

dipl.-Ing. N. Held, dipl.-Ing. M. Kuhnhenne en ing. G.A. Starink

Dit artikel is een vertaalde en bewerkte versie van een artikel dat in november 2007 verscheen in *Stahlbau*.

Nadine Held is productmanager bij Schöck in Baden-Baden (D). Markus Kuhnhenne is wetenschappelijk medewerker bij RWTH in Aken (D). Gerton Starink is projectleider bij Adviesburo Nieman in Zwolle.

Hij is auteur van deze Nederlandse bewerking. Meer informatie: www.cordis.europa.eu.

Onlangs is aan de RWTH, de technische universiteit van Aken, onderzoek verricht aan koudebrugonderbrekingen voor staalconstructies. Daarbij zijn verschillende varianten getoetst aan de Bouwbesluit-eisen voor woningbouw en utiliteitsbouw. Hieruit blijkt dat niet elke profielonderbreking zondermeer voldoet.

efficiëntie van gebouwen en als gevolg hiervan ook met de problematiek van koudebruggen in gebouwen. Dit onderzoek vloeide voort uit het Europese onderzoeksproject Energy Efficient Buildings Through Innovative Systems In Steel (EEBIS). Bij dit onderzoeksproject waren bedrijven uit de staalindustrie en instituten in de staalbouw uit heel Europa betrokken.

zonder dat buigende momenten in de bouten ontstaan. Behalve op draagkracht en duurzaamheid zijn deze koudebrugonderbrekingen ook getest op vermoeiing. Dat laatste is belangrijk omdat de staalconstructie aan de buitenzijde voortdurend onderhevig is aan uitzettingen door dagelijkse temperatuurwisselingen, terwijl de binnenzijde van de constructie door de constante binnentemperatuur over het algemeen niet uitzet.

Koudebrugonderbreking voor staalprofielen onderzocht

Door de goede warmtegeleidende eigenschappen van staal vormen stalen draagconstructies die de thermische schil van een gebouw doorbreken 'klassieke' koudebruggen. Bekende voorbeelden daarvan zijn luifelconstructies, galerijen en balkons. Een koudebrug is een plaatselijke onderbreking van de thermische schil van een gebouw door een materiaal met een hoge warmtegeleidingcoëfficiënt (λ -waarde). Het belangrijkste gevolg van een koudebrug is dat de temperatuur van het binnenoppervlak daar lager is dan eromheen. Op dit koude oppervlak kan vochtige binnenlucht condenseren, met een grote kans op bouwkundige schade zoals schimmelvorming, verkleuring van afwerkingen en soms mogelijk corrosie van staal. Daarnaast hebben doorlopende staalprofielen een negatieve invloed op de thermische isolatie van het gebouw; door de plaatselijk hogere warmtegeleiding neemt het energieverlies van het gebouw toe. Door de betrekkelijk kleine afmetingen van koudebruggen is dit extra energieverlies meestal beperkt. Enkele maatregelen om koudebruggen te onderbreken zijn in 2007 gedetailleerd onderzocht door de leerstoel voor staal en lichtmetaalbouw van de RWTH (de technische universiteit) in Aken. Deze leerstoel houdt zich onder meer bezig met de energie-

Onderzoek koudebrugonderbreking

Bij het onderzoek zijn verschillende oplossingen voor koudebrugonderbrekingen vergeleken (afb. 1). De eenvoudigste oplossing is een staalprofiel te onderbreken met een tussenlaag van kunststof en de beide stalen delen te verbinden met doorgaande bouten (afb. 1; oplossing b). Deze constructie heeft als beperking dat de laag kunststof niet al te dik kan worden, omdat anders de bouten onvoldoende in staat zijn de krachten in het profiel door te geven. Een extra laag isolatiemateriaal aan de buitenkant (afb. 1; oplossing c) is bedoeld om de thermische isolatie van dit type koudebrugonderbreking te verbeteren. Daarnaast is een constructie onderzocht die specifiek als koudebrugonderbreking op de markt wordt gebracht, Schöck Isokorf KST (afb. 1; oplossing d). Deze bevat elementen die specifiek zijn ontworpen voor het overbrengen van krachten, waardoor een aanzienlijk dikkere laag thermische isolatie mogelijk is. Het systeem bestaat uit modulen die afhankelijk van het constructief ontwerp kunnen worden samengesteld tot een verbinding die de thermische isolatielaag overbrugt. Deze modulen zijn leverbaar als trekmodule en druk-dwarskrachtmodule (afb. 6). Deze laatste maakt het mogelijk krachten over te dragen door het isolatiepakket,

