

Woningen in staalframebouw

Deze brochure is mede tot stand gekomen dankzij de financiële steun van:



GeNieConsult

tel. (0172) 420432
fax. (0172) 440900
e-mail genieconsult@planet.nl
internet www.genieconsult.nl



Metal Rolling Products

tel. (0416) 355377
fax. (0416) 277333
e-mail info@mrp.nl
internet www.mrp.nl



King-Frame

tel. (0495) 499295
fax. (0495) 430761
e-mail info@king-frame.nl
internet www.king-frame.nl



Mat Afbouw

tel. (0418) 587070
fax. (0418) 587060
e-mail info@mat.jajo.com
internet www.matafbouw.nl



Corus Bouw Centrum

tel. (0251) 494500
fax. (0251) 470069
e-mail info@corusbouw.nl
internet www.corusbouw.nl



Van den Berg

tel. (010) 4219033
fax. (010) 4566744
e-mail vdb@vandenbergbv.nl
internet www.vandenbergbv.nl



BPB Nederland

tel. (0347) 325100
fax. (0347) 325125
e-mail info@bpb.nl
internet www.bpb.nl

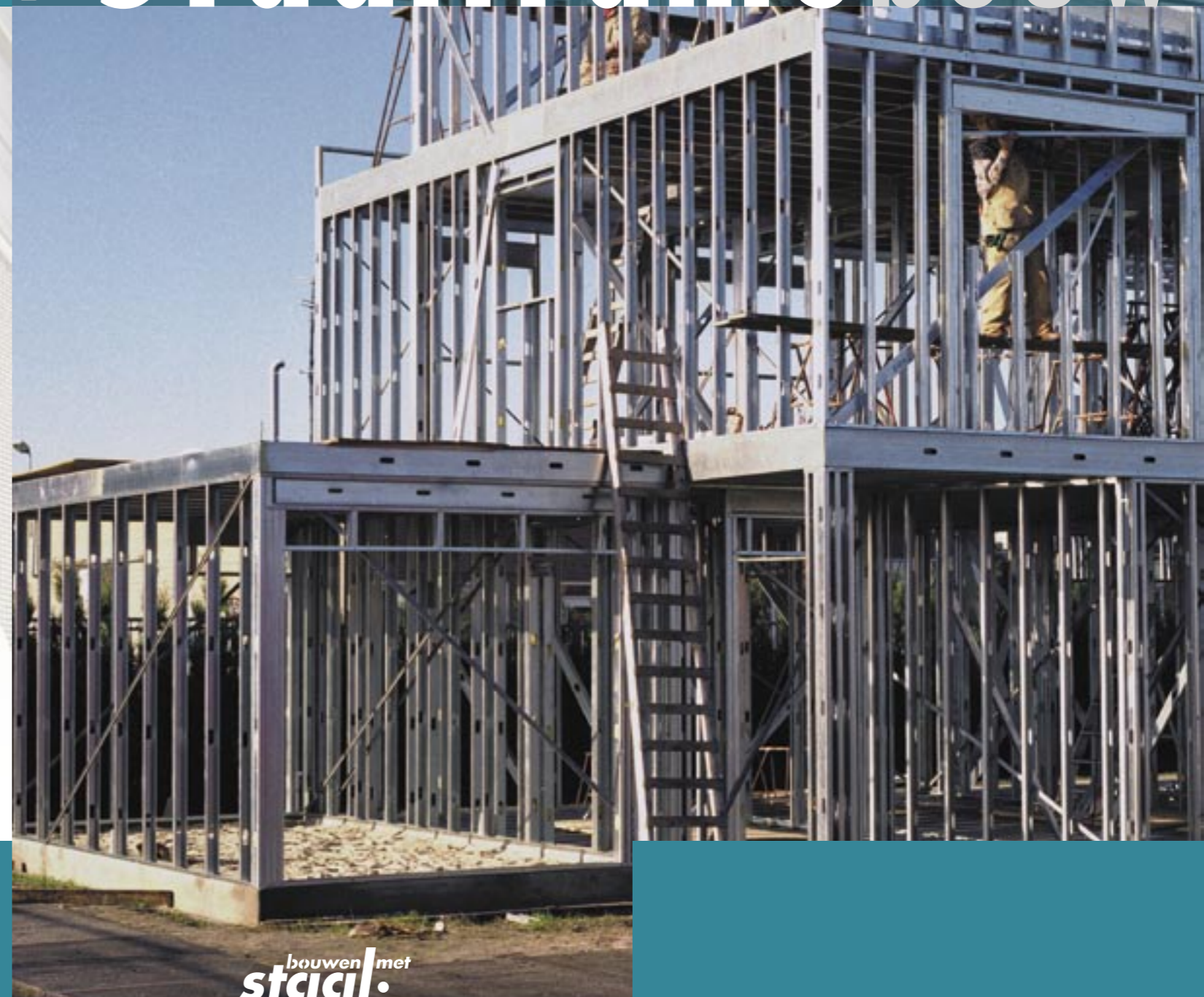


FeNB2 Staalframebouw

tel. (0224) 290619
fax. (0224) 290516
e-mail fenb2@xs4all.nl
internet www.staalframebouw.nl

Handboek Staalframebouw

Staalframebouw



bouwen met
stcicl:

Bouwen met Staal

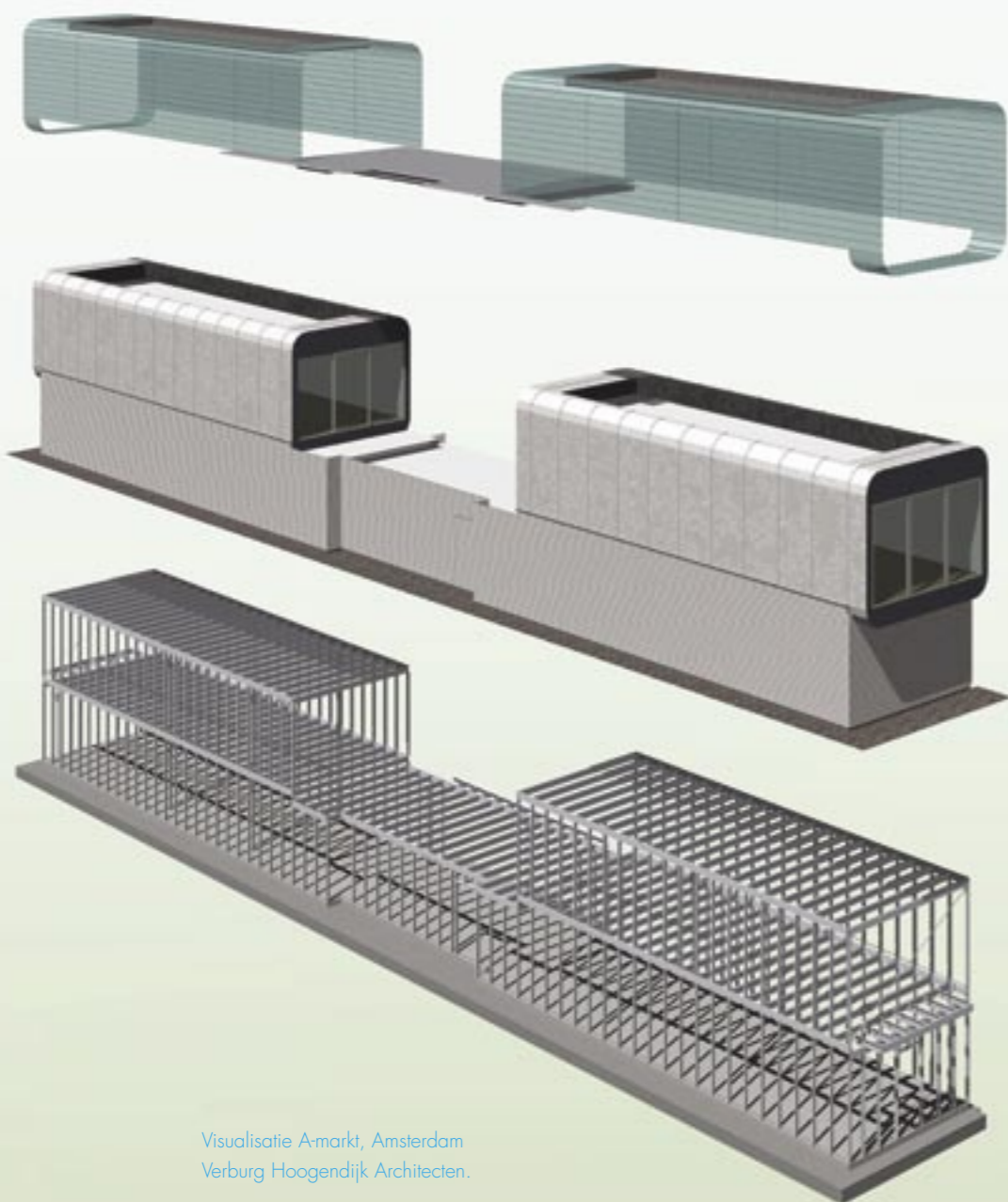
Postbus 190

2700 AD ZOETERMEER

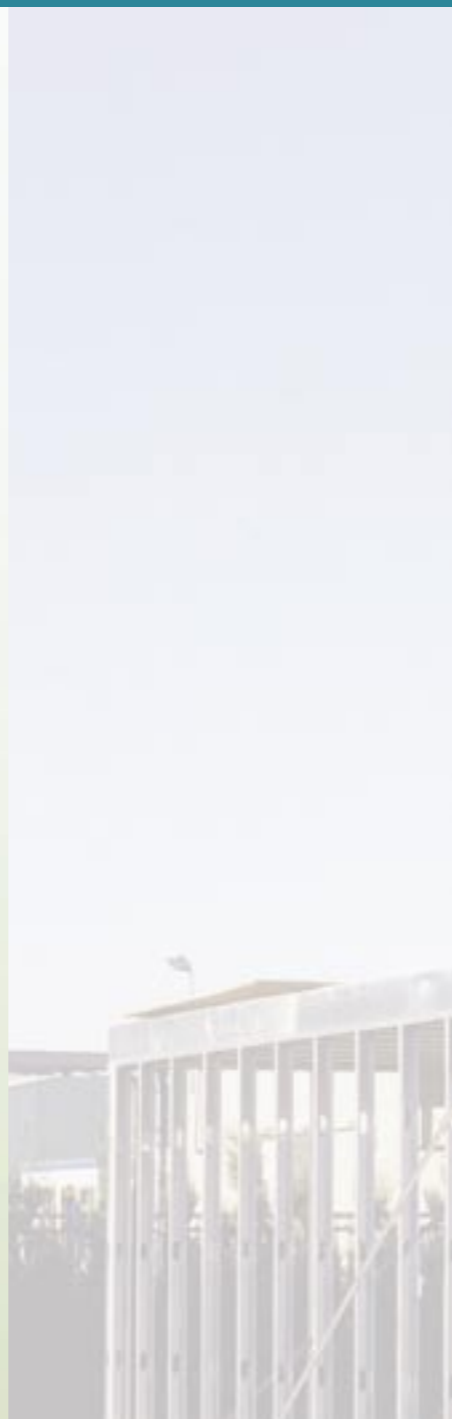
e-mail info@bouwenmetstaal.nl

internet www.bouwenmetstaal.nl/staalframebouw

Bouwen met Staal
Postbus 190
2700 AD ZOETERMEER
e-mail info@bouwenmetstaal.nl
internet www.bouwenmetstaal.nl/staalframebouw

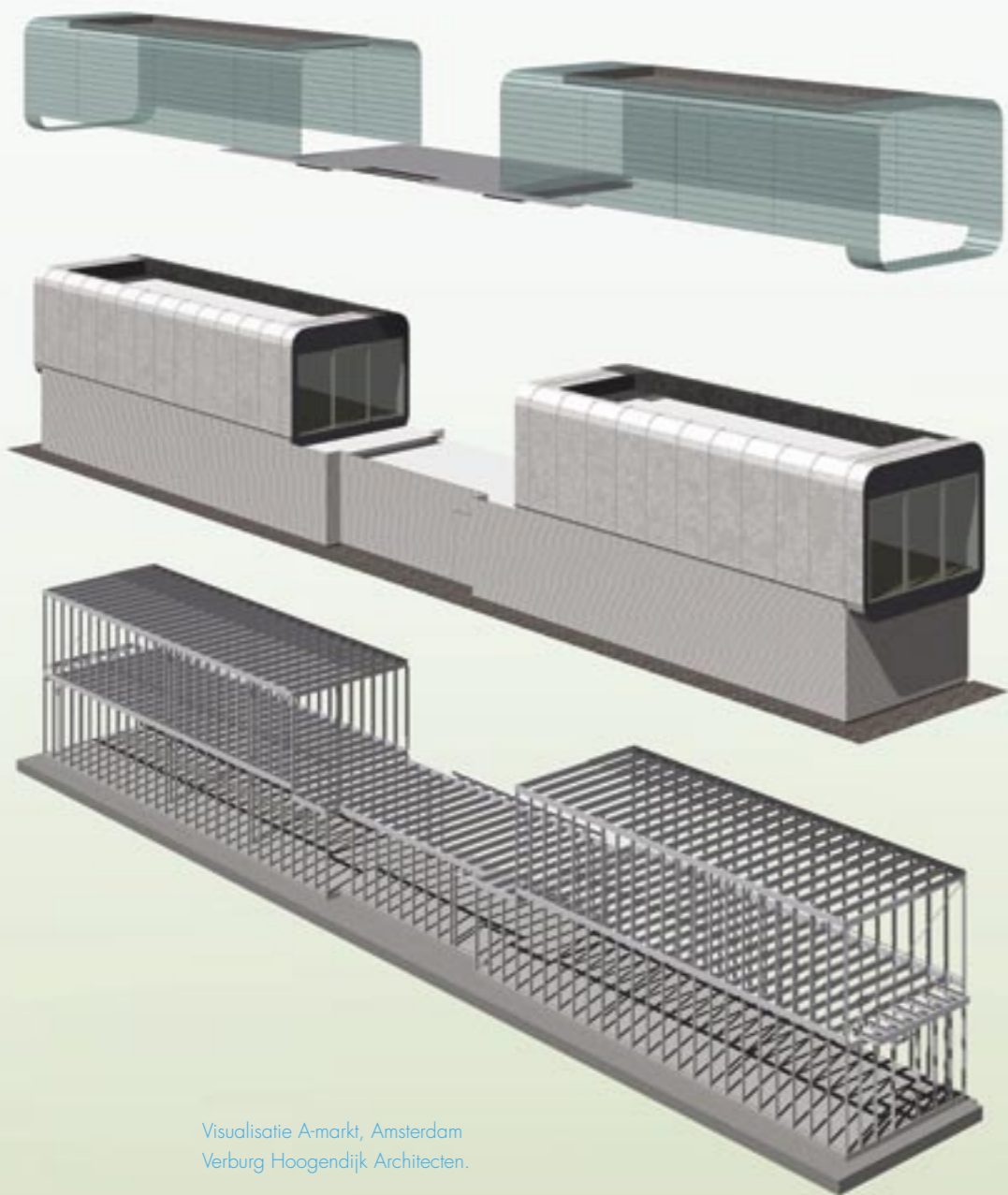


Visualisatie Amarkt, Amsterdam
Verburg Hoogendijk Architecten.



Bouwen met Staal
Postbus 190
2700 AD ZOETERMEER
e-mail info@bouwenmetstaal.nl
internet www.bouwenmetstaal.nl/staalframebouw

Staalframebouw



Visualisatie A-markt, Amsterdam
Verburg Hoogendijk Architecten.



Woningen in staalframebouw

Inhoud



Handboek staalframebouw
ISBN 90-72830-56-3
Bouwen met Staal
Postbus 190
2700 AD ZOETERMEER
tel. (079) 353 12 77
fax. (079) 353 12 78
www.bouwenmetstaal.nl/staalframebouw
www.woonen.nl

© Bouwen met Staal
2005
2^e gecorrigeerde druk

vormgeving en productie:
Visual lab, Rotterdam

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 de toepassing van deze publicatie.

Voorwoord

In landen als Engeland en Zweden is staalframebouw een bekende bouwmethode. In Nederland wordt staalframebouw nog op betrekkelijk kleine schaal toegepast. De methode is minder bekend bij opdrachtgevers en ontwerpers, maar ook bij uitvoerende partijen.

Voor u ligt een handboek over staalframebouw. Het is een vertaling van het Duitse boek 'Häuser in Stahlleichtbauweise'. Dit handboek geeft alle partijen die betrokken zijn bij staalframebouw projecten inzicht in de algemene facetten van het bouwen met staalframebouw. Waar moet je op letten met detailleren en tijdens de uitvoering? Hoe gedraagt staalframebouw zich bij brand? En welke bouw fysieke prestaties zijn mogelijk? Het handboek gaat in op deze vragen, én biedt handvatten bij de keuze voor staalframebouw.

Bewust is de oorspronkelijke opzet van het Duitse handboek aangehouden. Wél zijn de karakteristieke waarden voor bijvoorbeeld geluid en brand omgezet naar de Nederlandse norm. Waar afgeweken wordt van onze situatie, zijn kaders aangebracht met de vermelding van de afwijking en eventuele verwijzingen naar andere (Nederlandse) literatuur.

Bij de tweede druk

In deze tweede druk zijn enkele kleine correcties doorgevoerd. Zoetermeer 2005

Taskforce Staalframebouw

Om de bekendheid van staalframebouw in Nederland te vergroten, is de Taskforce Staalframebouw opgericht. In deze Taskforce – gevormd door Bouwen met Staal – zijn de diverse disciplines in staalframebouw vertegenwoordigd: ontwerpers, (bouw fysieke) adviseurs, bouwers en toeleveranciers. Gezamenlijk ontplooiën zij activiteiten voor een grotere bekendheid van staalframebouw. De leden zijn:

M.A. Barendsz, Bouwen met Staal

N. Bresser, FeNB2 Staalframebouw

H. van Duinen, Dingemans Elementenbouw

J. Hartog, TNO Bouw en Ondergrond

H.A. Hiemstra, BPB Nederland

J. Niermeijer, Corus

G.M.J. Nieuwenhuijzen, GeNieConsult

J. W. Niggebrugge, Kupers & Niggebrugge

M.C. Pauw, Bouwen met Staal

T.H. Peeters, Bouwkundig adviesbureau Van den Berg

J.A.A. van Strijp, MAT Staalframe

J.A.M. van Vliet, ABT

A.B.J. van Wezel, A3-architecten

Deze uitgave is tot stand gekomen dankzij de inspanningen en welwillende inzet van:

M.A. Barendsz, Bouwen met Staal

N. Bresser, FeNB2 Staalframebouw

J. Niermeijer, Corus

G.M.J. Nieuwenhuijzen, GeNieConsult

J.W. Niggebrugge, Kupers & Niggebrugge

M.C. Pauw, Bouwen met Staal

T.H. Peeters, Bouwkundig adviesbureau Van den Berg

B.C.H. Vervest, Advies- en ingenieursbureau Van de Laar

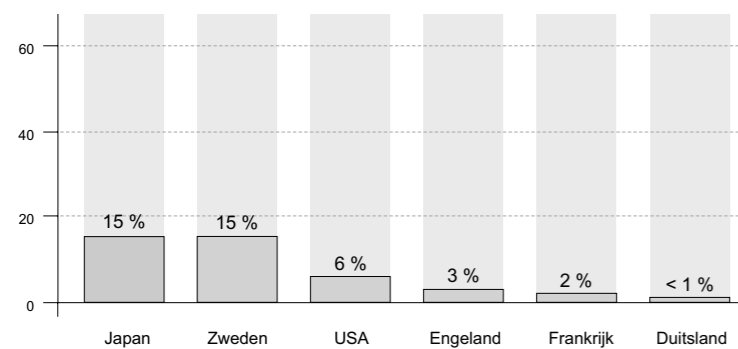
J.A.M. van Vliet, ABT

Inleiding	4	Vloeren in staalframebouw	33
		Geluidisolatie bij sanitaire installaties	35
Ontwerp en constructie	7	Thermische isolatie en vochtwering	39
Constructieve eigenschappen van staalframebouw	7	Thermische isolatie	39
Constructieprincipes	9	Vocht wering	49
Ontwerp en vormgeving	14	Brandveiligheid	54
Koud gevormde profielen voor staalframebouw	15	Functies	54
Productie en eigenschappen	15	Brandgedrag van bouwmaterialen in staalframebouw	54
Traagheidsmomenten voor stijlen en vloerliggers	17	Classificatie en bepaling van de brandwerendheid van staalframebouwonderdelen	54
Fabricage, prefabricage en montage	20	Brandwerende eigenschappen van holle wandconstructies	60
Assemblage op de bouwplaats	20	Corrosiebescherming	63
Prefabricage in de fabriek	20	Ontwikkelingsmogelijkheden van staalframebouw	66
Bouw fysieke eisen aan woningen	23	Voorbeelden	68
Akoestiek	23	Literatuur	70
Geluidisolatie van woningen in staalframebouw	23		
Luchtgeluidisolatie van staalframebouw wanden	30		

Woningen in staalframebouw

Inleiding

Nederland is niet het enige land binnen Europa waar staalframebouw (bouw)terrein wint. In omringende landen wordt staalframebouw veelvuldig toegepast (afb. 1). En om dezelfde redenen als in ons land: snel te bouwen, licht van gewicht met grote vrije overspanningen én wooncomfort. Maar ook de goede bouwfysische prestaties en de productie van unieke, maatvast elementen bij staalframebouw kennen geen landsgrenzen.



1. Marktandelen staal in de woningbouw.

Het verschil

Staalframebouw is niet hetzelfde als het in ons land meer bekende staalskeletbouw. Er zijn wel algemene overeenkomsten tussen de beide bouwmethoden: een gering eigen gewicht en een hoge bouwsnelheid. Maar constructief gezien verschillen ze als dag en nacht. Staalskeletbouw is het bouwen van lijnvormige elementen (liggers en kolommen) van warmgewalste profielen. Voor de benodigde afbouw wordt dit skelet ingevuld met wanden, vloeren en daken. Deze schijfvormige elementen zijn juist het uitgangspunt bij staalframebouw. Staalframebouw gebeurt met complete panelen voor wanden, gevels en daken. Aan de basis daarvan staan frames van koudgevoormde C- en U-profielen, gemaakt uit dun staalplaat. Voor ontwerpers en bouwers zijn deze constructieve verschillen van essentieel belang. Met staalskeletbouw is vrijwel elke vorm en elk volume mogelijk. Bij staalframebouw zijn overspanningen en openingen om constructieve redenen aan maximale maten gebonden.

