijlen en regels is van invloed op de f-waarde. De twee meest toegepaste gevelvarianten zijn de combinaties gemetseld buitenspouwblad -houten binnenspouwblad en gemetseld buitenspouwblad - gemetseld of gelijmd binnenspouwblad. In het eerste geval is de isolatie opgenomen in het binnenspouwblad, in het tweede geval is de spouw voorzien van isolatie. Andere gevelopbouwen zijn minder kritisch.

In een aantal situaties moeten consoles aangepast worden om te voldoen aan de in het Bouwbesluit vereiste f-waarde $>0,65$ voor woongebouwen. Hiervoor zijn diverse oplossingen:

- Het is mogelijk om al tijdens de fabricage van de console een isolatiestrook van bij voorbeeld PS-schuim in de spanningsneutrale zone aan te brengen. Het PS-blok moet goed aansluiten op de spouwisolatie.
- Het insnoeren van de console over de volle hoogte geeft eveneens een verbetering van de f-waarde. De insnoering van de console strookt met de dikte van de spouwisolatie.
- Ten slotte is er nog de mogelijkheid een console volledig thermisch te onderbreken van het betonskelet en alleen de trek-, druk- en schuifkrachtwapening in roestvrij staal te laten doorlopen. Van dergelijke systemen zijn doorgaans KOMO-attesten beschikbaar, waarin een minimale temperatuurfactor wordt gegarandeerd.



figuur 5. isolatievarianten voor een betonconsole in de woningbouw