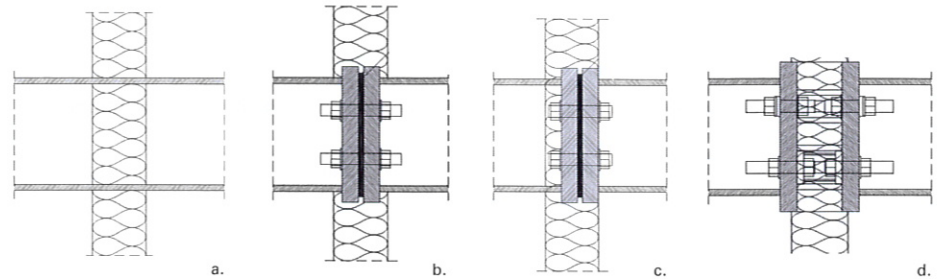
De verbinding moet deze vervormingen tussen buiten en binnen kunnen ondergaan zonder te bezwijken. Genoemde oplossingen zijn vergeleken met een ongeïsoleerd, doorgaand staalprofiel (afb. 1; oplossing a). De constructies zijn onderzocht door numerieke computerberekeningen op basis van de eindigelementenmethode. Deze berekeningen zijn met praktijkproeven volgens de Hotbox-methode geverifieerd (afb. 3). Bij alle vier constructies is uitgegaan van een isolatiedikte van 100 mm polystyreen voor de gebouwomhulling die aan de koudebrug grenst.

Opbouw

De eenvoudige oplossingen voor koudebrugonderbrekingen (oplossingen b en c) kunnen zijn opgebouwd uit verschillende materialen. Voor de kunststof tussenlaag die dient als thermische scheiding worden tegenwoordig glasvezelversterkte kunststoffen het meest toegepast, naast elastomeer en teflon. De warmtegeleidingscoëfficiënt (λ -waarde) van deze lagen ligt volgens de literatuur tussen de 0,2 W/mK en 0,5 W/mK. In dit onderzoek is bewust de gunstige waarde 0,2 W/mK aangehouden. De dikte van die kunststof tussenlaag varieert, mede afhankelijk van de drukbelasting, van 5 mm tot 20 mm. Voor het onderzoek

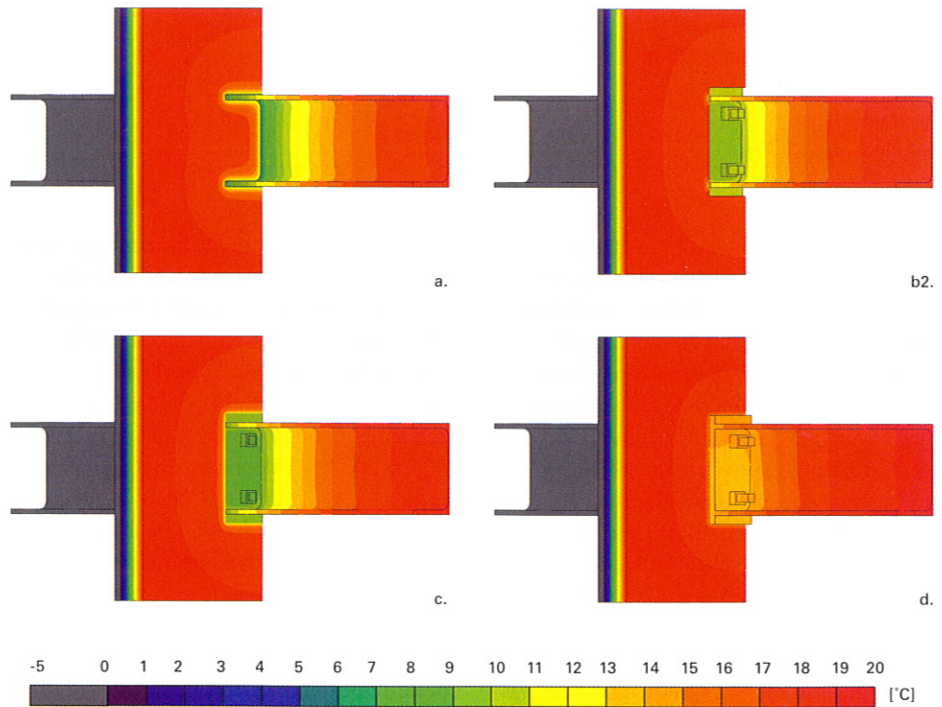
1. Geteste oplossingen voor koudebrugonderbrekingen. Profiel HEA 220.