De overeenkomst

Staalframebouw heeft veel weg van metal stud. Wederom niet in constructief opzicht: bij metal stud hebben de staalprofielen – van ongeveer 0,6 mm dik – geen dragende functie. Een staalframe – met 1 tot 4 mm dikke profielen – heeft dat wél. Wat dat betreft is staalframebouw net ‘dikke metal stud’. Bovendien heeft staalframebouw door de twee- of driedimensionale constructies logischerwijs meer ruimtelijke en esthetische mogelijkheden. Verdere overeenkomsten met metal stud zitten in de afwerking en uitvoering.

Het voordeel

Staalframebouw is een eigentijdse variant op houtskeletbouw (hsb) en prefab beton. Steeds vaker wordt staalframebouw gezien als een beter alternatief. Het combineert namelijk de pluspunten van hsb met de pluspunten van staal: lichter van gewicht, maatvaster dankzij krimpvrije materialen, minder gevoelig voor klimaatinvloeden én bestand tegen ongedierte en schimmels. Ook zijn grotere overspanningen en uitkragingen haalbaar. Een extra onderscheid met prefab beton is het gewicht én de kortere levertijd, omdat er niet met mallen wordt gewerkt. Het bijkomend voordeel daarvan is een ruimere ontwerpvrijheid bij kleine aantallen tegen relatief lage kosten.

De samenwerking

Staalframebouw gaat goed samen met andere bouwsystemen. De combinaties met staalskeletbouw zijn inmiddels talrijk; de reden is duidelijk: grote, kolomvrije en flexibel indeelbare plattegronden. Voorbeelden van de combinatie van staalframe- en staalskeletbouw zijn het Smarthouseconcept en de stadsvilla Van der Mark: beide hebben een staalskelet met staalframebouw wanden en een staalframebouw vloer op de verdiepingen en als dak. Misschien minder bekend is de staalframebouw aanhang- of optopmodule bij een betonnen casco (zie voorbeelden achterin). Of de staalframebouw invulwoningen onder een enorme houten kap, zoals bij het renovatieproject Schuttersveld in Delft. Drie bouwmethoden combineren in één project is ook mogelijk. Zo zijn elementen uit staalframebouw, staalskeletbouw én houtskeletbouw toegepast in de achttien Multiple Choice woningen in Almere. Met staalframebouw kunnen gebouwen tot zes lagen als een soort zelfdragende carrosserie worden opgezet, zoals het HEM-hotel in Amsterdam. Voor hogere gebouwen kan een staalskelet als hoofdconstructie dienen, waarbij de wanden, vloeren en daken van staalframebouw elementen worden gemaakt.



2. Henkenshage, Amsterdam.



3. Stadsvilla Van der Mark, Rotterdam.



4. Multiple Choice, Almere.

Woningen in staalframebouw



5, 6, 7. Gebouwen van staalframebouw met de staalconstructie in het zicht (Sadef, België).



8. Optop jongerenhostel Stayokay (Terschelling, 2001). Vanwege het lage toelaatbare gewicht kon deze uitbreiding uitsluitend met staalframebouw.



Recyclebaar

Staal is 100% recyclebaar. De staalframebouw elementen kunnen na demontage in hun geheel als bouwdeel worden ingezet in nieuwbouwprojecten, en zo een tweede leven krijgen. Maar ook kan het staal worden omgesmolten tot nieuw staal. Door de magnetische eigenschappen, kan staal in het recycleproces eenvoudig worden uitgesorteerd. Dit bouwafval wordt bijna volledig hergebruikt. De staalproductie vindt tegenwoordig voor meer dan de helft plaats uit het teruggenomen staal.

Binnenstedelijke herstructurering

De combinatie van prefab elementen met een laag gewicht én een grote ontwerprijheid, maakt staalframebouw goed geschikt voor stadsvernieuwing en renovatie. Juist daar onderscheidt staalframebouw zich door korte bouw tijden zonder hulpconstructies en biedt het oplossingen voor de herstructureringvraagstukken van nu en later.

Attesten en certificering in relatie met het Bouwbesluit in Nederland

Staalframebouw is in diverse landen, waaronder Duitsland en Engeland, voorzien van certificaten, attesten of andere kwaliteitsdocumenten. In deze documenten wordt aangegeven op welke wijze staalframebouw met verschillende principe-oplossingen en productcombinaties voldoet aan de gestelde prestatie-eisen. In Nederland is het staalframebouw systeem van Corus voorzien van een KOMO-Attest (afgegeven door IKOB-BKB). Dit geeft ontwerpers, bouwtoezichten en opdrachtgevers de zekerheid dat het systeem voldoet aan het Bouwbesluit, waardoor de bouwvergunning snel is af te geven. Het attest is dynamisch en actueel, het 'beweegt' mee met wijzigingen in het Bouwbesluit en de nieuwe ontwikkelingen worden, na toetsing, opgenomen.

Constructie en ontwerp

Constructieve eigenschappen van staalframebouw

De draagconstructie van staalframebouw met dunwandige koudgeformde staalprofielen is gelijk aan alle andere dragende stijl- en regelwerkssystemen (afb. 9), zoals houtskeletbouw.

De stijlen (C-profielen) worden aan de onderzijde en de bovenzijde in een regel (U-profiel) geplaatst. Het U-profiel verdeelt de (verticale) belasting over de verschillende stijlen.

Horizontaal dragende onderdelen in wanden (lateien), zoals boven deur- en raamopeningen, worden geplaatst op consoles of ze worden opgehangen tussen twee wanden.

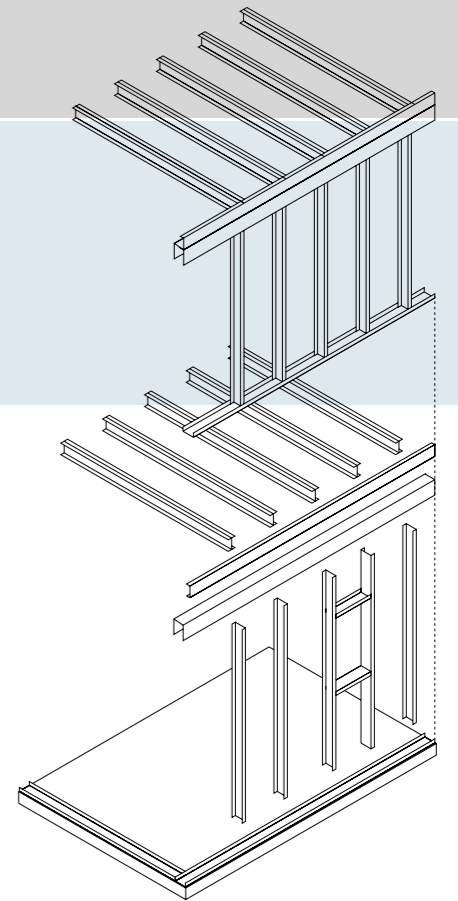
Constructief gezien verschilt staalframebouw fundamenteel van staalskeletbouw. De krachten worden niet afgedragen door een skelet, dus onafhankelijk van wanden en gevels, maar juist dóór deze (schijfvormige) wand- en vloerelementen die zowel de dragende als de scheidende functies vervullen.

Op het stijl- en regelwerk van koudgeformde staalprofielen (het staalframe) worden platen bevestigd. Het totaalpakket van de platen heet de bekleding. Het staalframe wordt ook geïsoleerd, vaak met minerale wol. Zo ontstaat een samengesteld onderdeel, een zogeheten element. Dit element kan krachten opnemen loodrecht op het vlak, maar ook evenwijdig aan het eigen vlak (stabiliteit). Staalframebouw kan dus voor horizontale én verticale krachtafdacht gebruikt worden. De stijfheid van bekleding is – bij voldoende bevestigingspunten – zó groot, dat de bekleding constructief meewerkt (schijfwerking). De koudgeformde profielen kunnen door de bekleding niet uitknikken in het wandvlak. De schijfwerking in het vloerelement voorkomt zo ook het 'kippen' van de vloerprofielen (zijdelings wegdraaien van de gedrukte flens). De wandelementen ondersteunen de vloeren, maar nemen ook de horizontale belastingen op, die veroorzaakt worden door windbelasting en onvoorziene scheefstand van het gebouw, of van het element.

De uiteindelijke sterkte van de wandelementen wordt dus mede bepaald door de soort bekledingsmateriaal, de dikte en de kwaliteit van de bekleding.

Het principe van het krachtenverloop is te zien in afbeelding 12.

De bekleding van een wandelement neemt de horizontale krachten uit de bovenliggende vloer op. Deze kracht wordt overgebracht naar de onderzijde en wordt daar omgezet in een verticale trek- en drukbelasting. De onderzijde van het element dient met voldoende, op trek berekende verankering aan de onderliggende constructie worden bevestigd te, zodanig dat de trekkrachten en de dwarskrachten



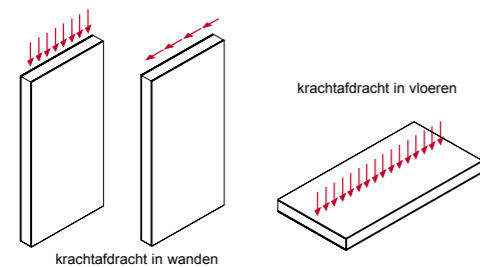
9. Constructieschema van staalframebouw.



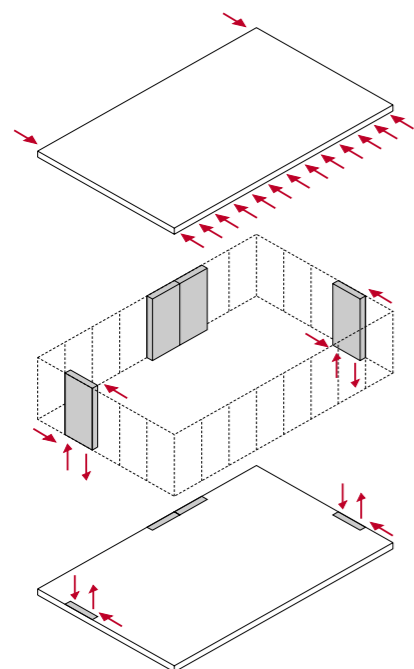
10. Draagconstructie van een zolderverdieping van koudgeformde staalprofielen (The Japan Iron and Steel Federation, Japan).

Woningen in staalframebouw

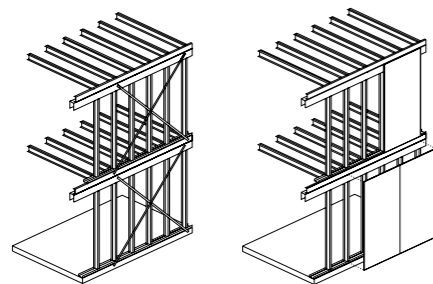
Ontwerp en constructie



11. Schijfwerking uit horizontale en verticale elementen.



12. Stabiliteit uit schijfvormige wand- en vloerelementen.

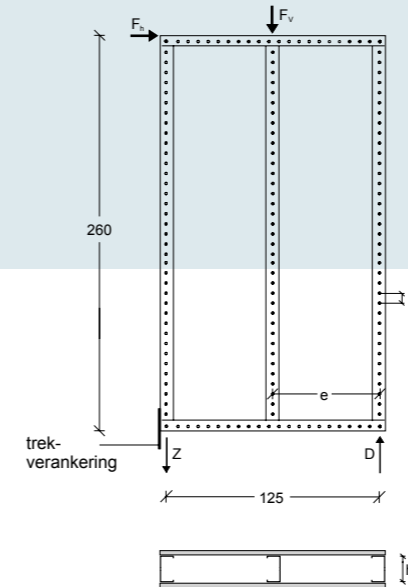


13. Stabiliteit met kruizen en schijfwerking uit beplating.

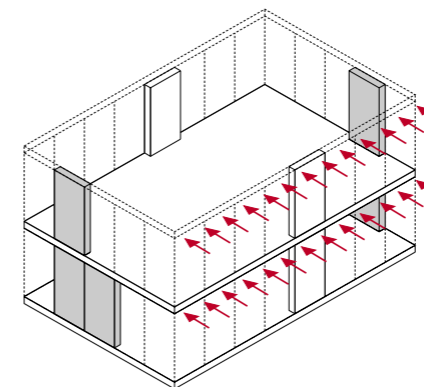
in de wandelementen, naar de volgende, lager gelegen vloer overgebracht kunnen worden (afb. 12).

Op dit moment zijn er voor staalframebouw geen Nederlandse rekenregels beschikbaar waarmee de stabiliteit uit de schijfwerking van de bekleding goed kan worden bepaald. De rekenregels kunnen echter worden herleid van het SBR-rapport 89, dat rekenregels bevat voor schijfwerking van triplex en gipsplaten voor stabiliteit in houtskeletbouw. In veel bedrijfsinformatie en certificaten van staalframebouw is de schijfwerking opgenomen. Maar ook worden de elementen vaak nog voorzien van traditionele windverbanden, bijvoorbeeld achter de beplating (afb. 13). Bij raam- en deuropeningen dient dan in het ontwerp rekening te worden gehouden met deze stabiliteitsvoorzieningen. In de Verenigde Staten zijn verschillende proeven uitgevoerd met staalframebouw wanden met een bekleding van Oriented Strand Board (OSB, chipwood), WBP en gipskartonplaat. De resultaten zijn als tabellen voor stabiliteit en seismische belastingen in de Amerikaanse normen (1998) opgenomen. Bij het Instituut voor Staalbouw en Mechanica aan de TU in Darmstadt zijn soortgelijke proeven gedaan. Daar zijn elementen getest die werden opgebouwd uit C-profielen 100x50x10x1,5 mm met aan beide zijden 12,5 mm dikke gipsvezelplaten met een h.o.h.-schroefafstand van $e_r = 100$ mm. Per stijl werd een kracht van $N_{sd} = 39$ kN aangebracht. Uit de proef kwam een afschuifwaarde voort van 8,0 kN (met een veiligheidsfactor 5).

De excentriciteit van de resultante van de winddruk wordt verwaarloosd bij gebouwen tot drie verdiepingen. Daarbij wordt echter geëist, dat in de vier gevels voldoende stabiliteit aanwezig is. De in afbeelding 16 aangegeven waarden, worden telkens over twee evenwijdige wanden verdeeld. Als er volgens de tabel slechts één stabiliteitswand nodig is, dan moet toch in beide wanden een schijf opgenomen worden, om de stabiliteit te verzekeren zonder aanvullende statische berekeningen. Bij de berekening is uitgegaan van een beukmaat van 7500 mm en een verdiepingshoogte van 2800 mm.



14. Wand voor schijfwerkingsproeven.



15. Systeem van stabiliserende wandelementen.

woning-lengte	dakhelling	aantal wanden van 1,25 m lang	
		op de begane grond	op de verdieping
5,00 m	plat dak	2	1
	30°	3	2
	45°	3	2
7,50 m	plat dak	3	1
	30°	4	2
	45°	6	3
10,00 m	plat dak	3	1
	30°	5	3
	45°	6	4
12,50 m	plat dak	4	2
	30°	6	3
	45°	8	5
15,00 m	plat dak	5	2
	30°	7	4
	45°	9	6

16. Aantal stabiliteitswanden per verdieping, afgezet tegen de woningdiepte.



17. Woningen met een hoofddragconstructie in staalframebouw (Dedemsvaartweg, Den Haag).

Constructieprincipes

Net als bij de houtskeletbouw onderscheidt men bij staalframebouw de platform- en de ballonmethode

Platformmethode

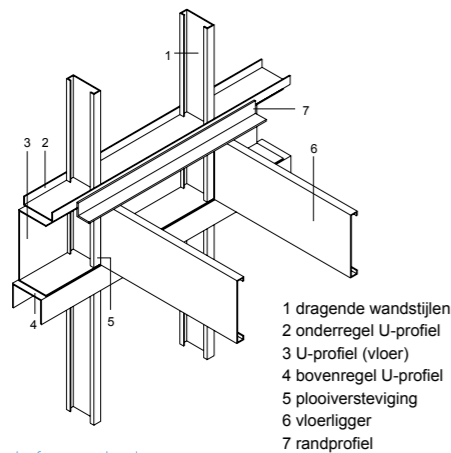
Bij deze methode worden eerst de wanden geplaatst, daarop wordt de vloer gelegd. Op die vloer worden de volgende wanden geplaatst, enzovoort. Zo worden de krachten uit de wanden via de vloerelementen overgedragen naar de onderliggende constructie. De platformmethode is de meest bekende én meest gebruikte manier van bouwen. Een voordeel van deze methode ten opzichte van de ballonmethode is, dat er altijd een werkvloer aanwezig is voor de montage van de volgende elementen.

Balloonmethode

Bij de ballonmethode worden de vloeren naast, of tussen de wandelementen opgehangen. De dragende wandelementen lopen verticaal voorbij de vloer door. Bij de ballonmethode kunnen grotere wandelementen toegepast worden. De constructie bij een horizontale aansluiting kan met minder profielen worden uitgevoerd. Ook de dampremmende laag kan daar ononderbroken worden aangebracht. Er staat tegenover, dat het aansluitdetail constructief ingewikkelder is.

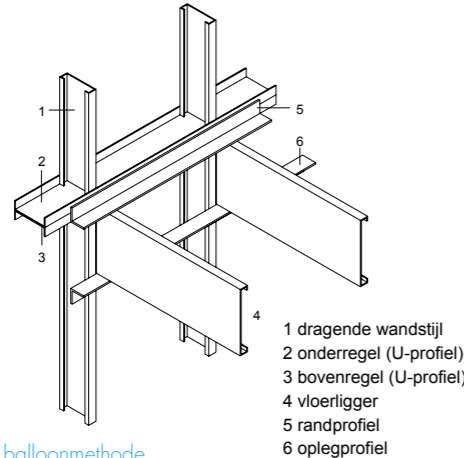
Woningen in staalframebouw

Ontwerp en constructie



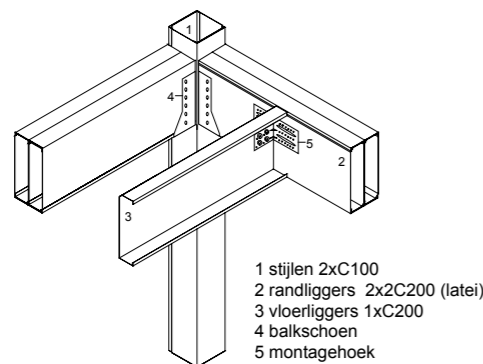
- 1 dragende wandstijlen
- 2 onderregel U-profiel
- 3 U-profiel (vloer)
- 4 bovenregel U-profiel
- 5 plooversteving
- 6 vloerligger
- 7 randprofiel

18. Opbouw bij de platformmethode.



- 1 dragende wandstijl
- 2 onderregel (U-profiel)
- 3 bovenregel (U-profiel)
- 4 vloerligger
- 5 randprofiel
- 6 oplegprofiel

19. Opbouw bij de ballonmethode.



- 1 stijlen 2xC100
- 2 randliggers 2x2C200 (latei)
- 3 vloerliggers 1xC200
- 4 balkschoen
- 5 montagehoek

20. Balloonmethode bij hoge vloerbelastingen met gecombineerde C-profielen.

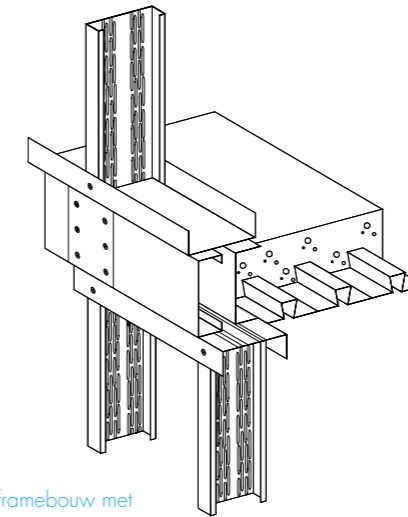
Staalframebouw kan 'zuiver' worden toegepast, maar ook in combinatie met andere bouwsystemen. Grote overspanningen vanaf 8 m kunnen met extra warmgewalste profielen of portalen worden gerealiseerd. Het gebouw kan een heel staalskelet als hoofddragconstructie hebben, waarbij de vloeren en wanden worden uitgevoerd in staalframebouw. Maar ook kunnen dragende binnenwanden worden vervangen door een staalskelet waarbij alleen de dragende gevels, de vloeren, het dak en eventueel de niet-dragende binnenwanden in staalframebouw worden uitgevoerd. Daarnaast kunnen staalframebouw wanden gecombineerd worden met staalplaat-betonvloeren. Er bestaan ook specifieke – soms gepatenteerde – systemen met speciale profielen (afb. 23).

De staalprofielen worden via schroeven of clinchen (drukvoegen) onderling bevestigd. De platen worden op de stijlen geschroefd of genageld met behulp van persluchtapparaten (meer hierover in het hoofdstuk: Productie, prefabricage en montage).

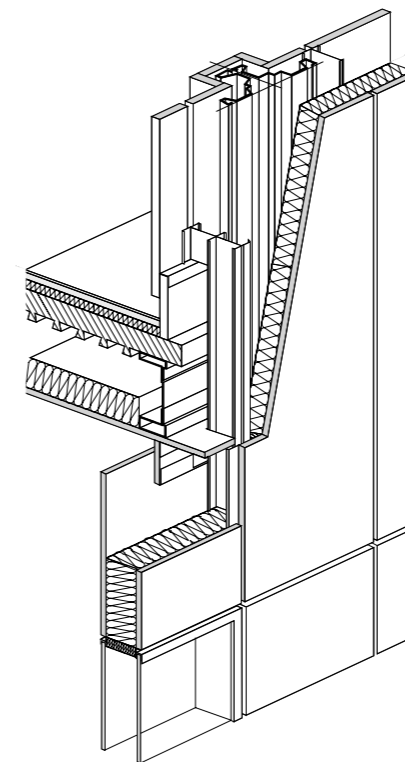
De h.o.h. afstanden van de C-profielen (stijlen en vloerprofielen) is verschillend en wordt bepaald door de statische berekeningen en door de afmetingen van de platen. Een praktische en veel voorkomende h.o.h. afstand is 600 mm, gebaseerd op een plaatbreedte van 1200 mm. Bij grotere staaldiktes van 1,0 tot en met 4 mm en sterkere platen zijn h.o.h. afstanden tot 1200 mm mogelijk, afhankelijk van de belasting en de doorbuigingsseisen.

