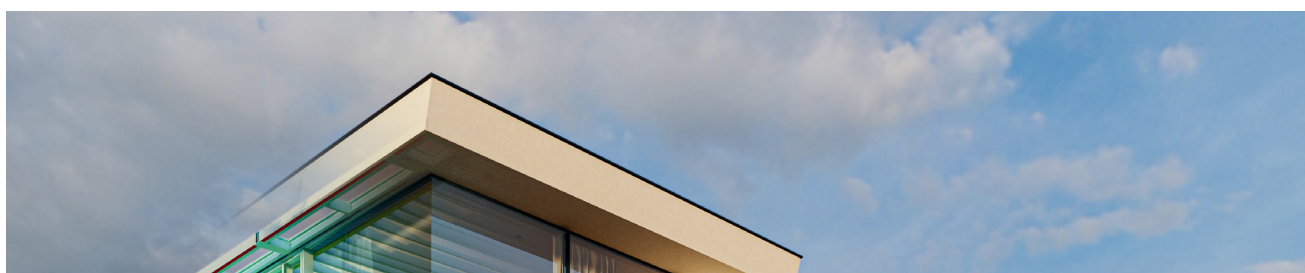




HANDBOEK STAALFRAMEBOUW



Handboek Staalframebouw

Bouwen met Staal
Louis Braillelaan 80
2719 EK Zoetermeer
tel. (088) 353 12 12
www.bouwenmetstaal.nl/themas/staalframebouw
www.lichterbouwen.nl

Ontwerp: Bane Design, Rotterdam

© Bouwen met Staal 2024
4e herziene druk

Alle rechten voorbehouden. Aan de totstandkoming van deze publicatie is de uiterste zorg besteed. Desondanks zijn eventuele (druk-)fouten niet uit te sluiten. De uitgever sluit, mede ten behoeve van al degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, elke aansprakelijkheid uit voor directe en indirecte schade, ontstaan door of verband houdend met toepassing van deze publicatie.

Voorwoord

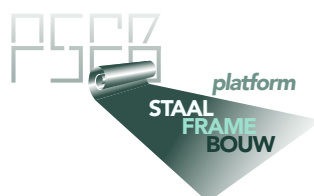
Dit geheel geactualiseerde handboek (v. 4) geeft inzicht in de algemene facetten van het bouwen met staalframebouw. Waar dient men rekening mee te houden met het (constructief) detailleren, voor en tijdens de uitvoering? Hoe gedraagt staalframebouw zich bij brand? En welke bouwfysische prestaties zijn mogelijk en op welke manier? Het handboek gaat in op deze vragen, en biedt handvatten bij de keuze voor staalframebouw.

Over deze publicatie

Deze publicatie verschijnt eerst als gratis pdf op gratis-publicaties.bouwenmetstaal.nl in een reeks van vier. Als het laatste deel is gepubliceerd kan het gehele Handboek Staalframebouw *on demand* tegen betaling worden geprint.

Platform Staalframebouw

Om de bekendheid van staalframebouw in Nederland te vergroten en de praktijk ervan te ondersteunen, is binnen Bouwen met Staal het Platform Staalframebouw (PSFB) opgericht, met een stuur-/werkgroepstructuur. In deze formaties zijn de diverse disciplines in staalframebouw vertegenwoordigd: ontwerpers, constructeurs, (bouwfysische) adviseurs, staalframebouwers, toeleveranciers enzovoort. Gezamenlijk ontplooiën zij kennisoverdrachtsactiviteiten om het marktaandeel en de kwaliteit van staalframebouw te verhogen. Aan deze versie van het handboek hebben de volgende personen bijgedragen (in alfabetische volgorde van bedrijfsnaam).
Roy van Hoorn (voorz. PSFB) en Martijn Jansen, BAAS Architecten • Marco Pauw (secr. PSFB), Henk Orsel en Mic Barendsz, Bouwen met Staal • Ralph Hamerlinck, Bouwen met Staal en Adviesbureau Hamerlinck • Jan-Pieter den Hollander, Bouwen met Staal en Stichting MRPI • Frank van Herk, C3 Staalframebouw • Cor van Zandwijk, CFP Engineering • Kristiaan Flierman, Construsoft • Gert van den Berg, DGMR • Michiel van Dijk, Easyhousing • Martin Boot, Etex • Nico Bresser, FeNB2 Montage • Dennis Eikenboom, Finish Profiles • Gerard Nieuwenhuizen†, GenieConsult & Partners • Wim Beentjes, LBP | Sight • KeesJan Nieuwenhuis, Leebo Intelligente Bouwsystemen • Sven Lentsen en Suzanne Bron-Van der Jagt, Level Acoustics & Vibration • Robert Platje, Mei Architects & Planners • Gerrit Kerkdijk, Mframe • Erik Oostveen, Oostveen Engineering • Pascal van de Heuvel, Rockwool • Herbert Hofstad, Saint-Gobain Construction Products • Ad Maas, Saint-Gobain Solutions • Hèrm Hofmeyer, TU/e • Corné van Weert, Verhoeven en Leenders • Sven Geers, Vervest Constructief Ontwerp & Advies



DEEL 2

**HANDBOEK
STAALFRAMEBOUW**

HANDBOEK STAALFRAMEBOUW

DEEL 2



Foto: Leebo Intelligente Bouwsystemen



Foto: FeNB2 Montage



Foto: Martijn Heil (Nationale Architectuurguide)

INHOUDSOPGAVE

4	Bouwfysica (1): thermische isolatie, vochtwering en luchtdichtheid.....	H4-1
4.1	Basisframe aangekleed.....	H4-1
4.2	Isolatie.....	H4-3
4.3	Eisen.....	H4-4
4.4	Normen en richtlijnen.....	H4-4
4.5	Warmteweerstand.....	H4-4
4.6	Vochtwerking.....	H4-6
4.7	Inwendige condensatie.....	H4-7
4.8	Luchtdichtheid.....	H4-8



4.9	Waterwerende, dampdoorlatende laag.....	H4-8
4.10	Koudebruggen.....	H4-9
4.11	Thermoprofielen.....	H4-9
4.12	Warmte-accumulatie	H4-9
4.13	Phase Change Materials.....	H4-12
4.14	Ontwerp warmte-accumulatie	H4-12
4.15	Ontwerp warmte-isolatie	H4-13
4.16	Literatuur.....	H4-13

4 Bouwfysica (1): thermische isolatie, vochtwering en luchtdichtheid

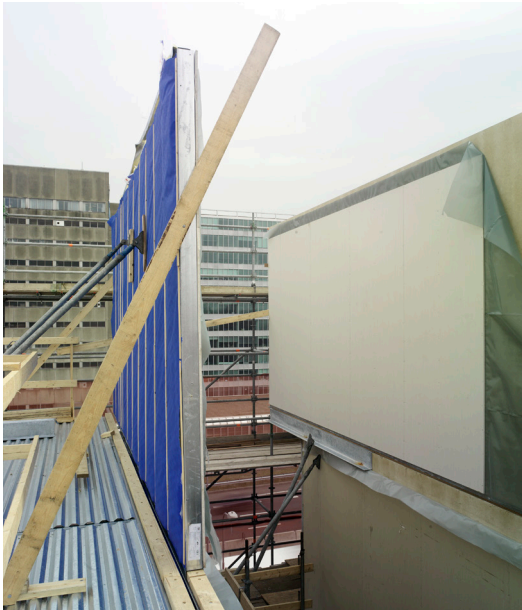


Foto: FeNB2 Montage

4.1. Staalframebouw is een samengestelde constructie: met verschillende materialen in meerdere lagen (staal, plaatmateriaal, isolatiemateriaal enz.) worden bouw­fysische prestaties verkregen.



Foto: Leebo Intelligente Bouwsystemen

4.2. Het basisframe wordt in de constructiewerkplaats voorzien van meerdere lagen gips, multiplex, minerale wol, pir enzovoort, die allemaal meewerken om aan bouw­fysische prestaties te voldoen. Bij binnenwanden en vloeren dient de minerale wol vooral voor geluidwering. Bij de gevel juist om het koude, kale frame te voorzien van een 'warme jas'.



Foto: Karel Ley • Fig. 84 Reclamestudio

4.3. Ankerloze spouwmuur. Voor een hoge geluidisolatie tussen woningen en in woongebouwen worden dubbele bouwmuren toegepast die niet (of zeer beperkt) onderling zijn verbonden.

De hoofdstukken 4, 5 en 6 gaan over de opbouw van staalframebouw wanden, vloeren, gevels en daken om deze bouwdelen te laten voldoen aan de bouw­fysische eisen.

Bij staalframebouw gaat het om samengestelde constructies, die met verschillende materialen in meerdere lagen (staal, plaatmateriaal, isolatiemateriaal enzovoort) aan de eisen voldoen (afb. 4.1). Hoofdstuk 4 behandelt thermische isolatie, vochtwering en luchtdichtheid, hoofdstuk 5 beschrijft geluid en trillingen en hoofdstuk 6 gaat over brandwerendheid. Waar nodig wordt de overlap gegeven tussen deze aspecten.

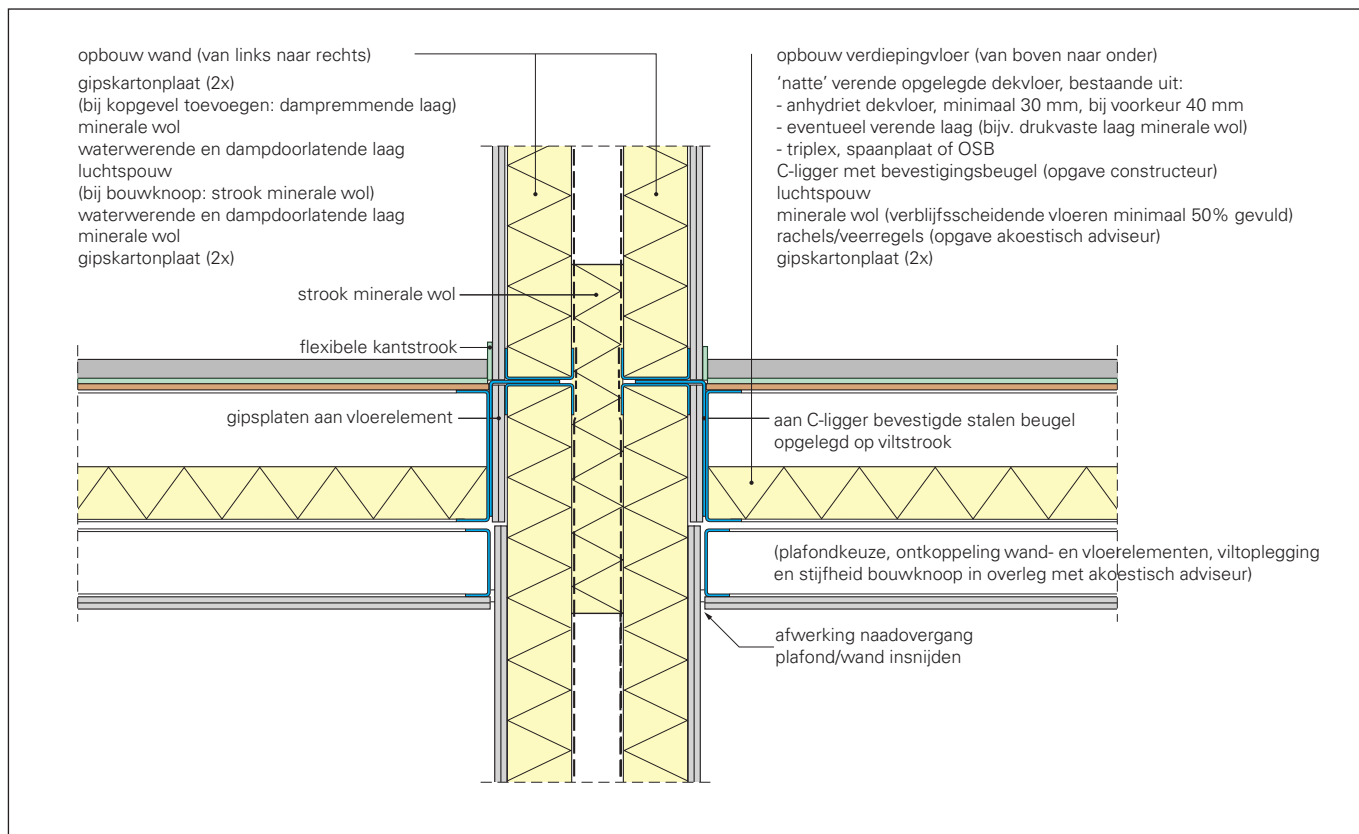
Vervolgens gaan we per aspect met de belangrijkste kengetallen en de normen aan de slag voor het bepalen van de bouw­fysische waarden. Het Besluit bouw­werken leefomgeving (Bbl) legt de eisen vast

en wijst normen en richtlijnen aan waarmee die eisen beoordeeld worden. Deze komen ook terug in de op staalframebouw van kracht zijnde integrale beoor­delingsrichtlijnen van SKG-IKOB (de BRL 0901 voor Combinatie bouw­systemen) en bij de onderliggende certificaten van de Stichting KOMO, die de kwaliteit van het product beoordeelt.