- a. doorlopende stalen ligger;
- b. stalen ligger, met kunststof tussenlaag dikte 10 mm of 20 mm;
- c. stalen ligger met kunststof tussenlaag dikte 10 mm + extra isolatie 30 mm voor de kopplaat;
- d. stalen ligger met koudebrugonderbreking Schöck Isokorf type KST 22.

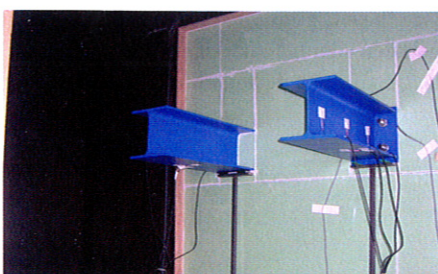


2. Resultaten van de numerieke computerberekening.

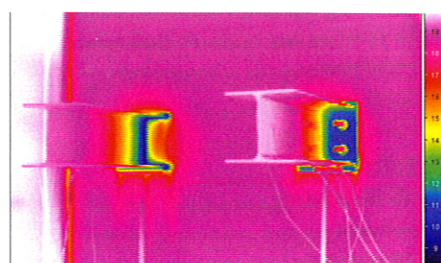
- a. doorlopende stalen ligger;
- b1. stalen ligger met kunststof tussenlaag 10 mm (niet getekend);
- b2. stalen ligger met kunststof tussenlaag 20 mm;
- c. stalen ligger met kunststof tussenlaag 10 mm en extra isolatie 30 mm voor de kopplaat;
- d. stalen ligger met KST 22.



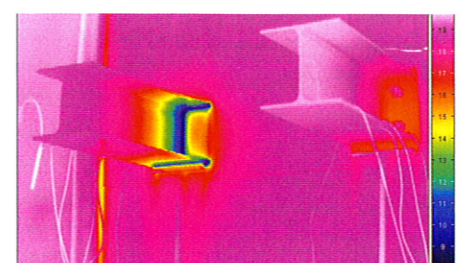
3. Inbouw van de te beproeven constructies in de Hotbox.



4. Thermografie opname. Links: doorlopende stalen ligger (a), rechts: stalen ligger met kunststof tussenlaag 10 mm (b1).

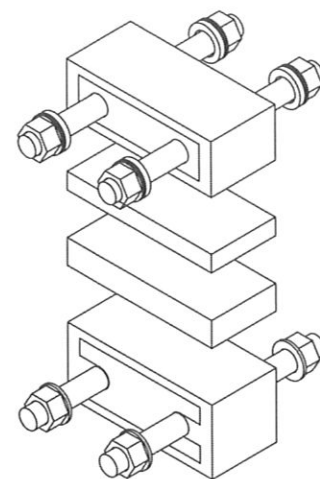


5. Thermografie opname. Links: doorlopende stalen ligger (a), rechts: stalen ligger met Schöck Isokorf KST 22 (d).



Tabel. Berekende binnenoppervlaktetemperatuur en f-factor voor verschillende koudebrugonderbrekingen.

constructie	minimale binnenoppervlaktetemperatuur $\theta_{\min,ri}$ [°C]	binnenoppervlaktetemperatuurfactor volgens NEN 2778 $f_{n,ri}$ [-]
a. doorlopende stalen ligger	6,1	0,34
b1. stalen ligger met tussenlaag 10 mm	6,9	0,38
b2. stalen ligger met tussenlaag 20 mm	9,6	0,53
c. stalen ligger met tussenlaag 10 mm + 30 mm extra isolatie	8,7	0,48
d. stalen ligger met Isokorf KST 22	13,6	0,76