De h.o.h. afstand van de stijlen in een gevelelement is feitelijk ondergeschikt aan het ontwerp van de gevel.

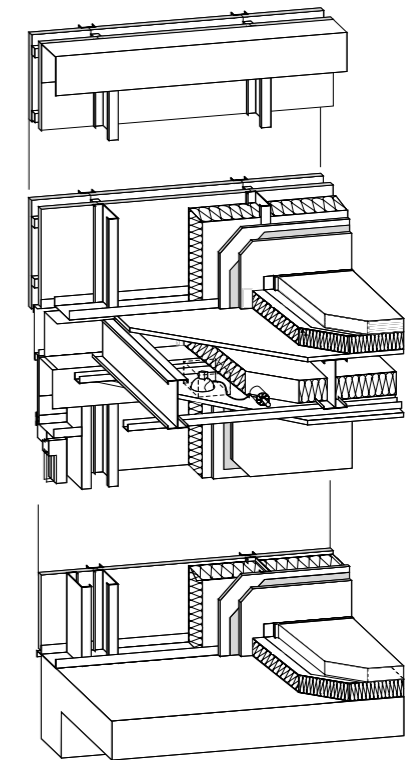
Het is gunstig als de sparingen in wandelementen zijn afgestemd op de h.o.h. afstand van de stijlen. Dan hoeft de logische stijverdeling niet te worden doorbroken. Grotere sparingen in dragende wand- en vloerelementen kunnen worden overspannen met dikkere of met in elkaar geschoven staalprofielen (lateiconstructie), of eventueel met warmgewalste staalprofielen.



22. Mengsysteem van staalframebouw met staalplaat-beton vloeren.



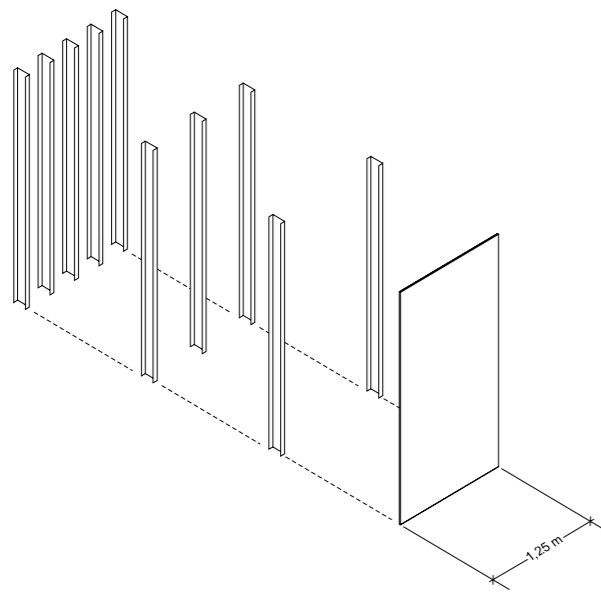
23. Staalframebouw met speciale profielen.



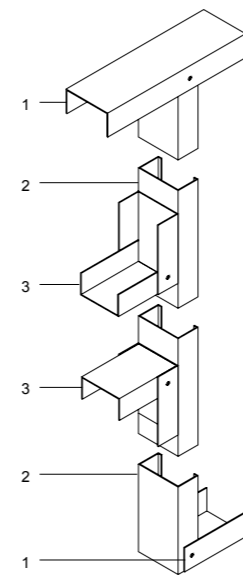
24. Ruwbouw en afbouw in staalframebouw.

Woningen in staalframebouw

Ontwerp en constructie



25. De h.o.h. afstanden van de stijlen zijn afhankelijk van het plaatmateriaal.



1 regels van U-profielen
2 stijlen van C-profielen
3 kalven van U-profielen

gevel-constructie	wandopbouw	dikte	R_c (m ² K/W)	R_a (db(A))
	staalframebouw stucwerk minerale wol kleefband gipsvezelplaat staalframebouw/ minerale wol gipsplaat, dampremmende folie gipsplaat	230 mm	4	51 dB
	kalkzandsteen blokken stucwerk minerale wol kleefmortel kalkzandsteen stucwerk (binnen)	345 mm	2,86	48 dB

27. Vergelijk van bouwfysische eigenschappen.

Het materiaalsoort en de dikte van het plaatmateriaal voor de bekleding van de staalframes worden bepaald door de constructieve, brandwerende en de akoestische eisen die aan het onderdeel, of aan het gehele gebouw, worden gesteld (voor meer informatie, zie de hoofdstukken: Akoestiek en Brand).

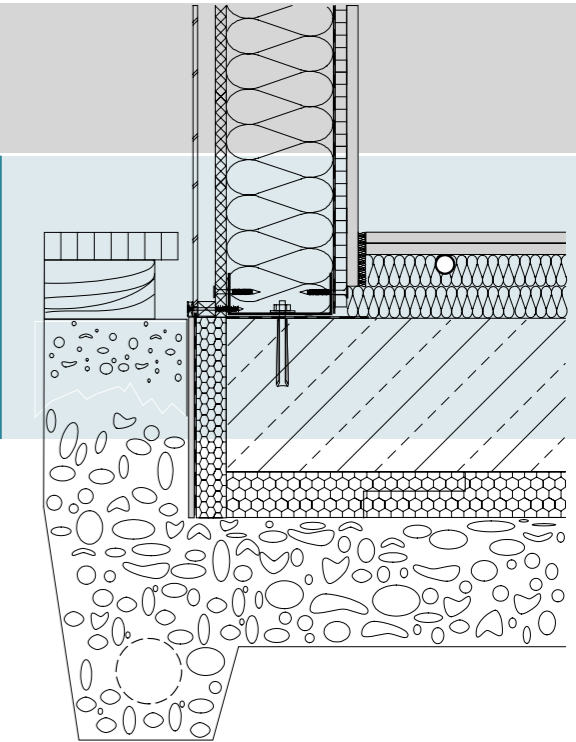
De ruimte tussen de stijlen kan net als bij de houtskeletbouw en metal stud met minerale wol worden geïsoleerd. De soort isolatie en de dikte zijn afhankelijk van de prestaties die het onderdeel moet leveren.

Bij een vergelijking met de traditionele steenachtige bouwmethoden, onder gelijke randvoorwaarden, onderscheidt staalframebouw zich in meerdere opzichten positief. Bij een vergelijkbare wand- en vloerdikte, presteert staalframebouw beter op thermisch en akoestisch gebied.

Keert men de vergelijking om en gaat men uit van gelijke prestaties, dan resulteert dit bij staalframebouw in kleinere diktes en dus in een toename van de netto vloeroppervlakte. Dit kan bij een woning met een oppervlakte van 120 m² oplopen tot 10% winst.



28. De installaties kunnen worden doorgevoerd door voorgeboorde gaten in de profielen.



29. Aansluitdetail van een staalframebouw wand op een niet-onderheide fundering.



30, 31 (onder). Geprefabriceerde staalframebouw elementen combineren een hoge bouwsnelheid met een laag gewicht.

In de holle ruimte tussen de stijlen kunnen leidingen eenvoudig in het systeem opgenomen worden. In de staalprofielen kunnen standaard gaten worden aangebracht om leidingen door te voeren. Bij het aanbrengen van leidingen dient men erop toe te zien, dat de doorvoeren akoestisch en constructief verantwoord worden uitgevoerd. De leidingen dienen vrij te worden gehouden van direct contact met het staalframe, om geluidsoverdracht van de leidingen naar de profielen (geluidlekken) te voorkomen.

Door het geringe eigen gewicht van de constructie kunnen bestaande gebouwen met nog een (kleine) restcapaciteit in de fundering, zonder extra aanpassingen aan de fundering van extra bouwlagen worden voorzien (optoppen). Het lage eigen gewicht biedt evenveel voordeel bij nieuwbouw. Bij gebouwen tot drie verdiepingen is het mogelijk de constructie direct op een gestorte begane-grondvloer af te steunen, zonder heipalen.

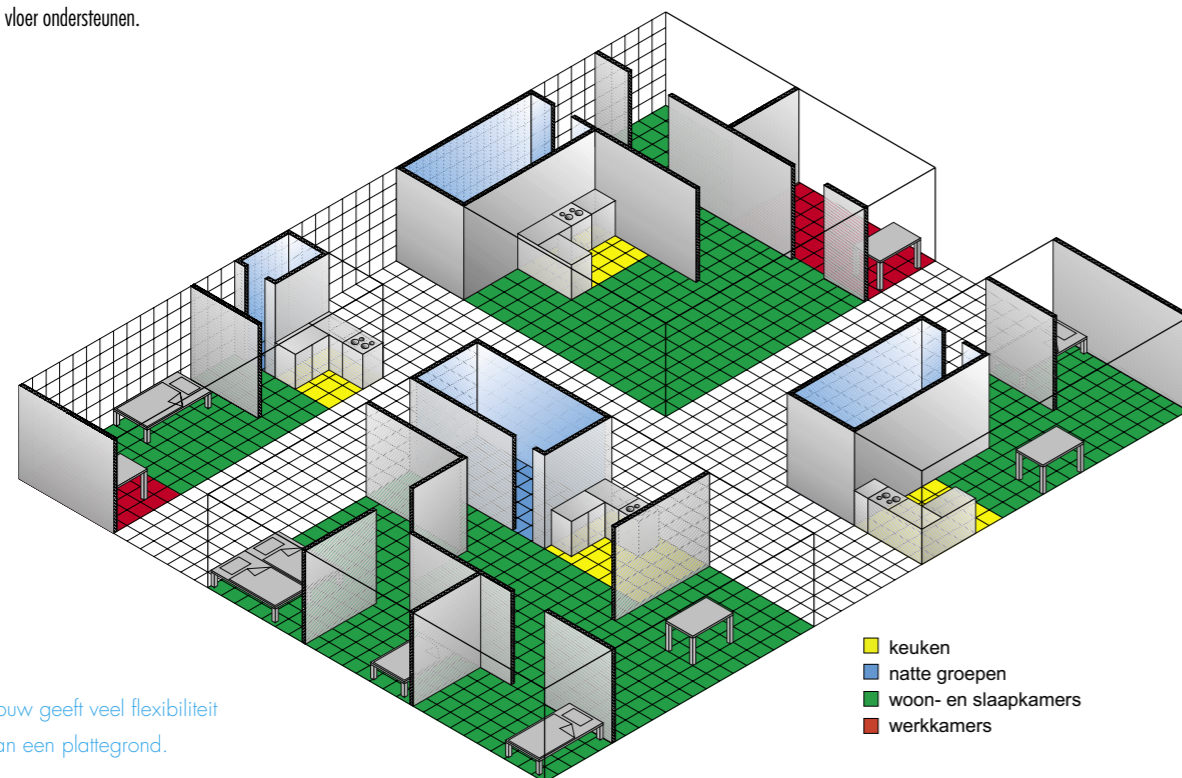
Woningen in staalframebouw

Ontwerp en constructie

Ontwerp en vormgeving

Vloerconstructies met overspanningen tot 8 m kunnen zonder problemen in staalframebouw worden uitgevoerd (zie het hoofdstuk: Koudgevormde profielen voor staalframebouw, paragraaf: vloerprofielen). Daardoor is het mogelijk om woningen met een gangbare indeling (eengezinswoningen) zonder enige beperking uit te voeren in staalframebouw. Voor grotere overspanningen kunnen hogere of samengestelde vloerprofielen worden gebruikt. Daarnaast kan men aanvullend gebruik maken van warmgewalste staalprofielen. Een andere optie is de combinatie met een staalplaat-beton vloer voor overspanningen tot 7 m. Met staalframebouw kan, door de eenvoud van het systeem, met een grote mate van flexibiliteit worden ontworpen. Het is zinvol om stabiliteitswanden in de gevel of rond trappenhuizen en sanitaire gedeelten te plaatsen. Op die manier heeft de ontwerper nog meer vrijheid bij de indeling. Met de juiste trekverankerung kunnen de stabiliteitselementen zelfs beperkt blijven tot een breedte van 1,25 m, ook wanneer de wanden verder geen vloer ondersteunen.

Toekomstige uitbreidingen of herindelingen kunnen eenvoudig worden uitgevoerd, als daar bij het ontwerp rekening mee is gehouden. Wanneer bijvoorbeeld alleen de gevelelementen en de woningscheidende wanden als dragend element of als stabiliteitswand worden ontworpen, kan de binnenruimte volkomen vrij worden ingedeeld of zelfs helemaal open blijven, zodat de woning aan wisselende bewonersbehoeftes kan worden aangepast. Door in het ontwerp rekening te houden met extra installaties en door leidingen te bundelen, kunnen veranderingen eenvoudig worden gerealiseerd. Er zijn vrijwel geen beperkingen aan de vormgeving van de staalframebouw elementen en de afbouw. Afhankelijk van de gewenste bouw fysische prestaties en statische belastingen zijn diverse bekledingsmaterialen aan de binnenzijde mogelijk, die op elke denkbare wijze kunnen worden nabehandeld (schilderen, behangen, stukadoors, bekleden enzovoort). Ook kan de bekleding onbehandeld blijven (chipwood of speciale fineerplaten). Voor de gevels zijn eveneens alle gangbare materialen en systemen mogelijk (pleisterwerk, metselwerk, rabat enzovoort).



32. Staalframebouw geeft veel flexibiliteit bij de indeling van een plattegrond.

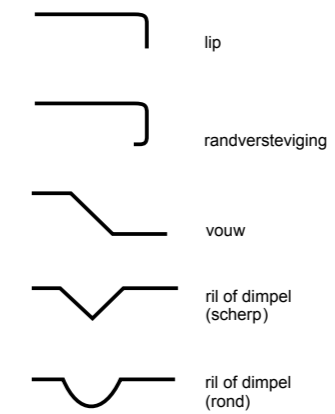
Koudgevormde profielen voor staalframebouw

Productie en eigenschappen

Koudgevormde staalprofielen worden gemaakt uit koud- of warmgewalste dun staalplaat (het moedermateriaal). Het moedermateriaal komt direct vanaf de staalfabriek en kan al zijn voorzien van een coating (verf, zink). De staalplaat wordt geleverd op rollen (coils). De gewenste profielvorm wordt verkregen door het zetten (vouwen) of rolvormen (profielwalsen) vanaf de coils.

Een overzicht van de staalsoorten die koud zijn te vervormen staat in tabel 3.1 van Eurocode 3, hoofdstuk 1-3. De rekgrens van deze staalsoorten ligt tussen 220 en 500 N/mm². In het algemeen wordt een verzinkt staalplaat gebruikt met een rekgrens van 280 tot 350 N/mm².

Koud vervormen is een makkelijke en simpele productiewijze met veel verschillende mogelijkheden in doorsnede vorm, die allemaal toepasbaar zijn in staalframebouw. Er worden verschillende profielen als standaard op de markt aangeboden. Afwijkende vormen zijn leverbaar, maar kunnen bij kleinere aantallen minder economisch zijn. In diverse (bedrijfs-)documentatie zijn de standaardafmetingen van koudgevormde profielen terug te vinden. De staaldikte van de in afbeelding 33 getekende profielen varieert tussen de 1 en 4 mm. Ondanks de relatief geringe staaldiktes kunnen deze profielen constructief veel hebben en daardoor kan staalframebouw ook in meerlagse woningbouw tot en met zes lagen toegepast worden. Boven de zes lagen is een aanvullende constructie nodig, bijvoorbeeld een warmgewalst staalskelet. Niet-dragende staalprofielen voor lichte scheidingswanden worden gemaakt met staaldiktes tot 0,7 mm. De sterkte van de profielen moet aan de hand van NEN 6773 worden vastgesteld. Deze norm houdt ook rekening met een

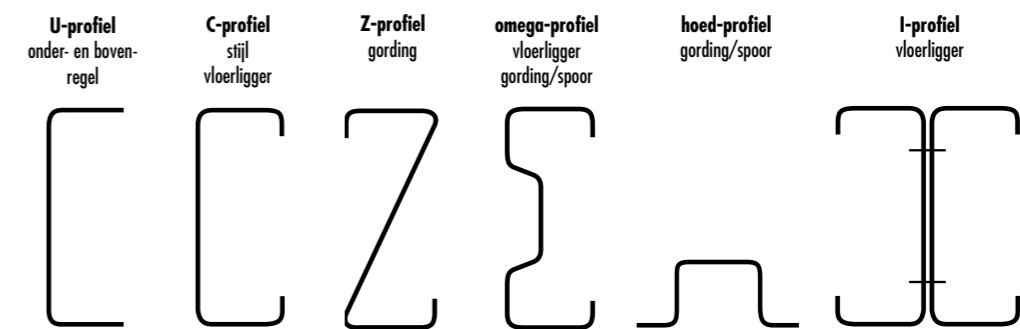


34. Verstevingen in het lijf of de flenzen.

verhoogde sterkte na het profileren, want het vervormen maakt het staal 'sterker'. Dunwandige profielen zijn gevoelig voor (lokaal) plooiën, en dat heeft invloed op het uiteindelijke draagvermogen.

Door verstijvingen in de verschillende delen van een profiel aan te brengen (afb. 34), kunnen de toelaatbare plooispanningen worden verhoogd. De volgende punten zijn daarbij van belang:

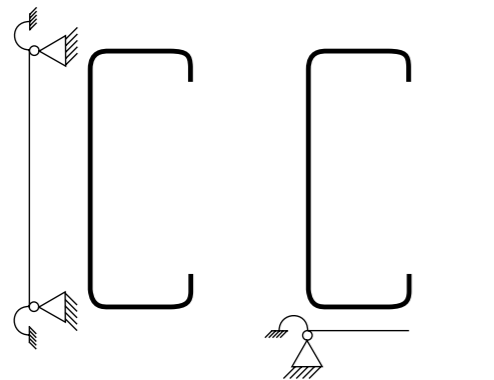
- eenzijdig opgelegde delen van een profiel (zie afb. 35), zoals de flenzen, worden altijd sterker door een extra randversteving (een lip);
- een verzet of dimpel in een tweezijdig opgelegd deel (lijf) is effectiever dan een ril;
- twee rillen op een deel is voldoende, meer rillen hebben geen effect;
- springen voor installaties worden alleen in het lijf aangebracht en mogen geen verstijvingen doorbreken.



33. Doorsnedes van koudgevormde profielen voor de woningbouw.

Woningen in staalframebouw

Koudgevormde profielen voor staalframebouw



tweezijdig opgelegd profieldeel

eenzijdig opgelegd profieldeel

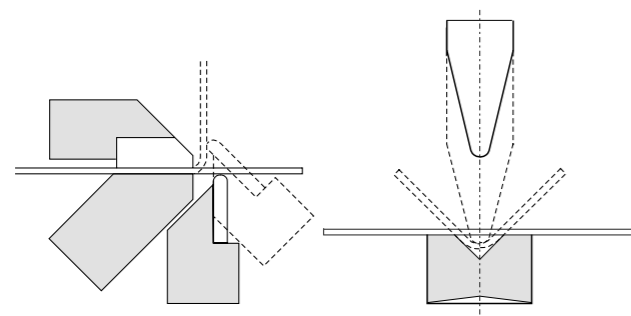
$$\rho = \frac{1}{\lambda} \cdot \left(1 - \frac{0,22}{\lambda} - \frac{0,8 \cdot d_h}{h} \right)$$

d_h = gatdiameter
 h = profielhoogte
 $b_{eff} = \rho \cdot b$

$$\lambda = \sqrt{\frac{\sigma_d}{\sigma_{ki}}}$$

met $\sigma_d \leq f_{y,d}$ en σ_{ki} is de ideaal elastische plooispanning

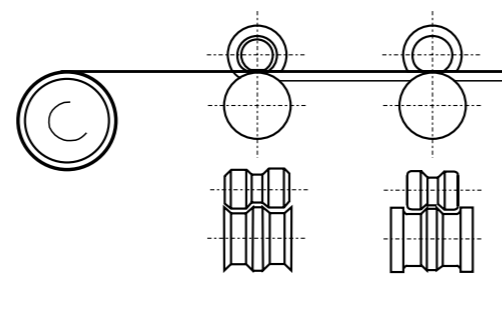
35. Eenzijdig en tweezijdig opgelegde delen van een dunwandig koudgevoormd staalprofiel.



zetbank met 'zij-pers'

zetbank met 'bovenpers'

36. Schaarvormen van een zetbank.



tussenstappen bij een rolvormer

37. Walsprincipe van een rolvormer.

De invloed van een rond gat in het midden van een lijf mag bij een op buiging belaste ligger (vloer) worden verwaarloosd als de verhouding tussen gatdiameter en de lijfhoogte tussen 0,3 en 0,5 ligt. Bij een tweezijdig opgelegd deel (lijf) met een rond gat in het midden van dan deel onder een constante drukspanning, zoals bij een wandstijl, moet de meewerkende breedte van het lijf worden gereduceerd.

Koudgevormde profielen worden op de volgende manieren geproduceerd:

- zetten;
- rolvormen.

Het zetten gebeurt met een zetbank of pers. De staalplaat wordt ingeklemd in de machine en wordt daarna in de juiste hoek 'gezet'. Hierbij kan de radius worden aangepast (afb. 36). In een pers drukt een stempel de plaat in een gewenste vorm. Ook ronde rillen kunnen bijvoorbeeld worden geperst. Rolvormen is de meest gebruikelijke en belangrijkste manier van produceren van koudgevormde profielen. De staalplaat wordt direct vanaf de coil door machinaal aangedreven rollen in de juiste vorm gewalst (afb. 37). Het aantal achter elkaar liggende rollen wordt bepaald door de gewenste eindvorm. Voor een extra lip is bijvoorbeeld een extra rol nodig. De profielen kunnen met lengtes tot ongeveer 16 m worden gerolvormd. Door het rolvormen kunnen walspanningen ontstaan in het materiaal, vooral bij de vlakke onderdelen. Door te variëren in de profielvorm – denk aan extra verstijvingen als rillen en dimpels – kunnen walspanningen worden voorkomen. Een tweede, belangrijker effect van extra verstijvingen is dat het profiel sterker wordt.