4.1 Basisframe aangekleed

Zoals in de hoofdstukken 1 en 2 behandeld, bestaat het basisframe van staalframebouw uit verzinkt stalen stijl- en regelwerk, dat wordt voorzien van plaat­materialen. Aan de constructie worden via een laagsgewijze opbouw andere prestaties, zoals bouw­fysische prestaties, toegevoegd. Het stijl- en regelwerk samen met de beplating zorgen voor voldoende sterkte, stijfheid en stabiliteit. Het plaatmateriaal kan bestaan uit gips- en/of gipsvezelplaat of houtachtig materiaal en bij de vloer ook geprofileerde staalplaat. De platen verzorgen, mits het materiaal met voldoende verbindingsmiddelen is bevestigd, via schijfwerking de stabiliteit van het element.

Aan de ruimtebegrenzende zijde van elementen (wanden en plafonds) is het aan te bevelen om vochtregulerende, vochtabsorberende materialen toe te passen. Gips is daarvoor geschikt en hout in iets mindere mate. Een kortstondige inwerking van vocht is bij deze oppervlakken geen bezwaar, omdat zij vocht kunnen opnemen en geleidelijk aan weer aan de omgevingslucht kunnen afgeven. Voor 'natte' ruimtes zijn er speciale, vochtwerende gipsplaten, herkenbaar aan hun groene kleur.

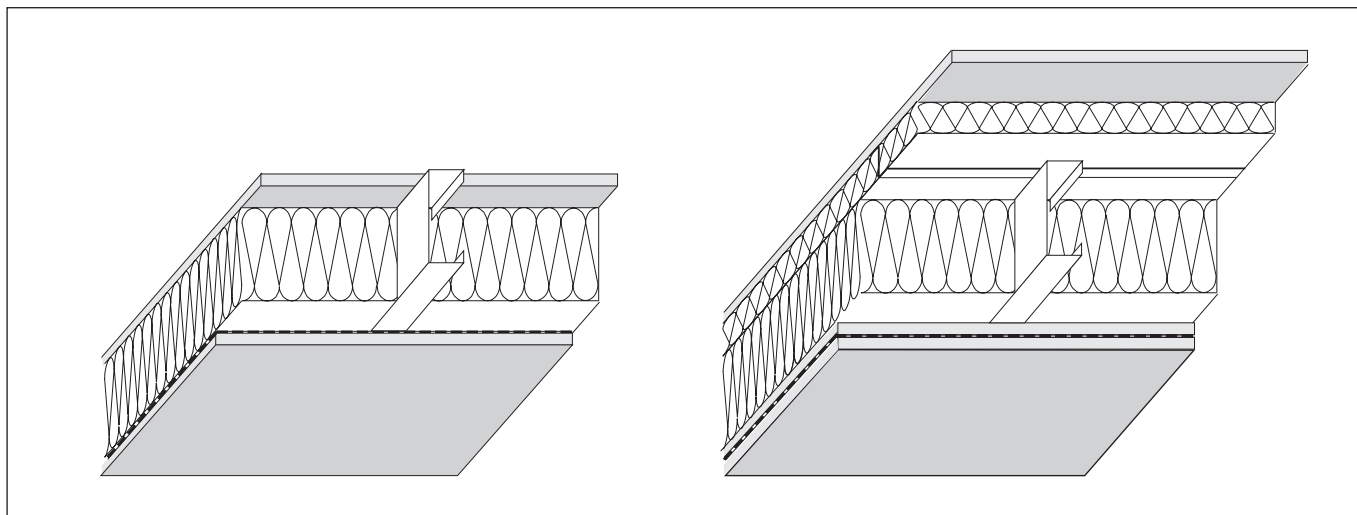


4.4. Bouwkundige detaillering van een woningscheidende wand. Bij de bouwknop moet de spouw tijdens de montage worden dichtgezet met een strook minerale wol om eventuele geluidlekken te elimineren.

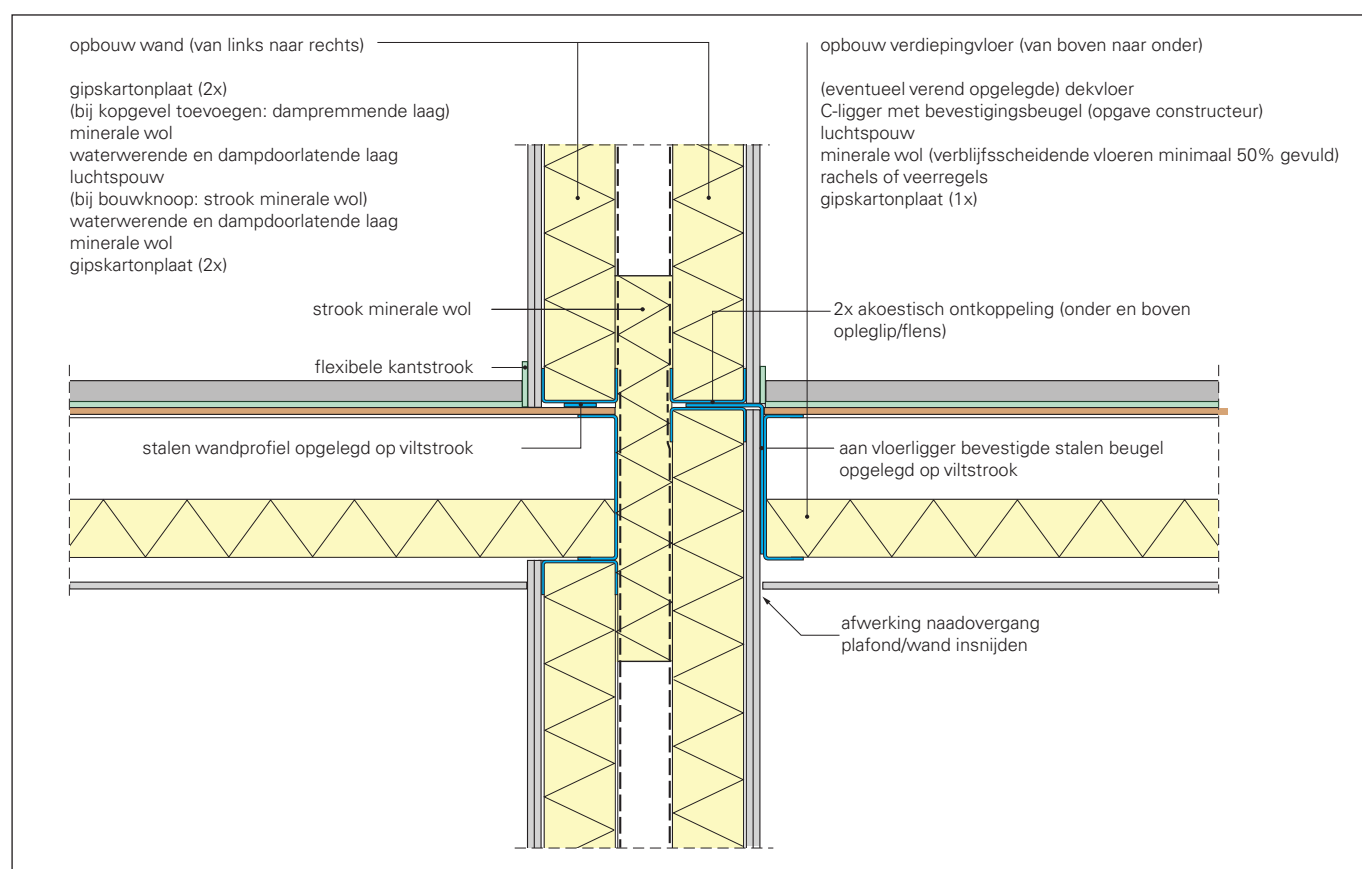
wandopbouw	staaldikte $t = 1,5$ mm, h.o.h. stijlen = 0,625 m minerale wol 40 kg/m ³	wanddikte	R_c -waarde (m ² K/W)	brand- werendheid
	stucwerk stucplaat stijlen/minerale wol dampremmende laag gipsplaat (GKF) 2x	10 15 150 - 2x12,5 200	2,1	30 minuten
	stucwerk houtvezelplaat op minerale wol stijlen/minerale wol dampremmende laag gipsplaat (GKF) 2x	10 80 100 - 2x12,5 215	3,4	30 minuten
	stucwerk stucplaat dubbel stijl- en regelwerk met minerale wol waterwerende, dampdoorlatende laag stijlen/minerale wol dampremmende laag voorzetwand/minerale wol gipsvezelplaat	10 15 2x60 - 150 10 - 60 12,5 377,5	5,3	30 minuten

4.5. Mogelijke wand- en gevelopbouwen. Dit zijn principedetails. Een R_c -berekening moet aantonen dat aan de Bbl-eisen wordt voldaan.

Variant A is uitsluitend mogelijk als binnenwand. Variant B heeft thermische afscherming die voor de basisconstructie langsloopt. De extra isolatielaag moet meer dan 30 mm dik zijn. Dan mag de volledige dikte van de wand (dus ook de laag waar het stalen stijl- en regelwerk doorheen steekt) bij de bepaling van de warmteweerstand worden meegenomen. Variant C heeft aan de buitenzijde een extra isolatielaag en een luchtspouw én aan de binnenzijde een voorzetwand, gevuld met minerale wol waarin installaties en leidingen geplaatst kunnen worden.



4.6. Laagsgewijze opbouw van een verticaal element. Links een binnenwand met aan beide zijden gipsplaat. Rechts een gevelement met extra isolatielaag die voor 'thermische afscherming' ofwel 'koudebrugonderbreking' dient.



4.7. Inwendige scheidingsconstructies: twee varianten om de vloer aan de wand te bevestigen. Links wordt de vloer op de wand gelegd, waarna de wand wordt doorgestapeld. Rechts de variant waarbij vloerelementen worden ingehangen tussen de bouwmuren.

De platen kunnen aan één zijde of aan beide zijden van het element (enkel- of dubbelzijdig) worden aangebracht, afhankelijk van de uiteindelijke functie als wand of vloer. De holle ruimte tussen stijl- en regelwerk wordt in de regel voorzien van minerale wol als isolatiemateriaal. In gevels en daken (uitwendige scheidingsconstructies) is warmte-isolatie de voornaamste taak van de minerale wol. Bij wanden en vloeren (inwendige scheidingsconstructies) dient de minerale wol vooral om aan eisen van geluidwering en brandwerendheid te voldoen (afb. 4.2).

4.2 Isolatie

Staalframebouw is een licht bouwsysteem. Om een hoge geluidisolatie te bewerkstelligen worden tussen

woningen en ook in woongebouwen dubbele bouwmuur toegepast die niet onderling zijn verbonden: de 'ankerloze spouwmuren' (afb. 4.3). Bij toepassing hiervan kan de helft (dus één bouwmuur) tevens fungeren als dragende kopgevel. Zo kan eenzelfde bouwkundige detaillering worden toegepast voor de langs- en kopgevel.

Hard plaatmateriaal (gipskartonplaat, gipsvezelplaat, OSB) in de bouwkundige spouw (de spouw tussen twee elementen) verlaagt de akoestische prestatie en wordt om die reden afgeraden.

Bij de bouwknoop moet de spouw tijdens de montage worden dichtgestoken (dichtgezet) met een strook minerale wol. Deze strook dient om eventuele geluidlekken te dichten of afsluiten (afb. 4.4).

4.8 Het inhangen van de vloer gebeurt door een hoekprofiel aan het vloerelement te bevestigen en met de flens op het wandelement op te leggen.