6. Schematische opbouw van de onderzochte Isokorf KST.

is uitgegaan van een dikte van 10 mm, gebaseerd op gangbare bouwkundige oplossingen. Ook onderzocht is een oplossing met een tussenlaag van 20 mm om het bouwtechnisch effect van een dikkere tussenlaag te beoordelen. Bij deze dikkere tussenlaag is niet gekeken naar de constructieve gelijkwaardigheid en duurzaamheid; bij toepassing van deze oplossing zou dat nog apart moeten worden beoordeeld. Verder is voor de eenvoudige koudebrugonderbrekingen de gunstige aanname gedaan dat roestvast stalen boutverbindingen zijn toegepast, hoewel dit in de praktijk niet vaak het geval zal zijn. De warmtegeleidingscoëfficiënt van roestvast staal is ongeveer een factor 4 lager dan die van gewoon staal. Uit bouwtechnisch onderzoek bij koudebrugonderbrekingsystemen is bekend dat de bouten, wapeningstaven, staalprofielen en dergelijke die door de isolatie lopen, de kwaliteit van de isolerende werking bepalen. De prefab constructie (oplossing d) heeft een isolatie van 80 mm polystyreen en is verder geheel opgebouwd uit roestvast stalen onderdelen.

f-factor

Maatgevend voor een koudebrug is de f-factor of binnenoppervlaktetemperatuurfactor volgens NEN 2778. Deze factor is een verhoudingsgetal tussen de temperatuur van

de binnenlucht en van het binnenoppervlak waarbij wordt uitgegaan van een standaard binnen- en buitentemperatuur. Om oppervlaktecondensatie te voorkomen stelt het Bouwbesluit 2003 voor woon- en logiesfuncties de eis $f_{n,ri} \geq 0,65$ wat overeenkomt met een temperatuur van het binnenoppervlak θ_{\min} van 11,7 °C. Voor niet-woonfuncties geldt de lagere eis $f_{n,ri} \geq 0,50$ wat overeenkomt met een θ_{\min} van 9 °C. De eis aan de f-factor voor niet-woonfuncties is lager omdat de vochtproductie in deze ruimten ook lager is.

Van belang is dat deze eisen uit het Bouwbesluit minimumeisen zijn, die niet garanderen dat er nooit schade optreedt. Er zijn situaties zoals winkelruimten, showrooms, sporthallen, magazijnen, industriehallen, zwembaden en entreeruitmes enzovoort, waar condensvorming schade aan goederen en vloeren kan opleveren. Bovendien kan schimmelvorming zich al voordoen bij temperaturen boven de dauwpuntstemperatuur. Voor een binnenklimaat van bijvoorbeeld 20 °C en een relatieve vochtigheid van 50% bedraagt de schimmelvormings-temperatuur 12,6 °C.

Resultaten

Uit de berekening (zie tabel) blijkt dat bij de oplossingen met isolerende tussenlaag de dikte van die laag bepalend is voor de

thermische isolatie. Met een dikte van 10 mm voldoet die aan geen enkele eis van het Bouwbesluit, met 20 mm alleen aan de eis voor niet-woonfuncties. Extra isolatie van 30 mm vóór de thermische onderbreking verbetert de prestatie wel, maar niet voldoende voor de eis aan een woonfunctie. De Isokorf KST voldoet wel aan deze eis. Het berekende temperatuurverloop (afb. 2) laat zien dat de minimale oppervlaktetemperatuur van de thermische onderbreking met de Isokorf KST zich in de warme oranjekeurige zone (boven 13 °C) bevindt, terwijl bij de andere constructies de minimale oppervlaktetemperatuur in de groenkeurige zone van 6 tot 9 °C ligt. Hier wordt dus niet voldaan aan de minimale eisen voor de f-factor.

De thermografische opnamen (afb. 4 en 5) illustreren de grootte van de warmtestroom door de onderzochte constructies. Bij deze resultaten moet in acht worden genomen dat voor de oplossingen met isolerende tussenlaag (b en c) gunstige uitgangspunten zijn gekozen voor het materiaal van de tussenlaag en dat van de bouten. •