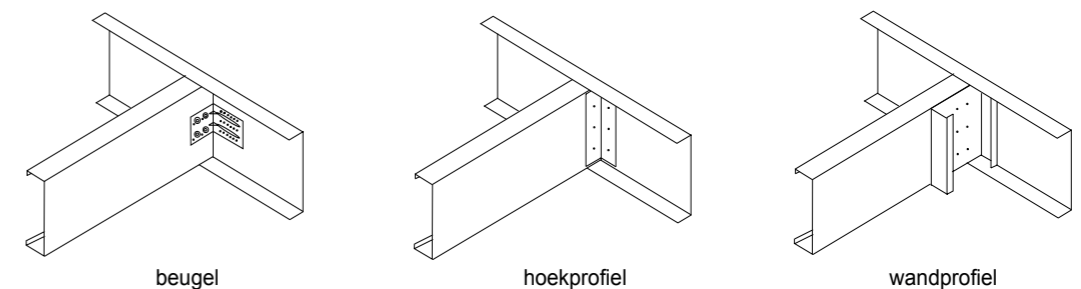
Tragheidsmomenten voor stijlen en vloerliggers

Voor de berekening van de waarden in de tabellen van afbeeldingen 40 en 41 zijn de volgende voorschriften en aannames gehanteerd:

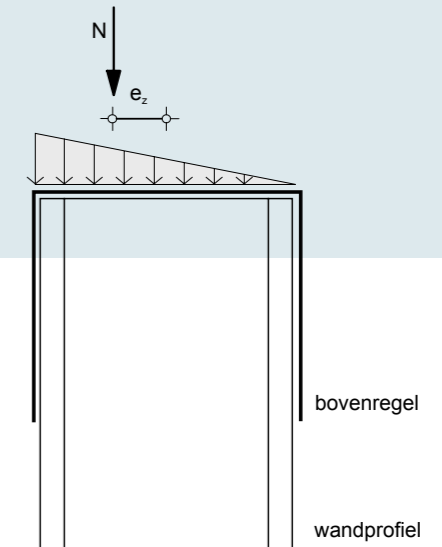
- De berekening is conform DAS-016.
- Het staal heeft een rekgrens van 320 N/mm² (FeE 320 G volgens EN 10147).
- De waarden in figuur 40 gelden alleen voor wandstijlen met tweezijdige beplating. De beplating verzorgt ook de schijfwerking in de wand.

Stijlen

De stijlen worden beschouwd als pendelstaven, liggers op twee steunpunten waarvan één met een rolplegging. De tweezijdige beplating voorkomt hierbij het uitknikken van de profielen over de zwakke as en de torsieknik. In de tabel is onderscheid gemaakt in kniklengtes van 2600, 3000 en 3500 mm. Soms komt het voor bij wandstijlen in de gevel dat rekening moet worden gehouden met een excentrische normaalkracht. Hier is voor de maximale excentriciteit $h/6$ aangehouden (afb. 38). Bij binnenwanden en woningscheidende wanden kan automatisch met een centrische normaalkracht worden gerekend. In de tabellen zijn daarom de volgende grensgevallen berekend $e_z = 0$ (woningsscheidende wand), $e_z = h/6$ (gevel), en $e_z = h/12$ (rekenkundig gemiddelde). Vervolgens variëren de profielhoogte en de staaldikte van de verschillende C-profielen. De flens is op 50 mm gesteld: dat is minimaal nodig om de wandplaten voldoende te kunnen bevestigen. Voor de lip is 10 mm aangehouden.



39. Plooiverstijvingen bij de opleggingen.



38. Excentrische belasting op een stijl.

Vloerliggers

Voor het eigen gewicht van de vloerconstructie is uitgegaan van 1,55 kN/m² (inclusief eigen gewicht van de liggers). Als veranderlijke belasting is uitgegaan van 2,0 en 3,5 kN/m². De maximale overspanning van de vloerliggers is als volgt bepaald:

1. de grenswaarde van het buigend moment van de liggers is $M_{y,d} = f_y W_{eff}$;
2. kip wordt verhinderd door de vloerbeplating (schijfwerking);
3. de grenskracht voor de dwarskracht is $V_{z,d}$;
4. maximale doorbuiging is $\ell/500$ (ten gevolge van de veranderlijke belasting).

Ten slotte wordt ook de maximale oplegkracht $R_{y,d}$ weergegeven bij een opleglengte van 50 mm. Dunwandige profielen zijn gevoelig voor het plooiën van het lijf, vooral bij de oplegging. De oplegging is daarom vaak maatgevend in de sterkteberekening.

Woningen in staalframebouw

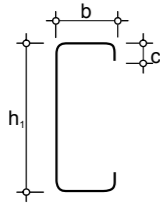
Koudgevormde profielen voor staalframebouw

De waarden

aan de hand van de bijbehorende Duitse normen. In Nederland geldt voor de berekening van staalframebouw constructies de NEN 6773.

De waarden uit afbeeldingen 40 en 41 zijn derhalve indicatief. De grijze vlakken geven de meest gebruikelijke profielen aan.

C-profiel voor wanden



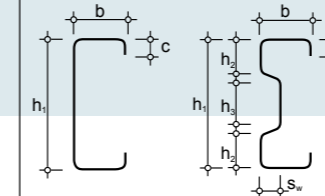
profielgegevens:
 lijfhoogte h_1
 flensbreedte b
 liphoogte c
 staaldikte t

A_{eff}^D = effectief doorsnede (druk) [mm²]
 A_{eff}^B = effectief doorsnede (buiging) [mm²]
 $W_{eff,y}$ = weerstandsmoment [cm³]
 ℓ = profiellengte (= kniklengte) [m]
 e_{pz} = excentriciteit [mm]
 $N_{R,d}$ = grenswaarde [kN]

Profiel $h_1 \times b \times c$	t [mm]	A_{eff}^D [mm ²]	A_{eff}^B [mm ²]	$W_{eff,y}$ [cm ³]	e_{pz} [mm]	ℓ [m]	$N_{R,d}$ [kN] $e_z = 0$	$N_{R,d}$ [kN] $e_z = h/12$	$N_{R,d}$ [kN] $e_z = h/6$
C 100 x 50 x 10	1,0	106,7	163,1	4,75	7,28	2,60	27,2	21,9	19,9
						3,00	24,6	20,2	18,5
						3,50	21,5	17,8	16,5
C 100 x 50 x 10	1,5	217,4	287,4	8,74	2,71	2,60	54,4	43,8	39,6
						3,00	48,7	39,7	36,2
						3,50	41,8	34,5	31,9
C 100 x 50 x 10	2,0	338,7	397,0	12,13	2,18	2,60	76,4	61,5	55,6
						3,00	68,3	55,6	50,7
						3,50	58,4	48,2	44,5
C 150 x 50 x 10	1,0	106,7	163,4	7,35	14,67	2,60	31,0	24,1	21,2
						3,00	29,7	23,4	20,7
						3,50	27,9	22,3	20,0
C 150 x 50 x 10	1,5	220,2	338,0	14,36	5,43	2,60	64,1	56,2	48,8
						3,00	64,1	54,4	47,8
						3,50	64,1	51,7	46,3
C 150 x 50 x 10	2,0	350,0	493,2	20,80	2,96	2,60	101,8	86,0	74,4
						3,00	101,8	83,3	73,2
						3,50	99,1	78,6	70,2

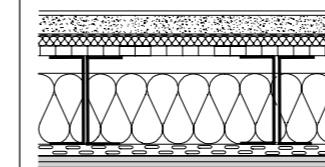
40. Tabel met traagheidsmomenten van wandprofielen.

C-profiel, Σ -profiel en I-profiel (2xC) voor vloeren



profielgegevens:

lijfhoogte h_1
 flensbreedte b
 liphoogte c
 staaldikte t



vloertegels, 10 mm
 anhydriet, 40 mm
 geluidisolatie 20 mm
 houten bekleding 26 mm
 vloerprofielen
 isolatie 120 mm
 gipsplaten 2x12,5 mm

W_{eff} = weerstandsmoment [cm³]
 I_{eff} = effectief traagheidsmoment [mm⁴]
 $M_{y,Rd}$ = maximaal moment [kNm]
 $R_{u1,Rd}$ = oplegreactie [kN]
 $V_{z,Rd}$ = dwarskracht [kN]
 p = veranderlijke belasting [kN/m²]
 b = h.o.h. afstand profielen [cm]
 ℓ_{gr} = toelaatbare overspanning [m]

permanente belasting 1,55 kN/m²

profiel $h_1 \times b \times c \times t$ $h_2 \times h_3$	W_{eff} [cm ³]	I_{eff} [cm ⁴]	$M_{y,Rd}$ [kNm]	$R_{u1,Rd}$ [kN]	$V_{z,Rd}$ [kN]	$p = 2,0$ $b = 40$ cm	$p = 2,0$ $b = 60$ cm	$p = 3,5$ $b = 40$ cm	$p = 3,5$ $b = 60$ cm
						ℓ_{gr} [m]	ℓ_{gr} [m]	ℓ_{gr} [m]	ℓ_{gr} [m]
C 150 x 50 x 10 x 1,0	7,35	71	2,14	1,69	5,58	2,88	2,35	2,40	1,96
C 150 x 50 x 10 x 1,5	14,36	120	4,18	3,50	20,5	3,64	3,18	3,02	2,64
C 150 x 50 x 10 x 2,0	20,80	165	6,05	6,06	40,1	4,05	3,54	3,36	2,93
C 200 x 50 x 10 x 1,0	10,07	134	2,93	1,69	4,18	3,36	2,70	2,81	1,88
C 200 x 50 x 10 x 1,5	19,41	228	5,65	3,50	15,4	4,51	3,81	3,74	3,18
C 200 x 50 x 10 x 2,0	30,37	326	8,84	6,06	40,1	5,08	4,44	4,22	3,69
C 250 x 50 x 10 x 1,5	24,95	378	7,26	3,50	12,3	5,26	4,32	4,40	3,61
C 250 x 50 x 10 x 2,0	37,96	549	11,04	6,06	32,4	6,05	5,29	5,02	4,39
Σ 200 x 65 x 10 x 1,5 36 x 100	29,03	314	8,45	2,17	23,3	5,02	4,39	4,16	3,64
Σ 200 x 65 x 10 x 2,0 36 x 100	42,08	434	12,24	5,33	48,3	5,60	4,88	4,64	4,05
Σ 250 x 70 x 10 x 1,5 50 x 120	39,75	541	11,56	2,17	19,0	6,02	5,26	4,99	4,36
Σ 250 x 70 x 10 x 2,0 50 x 120	58,44	757	17,00	5,33	47,1	6,73	5,88	5,59	4,88
I 150 x 50 x 10 x 1,5	28,72	240	8,36	7,00	41,0	459	400	380	332
I 200 x 50 x 10 x 1,5	38,82	456	11,30	7,00	30,8	568	497	472	412
I 250 x 50 x 10 x 1,5	49,90	756	14,52	7,00	24,6	673	588	588	488

41. Tabel met grenswaarden voor de overspanningen van vloerprofielen.

Woningen in staalframebouw

Fabricage, prefabricage en montage

Staalframebouw wordt anders uitgevoerd dan massieve, steenachtige bouwsystemen en houtskeletbouw.

De bouw van dunwandige staalprofielen tot staalframebouw kan zowel op de bouwplaats als in de fabriek plaatsvinden. Beide productiemethoden verschillen in planning, uitvoering en de logistiek. Het loont de moeite voor ieder project de voor- en nadelen van beide productielocaties af te wegen.

Assemblage op de bouwplaats

Wanneer de frames op de bouwplaats worden samengesteld, dan kunnen de profielen op verschillende manieren worden aangeleverd: standaardlengtes, reeds op lengte gemaakte profielen gebundeld per lengte of verschillende lengtes gebundeld per bouwdeel (bijvoorbeeld per dak- of wandelement).

De staalframes worden vanaf de begane-grondvloer of op de kelder opgebouwd. Bij assemblage op de bouwplaats zijn geen zware hijsvoorzieningen nodig. Ook omdat de verbindingen relatief eenvoudig zijn, kan de bouw – bij wijze van spreken – door de doe-het-zelver worden uitgevoerd.

Bij assemblage op de bouwplaats heeft het weer zeker invloed op de bouwtijd. Hou rekening met een extra bouwtijd tot het gebouw wind- en waterdicht is. De profielen en bouwmaterialen moeten gedurende deze periode beschermd worden tegen regen en vuil. Daarvoor is een goede opslag van de materialen nodig (zie ook hoofdstuk: Corrosiebescherming). Raadpleeg ook de verwerkingsvoorschriften van de verschillende fabrikanten.



42. Assemblage van een staalframebouw woning op de bouwplaats (Armor Steel Framing Systems, Canada).

Prefabricage in de fabriek

Met de huidige techniek zijn veel bewerkingen op de bouwplaats mogelijk, zoals lassen, bouten en clinchen. Voor een optimale bewerking is het echter gunstig om ze onder geconditioneerde omstandigheden uit te voeren. Prefabricage in de fabriek geniet de voorkeur. Het productieproces is geïndustrialiseerd en bij modulaire maatvoering kunnen standaardproducten op voorraad worden geproduceerd. Staalframebouw is geschikt voor een hoge mate van prefabricage.

In principe kunnen alle verschillende onderdelen door lassen, schroeven, clinchen en nagels met elkaar worden verbonden. Daarbij staan in de fabriek meer verbindingstechnieken (zwaardere machines) tot de beschikking dan op de bouwplaats. Over het algemeen worden de staalprofielen aan elkaar geschroefd of geclincht. De bekleding wordt doorgaans op de staalprofielen geschroefd of genageld. In de productiehal worden de staalprofielen tot een staalframe geassembleerd en bekleed. Daarbij bestaat de mogelijkheid om de staalframes eenzijdig of tweezijdig te bekleden. Bij eenzijdige bekleding (deelfabriek) wordt de bekleding hoofdzakelijk aan de buitenzijde aangebracht. Op de bouwplaats kunnen deze elementen in korte tijd tot een wind- en waterdichte schil worden gemonteerd. De elementen bieden daarna ‘onderdak’ aan de verder opbouw en afbouw van de elementen.

Bij prefabricage van tweezijdig beklede elementen moeten ook de installaties in de elementen worden opgenomen. De productie van deze elementen krijgt in de fabriek extra kwaliteitscontrole, vaak in het kader van een productcertificering, dit geeft de



43. Montage van een prefab staalframebouw vloerelement (SwitchHaus, Bopfingen).

garantie voor de afnemer dat de elementen voldoen aan de gestelde kwaliteitseisen. Ook kunnen kamerscheidende (niet-dragende) wanden van staalframebouw worden gemaakt en als prefab op de bouwplaats worden aangeleverd.

De bevestigings- en montagemiddelen hebben een wezenlijke invloed op de productie van de elementen in de fabriek én de montage van de elementen op de bouwplaats.

Een duurdere maar eenvoudige bevestiging is vaak goedkoper dan een minimale inzet aan materialen. Het aandeel materiaal in de productiekosten is ongeveer 30%, het aandeel loonkosten is 70%. Een duurder materiaal wordt dus vrij snel door een gemakkelijke productie en een eenvoudige montage gecompenseerd.

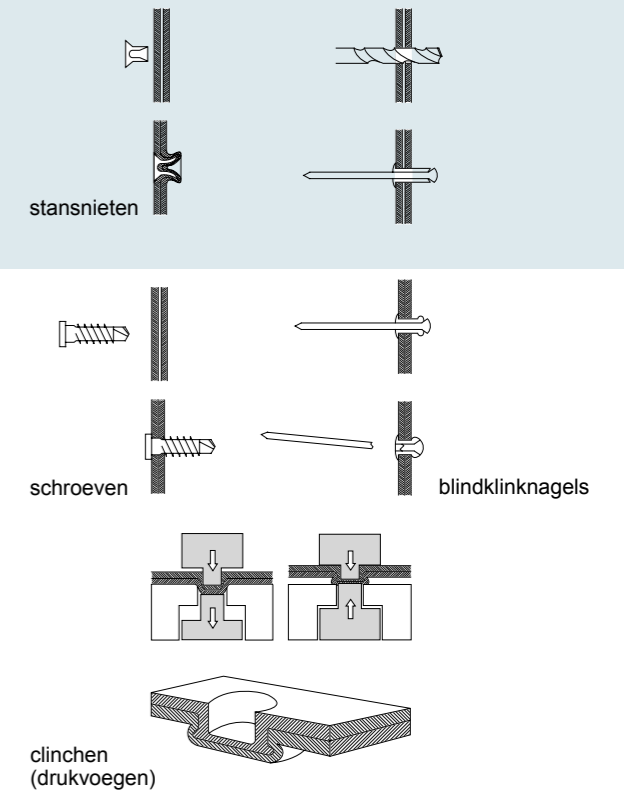
Een voorbeeld: houten platen worden momenteel niet meer aan het staalframe geschroefd, maar geschoten met speciaal getordeerde nagels of nieten. Voor een gelijkwaardige constructie zijn meer nagels nodig, maar het schieten gaat sneller. Vergelijkbaar met houtskeletbouw worden de nagels en nieten met hoge snelheid in het staal geschoten. Afhankelijk van het type nagel of niet, komt de verbinding tot stand door de profilering (wrijving), het ‘openbreken’ van de niet of het puntlaseffect (de uiteinden worden door de warmteontwikkeling ‘gelast’).

Op dit moment worden vrijwel alle (houten) platen in de fabriek op het staalframe bevestigd met nieten of nagels. De prefab elementen kunnen op de bouwplaats ook met uitwendige verankering én geschoten montage (schietsnagels) worden bevestigd op de onderconstructie, bijvoorbeeld op een staalskelet.

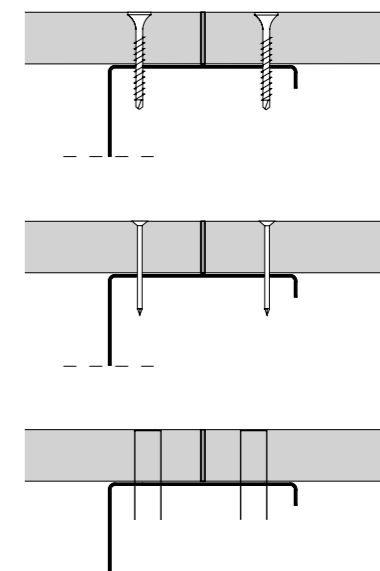
In tegenstelling tot schroeven hebben nagels en nieten het nadeel, dat ze – eenmaal geschoten – lastig zijn te verwijderen of te corrigeren.

Het extra voordeel van industrieel vervaardigde producten is de kwaliteitswaarborging. In de fabriek kan onafhankelijk van het weer, continue en onder gelijkblijvende omstandigheden worden gewerkt. Daarbij kan het productieproces voortdurend en systematisch worden gecontroleerd. Bij de productie van grote hoeveelheden kunnen andere machines worden ingezet dan op de bouwplaats, zelfs tot en met een volautomatische productiestraat.

De maximale afmetingen van geprefabriceerde elementen zijn afhankelijk van de productiemogelijkheden van de producent, de hijs- en transportmogelijkheden én van de omstandigheden op de bouwplaats (laden, lossen, kraan capaciteit, montage). Gangbare elementbreedtes voor vloeren zijn 2,44 m en 3 m. De maximale afmetingen voor prefab staalframebouw elementen zijn ongeveer 3,7x12 m. Door de prefabricage van elementen is een aanzienlijke besparing op de bouwtijd te bereiken, ook omdat alle voorbereidende werkzaamheden op de bouwplaats, tegelijk met de productie van de elementen kan plaatsvinden. Hiertegenover staat, dat de



44. Verbindingsmogelijkheden tussen koudgevormde profielen onderling.



45. Verbindingsmogelijkheden van een beplating op staalframebouw.

Woningen in staalframebouw

Fabricage, prefabricage en montage



46. Robotgestuurde prefabricage Rautaruukki Oyj (Finland).



47. Montage van geprefabriceerde elementen (Rautaruukki Oyj, Finland).



48. Getordeerde nagels in een staalprofiel.

voorbereiding en productie van de elementen in een vroeg stadium moet gebeuren en dat ontwerp van het gebouw op de prefabricage moet worden uitgewerkt. Niet alleen de productie van de elementen moet goed worden voorbereid, ook de montage op de bouw verdient extra aandacht. De vereiste bouwfysische eigenschappen gelden niet alleen voor de verschillende onderdelen, maar ook voor het samenstel van de verschillende elementen.

Afhankelijk van de mate van prefabricage, moet de planning vaststaan op het moment dat de productie begint. Hou rekening met een periode van ongeveer acht weken, voordat de werkzaamheden op de bouw kunnen starten. De detaillering (opbouw en aansluitdetails) moet bijtijds bekend zijn, want wijzigingen hierin achteraf, zijn moeilijk en kostbaar. Afhankelijk van de mate van prefabricage moeten op de bouw nog elementen worden afgewerkt, zoals het voegen van de gipsbeplating. Eventueel moeten oppervlaktecorrecties worden uitgevoerd. In elk geval moet met deze werkzaamheden rekening worden gehouden in de planning, ook bij geprefabriceerde elementen. De elementen worden just-in-time geleverd en maken een korte ruwbouwperiode mogelijk. In slechts drie tot vier dagen kan een eengezinswoning wind- en waterdicht zijn. Daarna kan direct worden gestart met de afbouw. Naast deze kostenbesparingen, zijn opslag- en productieruimte op de bouwplaats niet nodig. Bouwplaatsafval wordt tot een minimum beperkt. Belangrijk bij de montage op de bouw is de controle op de uitvoering van de koppelingen tussen de elementen, omdat ze grote invloed hebben op de uiteindelijke bouwfysische kwaliteit van het totale gebouw. De detaillering moet uiteraard wel praktisch uitvoerbaar zijn.

Bouwfysische eisen aan woningen

Het uitwerken van het architectonisch ontwerp van een gebouw naar de verschillende onderdelen en producten is een complex proces. De eisen aan het gebouw en de bouwonderdelen zijn vastgelegd in het Bouwbesluit. Uiteraard kunnen hogere eisen worden gesteld.