Foto: Karel Ley • Fig. 8.4 Reclamestudio

Van belang is dat het isolatiemateriaal in de elementen goed aansluit tegen de profielen en dat er geen ruimte ontstaat voor ongewenste luchtlekken. Daarom moeten in de verticale elementen (wanden en gevels) materialen worden toegepast die tijdens het transport naar de bouwplaats en ook tijdens het gebruik intact en standzeker blijven (dus dat deze niet uitzakken). In de regel betekent dit toepassing van minerale wol in de vorm van plaatmateriaal en/of stabiele deksen. Mede hierom dienen de wanden volledig gevuld te worden met wol. Verblijfscheidende vloeren (dat zijn vloeren die twee verblijfsgebieden scheiden binnen een woning) moeten minimaal 50% met minerale wol zijn gevuld om aan de geluideisen te kunnen voldoen.

Door de hoge eisen aan thermische isolatie en door de hoge warmtegeleidingscoëfficiënt van staalprofielen, wordt het basisframe voor kopgevels en langgevels altijd voorzien van een thermische afscherming. Deze extra isolatielaag is enkelzijdig bevestigd en dient als koudebrugonderbreker. Dit kan aan de buiten- en aan de binnenzijde (afb. 4.5). Meestal wordt deze thermische afscherming om praktische redenen aan de buitenzijde van het binnenspouwblad geplaatst. Deze toevoeging zorgt ervoor, dat de isolatie die reeds aangebracht is in de staalframebouw delen meegenomen mag worden in de totale R_c -bepaling. In feite wordt er een 'jas' om de staalframebouw delen gehangen en worden thermische bruggen vermeden. Deze isolatielaag is bij voorkeur minstens 30 mm dik en kan bestaan uit verschillende isolatiematerialen, zoals pur, pir en steen- of glaswol met een hoge dichtheid. De totale dikte van de constructie kan hierdoor relatief slank blijven. De geringe wanddikte van minder dan 200 mm is een voordeel: het leidt tot een groter gebruiksoppervlak van het gebouw (afb. 4.6).

Vloerelementen kunnen worden gestapeld op, maar ook ingehangen tussen de bouwmuur (afb. 4.7). Dit inhangen gebeurt door een hoekprofiel aan het vloerelement te bevestigen en met de flens op het wandelement op te leggen (afb. 4.8). Dit maakt de bouwknop eenvoudiger dan bij doorstapelen van wand op vloer.

Staalframebouw vloeren kunnen worden toegepast als begane-grondvloeren (afb. 4.9). Maar het is ook mogelijk de staalframe wanden te plaatsen op een betonnen begane-grondvloer (afb. 4.10). In alle gevallen moet optrekkend vocht worden vermeden en moet deze uitwendige scheidingsconstructie voldoen aan eisen van warmteweerstand en luchtdichtheid.

Als regel geldt dat er een dampremmende laag aan de warme kant noodzakelijk is en aan de buitenzijde een dampopen laag, als een tijdelijk regenscherm tijdens de uitvoering. Het zorgvuldig overlappend de-taileren van de dampremmende laag en waar nodig afplakken, bewerkstelligt de luchtdichtheid van het gebouw (afb. 4.11).

Daarmee is staalframebouw een bouwsysteem dat met eenvoudige standaard bouwknopen en slanke constructiedelen aan hoge bouwfysische eisen kan voldoen. De goede thermische kwaliteit van de gebouwschil geeft een hoge energieprestatie.

4.3 Eisen

De thermische weerstand van de constructie wordt uitgedrukt in de R_c -waarde (m^2K/W), de thermische weerstand R van een constructiedeel c . Volgens het Besluit bouwwerken leefomgeving (het voormalige Bouwbesluit) gelden in 2024 voor woongebouwen de volgende eisen aan R_c -waarden voor uitwendige scheidingsconstructies (begane-grondvloeren, gevels en daken) voor nieuwbouw:

- R_c gevels $\geq 4,7 m^2K/W$;
- R_c begane-grondvloeren $\geq 3,7 m^2K/W$;
- R_c hellende en platte daken $\geq 6,3 m^2K/W$.

In het verleden werd voor warmteweerstand een U -waarde toegepast. De U -waarde gaf de warmte-doorgangcoëfficiënt aan van een bepaald materiaal of constructie. Dit is de inverse oftewel de omgekeerde waarde van de R -waarde. De U -waarde wordt nu nog gebruikt voor glas.

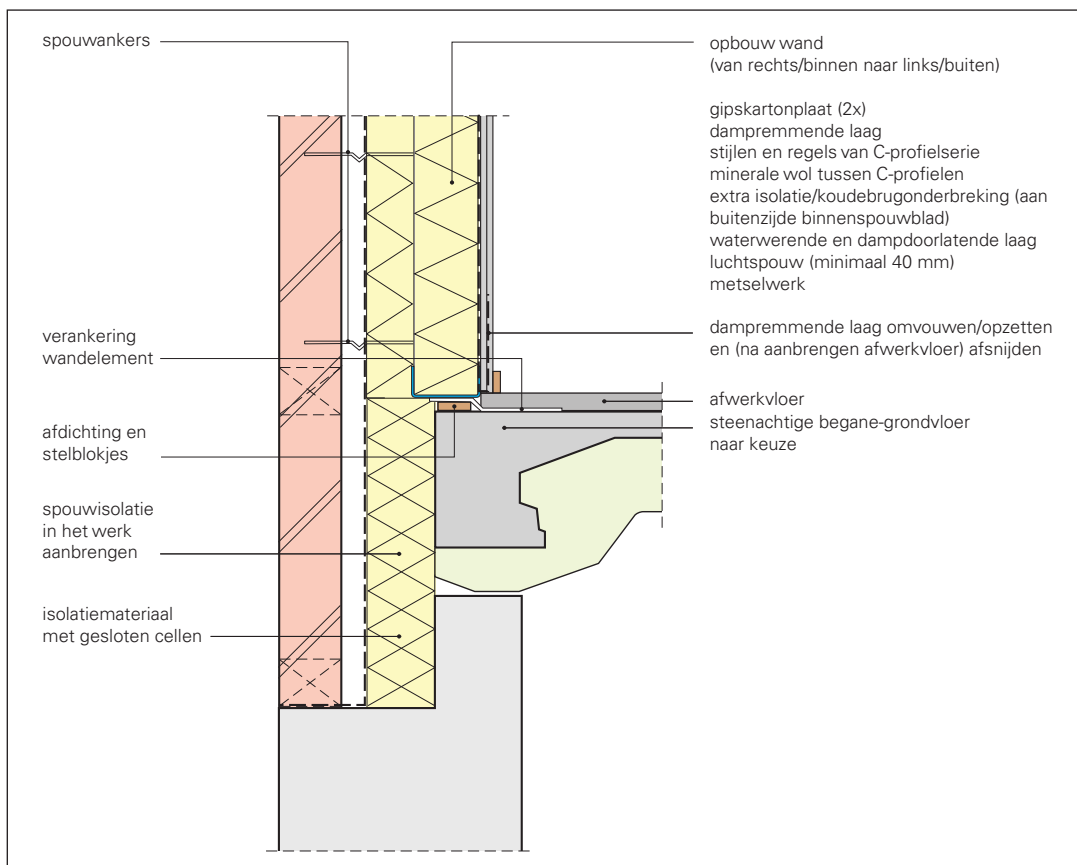
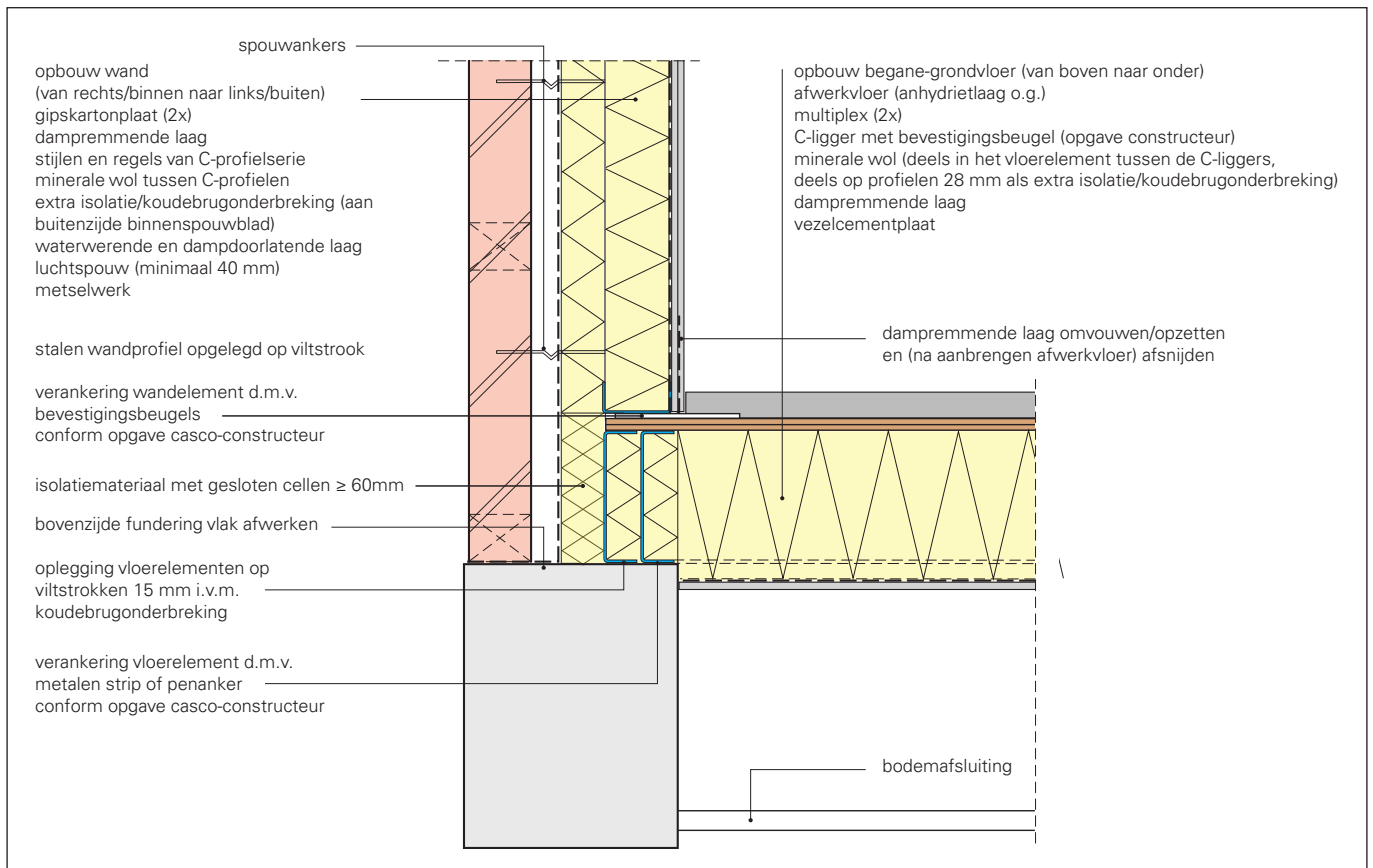
4.4 Normen en richtlijnen

Voor Nederland is het stelsel Energieprestatie Gebouwen van kracht. En dan met name de (gratis beschikbare) NTA 8800:2024, 'Energieprestatie Gebouwen – Bepalingsmethode' en daarin genoemde normen waaronder de NPR 2068:2022, 'Thermische isolatiegebouwen - Vereenvoudigde rekenmethoden'.

Met de handberekeningsmethode in NPR 2068 (par. 7.3) en NTA 8800 (bijlage C) is snel inzicht te verkrijgen welke mogelijkheden er zijn om voldoende warmteweerstand te behalen. Ontwerpers kunnen onder andere in Excel een eigen spreadsheet bouwen. Aan het einde van dit hoofdstuk is een voorbeeld van zo'n werkblad getoond (afb. 4.34). Er kan gespeeld worden met de laagsgewijze opbouw en met varianten van de constructieonderdelen en profieldikten. Naast deze relatief eenvoudige handrekenmethode kunnen ontwerpers en adviseurs beschikken over softwarepakketten die gebruik maken van de eindige-elementenmethode.