Met staalframebouw kunnen de bouwfysische eisen voor akoestiek, brandwerendheid en warmte-isolatie binnen één systeem worden gerealiseerd. In staalframebouw bestaan uiteenlopende principe oplossingen waarop kan worden gevarieerd vanaf het ontwerpstadium. Ook kan samen met een leverancier of producent van staalframebouw, gericht én binnen het systeem oplossingen gezocht worden. Aansluitdetails verdienen extra aandacht — niet alleen voor het ontwerp, maar in het bijzonder voor de uitvoering (zie ook het voorgaande hoofdstuk).

Het samenstel van de elementen bij de bouwknopen en aansluitdetails moet als een geheel de vereiste eigenschappen behalen, bijvoorbeeld voor de brandwerendheid en geluidisolatie.

En — niet in de laatste plaats — de constructie moet zo worden ontworpen, dat het niet conflicteert met de bouwfysische principes. Een doorkoppeling van stabiliteitswanden mag bijvoorbeeld geen hinderlijke geluidbrug vormen.

De navolgende hoofdstukken behandelen de bouwfysische aspecten: akoestiek, thermische isolatie en vochtwering. De eigenschappen en prestaties van verschillende staalframebouw elementen voor wanden, vloeren en daken, worden daar tegenover gezet. Daarmee kan elk gebouw worden ontworpen én getoetst op zijn bouwfysische kwaliteiten.

Akoestiek

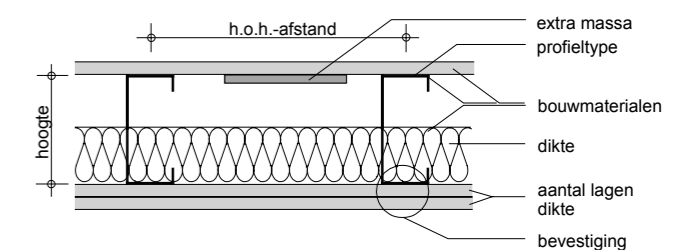
De aandacht voor akoestiek en de verbetering van het geluidcomfort groeit. Vooral in de (meerlaagse) woningbouw, zowel op nationaal als internationaal niveau. In staalframebouw zijn hoge geluidisolatiewaarden mogelijk.

Geluidisolatie van woningen in staalframebouw

Voor de lucht- en contactgeluidisolatie van woningen in staalframebouw gelden de akoestische principes van droge en lichte bouwsystemen: geluidisolatie wordt niet bereikt door massa, maar door het toepassen van meerdere lagen beplating en een akoestisch ont koppeling.

De ont koppeling vindt plaats in de bouw delen zelf, bij de opbouw van wanden en vloeren, en tussen de bouw delen bij de knooppunten. Bij deze knooppunten speelt de verbindingsdemping tussen de bouw delen een grote rol (afb. 49).

Het geheel moet op elkaar worden afgestemd en het resultaat hangt sterk af van de plaats van de woningscheidende constructie. Is het alleen de wand of de vloer of komen beiden als een woningscheidende constructie samen in een bouwknop.



49. Akoestische parameters bij een aan weerszijden bekleed staalframebouw element.

Bouwbesluit 2003

Het Bouwbesluit stelt eisen aan de karakteristieke index voor luchtgeluidisolatie ($L_{n,w}$), de index voor contactgeluidisolatie ($L_{n,c}$), installatiegeluid ($L_{1,AK}$) en aan de karakteristieke geluidwering van de gevel (G_{AK}). Het is een complexiteit aan regels, zeker wanneer meerdere gebruiksfuncties worden gemengd. Het Bouwbesluit onderscheidt de volgende gebruiksfuncties:

- woonfunctie;
- bijeenkomstfunctie;
- celfunctie;
- gezondheidszorgfunctie;

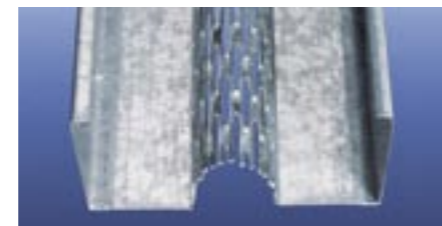
Woningen in staalframebouw

Akoestiek

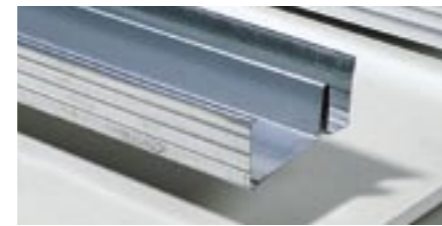
invloeden	goed	slecht
profieltype		
h.o.h.afstand		
wand/vloerdikte		
enkele wand of dubbele wand		
bekleding		
isolatie		

- industriefunctie;
- kantoorfunctie;
- logiesfunctie;
- onderwijsfunctie;
- sportfunctie;
- winkelfunctie;
- overige gebruiksfuncties;
- bouwwerken geen gebouw zijnde.

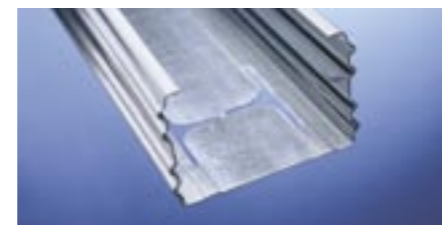
Voor gebouwen met alleen woonfuncties zijn de eisen eenvoudig samen te vatten. De zwaarte van deze eisen bepalen vaak de constructie van het gebouw, ook als er andere gebruiksfuncties zijn. Alleen bij bijeenkomstfuncties (horeca) en onderwijsfuncties kunnen wezenlijk zwaardere eisen gelden.



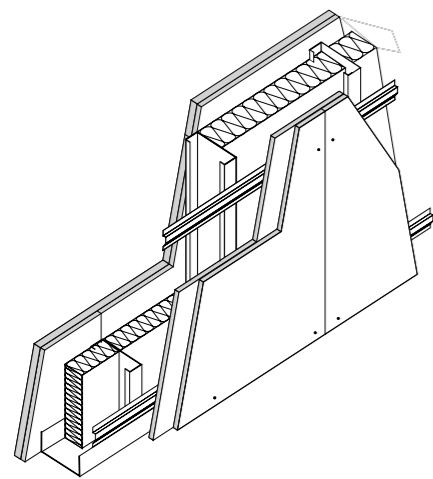
52. Akoestisch metal-studprofiel uit strekmetaal.



53a. Akoestisch metal-studprofiel met een extra vouw in het lijf.



53b. Akoestisch metal-studprofiel met rillen in de flenzen.



51. Opbouw van een staalframebouw wand met veerregels.

constructie	wanddikte	massa	karakteristieke luchtgeluidisolatie $I_{L,w,k}$	brandwerendheid (minuten)
enkele staalframebouw wand enkele beplating met GF, GKB 	75 - 125 mm	35 - 45 kg/ m ²	-18 tot 0 dB	30
enkele staalframebouw wand dubbele beplating met GF, GKB 	100 - 150 mm	45 - 65 kg/ m ²	-10 tot +5 dB	60 90
enkele staalframebouw wand met veerregels dubbele beplating met GF, GKB 	ca. 155 mm	ca. 52 kg/m ²	-5 tot +8 dB	60 90
dubbele staalframebouw wand dubbele beplating met GF, GKB 	175 - 275 mm	65 - 80 kg/ m ²	0 tot +15 dB	90 120
massieve kalkzandsteen wand 115 mm, afgesmeerd 	145 mm	200 kg/m ²	-15 tot -5 dB	90 120
massieve kalkzandsteen wand 245 mm, afgesmeerd 	270 mm	430 kg/m ²	-5 tot +3 dB	180

- brandwerendheid afhankelijk van de functie (dragend of niet-dragend)
- in alle gevallen geldt dat de prestatie afhankelijk is van het stijl- en regelwerk en montage
- de karakteristieke geluidwering $G_{A,k}$ is afhankelijk van beglazing en ventilatie
- voor de luchtgeluidisolatie komt de invloed van bouwknopen en plattegrond erbij

54. Akoestische prestaties van verschillende staalframebouw wanden in vergelijking met massieve steenachtige elementen.

Woningen in staalframebouw

Akoestiek

Verhoogde eisen

Per 1 januari 2003 is de eis tussen besloten ruimten voor contactgeluidisolatie verhoogd. De onderstaande eisen gelden bij percelen onderling en bij verschillende gebruiksfuncties binnen hetzelfde perceel:

- De L_{nk} van een besloten ruimte naar een verblijfsruimte van een aangrenzende woon- of gebruiksfunctie is niet kleiner dan 0 dB.
- De L_{o} van een besloten ruimte naar een verblijfsruimte van een aangrenzende woon- of gebruiksfunctie is niet kleiner dan +5 dB.

Er gelden soms minder zware eisen tussen verschillende gebruiksfuncties, bijvoorbeeld bij verkeersruimten onderling. Deze kunnen daar leiden tot eenvoudigere constructies.

De luchtgeluidisolatie uit het Bouwbesluit is een lastige grootte. De waarde is niet alleen afhankelijk van de constructie, maar ook van de plattegrond. In hetzelfde bouwstelsel met dezelfde bouwknopen en bouwdeelen, maar met een andere indeling, de waarde ongeveer 5 dB variëren.

Geluidisolatie van de gevel

Het Bouwbesluit stelt een minimale eis aan G_{kk} van 20 dB(A). Deze eis heeft soms gevolgen voor de ventilatievoorziening en in het algemeen niet voor de gevelconstructie.

Afhankelijk van de omgeving van het gebouw kan de eis aan de geluidwering oplopen tot 35 dB(A) of - in speciale gevallen - nog hoger. Bepalend zijn de geluidbelasting volgens de wet Geluidhinder (ruimtelijke ordening) én de toelaatbare grenswaarde in de verblijfsruimten (Bouwbesluit). Het verschil tussen die twee moet door de gevel worden geïsoleerd. Deze systematiek is voor industrielaawaai, weg- en railverkeer gelijk. Voor luchtvaartlawaai geldt een afwijkende systematiek. Hier wordt de geluidbelasting met een tabel uit het Bouwbesluit omgezet naar een eis aan de karakteristieke geluidwering.

Als de G_{kk} groter is dan 25 dB(A), raadpleeg dan een deskundige. In die gevallen moet de akoestische kwaliteit van alle verschillende onderdelen in evenwicht worden gebracht, omdat de eis geldt voor de hele gevel, inclusief beglazing en ventilatie. Bij waarden van G_{kk} boven 25 dB(A) kan dit leiden tot extra eisen aan de gevelpanelen. Bij waarden boven 30 dB(A) zijn de maatregelen voor staalframebouw en andere lichte bouwsystemen ingrijpend.

Installatiegeluid

Ook de eisen aan het installatiegeluid hebben gevolgen voor de bouwkundige constructie. In verblijfsgebieden wordt veelal een L_{Ax} van 30 dB(A) geëist. Net als bij andere bouwsystemen vragen de leidingschachten extra aandacht bij boven elkaar gelegen gebruiksfuncties, speciaal voor de standleiding. De leidingen moeten ter hoogte van de vloeren worden gemonteerd en koppelingen tussen de leidingen en de schachtwanden moeten worden vermeden.

Privaatrechterlijke eisen in Nederland

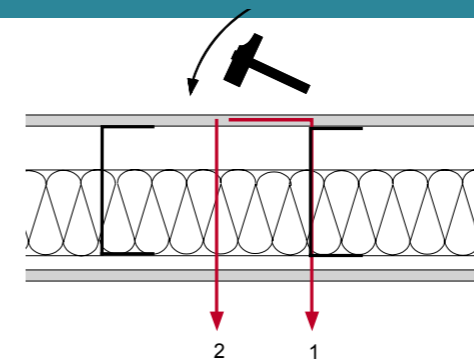
Naast het Bouwbesluit kunnen partijen onderling hogere waarden afspreken. Vaak wordt voor de contactgeluidisolatie in verticale richting +10 dB overeengekomen. In alle bouwsystemen is dit een zware eis, ook voor staalframebouw. De koppelingen in de vloerelementen zijn bepalend voor de contactgeluidisolatie. Hier zijn forse maatregelen nodig, zoals een vrijdragend plafond dat overspant tussen de wanden. Maar er zijn ook maatregelen noodzakelijk aan de wandelementen en de bouwknopen. Deze komen in de loop van dit hoofdstuk aan de orde.

Overzicht van akoestische maatregelen

Bij staalframebouw gelden de akoestische principes van droge en lichte bouwsystemen (afb. 49). De belangrijkste is:

- Principe van massa-veer systemen: de plaatmaterialen (massa) worden gekoppeld met regelwerk en spouwen (veer). Elk massa-veersysteem wordt gekenmerkt door een zogeheten resonantiefrequentie, een systeemgebonden frequentie waarin het geheel in een oncontroleerbare trilling komt. Boven de resonantiefrequentie levert een massa-veersysteem een hoge geluidisolatie in vergelijking met de massa op zichzelf. De isolatiewaarde wordt bepaald door de veren (koppelingen) tussen de massa's, zoals regelwerk en de geluidabsorptie in de luchtsponw door de isolatie. Bij het massa-veer systeem horen twee belangrijke maatregelen:
 - beperking van het aantal veren;
 - ontkoppelingen tussen beplating en regelwerk én tussen de bouwdeelen onderling (bouwknopen).

Het gewicht van de constructie is niet altijd doorslaggevend. De ontkoppeling van de verschillende lagen en bouwdeelen is zeker zo belangrijk. Met één uitzondering: de woningscheidende vloeren. Voor een contactgeluidisolatie van +5 dB moet de onder- of bovenzijde relatief zwaar worden uitgevoerd. Het variëren in het materiaal van de



55. Contactgeluid bij staalframebouw vloeren
1. via de ligger; 2. via de holle ruimte.

bekleding heeft een gering effect. Het verschil van geluidisolatie tussen bijvoorbeeld spaanplaat en gipsplaat is klein. De volgende aspecten spelen een grotere rol (afb. 50):

- het gebruik van meerdere dunne lagen plaatmateriaal;
- de bevestiging van de platen op het regelwerk;
- de toepassing van verende regels of meerdere lagen kruislings gemonteerd regelwerk (afb. 56);
- de bevestiging van de wand en vloerdeelen aan de (hoofd) draagconstructie;
- de detaillering van de bouwknop (afb. 58);
- de detaillering van de hoofdconstructie.

De bouwkundige kant van akoestische maatregelen

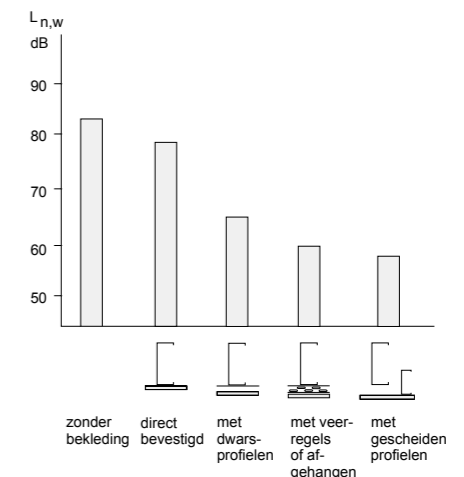
Relateert men de geluidisolatie aan het eigengewicht, de wanddikte en de kosten, dan hebben constructies van staalframebouw met gipsplaten (gipskarton- en gipsvezelplaten) een goede prijs/prestatie-verhouding. De akoestische prestaties hangt af van de totale samenstelling én van de plattegrond. Het eindresultaat (afb. 54) wordt in de samenstelling bepaald door:

- de beplating;
- de staalprofielen (profielvorm en h.o.h.-afstand);
- het isolatiemateriaal;
- de bevestigingen;
- het voegwerk.

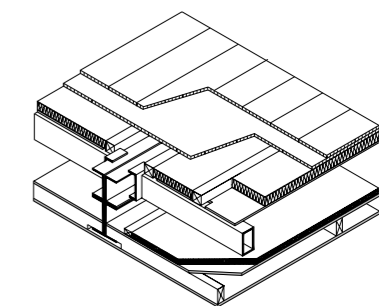
Daarnaast is deskundigheid nodig bij de detaillering, tijdens de productie en op de bouwplaats, bij de montage.



56. Geluidsarme veerregels als akoestische ontkoppelde bevestiging van het plafond aan de vloer (Profilhaus, Ettlingen).



57. Vermindering van de geluidisolatie door het ontkoppelen van de onderbekleding van een vloer.



58. Vloeropbouw met een driedubbele ontkoppeling van de bekleding.



Woningen in staalframebouw

Akoestiek

Van component tot bouwfysisch geheel

De afzonderlijke componenten van staalframebouw vormen samen een bouwfysisch systeem. De geluidisolatie wordt niet uitsluitend bepaald door de individuele componenten. De totale geluidisolatie is niet beter dan de zwakste schakel toelaat. Dit kan bijvoorbeeld de draagconstructie zijn die tijdens het bouwproces slechts met moeite is aan te passen. Een akoestisch ontwerp start daarom bij de draagconstructie, of – beter gezegd – bij de akoestische mogelijkheden van een constructie.

De volgende factoren hebben invloed op het bouwfysisch geheel:

- De opzet van de hoofdconstructie. Leg de vloeren op gescheiden liggers. Een vloeroplegging met lippen heeft daarbij een gunstige invloed. Een verende oplegging is akoestisch zeer effectief, maar constructief vaak onmogelijk. Het opleggen op vilt heeft akoestisch niet of nauwelijks invloed.
- De stijfheid van de verbinding van de beplating op de profielen; deze wordt onder andere beïnvloed door de h.o.h.-afstanden en de bevestiging van de verschillende platen (afb. 56 en 57).
- De wanddikte (profielhoogte).
- De buigstijfheid van de afzonderlijke platen; deze wordt onder andere beïnvloed door de plaatdikte, het plaatmateriaal en de structuur van de plaat. Meerdere dunne lagen presteren soms beter dan één dikke plaat.
- De oppervlakttemassa van de totale bekleding; deze wordt onder andere beïnvloed door de (verschillende) soorten plaatmaterialen en het aantal lagen.
- Het soort isolatiemateriaal, de soortelijke massa en de eigenschappen ervan (geluidabsorberende vermogen).

Bouwknope en flankerend geluid

De uiteindelijke geluidisolatie tussen een ruimte (zendruimte) naar een andere ruimte (ontvangstruimte) wordt niet alleen door het scheidende bouwdeel bepaald. De totale geluidisolatie is een combinatie van geluidoverdracht via het scheidende bouwdeel en de geluidsoverdracht via allerlei indirecte zijwegen. De geluidsoverdracht via indirecte wegen (de flankerende bouwdelen) heet flankerend geluid (afb. 59 en 60): de geluidsgolven van de zendruimte zetten zich voort via de flankerende bouwdelen naar de ontvangtruimte, en stralen daar het geluid weer af. Bij woningen komt het regelmatig voor dat 30% van de overgedragen

geluid(energie) via de directe scheiding komt en 70% via de flankerende bouwdelen. De overdracht van geluid tussen de bouwdelen vindt plaats bij de bouwknope. Bij deze knopen vindt ook demping plaats. Afhankelijk van de detaillering kunnen trillingen in meer of mindere mate worden doorgegeven. Daarbij moet niet alleen gedacht worden aan trillingen in de vorm van heen en weer bewegende bouwdelen, maar ook aan energieoverdracht door roterende delen (zie ook de volgende paragraaf).

Verbindingsdemping bij bouwknope

Verbindingsdemping is de reductie van trillingenergie die optreedt wanneer trillingen door een bouwknope van een bouwdeel naar een andere bouwdeel worden overgedragen.

De geluidpaden zijn bij staalframebouw in principe gelijk aan die bij massieve, steenachtige bouwsystemen (afb. 59 en 60). De verbindingsdemping werkt wel anders. In de massieve bouw zijn de bouwknope buigstijf, vooral de constructief belangrijke. De massa van een bouwdeel hindert de beweging van het andere bouwdeel. De hoogte van de verbindingsdemping bij massieve bouw hangt dus af van de massa's en de massaverhoudingen van de bouwdelen.

Bij staalframebouw zijn de scheidende en flankerende bouwdelen akoestisch gezien scharnierend (flexibel) verbonden. De trillingoverdracht en de overdracht van (rotatie)energie wordt bepaald door

- de flexibiliteit van de verbinding;
- het doorlopen van beplating voorbij de bouwknope;
- de massaverhoudingen.

De flexibiliteit in de bouwknope betekent niet dat het flankerende geluid bij staalframebouw minder van belang is dan bij massieve bouwsystemen. Dit komt door het lage gewicht van de bouwdelen, waardoor de trillingsniveaus hoog zijn. Zonder maatregelen is, met name bij laagfrequente trillingen, de verbindingsdemping bij staalframebouw niet bijzonder hoog. De detaillering van de hoofdconstructie, de oplegging van wanden en vloeren op de draagconstructie en de eigenfrequenties (stijfheid) van de vloeren zijn daarbij cruciaal.

Voor massieve constructies zijn theorieën en rekenregels voor de verbindingsdemping van bouwknope opgezet en met metingen gecontroleerd. Voor staalframebouw zijn de rekenregels nog beperkt beschikbaar, maar de principes van de verbindingsdemping zijn wel bekend. De verbindingsdemping bij staalframebouw is hierdoor redelijk goed empirisch te beschrijven, gebaseerd op metingen.

Met de juiste maatregelen aan de bouwknope zijn in de praktijk geluidisolaties $I_{w,sk}$ en $I_{w,oo}$ van meer dan +10 dB te realiseren, ook verticaal. Deze maatregelen hebben consequenties voor de draagconstructie en voor de totale (werkende) hoogte of dikte van de scheidingsconstructie.

Aansluitingen van bouwdele

Bij lichte bouwmethoden verdient de uitvoering van de aansluitingen grote zorg om geluidlekken te voorkomen. Vaak stoten de bouwdele met open voegen tegen elkaar. Belangrijk is een 'gesloten' uitvoering van deze aansluiting (afb. 61 en 62). Openingen in de aansluitingen werken als geluidlekken en beïnvloeden ook de luchtdichtheid van het gebouw.

Let bij de uitvoering op de volgende punten (afb. 62):

- scheiding van flankerende bouwdele (verbindingsdemping);
- scheiding van aan elkaar aangrenzende bouwdele (geluidlekken);
- aansluiting met isolatiestrips, isolatiematerialen (ontkoppelen, verbindingsdemping);
- toepassing van speciale profielen met dichtingsstrips (afb. 63);

Literatuur en laboratoriummetingen

Bij publicaties worden vaak uitsluitend laboratoriumwaarden gepresenteerd, deze zijn van geringe betekenis voor de (bouw)praktijk. Dit heeft veel oorzaken. De belangrijkste is dat de geluidisolatie van een wand of vloer in belangrijke mate wordt beperkt door het flankerende geluid. Deze is alleen te meten in proefopstellingen met complete bouwknope of door praktijkmetingen. Claims op basis van laboratoriummetingen moeten zeer omzichtig worden benaderd. De verschillen kunnen oplopen tot 10 dB.

De waarden voor de geluidisolatie worden, afhankelijk van de beplating, de flankerende wand en de uitvoering van de aansluiting met de scheidende wand aangegeven in DIN 4109 bijlage 1, tabel 32, evenals in overeenkomstige publicaties en documentatie van Nederlandse leveranciers. Voor de geluidstechnische richtlijnen voor woningscheidende wanden zijn de aanbevelingen van DIN 4109 bijlage 1 onvoldoende (te geringe geluidsprestatie). Hier moet worden teruggegrepen op (praktijk)proeven. Door de combinatie van de isolatiewaarden van de flankerende bouwdele (wanden, vloeren, plafonds) en van het scheidende bouwdeel kan de resulterende geluidisolatie worden bepaald. Voor de berekeningswijze wordt verwezen naar DIN 4109 [18], bijlage 1, het BAKT-schrift S53, de Trockenbau Atlas of de berekeningsbladen van systeemleveranciers.

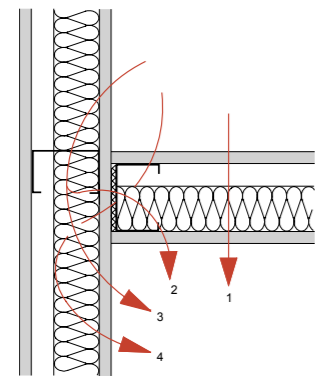
Let bij het gebruik van Duitse waarden op het volgende! De wegingscurve voor contactgeluid in Nederland en Duitsland verschillen. De Duitse literatuurgegevens kunnen niet één-op-één worden omgezet naar de index voor contactgeluidisolatie ($I_{w,c}$). De Duitse grootheden voor luchtgeluidisolatie kunnen echter met enige marge worden vertaald naar $I_{w,sk}$ door de bewertetes Schallmass (R) te verminderen met 52 dB. In Duitsland wordt ook de LuftschallschutzMass LSM gebruikt. Deze is globaal gelijk aan $I_{w,sk}$, zonder correcties. De invloed van de plattegrond is voor de Nederlandse $I_{w,sk}$ groter dan voor de Duitse LSM.

In afbeelding 64 (p. 32) staan Nederlandse R_A -waarden van de meeste voorkomende constructies. Het Bouwbesluit stelt eisen aan de hele gevel ($G_{A,e}$), inclusief beglazing, ventilatie en (akoestische) kierdichting. Als de hele gevel bestaat uit een constructie uit afbeelding 64 dan is de karakteristieke geluidwering van de gevel $G_{A,e}$ 3 dB(A) lager dan de gegeven R_A -waarde.

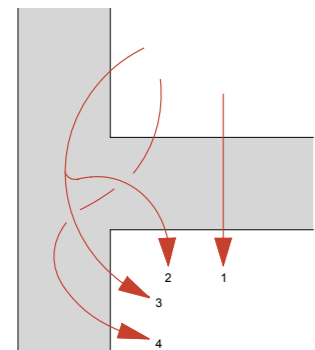
Bij een geluidstechnisch ontwerp kan afbeelding 67 als checklist dienen. In de lijst staan de meest voorkomende wegen van geluidsoverdracht.

Woningen in staalframebouw

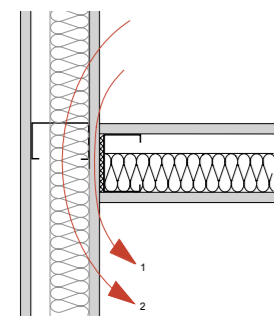
Akoestiek



59a. Geluidsoverdrachtswegen in staalframebouw en massieve bouw zijn vrijwel gelijk.



59b. Gecombineerde overdrachtswegen (4x) door het scheidende en het flankerende bouwdeel.



60. Geluidsoverdracht via het flankerende bouwdeel:
1. overdracht via de beplating;
2. overdracht via de holle ruimte (spouw).

Luchtgeluidisolatie van staalframebouw wanden

Enkelbladige wanden, aan twee zijden bekleed

Bij staalframebouw wanden hebben de volgende factoren grote invloed op de geluidisolatie:

- De stijfheid van de verbinding van de beplating; deze wordt onder andere beïnvloed door de h.o.h.-afstand van de staalprofielen en de bevestiging van de verschillende platen. Ook veerregels en kruisings regelwerk beïnvloeden de stijfheid.
- De wanddikte (profielhoogte). Deze beïnvloedt de resonantiefrequentie in de constructie. Uitsluitend bij waarden boven deze frequentie is akoestisch winst te behalen met een dubbele wandconstructies.
- De buigstijfheid van de bekleding; deze wordt onder andere beïnvloed door de plaatdikte, het plaatmateriaal, de structuur van de plaat en het aantal lagen plaatmateriaal.
- De oppervlaktemassa van de totale bekleding; deze wordt onder andere beïnvloed door de (verschillende) soorten plaatmaterialen en door het aantal lagen. Bij vloeren wordt vaak steenachtig materiaal toegepast als deklaag met een laagdikte van 50 mm.
- Het soort isolatiemateriaal, de soortelijke massa en de eigenschappen ervan (bijvoorbeeld warmtestromingsweerstand). Minerale wol moet minimaal een persing hebben van 16 kg/m³. De dikte van de minerale wol is ook van belang. Hoe dikker hoe beter.

Feitelijk hebben drie onderdelen invloed op de luchtgeluidisolatie van wanden met een enkelvoudig regelwerk met aan beide zijden een bekleding:

- buigslappe bekleding met een hoge massa;
- ontkoppeling;
- isolatie of – beter gezegd – de geluidabsorptie in de spouw.

Hierna worden ze nader toegelicht en de verschillende maatregelen voor een hogere isolatiewaarde opgesomd.

Buigslappe bekleding met een hoge massa

Voor een goede geluidisolatie moet de bekleding een geringe buigstijfheid hebben. Zulke 'buigslappe' platen zijn bijna alle gangbare platen met een dikte tot 20 mm, zoals gipskartonplaten, gipsvezelplaten en houtvezelplaten. Ook de massa per m² van de beplating heeft invloed op de geluidisolatie van

een wand. Hoe hoger de massa per m² van een buigslappe plaat, hoe beter de geluidisolatie van de wand is.

Maatregelen

- hoge soortelijke massa van de platen;
- dubbele beplating;
- verzwaren van de platen (extra massa).

Ontkoppeling

Een koppeling tussen de verschillende plaatlagen (aan weerszijden van de spouw) is een geluidsbrug, bijvoorbeeld door de stijlen. Voor een gunstig geluidswerend effect zou de verbinding totaal ontkoppeld moeten worden. Om toch enige stevigheid in de constructie te krijgen, wordt bijvoorbeeld een laag dwarsprofielen toegevoegd, zoals veerregels (afb. 51). In het ideale geval worden de spouwbladen volledig gescheiden door gescheiden stijlen te gebruiken of door een dubbele wand. Voor woningscheidende wanden is dit een gebruikelijke oplossing. Een vrij overspannend verlaagd plafond, afgesteund op de wanden, valt ook onder deze maatregelen.

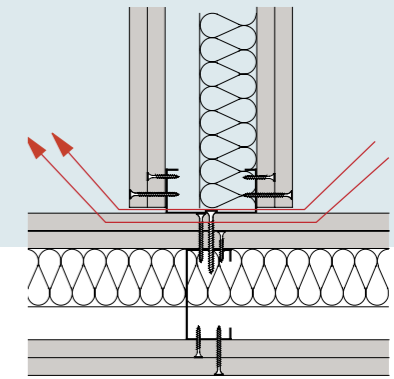
Ontwikkelingen op akoestisch gebied hebben metal-studprofielen (stijlen) voortgebracht waarvan de koppeling van de beide flenzen wordt gereduceerd. Daardoor werkt het profiel als een akoestisch veer en kan de plaat vrij(er) bewegen. Verder zijn er profielen (afb. 53) waarvan de flenzen een oppervlaktebewerking hebben gekregen om het contactvlak met de plaat te verlagen, en daarmee de geluidsoverdracht te reduceren, bijvoorbeeld door rillen of ingeperste 'deuken' (noppen). Dit type profiel is in het algemeen minder effectief dan een verende regel.

Maatregelen

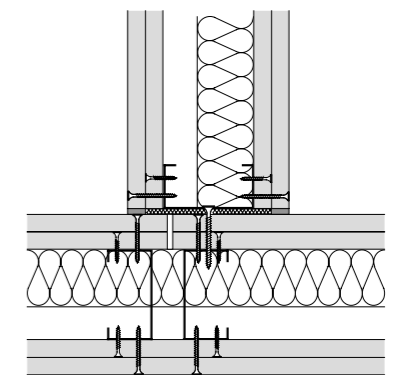
- grotere h.o.h.-afstand van de stijlen;
- grotere wanddikte (profielhoogte);
- bevestiging van de beplating via isolatiestroken of veerelementen;
- totale ont koppeling van beplating (wand met dubbele stijlen).

Isolatie

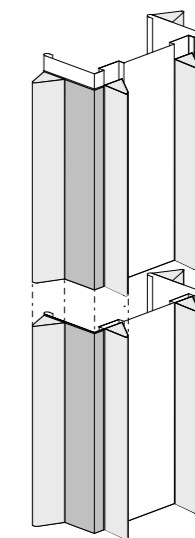
Ter verhoging van de geluidisolatie wordt de holle ruimte doorgaans opgevuld met geluidabsorberend materiaal, meestal minerale wol. De geluidsenergie gaat door de vezels, het ondervindt wrijving en wordt omgezet in warmte-energie, waardoor het



61. Akoestische 'lekken' en geluidbruggen bij een aansluiting van twee wanden.

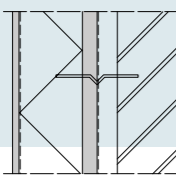
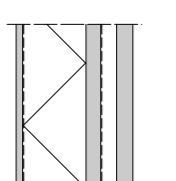
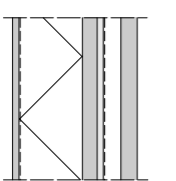
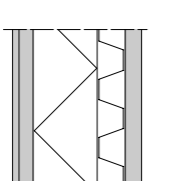
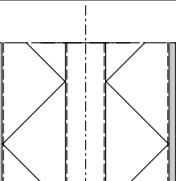
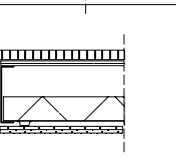
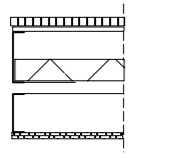


62. Akoestisch 'goed' gedetailleerde wandaansluiting met gesloten voeg en een scheiding in de doorgaande bekleding.



63. Metal-studprofiel met droge, rubberen geluidprofielen.

Woningen in staalframebouw

	constructie	karakteristieke index voor luchtgeluidisolatie $I_{L_{LK}}$ *)	geluidisolatie R_A van de gevel *)
1	 gemetseld buitenspouwblad spouw, 50 mm koudebrug onderbreking, 22-28 mm staalframebouw minerale wol, 100 mm gipskartonplaat, 12,5 mm	n.v.t.	46 dB (A)
2	 gevelbekleding, 19 mm spijkerregels/spouw, 24 mm koudebrug onderbreking, 22-28 mm staalframebouw minerale wol, 100 mm gipskartonplaat, 12,5 mm	n.v.t.	30 dB (A)
3	 gevelbekleding, 19 mm spijkerregels/spouw, 24 mm vezelcementplaat, 10 mm koudebrug onderbreking, 22-28 mm staalframebouw minerale wol, 100 mm gipskartonplaat, 12,5 mm	n.v.t.	33 dB (A)
4	 natuursteen, 20 mm geprofileerde staalplaat, 40 mm staalframebouw minerale wol, 100 mm gipskartonplaat, 12,5 mm	n.v.t.	33 dB (A)
5	 gipsplaat, 2x12,5-18 mm staalframebouw isolatie, 100 mm tengel met folie, 10 mm spouw, 30 mm tengel met folie, 10 mm staalframebouw isolatie, 100 mm gipsplaat, 2x12,5-18 mm	> +5 dB fundering: +1 dB	n.v.t.
6	 anhydriet/zandcement, 50 mm spaanplaat, 18 mm vloerprofielen, 185 mm minerale wol, 80 mm veerregels, 20 mm gipsplaat, 2x12,5 mm	+0 dB	n.v.t.
7	 anhydriet/zandcement, 50 mm spaanplaat, 18 mm vloerprofielen, 185 mm minerale wol, 80 mm vrijhangend regelwerk gipsplaat, 2x12,5 mm	> +5 dB	n.v.t.

64. Opbouw en geluidwering van staalframebouw onderdelen.

*) in alle gevallen geldt dat de prestatie afhangt van het stijl- en regelwerk en de montage. De karakteristieke geluidwering $G_{A,k}$ is afhankelijk van beglazing en ventilatie. Voor de luchtgeluidisolatie komt de invloed van bouwknopen en de plattegrond erbij.

Akoestiek

aandeel geluidenergie afneemt (geluidabsorptie). Isolatiematerialen met gesloten cellen zoals harde schuimen zijn niet geschikt voor geluidabsorptie. Als de isolatie wordt weggelaten, heeft dit grote invloed op de geluidisolatie, speciaal bij lichte constructies. Effecten van 5 dB en meer zijn geen uitzondering. Woningsscheidende constructies moeten worden geïsoleerd.

Maatregelen

- vullen met isolatiemateriaal (minimaal 30% tot maximaal 80%: geen koppeling door het isolatiemateriaal). Hoe dikker hoe beter. Let op! Dit is één van de meest rendabele investeringen in geluidisolatie.

Vloeren in staalframebouw

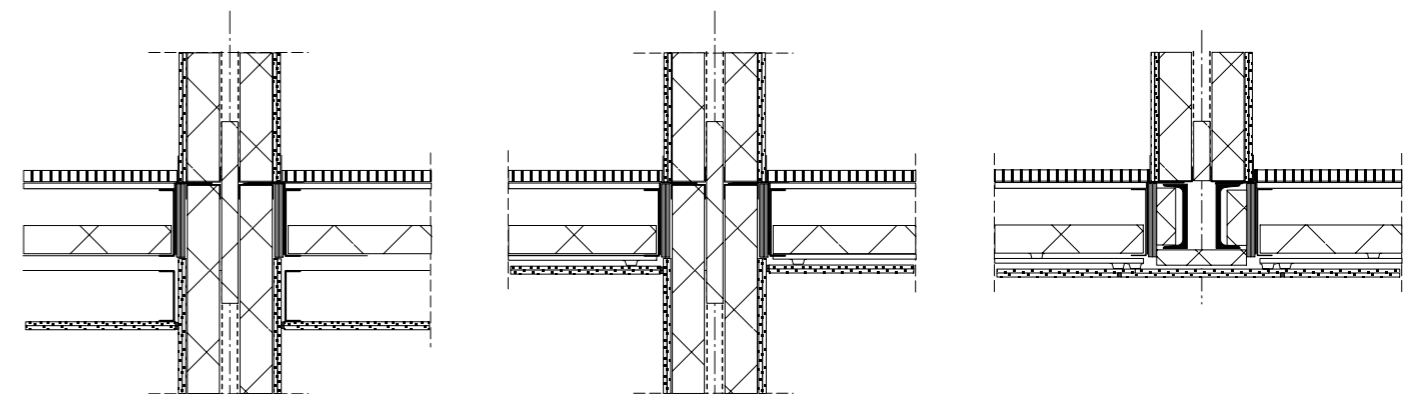
Voor het verhogen van de luchtgeluidisolatie van vloeren gaan dezelfde principes op als bij wanden. Het contactgeluid is maatgevend voor de vloeropbouw (afb. 55). De eisen aan contactgeluid zijn namelijk moeilijker te bereiken dan de eisen aan luchtgeluid. Overigens mag men ervan uit gaan, dat bij voldoende contactgeluidisolatie automatisch voldoende luchtgeluidisolatie is. Om een hoge contactgeluidisolatie in staalframebouw te bereiken, moet de directe overdracht via de vloer worden beperkt (afb. 65). Er is tenminste aan één zijde van de vloer massa nodig van 80 kg/m² of hoger. Meestal wordt een (dek)vloer

aangebracht van beton, anhydriet, of zand-cementvloer. Behalve massa, is extra ontkoppeling tussen de vloerprofielen en de beplating nodig. Afhankelijk van het vloersysteem zijn er verschillende mogelijkheden. Bij het gebruik van een steenachtige dekvloer moet deze zo direct mogelijk op de beplating worden aangebracht. Een verende laag tussen de steenachtige laag en een houten bekleding veroorzaakt in de constructie extra resonanties met een averechts effect. Aan de onderzijde kan worden gevarieerd in de opbouw, afhankelijk van de situatie. Er kan bijvoorbeeld worden gewerkt met plafondplaten op veerregels of kruislings regelwerk. Ook is een vrijdragend, verlaagd plafond mogelijk.

De volgende factoren hebben positieve invloed op de contactgeluidisolatie van vloeren:

- geringe buigstijfheid en hoge soortelijke massa van de (cement)dekvloer of van de beloopbare betonnen plaat aan de onderzijde van het vloerelement;
- extra massa in de vorm van dekvloeren, of cementgebonden platen;
- extra ontkoppeling in het regelwerk of toepassing van een vrijdragend verlaagd plafond;
- extra verende vloerbekleding, bijvoorbeeld tapijt (mag niet worden meegenomen in de berekening).

Ook zijn constructies beschikbaar waarbij de dekvloer met geprofileerde staalplaten wordt verstijfd en verend op de vloerprofielen worden gelegd.



65. Detailoplossingen met $I_{L_{LK}} > +5$ dB.

Woningen in staalframebouw

Akoestiek

Zwevende dekvloeren

Bij massieve, steenachtige vloeren kan de geluidsisolatie worden verhoogd door een extra dekvloer. Hiervoor zijn verschillende systemen op de markt, meestal wordt gekozen voor een (zwevende) anhydriet- of estrich-dekvloer. Deze oplossingen gelden niet zonder meer bij staalframebouw. De zwakke punten bij contactgeluid liggen bij massieve vloeren in de hoge frequenties en bij lichte vloersystemen juist bij de lage frequenties. De isolatiewerking van (zwevende) dekvloeren is bij lage frequenties geringer dan bij de hoge. Daarom is de prestatieverbetering van dekvloeren bij massieve vloeren groter dan bij lichte vloersystemen.

Geluidisolatie van vergelijkbare constructies

Afhankelijk van de opbouw zijn verschillende prestaties te bereiken. Een bepaalde prestatie geldt alleen voor een specifieke vloeropbouw met de bijbehorende maatvoering en materialen. Men kan de geconstateerde waarden niet zomaar, zoals bij massieve vloeren, omzetten naar andere vloeropbouw. Alleen als de maatgevende factoren overeenkomen, kan de uitkomst worden gebruikt om goede voorspellingen te doen, zoals:

- het soort profiel;
- de profieldoorsnede;
- de profielafstand (h.o.h.-afstand);
- soort en dikte van de plaat, of platen;
- het soort, de dikte, bevestiging en het aantal plaatlagen van het plafond en de vloer;
- het soort isolatiemateriaal en de vulgraad van de holle ruimte van de vloer.

Het plafond kan op verschillende manieren worden aangebracht, bijvoorbeeld met plafondhangers. Een verbetering van de geluidisolatie door plafonds wordt bereikt op de volgende manieren:

- geringe buigstijfheid en hoge soortelijke massa van de plafondbeplating. Dit betekent dunne platen of de bekleding onderverdelen in meerdere dunne platen;
- akoestisch slappe bevestiging van het plafond aan de draagconstructie door middel van dempend materiaal of verende bevestiging (veerregels, beugels, kruislings regelwerk).

Om te voldoen aan de minimumeisen aan het contactgeluid bij woningscheidende vloersystemen met droge dekvloeren, moeten de staalframebouw vloeren voldoen aan de volgende voorwaarden:

- aan één zijde (boven- of onderzijde) een massa van ongeveer 80 kg/m². Dit kan 40 mm anhydriet of zand-cement zijn of 40 mm verdicht (getrild) beton;
- isolatie van de holle ruimte, vulling van 50 tot 80%;
- veerregels, verende beugels (clips) of plafondhangers met een tweelaagse plafondbekleding van 2x15 mm;
- verende oplegging van de vloerplaat met een minimale dikte van 19 mm.

De akoestische eisen zijn zonder een verende bevestiging van het verlaagde plafond en met slechts één plafondplaat niet te realiseren. De plafondplaat moet zwaar en buigslap zijn, bijvoorbeeld door 10 tot 12,5 mm dikke gipsvezelplaten of 12,5 tot 15 mm dikke gipskartonplaten.

Met zo'n opbouw wordt een luchtgeluidisolatie $I_{L,w,x}$ van ongeveer 0 tot +5 dB bereikt. Aan de eisen voor het contactgeluid van woningscheidende vloeren ($I_{L,w} = +5$ dB) wordt niet voldaan.

Door een ont koppeling van de vloerbeplating en de vloerprofielen, bijvoorbeeld met extra isolatiestroken of verende bevestigingsclips, kan de contactgeluidisolatie met ongeveer 2 tot 3 dB verbeterd worden. Een verdere verbetering is mogelijk met extra massa op of onder de vloerplaten.

In kritische gevallen zijn de eisen onbereikbaar door het flankerende geluid van de wanden. Dit hangt mede af van de detaillering van de bouwknoop. Een weinig elegante maar effectieve oplossing, is een extra voorzetwand. Ook kan het voldoende zijn om het plafond volledig vrij overspannend op te hangen aan de wanden.

Geluidisolatie bij sanitaire installaties

Installatiegeluid en contactgeluid

Installatiegeluid komt voor bij alle sanitaire ruimtes, zoals het toilet, het bad en de wasruimtes. Andere vormen van installatiegeluid, bijvoorbeeld bij ventilatie en liften, worden niet behandeld.