4.5 Warmteweerstand

Als de NTA 8800 wordt gehanteerd kan dit met de normatieve bijlage C 'Bepaling van de warmteweerstand van een afzonderlijk (constructie)deel, R_c '. Met formules C4, C5, C6 en C7 is de warmteweerstand voor een samengestelde constructie te berekenen. Belangrijk is tabel C.1 'Bepaling weegfactor a ' (afb. 4.12) om de weegfactoren voor constructies te bepalen die worden onderbroken met sterk geleid-



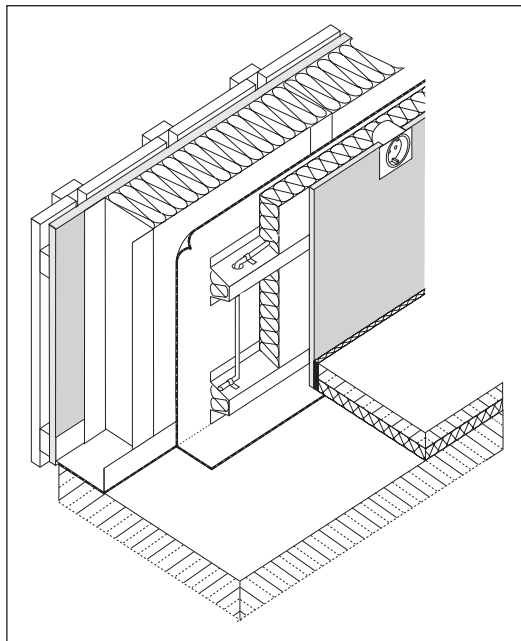
4.9. Mogelijke opbouw met een staalframe vloer als begane-grondvloer.

4.10. Mogelijke opbouw met een prefab betonvloer als begane-grondvloer. Dit is een principedetail. Een R_c -berekening moet aantonen dat aan de Bbl-eisen wordt voldaan.

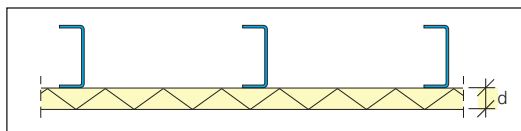
dende materialen. Wanneer er dus sprake is van een koudebrug. Koolstofstaal, waarvan de C- en U-profielen in staalframebouw worden gemaakt, heeft een betrekkelijk hoge warmtegeleidingscoëfficiënt $\lambda \geq 50 \text{ W/mK}$ (lambda-waarde). Het betekent in vrijwel alle gevallen, dat een constructie in staalframebouw die de gebouwschil vormt, moet worden voorzien van een extra isolatielaag, bij voorkeur aangebracht

aan de buitenzijde (afb. 4.14). In tabel C.1 wordt dit een 'isolatielaag doorbroken door metalen delen, eenzijdig thermisch afgeschermd' genoemd. Wil men ten volle profiteren van de extra isolatielaag – ook wel 'koudebrugonderbreking' of 'thermische afscherming' genoemd – dan moet deze extra isolatielaag meer dan 30 mm bedragen om een weegfactor te mogen toepassen van $a' = 1$. In tabel C.1 is

4.11 Opbouw van een staalframebouw gevel met een doorgaande dampremmende laag. Daarop is een voorzetwand gemonteerd die de installaties bevat.



4.12 Bij een isolatielaag doorbroken met metalen delen, eenzijdig thermisch afgeschermd bepaalt dikte d de thermische isolatie R_T via weegfactor a' . Dit volgt uit tabel C.1 uit bijlage C van NTA 8800.



te zien dat bij een dünnere extra isolatielaag een lagere isolatiewaarde moet worden meegenomen. Is het gebouwmhullende staalframebouw element slechts gevuld met isolatiemateriaal, zonder extra warmte-isolerende laag, dan is $a' = 0$. Is de extra warmte-isolerende 'jas' groter dan 20 mm en kleiner dan of gelijk aan 30 mm, dan is $a' = 0,5$. Is de 'jas' dikker dan 30 mm dan is $a' = 1$.

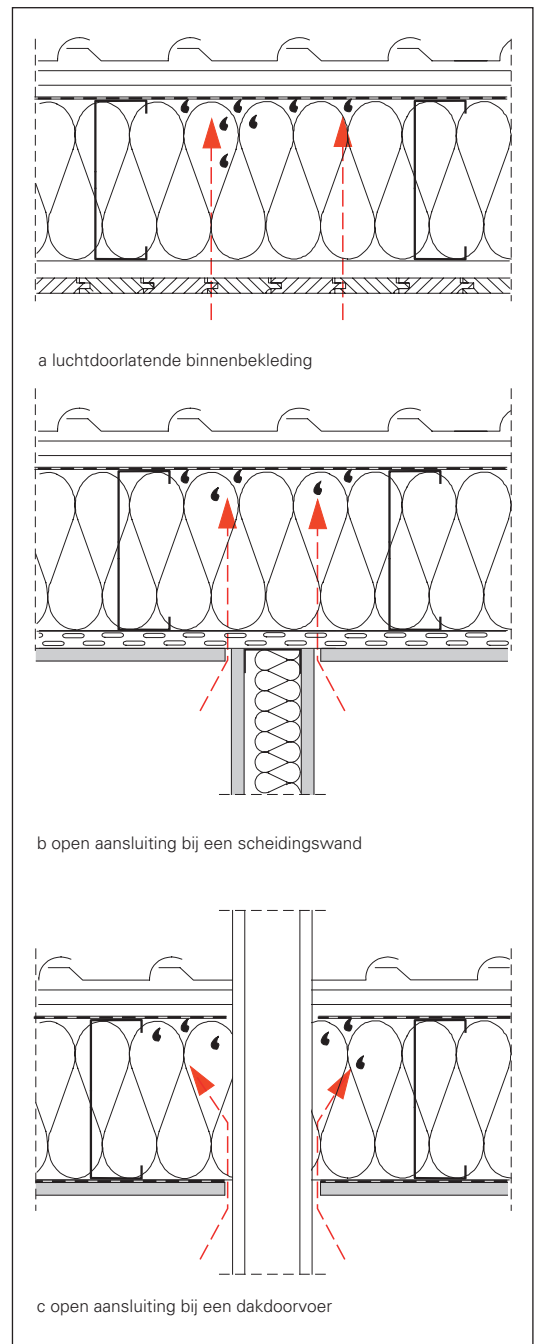
Voor laagbouwprojecten voldoen voor wanden en gevels doorgaans constructieve stijlen en regels C100/1,5. Dat zijn C-profielen van 100 mm hoog gevormd uit een staalplaat van 1,5 mm dik. Maar thermisch voldoen de gevels pas aan de eisen van het Bbl na het aanbrengen van de extra isolatielaag. Voor het bepalen van de juiste R_m -waarden is het van belang om de formules te hanteren:

- C5, bovengrens totale warmteweerstand R_T
- C6, ondergrens totale warmteweerstand R_T
- C7, equivalente warmtegeleidingscoëfficiënt λ_T

Voorts dient rekening te worden gehouden met de R_c -waarde loodrecht op het oppervlak, met de gelaagde opbouw, de geprojecteerde oppervlakken, en homogene en niet-homogene opbouw van de lagen. Uitgaan van percentages stijl en regel ten opzichte van totale oppervlakken is bij koudgevormde profielen niet toegestaan. Men kan de constructie opsplitsen in een basisdeel staalframebouw en een aanvullend deel met extra constructielagen, en een extra isolatielaag en buitenafwerking. Verder kan men 'spelen' met variaties in dikte en vorm van de staalprofielen.

4.6 Vochtwering

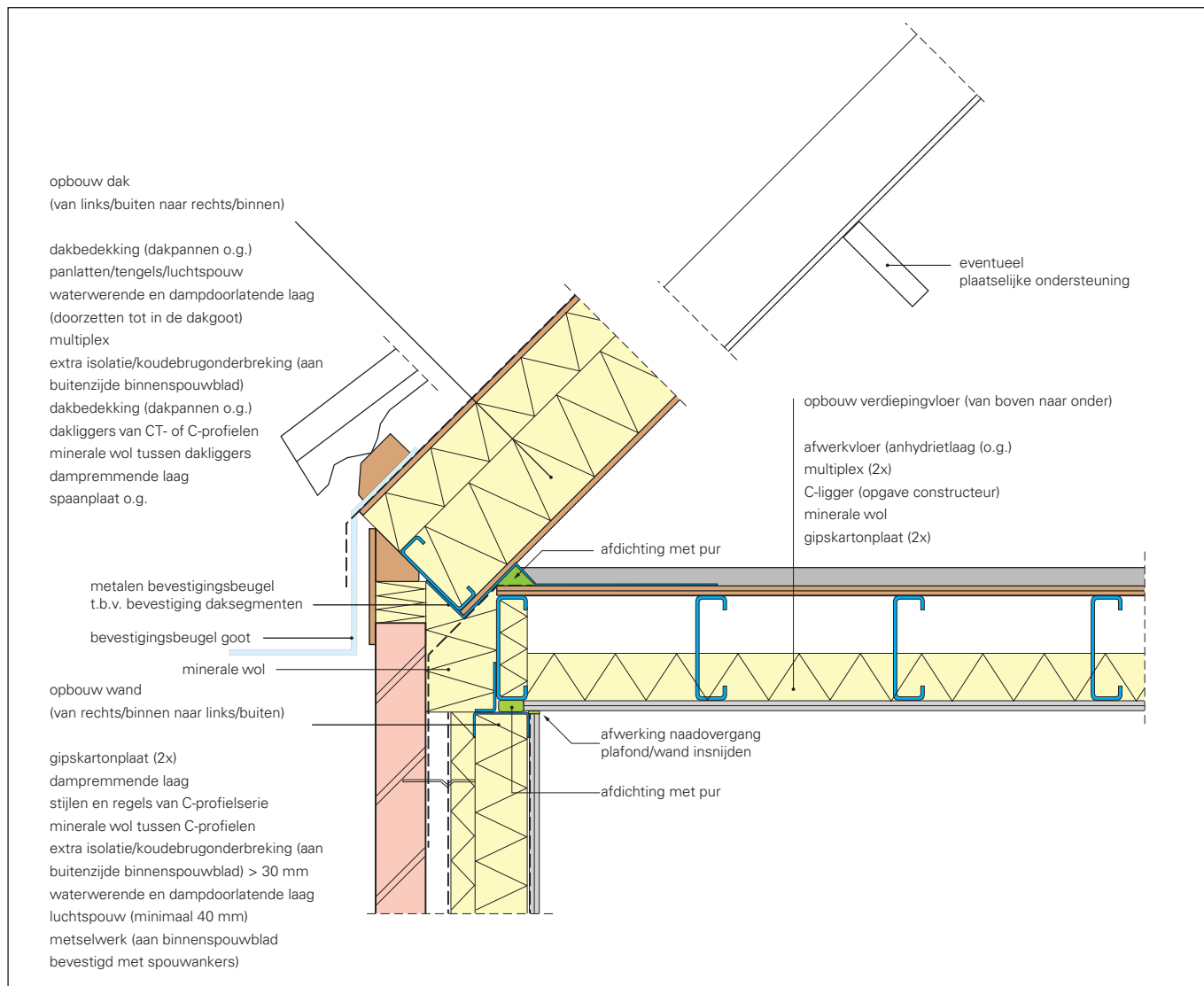
Bij staalframebouw is het belangrijk om vochtoplegging in de constructie te voorkomen. Daarom moet een uitwendige scheidingsconstructie, zoals een gevel, dak of begane-grondvloer, worden voorzien



4.13. Inwendige condensatie door convectie via plaatnaden.

van een dampremmende laag. Het damptransport vindt plaats bij een hogere binnentemperatuur dan de buitentemperatuur, dus van binnen naar buiten. De dampremmende laag moet worden aangebracht aan de warme kant van het constructiedeel. Meestal is dit de binnenzijde van het element.

Let op, dat bij een stijl of regel – en dan met name bij bevestigingsmiddelen (bijvoorbeeld de schroeven waarmee het plaatmateriaal bevestigd is) – niet op het binnenoppervlak de condensatietemperatuur wordt bereikt. Hiervoor zijn de koudebrugfactoren van kracht, aangeduid met temperatuurfactor f . Deze f -factor is $\geq 0,65$ voor woningbouw en $\geq 0,5$ voor utiliteitsbouw. Met de bijhorende berekening van de oppervlaktetemperaturen T_o aan de binnenzijde van de constructie. Deze waarden zijn van belang om te zien of er risico is op oppervlaktecondensatie. De extra laag warmte-isolatie ('thermische afscher-



ming) voorkomt meestal koudebruggen. Is die laag er niet, dan vormen de staalprofielen in de gevel- en dakelementen de bekende koudebruggen. Door gaande koppelstrips (die van buiten naar binnen lopen) moeten bij voorkeur worden vermeden.