In de hinderbeleving scoren het gebruik van toiletpot en de standleiding (riolering) het hoogst. Het Bouwbesluit stelt eisen aan in 'werking zijnde apparatuur'. Het

contactbruggen	
geluidoverdracht door de scheidingswand	- via openingen in de wand, zoals tegenover elkaar liggende wandcontactdozen of sanitaire installaties - via verzwakkingen in de wandafbouw, zoals voegen of kierende afdeklijsten
geluidoverdracht door de vloer	- via doorlopende vloerliggers - via 'lichte' vloerbekledingen, zoals een enkele plaat - via een doorlopende vloerbekleding of ondervloer - via de holle ruimten (tussen de vloerliggers)
geluidoverdracht door flankerende wand	- via de wand zelf - via de voeg (aansluiting) - via de deur en dan door de vloer - via een doorlopende isolatie
geluidoverdracht door andere doorlopende bouwdelen	- sanitaire installaties - leidingen - elektrische installaties

66. Contactbruggen.

gebruik van een toilet is in deze zin beperkt tot het spoelen, dus het afvoeren van spoelwater en het vollopen van het waterreservoir. Bij het bad en de douchebak geldt hetzelfde, alleen het vollopen en het afvoeren van het badwater is aan geluidseisen onderworpen. De eisen aan sanitairgeluid zijn zwaar.

Naast de keuze van de sanitaire installaties en appendages neemt het gebouwontwerp een aparte plaats in. Eigenlijk alle problemen zijn in het ontwerp te voorzien en te voorkomen. Het is belangrijk om de technische installatie, de schachten en de sanitaire ruimten zoveel mogelijk te scheiden van kamers, bijvoorbeeld door verkeersruimten. Problemen met liften zijn op deze wijze ook op te lossen. In het uiterste geval is een bouwkundig gescheiden liftschacht nodig.

Het stromingsgeluid (ruis) van het water ontstaat door contactgeluid en trillingen in de wandconstructie. Doorgaans wordt de geluidoverlast van sanitaire ruimten veroorzaakt door een te geringe aandacht voor de isolatie van deze trillingen. Feitelijk kan het installatiegeluid worden onderverdeeld naar drie componenten (afb. 67):

- De bron: daar waar de constructie wordt 'aangeslagen'. Ook leidingen in een wand zijn geluidbronnen, of - beter gezegd - bronnen van trillingen door installatiegeluid.

- De overdracht: deze vindt plaats via de draagconstructie en via plaatselijke mechanische koppelingen zoals strippen of materialen die zich in de spouw bevinden en door leidingen en hun bevestigingen in de constructie.

- De ontvanger: de plaats waar de trillingen door geluidafstraling wordt omgezet in luchtgeluid.

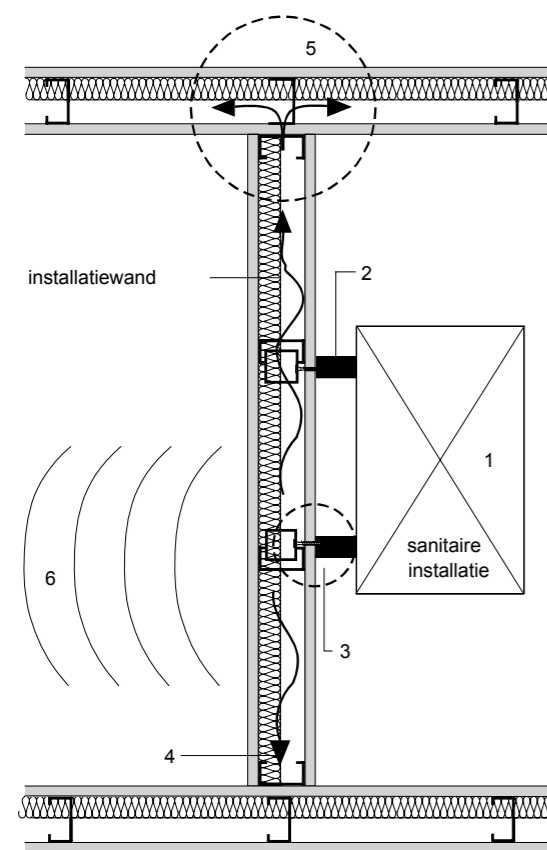
Voor een juiste en hoogst haalbare vermindering van de hinder moeten deze drie componenten akoestisch optimaal worden uitgevoerd. Voor de bronkant houdt dat in dat de sanitaire toestellen, de armaturen én hun bevestigingen geluidarm zijn. Dit geldt ook voor de leidingen.

Om de overdracht van het geluid te reduceren, moeten de bronzijde en de ontvanger bouwkundig gezien zoveel mogelijk worden gescheiden. De hoofd draagconstructie speelt een grote rol bij installatiegeluid tussen woningen. Ook de plattegrond is van belang. Scheiding is ook mogelijk door de geluidsbronnen (sanitaire toestellen, leidingen) op een andere plaats te monteren dan de betreffende scheidingswand, bijvoorbeeld aan een voorzetwand of een dubbele wandconstructie.

Bij woningscheidende vloeren is er geen andere mogelijkheid, het sanitair moet op de scheidingsconstructie worden geplaatst. Een steenachtige zwevende dekvloer geeft goede resultaten (vergelijkbaar met een voorzetwand). Een vrijdragend verlaagd

Woningen in staalframebouw

Akoestiek



- 1 reductie van de aanslag door het gebruik van geluidsarme sanitaire installaties
- 2 reductie van de aanslag door het gebruik van geluidarme bevestiging van de sanitaire installaties
- 3 reductie van de aanslagoppervlakte door constructieve maatregelen
- 4 reductie van het klankkasteffect in de installatiewand
- 5 reductie van het klankkasteffect van de installatiewand naar flankerende bouwdeelen
- 6 reductie van de 'afstraling' van de installatiewand

67. De drie componenten van installatiegeluid en de maatregelen voor de reductie van installatiegeluiden.

plafond, zonder contact met toe- en afvoerleidingen, is ook effectief.

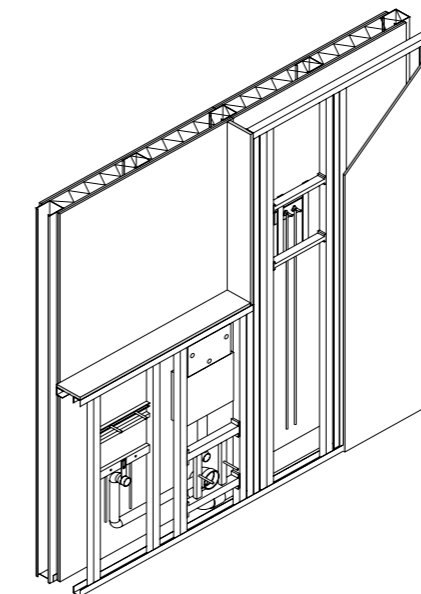
De overdracht kan aan de ontvangzijde worden beperkt door ook daar een voorzetwand te plaatsen. Om de geluidafstraling zelf te verminderen, kan de wand worden uitgevoerd met zware, buigslappe platen.

Voor sanitairgeluid in staalframebouw is geen praktijkrichtlijn of norm beschikbaar. Maar met de navolgende ontwerpregels kan aan de eisen in het Bouwbesluit worden voldaan. De opsomming is incompleet, maar geeft wel de belangrijkste punten. Een aantal maatregelen is theoretisch. In die gevallen wordt nog gewerkt aan praktische vuistregels.

- Alle leidingen moeten worden bevestigd met rubberen inlegstukken (afb. 70 en 71). Als er gebruik wordt gemaakt van montageklemmen voor de leidingen, dan moet een type met afstandhouder worden gebruikt (klem en schroefgat gescheiden).
- Contactarme bevestiging van alle keramische onderdelen, spoelbakken en ondersteuningsconstructie aan de draagconstructie door rubberen oplegstroken, vilt of elastische kit.
- Badkuip en badkuipwanden door isolatiestroken scheiden van wand en vloer, of deze op een zwevende dekvloer monteren. Dit geldt ook voor de douchebak. Naden afwerken met elastisch blijvende kit, bijvoorbeeld een siliconenkit.
- Contactarme doorvoeren van de leidingen bij wanden en vloeren door ommanteling (afb. 71). Het is geen eenvoudige maatregel, maar het kan bij doorvoeren van een toiletput naar een schacht (achteruitlaat) essentieel zijn.
- Gebruik op de kwetsbare plekken toe- en afvoerleidingen met een grote diameter. Dus 22 mm voor warm en koud water, vooral bij het bad en 150 mm of meer voor de afvoer, vooral bij de standleiding. Gebruik gezette bochten omdat deze een grotere kromtestraal hebben dan knietjes.
- Vul de holle ruimtes in de schachten en installatiewanden met minerale wol (afb. 72 en 73).
- Ommantel alle leidingen met een slap, verend materiaal (minerale wol met folie, geen PU-schuim). Toepassing van afvoerleidingen met een dubbele wand kan ook noodzakelijk blijken. Beide maatregelen zijn niet nodig als de ruimte met minerale wol wordt opgevuld.
- Gebruik armaturen, hoekstopkranen en vlotters uit armatuurgeluidgroep 1 en verminder de waterdruk (hydrofoor). Veel fabrikanten kunnen de vereiste informatie overleggen.
- Geluidarme uitvoeringen van spoelbakken. Gebruik bij voorkeur een duobloc met waterreservoir direct op de toiletput. Een zwevende pot met een aparte draagconstructie is ook voldoende.

- Het komt de geluidisolatie uiteraard ten goede als er akoestisch onderlegde loodgieters op de bouwplaats zijn. Het monteren van leidingen is een belangrijk 'ingebouwd' uitvoeringsrisico.
- Monteer standleidingen nooit aan wand- plafond- en vloerelementen maar altijd ter plaatse van de vloervelden aan de hoofddragconstructie. De enige effectieve maatregel aan standleidingen is ze zo ver mogelijk verwijderd te houden van woonruimten.
- Als de riolering door een woningscheidende vloer wordt gevoerd, zorg dan voor een zelfdragend, vrijhangend plafond en een strikte scheiding van de montage van de riolering (tot het bovenliggende vloerelement). Daarbij moeten de holle ruimten van de constructie worden gevuld met minerale wol.

Bij het gebruik van een steenachtige zwevende dekvloer is het gunstig om de douche- en badwanden óp de dekvloer te stellen. Het kan gebeuren dat de wanden te veel zakken door de samendrukking van de isolatie, waardoor de wandafdichtingen verloren gaan. Gebruik daarom de speciale isolatie voor zwevende dekvloeren.



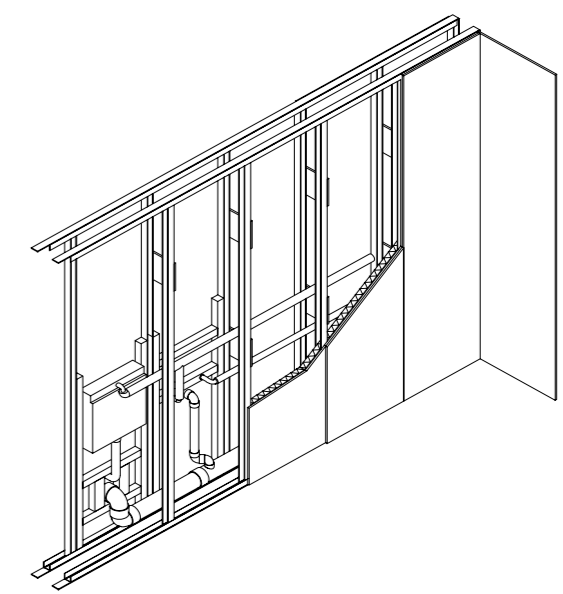
68. Voorzetwand voor inbouw van installaties (halfhoog en verdiepingshoog).

Bepaalde afdichtingsmaterialen zoals butyleen- of acrylaatkitten, kunnen door het 'uitharden' negatieve gevolgen hebben voor de geluidisolatie naar andere ruimten. Over het algemeen geven siliconenkitten de beste resultaten.

In principe is het raadzaam om voorzetwanden te gebruiken bij installaties (afb. 68 en 69). De holle ruimten in deze wanden 'bieden' zich aan als installatieruimte. De profielen kunnen met de nodige springen en ponsgaten worden uitgevoerd, waarin de leidingen kunnen worden doorgevoerd. Bij toiletputten zijn 'geïntegreerde' installaties verkrijgbaar waarmee goede geluidisolatiewaarden zijn te bereiken. Het gebruik van een aparte installatiewand heeft nog een ander voordeel. De schil (van de woning) wordt minder vaak doorbroken door leidingen. Dit verbetert de luchtdichtheid van de woning.

Houd ook rekening met de volgende punten:

- Let op dat de (pijp)leidingen bij binnenwanden niet aan de profielen waarop de ruimte-scheidende bekleding is aangebracht (vaak de ontvangtzijde van de wand),



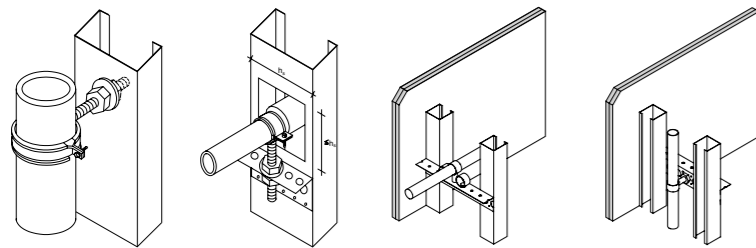
69. Dubbel uitgevoerde installatiewand. De stijlen zijn met plaatstroken aan elkaar verbonden.

Woningen in staalframebouw

Akoestiek



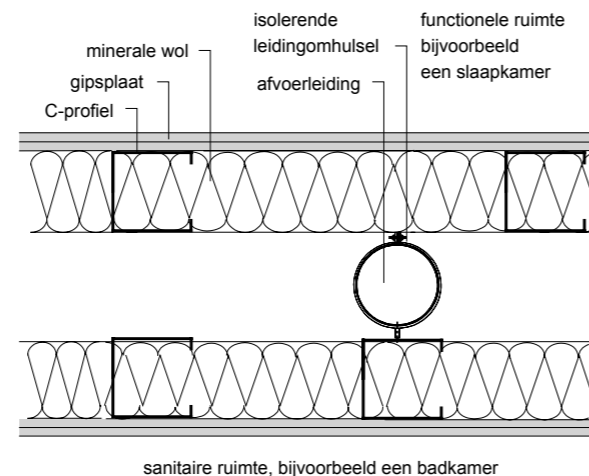
70. Geluidarme bevestiging van leidingen in een metalstudwand.



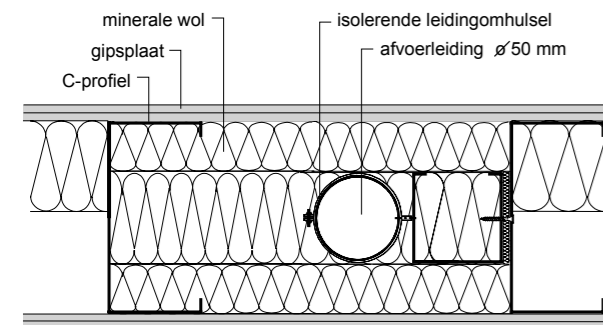
71. Akoestische, verende ontkoppeling bij horizontale en verticale leidingdoorvoeren in enkele en dubbele wandconstructies.

maar aan de 'vrije' zijde van de profielen, of gebruik extra, gescheiden onderdelen, zoals een additioneel 'los' wand-, vloer- of plafondprofiel.

- Bevestig de (pijp)leidingen bij een woningscheidende (dubbele) wandconstructie niet aan de wand dat grenst aan de buurwoning.
- Laat de tegenoverliggende profielen bij een dubbele wandconstructie verspringen. Op deze manier kan geen geluidbrug ontstaan door de leidingen en de stijlen of vloerprofielen. Tussen de beplating van de wand en de installatieonderdelen (leidingen) kan een doorgaande isolatielaag van minerale wol worden aangebracht.
- De 'schachten' (holle ruimten) moeten breed genoeg zijn om de grootste diameter leiding te kunnen verwerken. In de praktijk worden schachten vaak te krap ontworpen.
- Pas in principe een dubbele beplating toe.
- Vul de holle ruimten vol met minerale wol. Hierbij mag de isolatie niet te sterk worden ingedrukt.
- Bij een dubbele wandconstructie moet minerale wol worden aangebracht in de wand aan de ontvangzijde, tussen de profielen.



73. Verticale leiding in een dubbele wandconstructie.



72. Verticale leiding in een enkele wandconstructie.

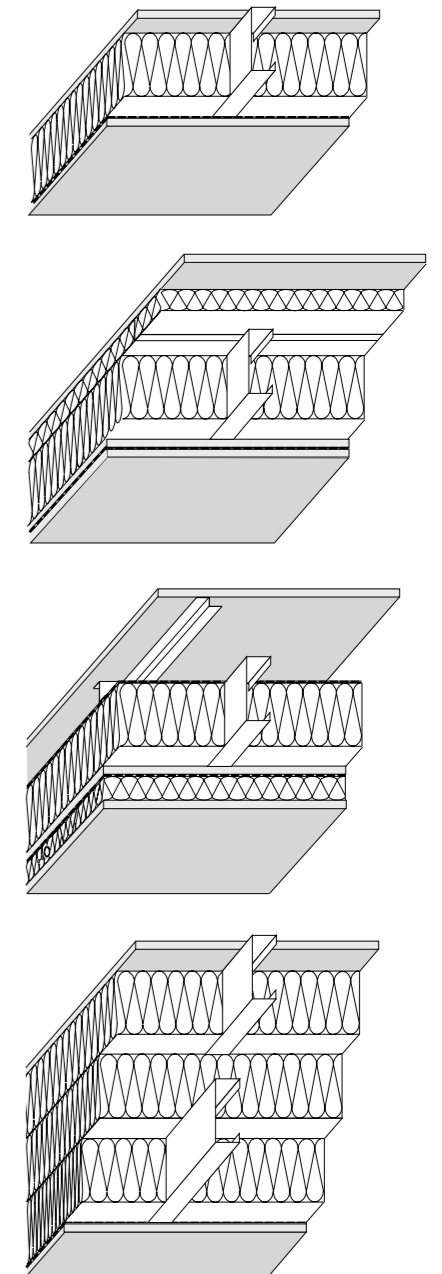
Thermische isolatie en vochtwering

Thermische isolatie

Staalframebouw gevels en vloeren die grenzen aan de buitenlucht worden standaard voorzien van een isolatielaag in het element: de isolatie zit tussen het stijl- en regelwerk van de wanden en de vloer- en dakprofielen. Daarom hangt de keuze van de profielafmetingen niet alleen af van de statische berekeningen maar ook van de gevraagde R_c -waarde. De ruimte tussen de staalframeprofielen moet volledig geïsoleerd worden, om koudebruggen én ongewilde convectie in de isolatielaag te vermijden. Naast deze inwendige basislaag, is een extra isolatielaag of een ander minder geleidend materiaal noodzakelijk vanwege de warmtegeleidingscoëfficiënt van staal. Deze isolatielaag of koudebrugonderbreker wordt tegen de buiten- of binnenzijde van het staalframe aangebracht om de koudebruggen door de staalprofielen te reduceren. In staalframebouw zijn lage EPN-waarden haalbaar. Met aanvullende isolatie, zoals een extra dikke isolatielaag aan de buitenzijde, is het ook mogelijk om passieve verwarmingssystemen toe te passen. Bij dezelfde R_c -waarden zijn bij staalframebouw in vergelijking met andere bouwmethoden, kleinere wanddiktes mogelijk met een mogelijke winst in gebruiksoppervlakte. Dat komt omdat staal goede constructieve eigenschappen heeft waardoor men slanker kan construeren.