4.7 Inwendige condensatie

Is de extra laag thermische afscherming er niet, of zijn de dikte van het isolatiemateriaal of de isolerende werking ervan onvoldoende, dan kan er in de uitwendige scheidingsconstructie 'inwendige condensatie' optreden. Door lekkage bij de naden van de platen aan de binnenzijde kan vochtige lucht door convectie in de constructie komen (afb. 4.14). Het vocht in de lucht kan condenseren in de minerale wol. Bij convectie (warmtestroming van lucht) zijn de meegevoerde luchthoeveelheden relatief groter dan bij diffusie (damptransport). Dus zal de condensatie bij convectie aanzienlijk groter zijn. Door inwendige condensatie neemt het isolerende vermogen van de isolatie af. Ook kan dit leiden tot schimmels, vorstschade of vochtplekken aan het oppervlak. Omdat de constructie binnenin niet te controleren is en eventuele gebreken aanvankelijk verborgen blijven, moet er bij het bouwkundig ontwerp al aandacht worden besteed aan (het voorkomen van) inwendige condensatie. De naden, of (stoot)voegen van in elkaars ver-

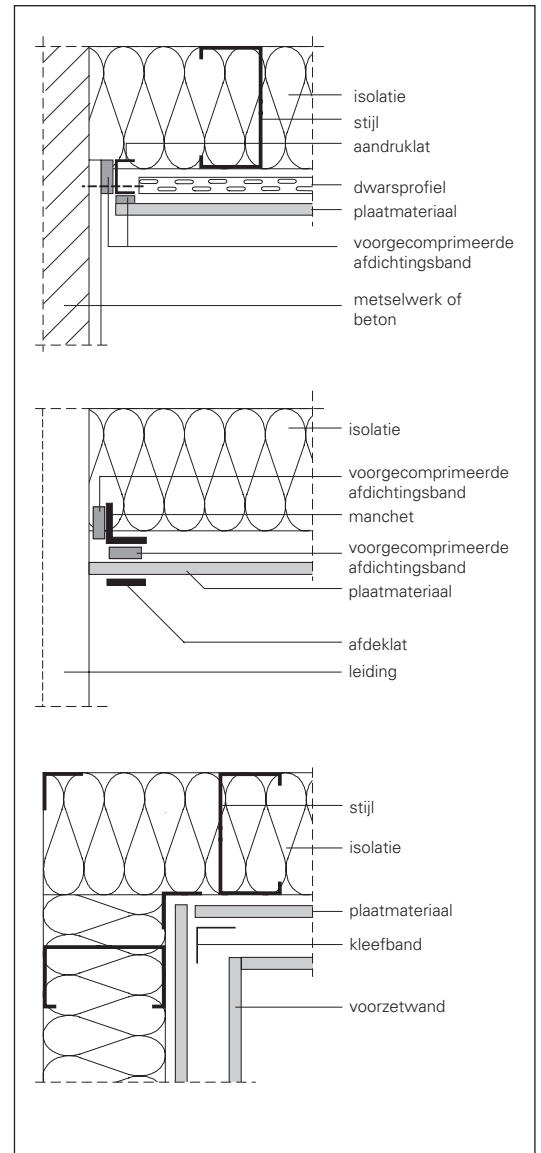
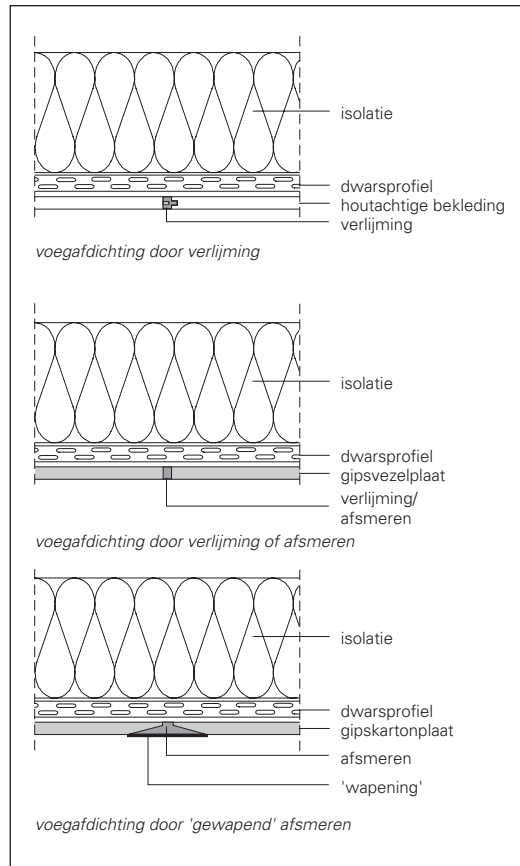
lengde liggende platen kunnen eenvoudig worden dichtgezet door bijvoorbeeld afvoegen of afplakken (afb. 4.15). Vaak liggen bij staalframebouw deze naden op de stijlen of regels.

De aansluitingen tussen loodrecht op elkaar liggende bouwdelen zijn met een voorgecomprimeerde afdichtingsband of een flexibel kleefband (gesloten cellenband) af te dichten (afb. 4.16). Om scheurvorming op lange termijn uit te sluiten, zijn gipsplaten aan te bevelen. Deze krimpen en zwellen minder dan houtachtige plaatmaterialen.

Bij de bouwkundige detaillering en de uitvoering moet erop worden gelet, dat de dampremmende laag overal doorloopt. Pas brede folies toe voor zo min mogelijk naden. Bij naden moeten de folies overlappen en worden afgeplakt (afb. 4.17). Folies moeten groter zijn dan de staalframebouw constructie-elementen, om overlappingsen te maken tussen de bouwdelen (afb. 4.18). Gebruik voor de bevestiging van de folies speciale lijmen of plakbanden (tapes). Folies worden tegen de stijlen of dakliggers aangebracht en vervolgens door beplating of door een extra tengel vastgezet (afb. 4.19). Naast de uitvoering van de aansluitingen tussen de bouwdelen, vraagt de uitvoering van doorvoeren van elektra-, water- en verwarmingsinstallaties (afb. 4.20) en de plaatsing van kozijnen extra aandacht (afb. 4.21).

4.14. Mogelijke opbouw van een schuindakconstructie. Dit is een principedetail. Een R_c -berekening moet aantonen dat aan de Bbl-eisen wordt voldaan.

4.15. Voegafdichting van in elkaars verlengde liggende platen.



4.16. Voegafdichting van loodrecht op elkaar liggende platen of bouwdelen.

bezwaarlijke emissiestoffen uit de bouwdelen zelf binnenstromen. Luchtlekken zijn te voorkomen door zorgvuldig te ontwerpen en naden en kieren af te dichten (afb. 4.22).

4.9 Waterwerende, dampdoorlatende laag

Aan de buitenzijde van het element wordt een ander type folie aangebracht: de waterwerende, dampdoorlatende laag. Deze zorgt ervoor, dat van buiten geen vocht kan binnendringen en damp die toch in de constructie is doorgedrongen of daar al in aanwezig was, naar buiten kan. Ook is dit tijdens de bouw fase praktisch, want het voorkomt natregenen van de isolatie. Bijkomend voordeel van de folies is, dat ze de minerale wol in het element fixeren (afb. 4.23). Bij gevelbekleding zoals rabatdelen of geprofileerde staalplaat, moet de spouw zwak ventilerend worden uitgevoerd. De waterwerende en dampdoorlatende laag moet vier- tot vijfmaal zo dampopen zijn als de dampremmende laag. Daarvoor zijn deze folies uitgevoerd met microperforaties. Ook zijn zogeheten spinnvlieses verkrijgbaar. Dat zijn folies met een hoge doorlaatbaarheid van waterdamp, zonder perforaties en volkomen waterdicht.

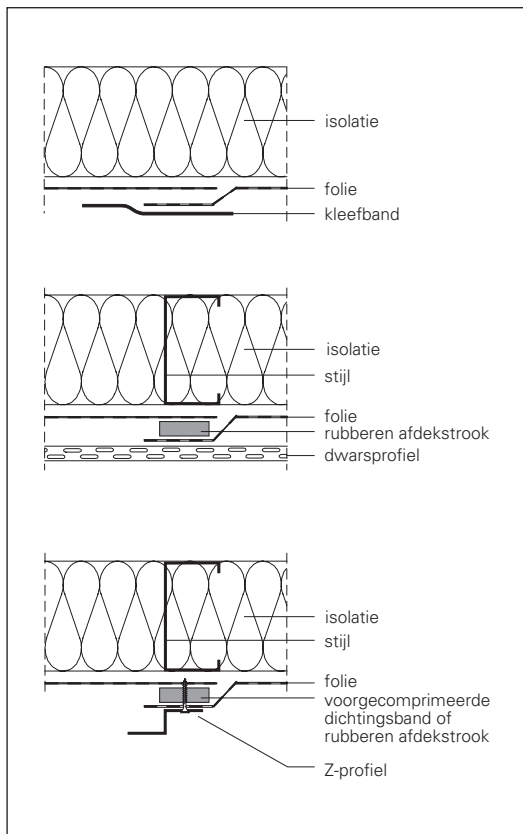
Foto: FeNB2 Montage



4.18. Folies moeten groter zijn dan de elementen om overlappings te maken bij de naden tussen de bouwdelen.

4.8 Luchtdichtheid

Luchtdicht bouwen of het beperken van luchtdoorlatendheid zijn vergelijkbare begrippen. Het gaat erom de openingen in de 'schil' van het gebouw te minimaliseren. En als er toch openingen zijn, zoals bij aansluitingen van bouwdelen, is het raadzaam om deze te beperken. De belangrijkste redenen voor luchtdicht bouwen zijn: energiebesparing, comfortverbetering, voorkomen van vochtproblemen en een goede geluidwering. Door luchtdrukverschil tussen binnen en buiten ontstaat er een luchtstroom door de uitwendige scheidingsconstructie. Dit kan leiden tot ongewenst warmteverlies of onaangename tocht. Ook kunnen er hinderlijke geuren of geluiden uit naastgelegen woningen komen. Of er kunnen schimmelsporen uit kelders, fijne stofdeeltjes uit de buitenlucht en



4.17. De aansluitingen van de dampremmende folie moeten overlappen. Dat kan met kleefband, rubberen afdekstroken, dichtingsband of met combinaties daarvan.

4.10 Koudebruggen

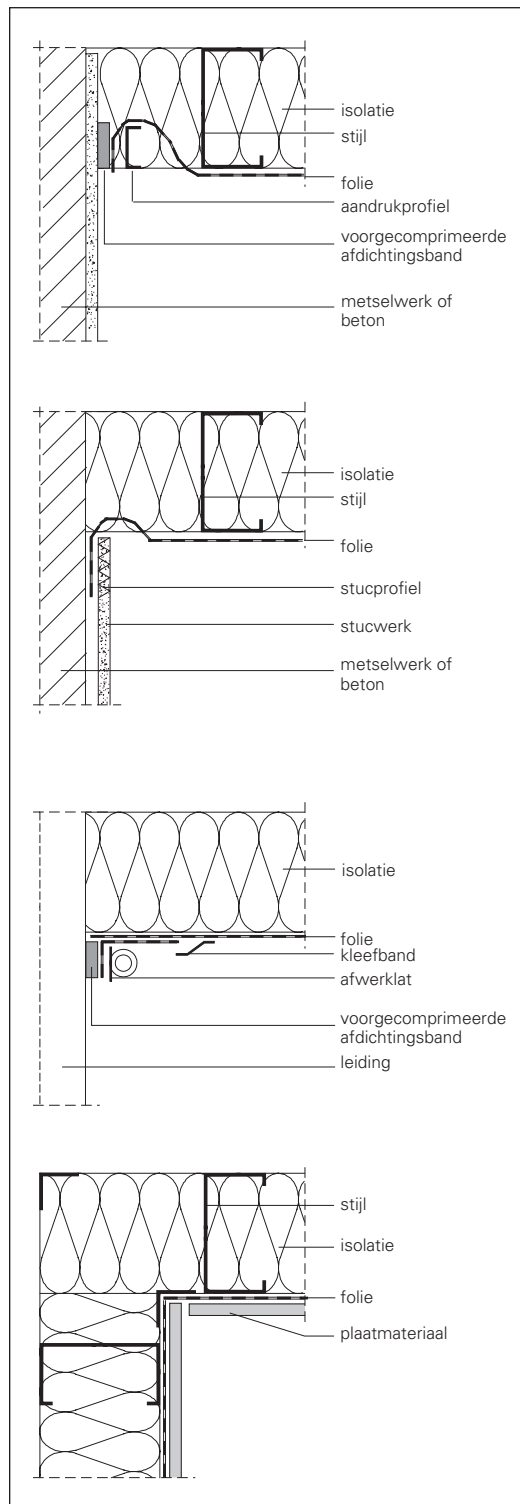
Hoofdstuk 8 'Transmissie' van NTA 8800 legt uit hoe de gebouwschil is te modelleren. Daarin staat ook beschreven hoe de waarden zijn te bepalen voor koudebruggen. Voor lineaire thermische bruggen bij onderlinge aansluitingen tussen (constructie)onderdelen kan dat met de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt in paragraaf 8.2.3. Voor een groot aantal zijn forfaitaire waarden gegeven in bijlage I. Aanvullend kan voor thermische waarden gebruik worden gemaakt van de Duitse *Wärmebrücken Atlas* (afb. 4.24).

4.11 Thermoprofielen

In Zweden zijn zogeheten thermoprofielen ontwikkeld. Door sleuven in de lijven van de C- en U-profielen te maken, wordt de warmtestroom langer. Daardoor wordt de warmteweerstand van het stijlen regelwerk verhoogd. Hierdoor is de thermische afscherming met een isolatielaag niet per se nodig (afb. 4.25).

Afhankelijk van de plaatsing van de sleuven en de breedte van de profielen, wordt de afstand die de warmtestroom 'doorloopt' verdrievoudigd (afb. 4.26). In combinatie met de vulling van minerale wol mag bij de thermische berekening een warmtegeleidingscoëfficiënt λ worden aangehouden van 10 W/mK.

Het thermoprofiel is een voorbeeld van intelligent staalgebruik. Met minder materiaal wordt namelijk een hoger rendement behaald. Een nadeel van deze sleuven is, dat het thermoprofiel minder stijf en sterk is dan een gewoon profiel. Scandinavische richtlijnen gaan uit van een vermindering van

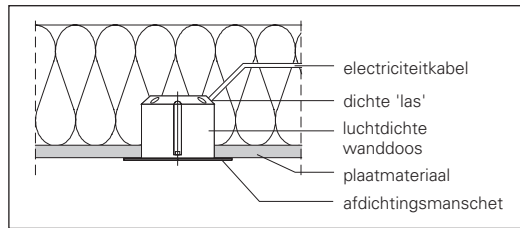


4.19. Breng bij aansluitingen van bouwdeelen de dampremmende folie zorgvuldig aan, zodat de luchtdichting doorloopt.

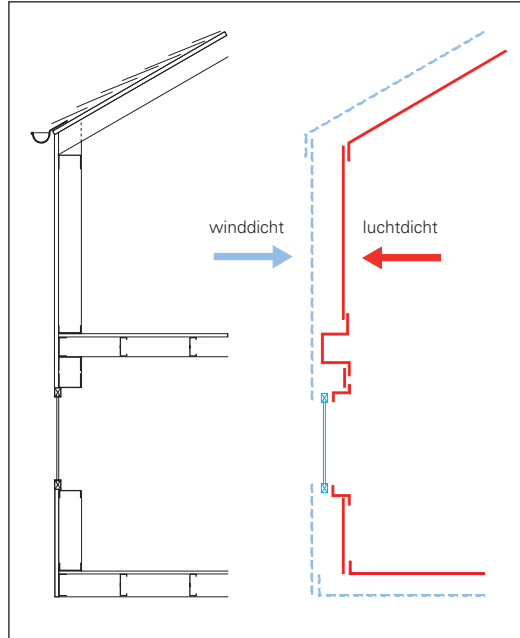
ongeveer 5-10%, maar bij dwarskrachten zal dit hoger zijn (afb. 4.27). Hiervoor zijn speciale verstevigingsstukken en hulpmiddelen beschikbaar. Voor raam- en deuropeningen kunnen afdekstroken worden toegepast voor de gewenste luchtdichtheid en aansluitdetails (afb. 4.28). Let er wel op, dat deze speciale onderdelen, net als de thermoprofielen zelf, in Nederland niet gangbaar zijn en daardoor moeilijk leverbaar.

4.12 Warmte-accumulatie

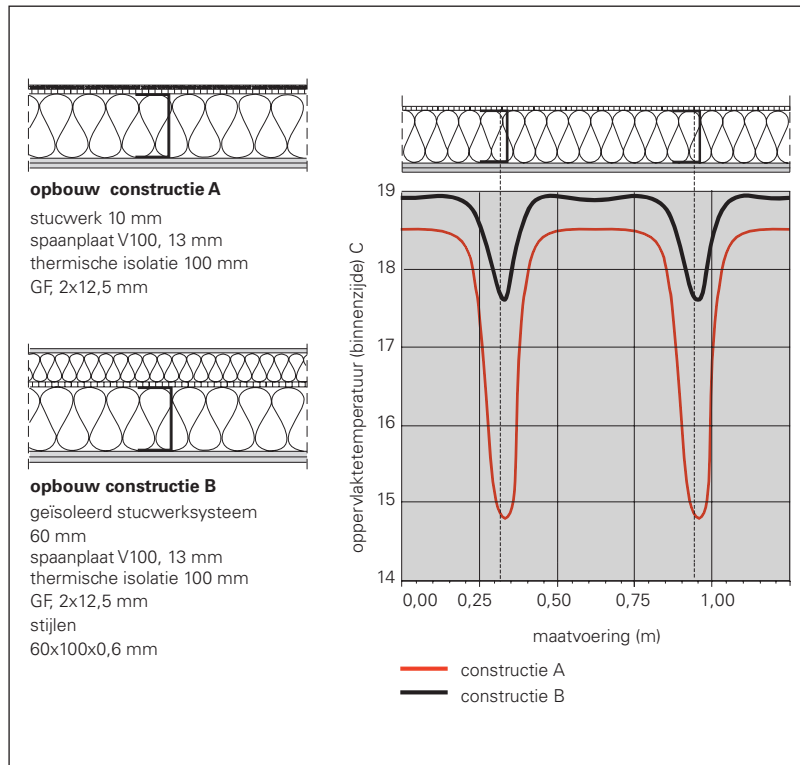
Met een warmte-accumulerend vermogen kunnen scheidingsconstructies bijdragen aan een energiezuinig en comfortabel gebouw. Warmte-accumulatie is het opslaan van energie in de vorm van warmte in een materiaal of medium.



4.20 Luchtdichte uitvoering van een wandcontactdoos met een manchet.



4.22. Verschil tussen winddicht (blauwe lijn) en luchtdicht (rode lijn). Winddicht is van buiten naar binnen en wordt verzorgd door de waterwerende, dampdoorlatende laag. Luchtdicht is van binnen naar buiten en wordt verzorgd door de dampremmende laag.



4.24. Koudebruggen: de invloed van de stijlen op de oppervlaktetemperatuur aan de binnenzijde.

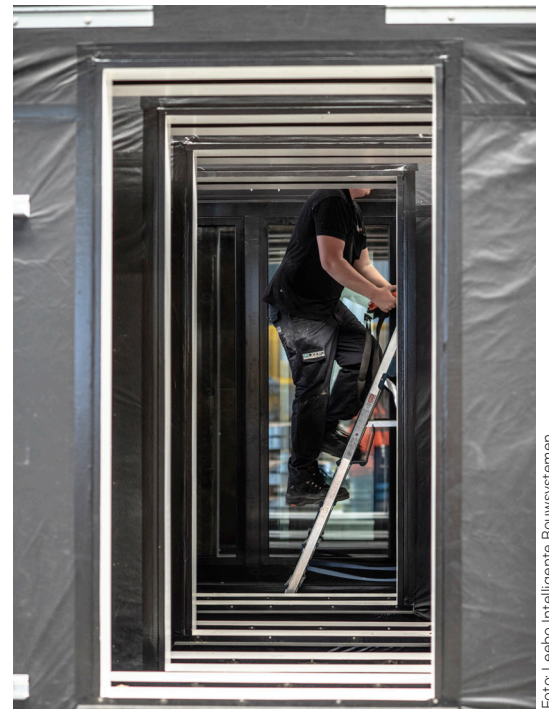
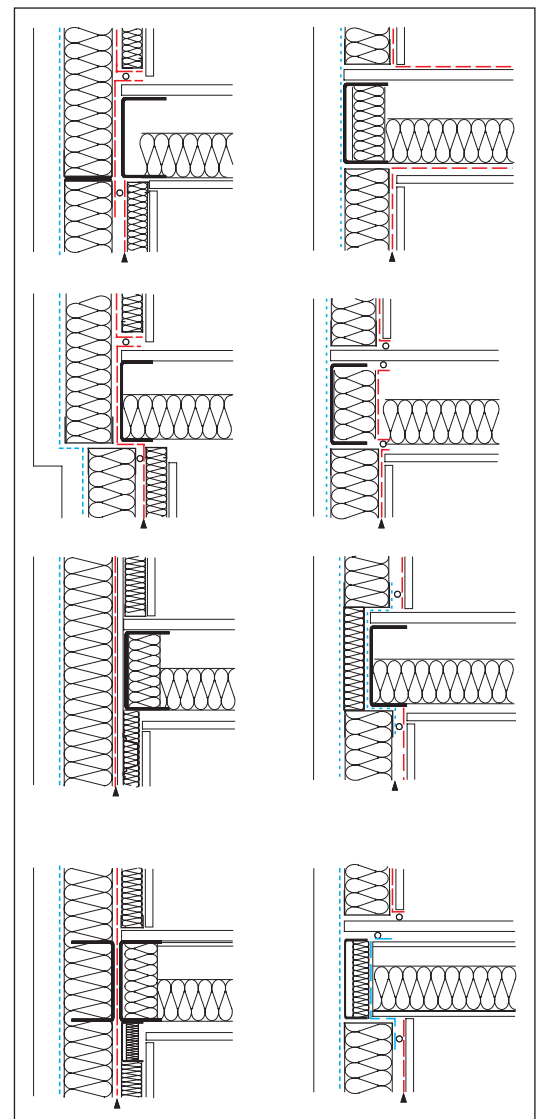
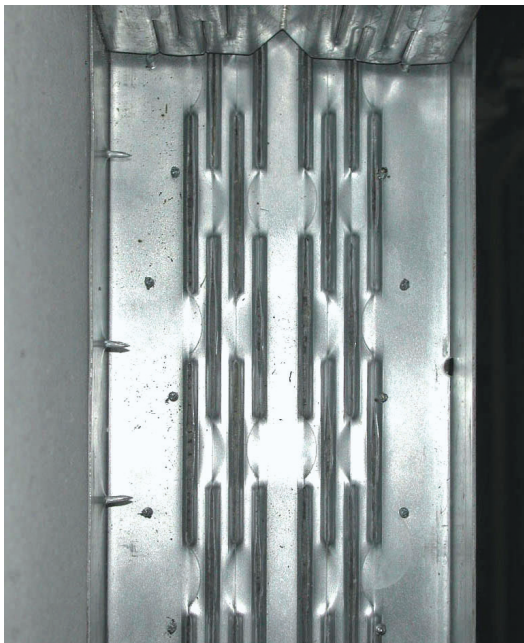


Foto: Leebo Intelligente Bouwsystemen

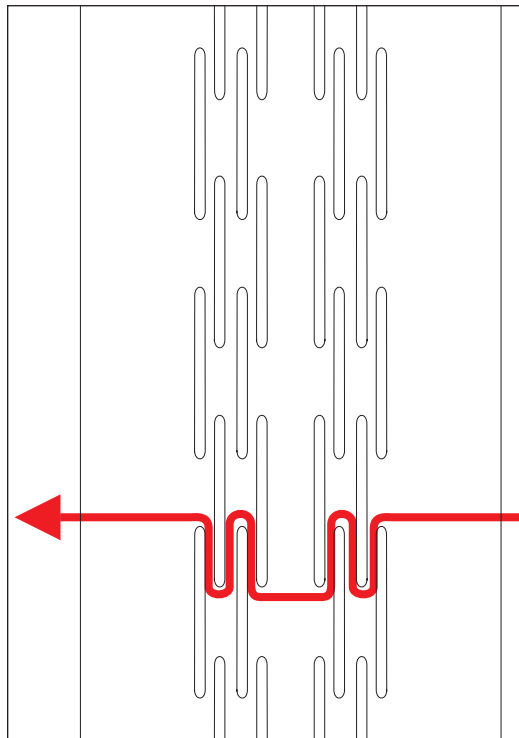
4.21. Afplakken van folie voor luchtdichte uitvoering bij kozijnen.



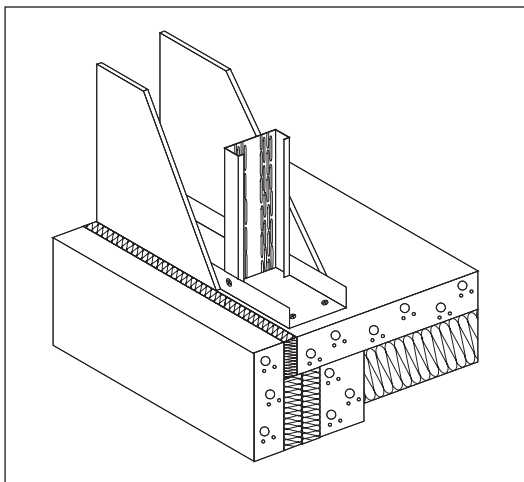
4.23. Verschillende aansluitingen van vloeren op buitenwanden met luchtdichte uitvoeringen. De rode lijn is de dampremmende laag, de blauwe lijn is de waterwerende, dampdoorlatende laag.



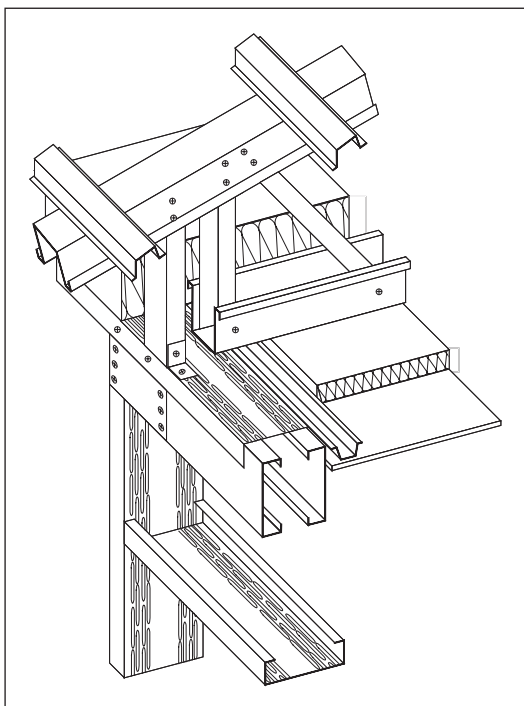
4.25. Thermoprofiel.



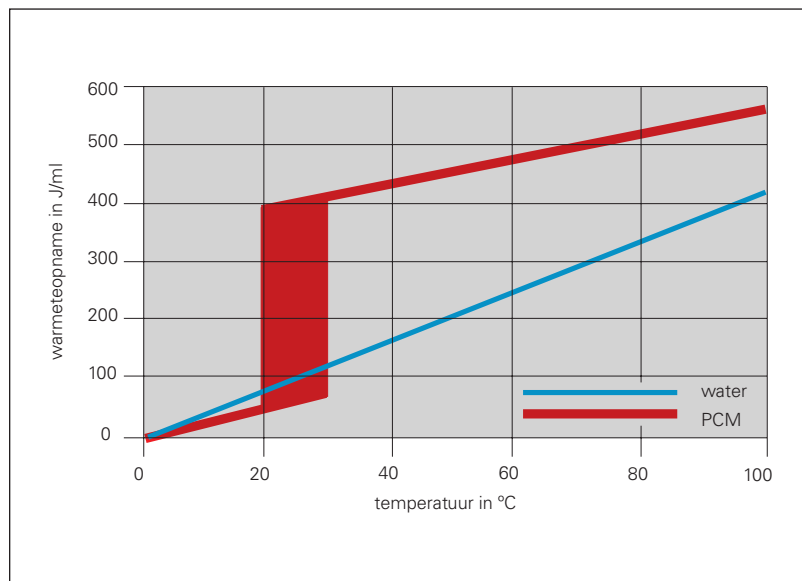
4.26 Thermoprofielen: door de sleuven wordt de afstand van de warmtestroom verlengd, waardoor het staalprofiel minder goed warmte geleidt.



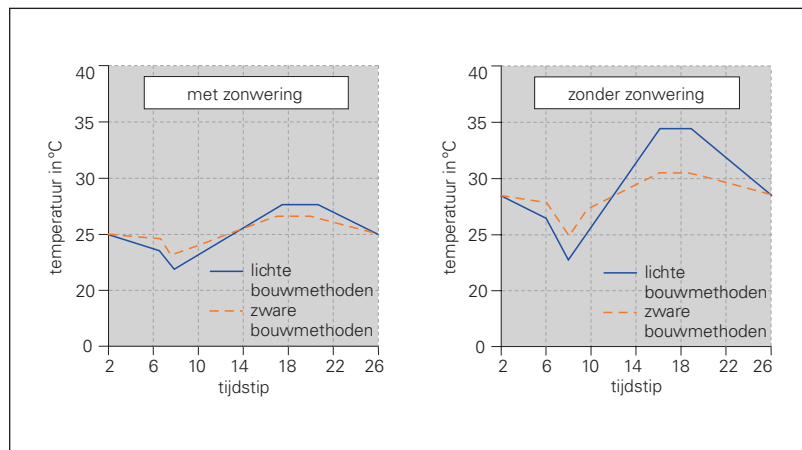
4.27. Let op: dat een thermoprofiel minder stijf en sterk is dan een standaard profiel



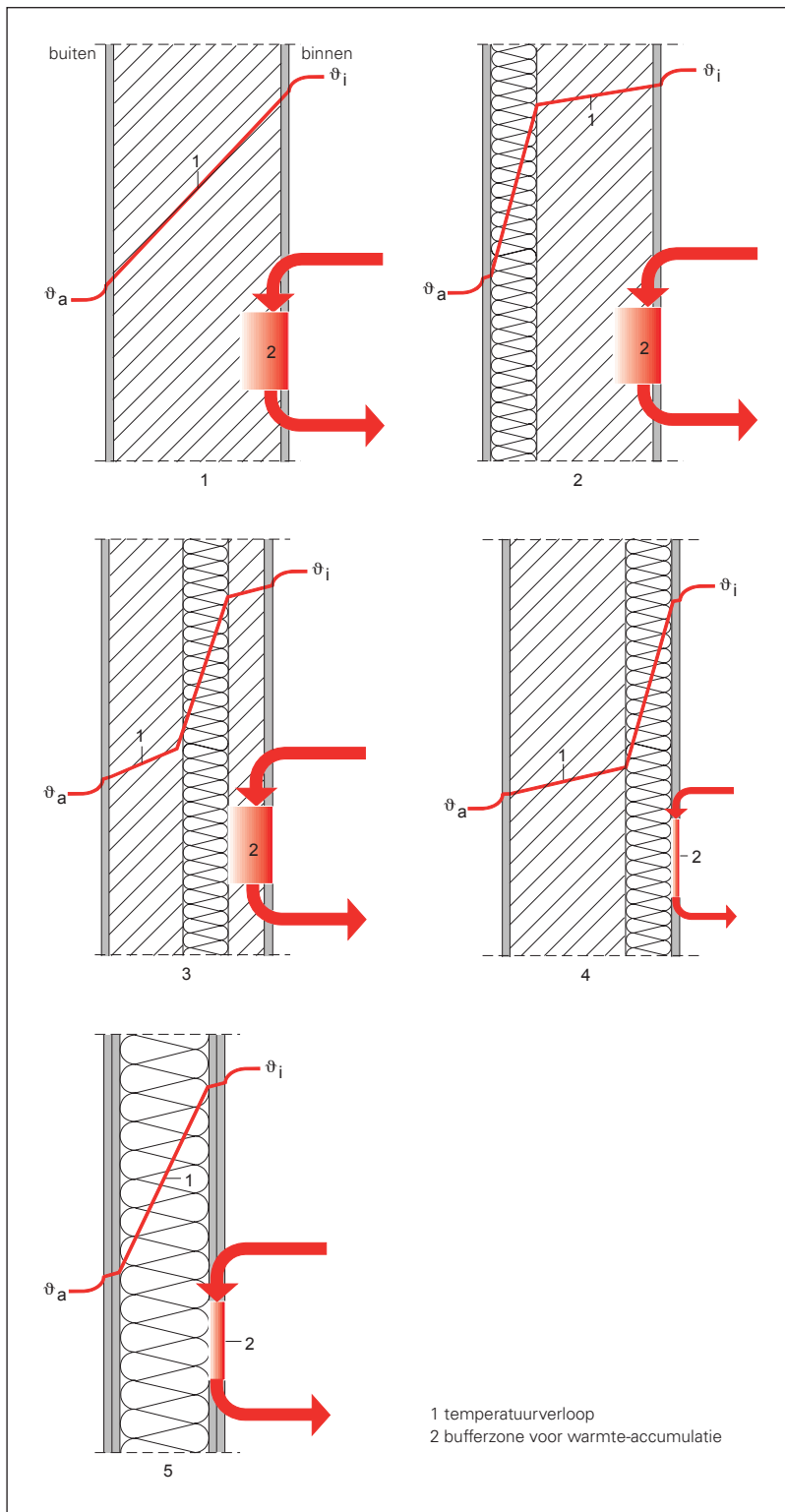
4.28. Dakranddetail met thermoprofielen en speciale verstevigingsstukken.



4.29. Warmteopname van een 'Phase Change Material' (PCM) in vergelijking met water. Let op de sprong bij kamertemperatuur vanwege de faseverandering. Bij water vindt deze, van ijs naar water en vice versa, plaats rond het vriespunt.



4.30. Invloed van zonwering op de opwarming van gebouwen.



4.29. Warmte-accumulerend vermogen van verschillende wanden.

1. Monoliet: het feitelijk warmte-accumulerend vermogen vindt slechts plaats over de eerste 80 tot 100 mm.
2. Wand met buitenisolatie.
3. Een 'sandwich'-constructie: het warmte-accumulerend vermogen wordt bepaald door de dikte van het wanddeel aan de binnenzijde.
4. Wand met binnenisolatie: de binnenisolatie beperkt het warmte-accumulerend vermogen. Voordeel is een snelle opwarming van de binnenruimte.
5. Inwendige isolatie: het warmte-accumulerend vermogen wordt bepaald door het materiaalgebruik van de binnenbekleding, isolatie en het staalframe (staaldikte en h.o.h.-afstand van de stijlen).

Een wand- of vloerconstructie kan warmte opslaan van de omringende lucht. Op een ander moment kan de wand of vloer de warmte weer afgeven. Gebouwen met een hoog warmte-accumulerend vermogen warmen relatief langzamer op dan gebouwen met een laag warmte-accumulerend vermogen. Bovendien is de piek van de temperatuur lager. Dit kan voordelen bieden bij een hittegolf in de zomer. Anderzijds blijft de warmte ook langer in de constructie, als de hittegolf voorbij is. Het vermogen om warmte op te slaan wordt bepaald door een aantal factoren (afb. 4.31):

- de soortelijke warmte (de hoeveelheid warmte nodig om een kg materiaal 1 graad Kelvin in temperatuur te laten stijgen);
- de volumieke massa (kg per m³);
- de werkzame dikte (maximaal de helft van de wand of vloer);
- het oppervlak van de wand of vloer.

Staalframebouw heeft een betrekkelijk laag warmte-accumulerend vermogen. Doordat het een licht bouwsysteem is, waarbij de wanden, vloeren en plafonds worden gevormd door plaatmaterialen met lage volumieke massa en kleine werkzame dikte. Dit kan voordelen hebben in de winterperiode bij gebouwen die snel op gebruikstemperatuur moeten worden gebracht.

4.13 Phase Change Materials

Om de voordelen van een lichte bouwwijze te combineren met een hoger warmte-accumulerend vermogen worden zogeheten 'phase change materials' toegepast. Dit zijn materialen die rond kamertemperatuur een faseverandering (van vast naar vloeibaar en omgekeerd) doormaken en daarmee veel warmte kunnen opslaan of juist afgeven. Door deze grotere warmtecapaciteit (soortelijke warmte) gedraagt de wand zich 'thermisch zwaar' terwijl de massa laag is (afb. 4.29).

In toenemende mate wordt ook cellulose toegepast als materiaal voor thermische isolatie. De warmtegeleidingscoëfficiënt λ is vergelijkbaar met minerale wol. De soortelijke massa is echter hoger, waardoor het een redelijk warmte-accumulerend vermogen heeft. Bovendien is cellulose een recyclingproduct (van krantenpapier).

4.14 Ontwerp warmte-accumulatie

Bij woningen zijn de temperatuurverschillen tussen dag en nacht bij voorkeur klein. Staalframebouw heeft ten opzichte van traditionele, zware bouw een geringer warmte-accumulerend vermogen. Maar ook bij zware bouw doet niet al het materiaal van een ruimte-begrenzend element mee bij warmte-accumulatie. Volgens bijlage B van NTA 8800 mag de werkzame dikte niet meer dan 100 mm en niet meer dan de helft van de totale constructie (wand- of vloerdikte) bedragen. Het warmte-accumulerend vermogen van de constructie – of, zoals dit in de richtlijn heet: de 'interne warmtecapaciteit' – kan als forfaitaire waarde worden afgelezen uit tabel 7.10 van NTA 8800. Houtskeletbouw en staalframebouw in Nederland worden veelal uitgevoerd



4.32a Ontwerpmaatregel: zoninstraling beperken met een buitenzonwering.

met steenachtige afwerkvloeren. Kies daarom niet de allerlichtste ('licht/licht'), maar de op één na lichtste categorie (vloeren 'zwaar' en wanden 'licht'). Voor woningbouw betekent dit 180 kJ/m²K.

4.15 Ontwerp warmte-isolatie

De keuze van het bouwsysteem en het ontwerp en de uitvoering van de bouwkundige detaillering bepalen in hoge mate hoe thermisch comfortabel het gebouw is.

Als principieel ontwerpuitgangspunt geldt: verhinder binnenvloeiende warmte en voer de te veel binnengekomen warmte weer af. De warmtetoeename in een gebouw komt deels voor rekening van zonnearmte. Niet alleen door de constructie (warmteweerstand R_c), maar ook door glaspartijen komt zonlicht binnen, en daarmee warmte. Op die manier zijn glaspartijen een belangrijke oorzaak voor stijging van de binnentemperatuur. Maar ook zonder directe zoninstraling kunnen open delen in gevels door diffuse en reflecterende straling grote hoeveelheden thermische energie opnemen (afb. 4.30).

Door ontwerpmaatregelen kan de intensiteit van de zoninstraling worden gereguleerd. Deze heeft namelijk invloed op de hoeveelheid warmte die binnenvloeiend komt. De oriëntatie (noord of zuid) en grootte van glaspartijen zijn van belang. Er kan glas met isolerende eigenschappen (met lagere warmtedoorgangscoefficiënt U_{gl}) worden gekozen. Ook kunnen maatregelen voor zonwering, zoals markiezen, jaloezieën (afb. 4.32a), overstekken (afb. 4.32b) of zonwerende beglazing worden genomen.

Is de warmte eenmaal binnen dan is het binnenklimaat bouwkundig of met installatietechniek te regelen. Bouwkundig kan dit bijvoorbeeld door natuurlijke ventilatie. Om de warmte die op warme zomerdagen is binnengekomen weer af te voeren staat nachtventilatie ter beschikking. Dat zijn speciale kozijnsystemen waarbij de luiken kunnen open staan, zonder dat ongedierte of inbrekers toegang hebben. Ook het warmte-accumulerend vermogen van de ruimtescheidingen is aan te passen, waardoor temperatuurpieken worden afgevlakt en vertraagd. Qua installatietechniek kan klimaatregeling bijvoorbeeld met een gecombineerd warmte-koelsysteem

en met mechanische ventilatie. Daarbij moet erop worden gelet dat deze installatietechniek op de, snel thermisch reagerende, lichte bouw wordt afgestemd.

4.16 Literatuur

- **NTA 8800** (Energieprestatie van gebouwen – Bepalingsmethode), 2024.
- **NPR 2068** (Thermische isolatie van gebouwen – Vereenvoudigde rekenmethoden) 2022.
- **BRL 0208** (Nationale Beoordelingsrichtlijn voor het KOMO-attest (-met productcertificaat) – Vloerconstructies met staal(frame)-combinatievloeren), IKOB-BKB 2005, met wijzigingsblad BRL 0208, 2016.
- **BRL 0901** (Beoordelingsrichtlijn voor het KOMO-attest en het attest-met-productcertificaat voor combinatie-bouwsystemen), IKOB-BKB 2012, met wijzigingsblad BRL 0901, 2016.
- G.M.J. Nieuwenhuijzen, C.J. Jentink en J.A.J. de Zeeuw, *Handboek Star-Frame Solutions*, Star-Frame Solutions, IJmuiden 2011.
- J. Pfau en R. Ohl, *Lösungen in Stahl-Leichtbauweise, Bauen in Bestand*, Wirtschaftsvereinigung Stahl, Berlin 2007.
- K. Tichelmann en R. Ohl, *Wärmebrücken Atlas – Trockenbau, Stahl-Leichtbau, Bauen in Bestand*, Rudolf Müller, Keulen 2005.



4.32b Ontwerpmaatregel: zoninstraling beperken met overstek.

GNC	KOMO-attest	05-06-22	Staalframebouw	ad hand van standaard SBR gevel
Basis gegevens		Eis Gevels woningbouw Rc ≥ 4,7 m2K/W		
	breedte m	hoogte m	opp in m2	
A con totaal	5,12	2,88	14,7456	
Raam	1,8	1,55	2,79	
deur	1,2	2,4	2,88	
	open	5,67		
A con gesloten	gesloten	9,0756		
profielen	BASIS	C75-50-15/1,5	C profielen	hoogte mm 100 mm
c-aantal	C75	lengte m	dikte profielen mm	1,5 mm
11		2,874	lengte tus m	flens m opp
5		0,424	2,78	0,05 0,139
3		0,894	0,33	0,05 0,0165
	BASIS	U105-50/1,5	dikte profielen	1,5 mm
u-aantal	U75	lengte m	lengte tus m	flens m opp
2		5,12	0,8	0,05 0,04
2		1,9	5,12	0,05 0,256
1		1,3	1,8	0,05 0,09
			1,2	0,05 0,06

Met extra afscherming	extra laag en isolatiemateriaal			
	dikte	lamda	Rm	
MWISR 700	0,05	0,035	1,429	extra isolatie koude brug koude brugond
OSB plaat aanvullend	0,01	0,12	0,083	beplating spouwzijde
Extra Frame	RC extra		1,512	met koudebrug onderbreking ≥30mm
	Rc frame		2,914	
	R c totaal		4,426	
Spouw			0,26	geventileerd 40 mm
Metselwerk	0,1	1,2	0,083	totaal pakket incl spouw
Eis BB	Totaal		4,769	Totaal constructie Rcgevel ≥ 4,7woningen

Rc gevel	1,805	INVOER
Weegfactor	0 geen afscherming	
a'	0,5 afscherming	20<iso<30
	1 afscherming	iso ≥ 30 mm
met afscherming extra		
λ	waarden	Rc
clic wal	0,1	W/mK Rsi
INVOERKBR	EPS GEX	0,035 W/mK Rse
staal	50,0000	W/mK

sectie A	materiaal	dikte	lamda
dubbel	clic wal	0,01	0,1000
	MWI SR 400	0,1	0,0380
A sec A	6,5921		Σ RmA
			Ua

sectie B	clic wal	0,01	0,1000
	staal	0,015	50,0000
	MWI SR 400	0,07	0,0380
	staal	0,015	50,0000
B sec B	0,075		Σ RmB
			Ub

sectie C	clic wal	0,01	0,1000
	staal	0,0015	50,0000
	MWI SR 400	0,097	0,0380
	staal	0,0015	50,0000
C sec C	2,334		Σ RmC
			Uc

sectie D	clic wal	0,01	0,1000
	staal	0,1	50
D sec D	0,075		Σ RmD
			Ud

laag	materiaal	lambda	A mat
homogeen			
laag1	clic wal		
heterogeen			
proj laag2	staal flens	50,0000	2,484
	MWI SR 400	0,0380	6,592
proj laag3	staal k lijf	50,0000	0,126
	MWI SR 400	0,0380	8,949
proj laag 4	staal g lijf	50,0000	0,075
	MWI SR 400	0,0380	9,001
proj laag 5	staal k lijf	50,0000	0,126
	MWI SR 400	0,0380	8,949
proj laag 6	staal flens	50,0000	2,484
	MWI SR 400	0,0380	6,592

check

4.34. Voorbeeld spreadsheet om aan de hand van de handberekeningsmethode uit NPR 2068 en NTA 8800 de warmteweerstand van een staalframebouw gevelelement uit te rekenen. Hiermee kan een ontwerper spelen met diktes en eigenschappen van materialen.

dikte profiel te variëren	0,0015 meter
hoogte profie te variëren	0,1 meter
Rc wordt dan	2,495
Rc wordt dan	2,914
iso +osb	1,512
Totaal Rc	4,426
waarden	voor sto zie onder
0,13 m2K/W	ziekeuze tabel ISOLATIE
0,04 m2K/W	MWI SR 400 0,038
0,17 m2K/W	Spouw zw vent

Beschouwde oppervlakken

Acon dicht	9,0756	dicht/Totaal	0,61547852	62%
A open	5,67	kozijnen	0,38452148	38%

ondergrens R'	
Rm	isolatie in SFS element
0,100	Variatie gipsplaat dikte
2,632 extra	variatie PIR of MIN Wol
4,243	1,512 PIR koppel I en J 7
0,227	Min Wol O en P 7

50 mm flens	U profielen	bovenregel	0,256
		raamdorpel	0,18
		deur regel	0,06
		onderregel	0,256
			0,752
50 mm flens	C profielen	stijlen	1,529
		stijl b raam	0,0825
		stijl o raam	0,12
Opp flenzen			1,7315 total opp flen:
sectie A	Aa gesloten	minerale wol	6,5921

0,100	
0,000	
1,842 extra	1,512
0,000	
3,454	
0,276	
0,100	
0,000	
2,553 extra	1,512
0,000	
4,165	
0,231	
0,100 extra	1,512
0,002	
1,614	
5,814	

KEUZE TABEL ISOLATIE	
info naar cellen O6 en O7	
MWI SR 400	0,038
MWISR 700	0,035
MWI SR100C	0,032
PIR cache	0,022
PIR	0,027
Cellulose	0,039
O6 stuurt berekening aan!!!!	
I6 voor koudebrug aanv	
EPS GEXP	0,035
OSB plaat	0,12
clc wal	0,1
EPS EXTR	0,03
EPS combi	#VERW!

sectie B	Ab	over C prof	A tot	Over U prof	Atot
		0,0015	0,052	0,0015	0,02256
	kort lijf				Ab 0,075
sectie C	Ac	0,047	1,628	0,047	0,70688
	flens deel				Ac 2,334
sectie D	Ad	0,0015	0,052	0,0015	0,02256
	lang lijf				Ad 0,075
	controle	0,05	1,732		0,752
					2,484
					9,076

Voor langs en kopgevels rond deur en ramen altijd stijlverdubbeling toepassen
Latei constructie rond raam en deursparingen zoals getekend.

Algemene formule (13) 7.2.4.1. NTA 8800 en NPR 2068
 $R_c = ((a'R' + R'' + R_{si} + R_{se}) / (1 + 1,05 * a')) - R_{si} - R_{se}$ formule C4 NTA 8800 samengestelde constructies
 reductie factor 0,2 nog verwerken als onderdelen prefab gemaakt worden
 weegfactoren a' bepaling op basis van Tabel C.1 NTA 8800

laagdikte	lambda λ"	Rm
0,01	0,1000	0,1
0,0015	13,7098924	0,00010941
0,0135	0,7341187	0,0183894
0,07	0,44815677	0,15619534
0,0135	0,7341187	0,0183894
0,0015	13,7098924	0,00010941
extra	koudebrug	1,512
hulpgr R''		1,805
	excl Rsi en Rse	
0,11		

R'	Acon	9,0756	R'	4,177	formule C5 NTA 8800
	AaUa	1,494			
	AbUb	0,021			
	AcUc	0,538			
	AdUd	0,120			
	Σ U	2,173			
R''	totaal Rm	1,805	R''	1,975	formule C6 NTA8800
	Rsi+Rse	0,17			

Weegfactor a'

voor Rc	a'R'	0
	Rsi+rse	0,17
	R''	1,98

gevelement	
Rc	1,805
isolatiewaarde zonder extra isolatie	indicatie Als

Tabl C.1
NTA 8800

Weegfactor	0 geen afscherming
a'	0,5 afscherming 20<iso<30
	1 afscherming iso ≥ 30 mm

Indicatie Rc waarde met verdere afscherming met extra isolatie	Afscherming
a'R'	0,5 2,088 Rc deels 2,495 20<iso<30 iso deels
a'R'	1 4,177 Rc volledig 2,914 iso >30 mm iso volledig



bouwen met
staal

Handboek Staalframebouw
Bouwen met Staal
Louis Braillelaan 80
2719 EK Zoetermeer
tel. (088) 353 12 12
www.bouwenmetstaal.nl/themas/staalframebouw
www.lichterbouwen.nl