Het vermijden van koudebruggen

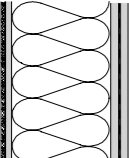
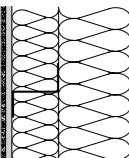
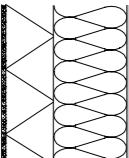
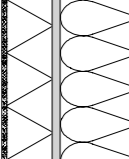
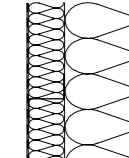
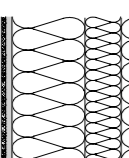
Voor een goede energieprestatie van gebouwen in staalframebouw zijn niet alleen goed geïsoleerde buitenconstructies belangrijk, maar ook een bijpassende detaillering, en een goede uitvoering. Om extra warmteverliezen en het gevaar van lagere oppervlaktetemperaturen aan de binnenzijde van uitwendige scheidingsconstructies te voorkomen moet men bijzonder attent zijn op het reduceren van koudebruggen door extra isolatie of afdekstroken. Koudebruggen kunnen ontstaan bij hoek- en langsaansluitingen van elementen (lineaire, 2D- en 3D-koudebruggen), bij koppelingen ter plaatse van een doorbreking (1D-koudebrug) of door een lekkage in de buitenbekleding (convectie). De koudebruggen (f-waarde) hebben direct effect op de R_c -waarde van het element. Bij hoge R_c -waarde ($> 2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$) wordt het belang van de koudebruggen groter en neemt de daarmee samenhangende negatieve invloed toe. Bij staalframebouw moet extra worden gelet op het voorkomen van die koudebruggen. Binnen het Bouwbesluit geldt de eis voor woningbouw dat de f-waarde groter of gelijk moet zijn dan 0,65 en voor overige gebouwen 0,55. Kenmerkende koudebruggen zijn bijvoorbeeld de profielen in de gevel- en dakelementen. Doorgaande koppelstrips (van buiten naar binnen) moeten in principe worden vermeden. Ter plaatse van een profiel kan op het



74. Verschillende opbouwen van staalframebouw wanden.

Woningen in staalframebouw

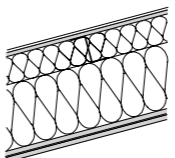
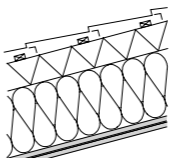
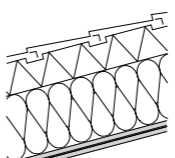
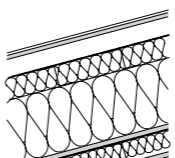
Thermische isolatie en vochtwering

wandopbouw	staaldikte t = 1,5 mm, zonder gaten minerale wol 40 kg/m ³	wanddikte [mm]	R _c -waarde [m ² K/W]	brand- werendheid
	stucwerk stucplaat stijlen/minerale wol dampremmende laag gipsplaat (GKF) 2x	10 15 150 - 2x12,5	2,1	30 minuten
		200		
	stucwerk stucplaat stalen regels/minerale wol stijlen/minerale wol dampremmende laag gipsplaat (GKF) 2x	10 15 80 100 - 2x12,5	4	30 minuten
		230		
	stucwerk houtvezelplaat stijlen/minerale wol dampremmende laag gipsplaat (GKF) 2x	10 80 100 - 2x12,5	3,4	30 minuten
		215		
	stucwerk minerale wol stucplaat stijlen/minerale wol dampremmende laag gipsplaat (GKF) 2x	15 80 15 150 - 2x12,5	4,5	30 minuten
		285		
	stucwerk stucplaat dubbel stijl- en regelwerk, mineral wol windkerende dampdoorlatende laag stijlen/minerale wol gipsvezelplaat dampremmende laag voorzetswand/minerale wol gipsvezelplaat	10 15 2x60 - 150 10 - 60 12,5	5,3	30 minuten
		377,5		
	stucwerk stucplaat stijlen/minerale wol minerale wol stijlen/minerale wol minerale wol dampremmende laag gipsplaat (GKF) 2x	10 15 100 50 100 - 2x12,5	5,6	30 minuten
		300		

75 (deel 1). R_c-waarden van gevelconstructies.

wandopbouw		wanddikte [mm]	R _c -waarde [m ² K/W]	brand- werendheid
	stucwerk minerale wol afsmeerlaag kalkzandsteenblokken stucplaat	10 80 5 175 15	2,6	120 minuten
		285		
	stucwerk gasbetonblokken stucplaat	20 365 15	2,7	120 minuten
		400		

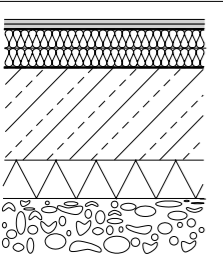
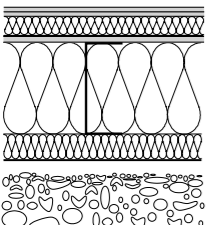
75 (deel 2). R_c-waarden van gevelconstructies.

dakopbouw	staaldikte t = 2,0 mm, zonder gaten minerale wol 40kg/m ³	dikte [mm]	R _c -waarde [m ² K/W]	brand- werendheid
	metalen dakbedekking spouw dwarsprofielen/minerale wol staalframe/minerale wol dampremmende laag gipskartonplaat (2x)	1,5 22 80 200 - 2x12,5	4,7	30 minuten
		328,5		
	dakpannen tengels houtvezelplaat (geïmpregneerd) staalframe/minerale wol dampremmende laag gipskartonplaat (2x)	40 30 80 200 - 2x12,5	3,7	30 minuten
		375		
	dakpannen EPS-isolatieplaat staalframe/minerale wol dampremmende laag gipskartonplaat (2x)	40 80 200 - 2x12,5	4,7	30 minuten
		345		
	metalen dakbedekking spouw dwarsprofielen (zwak geventileerd) windkerende dampdoorlatende laag dwarsprofielen/minerale wol staalframe/minerale wol gipsvezelplaat dampremmende laag dwarsprofielen/minerale wol gipskartonplaat (2x)	1 22 60 - 60 200 12,5 - 60 12,5	5,3	30 minuten
		380,5		

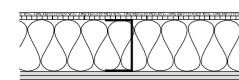
75. R_c-waarden van dakconstructies.

Woningen in staalframebouw

Thermische isolatie en vochtwering

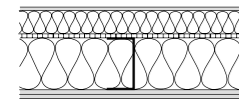
vloeropbouw		vloerdikte [mm]	R _c - waarde [m ² K/W]	brand- werendheid
	dubbele gipsvezelplaat dampremmende laag thermische en akoestische isolatie werkfolie beton XPS-isolatie vochtkerende laag	2x10 - 80 - 200 80 -	4,3	niet van toepassing
		380		
	dubbele gipsvezelplaat akoestische isolatie dampremmende laag cementgebonden vezelplaat minerale wol/vloerliggers h.o.h. 400mm regels h.o.h. 400mm/minerale wol verzinkte staalplaat spouw ondergrond	2x10 40 - 20 200 60 1 -	5,3	60 minuten
		341		

77. R_c-waarden van de constructie van de begane-grondvloer.



opbouw constructie A

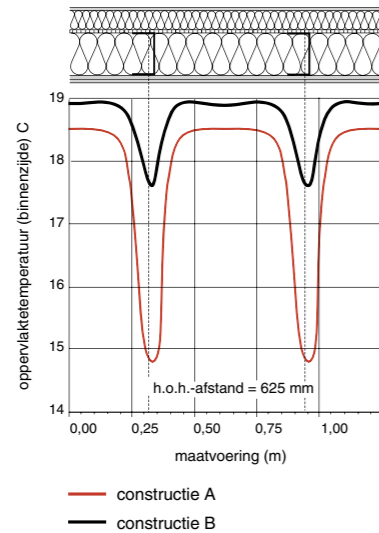
stucwerk 10 mm
spaanplaat V100, 13 mm
thermische isolatie 100 mm
GF, 2 x 12,5 mm



opbouw constructie B

geïsoleerd stucwerksysteem
60 mm
spaanplaat V100, 13 mm
thermische isolatie 100 mm
GF, 2 x 12,5 mm

stijlen
60x100x0,6 mm



78. Koudebruggen: de invloed van de stijlen op de oppervlakte temperatuur aan de binnenzijde.

binnenoppervlakte de condensatietemperatuur worden bereikt. Hierbij vertonen de mechanische bevestigingsmiddelen de laagste oppervlaktetemperatuur, zoals bijvoorbeeld de schroeven die het plaatmateriaal aan het achtergelegen stijl- en regelwerk hecht. Een thermische visualisatie van de gevel (afb. 79) laat zien, dat de buiten-oppervlaktetemperatuur ter plaatse van het stijl- en regelwerk in verhouding tot die van de aangrenzende oppervlaktes hoger is. In dit geval is het temperatuurverschil 1°C. Afbeelding 80 geeft een voorbeeld van twee buitenhoekaansluitingen. Bij het ene detail komen de staalprofielen samen en veroorzaken zo een versterkte koudebrug. Bij het andere detail wordt door de ont koppeling van de profielen een koudebrug voorkomen.

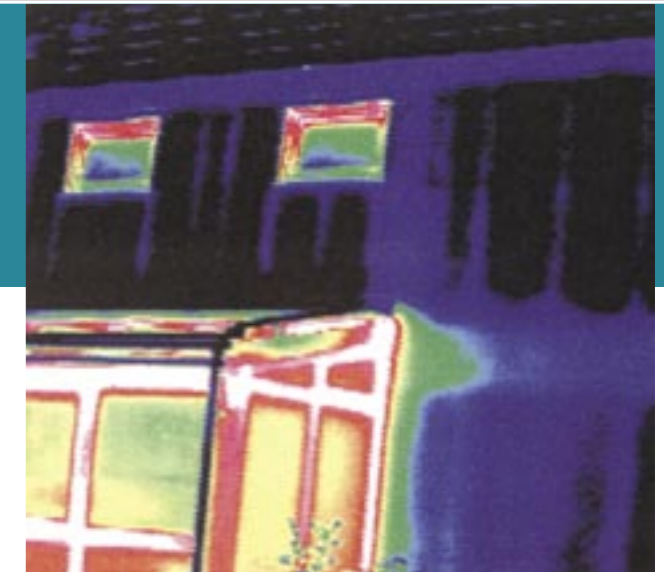
De R_c-waarden in de afbeeldingen 75, 76 en 77 zijn berekend op basis van DIN 4108, deel 5. Voor de Nederlandse situatie worden deze bepaald op basis van numerieke methoden conform NEN 1068 of met de vereenvoudigde rekenmethode (lees: handberekeningsmethode) conform NPR 2068 onder de bijbehorende condities en weegfactoren. In alle gevallen gaat men uit van het schematiseren van een gebouwdoorsnede en onderscheidt daarbij de bouwdeelvlakken, bouwknopen en lineaire koudebruggen ter plaatse van de aansluitdetails.

De invloed van de staalprofielen op de werkelijke R_c-waarde van de wand is te zien in afbeelding 83, hierin staan R_c-waarden die zijn gebaseerd op de eindige elementenmethode (numerieke bepalingsmethoden). Door het toevoegen van een

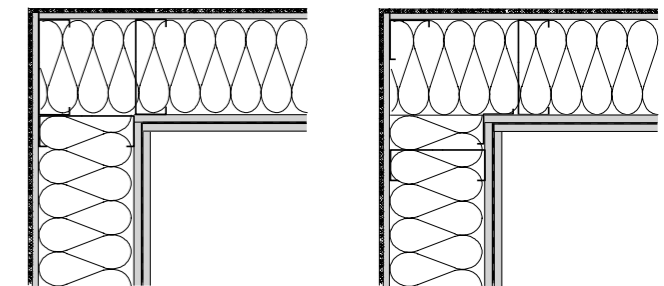
isolatielaag op het frame wordt de invloed van de staalprofielen zoveel gereduceerd, dat de totale R_c-waarde marginaal kleiner is dan die van de volledig geïsoleerde delen. Als algemene ontwerpregel geldt, dat bij een aanvullende buitenisolatie met een dikte van 20 mm en een warmtegeleidingscoëfficiënt van 0,04 W/mK, de koudebruggen zo klein zijn, dat condensatie aan de binnenzijde mag worden uitgesloten. In Zweden heeft men de koudebruggenproblematiek opgelost door de zogeheten thermoprofielen. Het lijf van deze profielen wordt van een groot aantal langssleuven (openingen) voorzien, om de warmtedoorgang loodrecht op het profiel te reduceren. De versprongen, naast elkaar gelegen openingen verlengen de warmtetransportafstand door het lijf van het profiel. In combinatie met minerale wol geven de thermoprofielen een aanzienlijke reductie van de warmtestroom, zonder extra isolatie of koudebrugonderbreking aan de buitenzijde. Afhankelijk van de plaatsing van de sleuven en de breedte van de profielen wordt de afstand die de warmtestroom 'doorloopt' verdrievoudigd (afb. 81, 82). Het thermoprofiel is een voorbeeld van intelligent staalgebruik: met minder materiaal wordt een hoger rendement behaald. Een nadeel van deze sleuven is een reductie op de stijfheid én sterkte van het thermoprofiel van ongeveer 5 à 10 %. Hiervoor zijn echter speciale versterkingsstukken en hulpmiddelen beschikbaar. Voor raam- en deuropeningen kunnen afdekstroken worden toegepast voor de gewenste luchtdichtheid en aansluitdetails.

De lucht- en winddichtheid

De lucht- en winddichtheid van de daken en gevels (buitenschil) heeft invloed op het binnenklimaat. Een goede lucht- en winddichtheid voorkomt ook (bouw)vochtproblemen en beïnvloedt de energiehuishouding van het gebouw positief. Onder luchtdichtheid wordt verstaan: het verhinderen van een luchtstroom in de richting van het dampdrukverval, kortom: het binnendringen van lucht in de constructie van binnen naar buiten en andersom. Er is sprake van winddichtheid als de buitenlucht niet in de isolatielaag of in de holte van het element kan komen en zo de bouw fysische eigenschappen van het element negatief beïnvloedt. Windkerende lagen, zoals een opgemetseld buitenspouwblad of een waterkerende dampop, winddichte folie, worden aan de buitenzijde van het element aangebracht (afb. 87). Zij zijn een voorwaarde voor een goed binnenklimaat. Het doorstromen van lucht van buiten naar binnen, kan tot onaangename tochtverschijnselen leiden. Ook het binnenstromen van hinderlijke geuren uit naastgelegen woningen, uit kelders met eventuele schimmelsporen of lucht met fijne stofdeeltjes of bezwaarlijke emissiestoffen uit de bouwdeelen zelf wordt door een goede winddichting verholven.



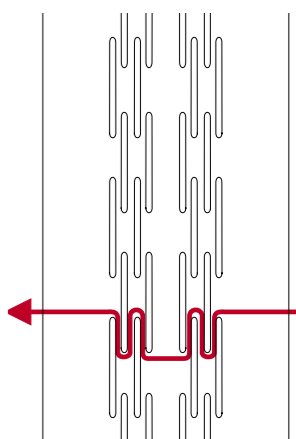
79. Thermovisuele weergave van een staalframebouw woning.



vergroete koudebrug door gekoppelde profielen

verbeterde koudebrug door gescheide constructie

80. Vorming van een koudebrug in staalframebouw en het vermijden van een groot warmtelek.



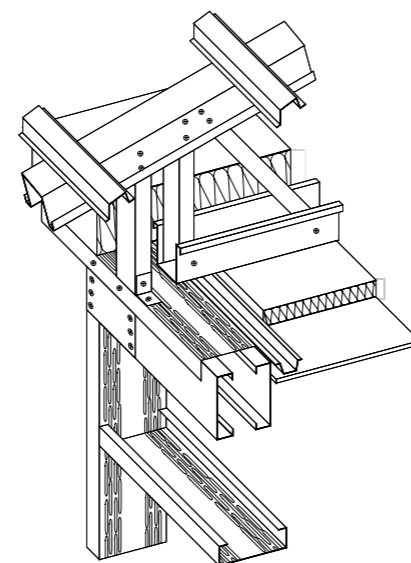
81, 82. Een 'thermoprofiel'. De sleuven in het lijf verlengen de 'weg' van de warmtestroom en voorkomen koudebruggen.

Woningen in staalframebouw

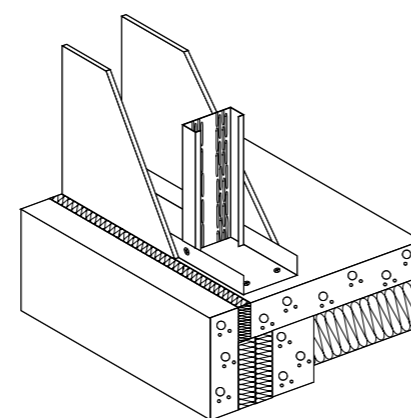
Thermische isolatie en vochtwering

	$R_{c, \text{isolatie}} = 4,16 \text{ m}^2\text{K/W}$	$R_{c, \text{totaal}} = 2,27 \text{ m}^2\text{K/W}$	gipsplaat 20 mm minerale wol WLG 040 / staalprofiel 150 mm spaanplaat 19 mm stucwerk 15 mm
	$R_{c, \text{isolatie}} = 5,26 \text{ m}^2\text{K/W}$	$R_{c, \text{totaal}} = 2,63 \text{ m}^2\text{K/W}$	gipsplaat 20 mm minerale wol WLG 040 / staalprofiel 200 mm spaanplaat 19 mm stucwerk 15 mm
	$R_{c, \text{isolatie}} = 5,56 \text{ m}^2\text{K/W}$	$R_{c, \text{totaal}} = 4,17 \text{ m}^2\text{K/W}$	gipsplaat 20 mm minerale wol WLG 040 / staalprofiel 150 mm spaanplaat 19 mm EPS WLG 040 60 mm stucwerk 15 mm
	$R_{c, \text{isolatie}} = 6,67 \text{ m}^2\text{K/W}$	$R_{c, \text{totaal}} = 5,26 \text{ m}^2\text{K/W}$	gipsplaat 20 mm minerale wol WLG 040 / staalprofiel 150 mm spaanplaat 19 mm EPS WLG 040 100 mm stucwerk 15 mm
	$R_{c, \text{isolatie}} = 7,69 \text{ m}^2\text{K/W}$	$R_{c, \text{totaal}} = 6,67 \text{ m}^2\text{K/W}$	gipsplaat 20 mm minerale wol WLG 040 / staalprofiel 200 mm spaanplaat 19 mm EPS WLG 040 150 mm stucwerk 15 mm
	$R_{c, \text{isolatie}} = 7,69 \text{ m}^2\text{K/W}$	$R_{c, \text{totaal}} = 5,56 \text{ m}^2\text{K/W}$	gipsplaat 20 mm minerale wol WLG 040 / staalprofiel 200 mm spaanplaat 19 mm EPS WLG 040 100 mm stucwerk 15 mm
	$R_{c, \text{isolatie}} = 9,09 \text{ m}^2\text{K/W}$	$R_{c, \text{totaal}} = 7,14 \text{ m}^2\text{K/W}$	gipsplaat 20 mm minerale wol WLG 040 / staalprofiel 200 mm spaanplaat 19 mm EPS WLG 040 150 mm stucwerk 15 mm

83. Vergelijk van R_c -waarden tussen verschillende wandopbouw en de invloed van extra, uitwendige isolatie op de koudebruggen en de totale R_c -waarden.



84. Dakdetail met thermoprofielen.



85. Funderingsdetail met thermoprofielen.

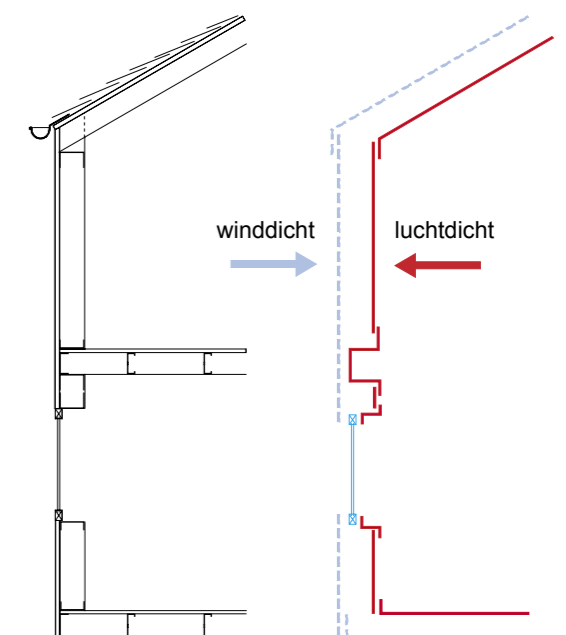
Vermijden van energieverliezen

Hollewandsystemen, zoals staalframebouw, hebben naden in het bekledingsmateriaal. De isolatie in de holle ruimte, doorgaans minerale wol, heeft een open structuur en vormt in principe geen dampremmende laag. Door 'lekkages' (convectie koudebruggen) in de aansluitnaden van de bekleding vindt een ongecontroleerde luchtstroom plaats tussen de 'buitenruimte' en de holle ruimten van het element. Door een lek bij de naden in de beplating (naadlekkage) of een lek bij een aansluiting tussen de elementen onderling (open voeg) kan een verbinding ontstaan met de buitenruimte. Warme binnenlucht stroomt in het element en geeft een bepaald energieverlies. Daarom moet aan de binnenzijde een dampremmende laag worden aangebracht.

Als de gevel onvoldoende lucht- en winddicht is uitgevoerd, dringt koude lucht in het element en verspreidt het zich door de hele wand of vloer. De isolatie wordt als het ware van buitenaf doordrongen van koude lucht, waardoor het verliest aan isolerend vermogen. Daarom wordt aan de buitenzijde van een element altijd een damp-open, windkerende folie of een isolatielaag toegepast. Als het buitenspouwblad van metselwerk is, wordt een damp-open folie als windkering overbodig; toch wordt het dan evengoed vaak gebruikt om de isolatie in het element te fixeren. Een isolatielaag aan de spouwzijde van het binnenblad heeft dezelfde functie. Een extra folie is dan niet nodig.

Inwendige condensatie

Door lekkage bij de naden van de platen aan de binnenzijde kan lucht met een hoge luchtvochtigheidsgraad in de constructie komen (door convectie). De vocht in de lucht kan condenseren (inwendige condensatie), waardoor het isolerende vermogen van de isolatie afneemt. Ook kan de condensatie leiden tot schimmels, vorstschade of vochtplekken aan het oppervlak. Inwendige condensatie moet absoluut worden vermeden, omdat de constructie inwendig niet te controleren is en eventuele schade aanvankelijk verborgen blijft. De intensiteit van de condensatie in het element is door convectie aanzienlijk groter dan door diffusie (damptransport), omdat bij convectie de meegevoerde luchthoeveelheden relatief groter zijn.



86. Verschil tussen winddicht en luchtdicht.

Woningen in staalframebouw

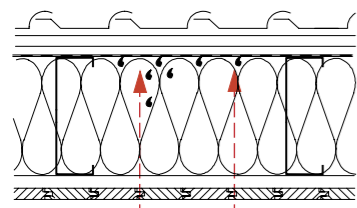
Thermische isolatie en vochtwering

Lucht- en winddicht ontwerpen en uitvoeren in staalframebouw

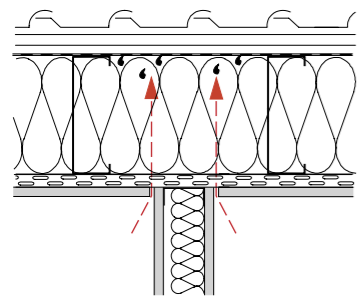
De lucht- en winddichtheid van een gevelement is geen probleem, vooral als er in een vroeg stadium rekening mee wordt gehouden. Veelal is de lucht- en winddichtheid van de elementen bij de producent of fabrikant geregeld met een certificaat. De opbouw van een element (eventueel met de nodige folies) moet op de tekentafel al op het aspect luchtdichtheid worden beoordeeld, want een verkeerd ontworpen wind- of luchtdichting is achteraf alleen met extra kosten te repareren. De dampremming wordt gevormd door een folie aan de binnenzijde van de buitenwanden, achter het plaatmateriaal.

De naden van de platen (stootvoegen) van de staalframe elementen liggen in hoofdzaak op de stijlen. De naden kunnen eenvoudig worden dichtgezet door bijvoorbeeld afvoegen. De stootvoegen kunnen ook worden afgeplakt (afb. 88). De aansluitingen tussen aanliggende bouwdelen kan met een flexibel kleefband (gesloten cellenband) worden afgedicht (afb. 90). Om scheurvorming op lange termijn uit te sluiten, zijn gipsplaten aan te bevelen. Deze hebben in tegenstelling tot houtachtige bouwmaterialen een lage krimp- en zwellingscoëfficiënt: maximaal 0,02% lengteverandering per procent vochtigheid.

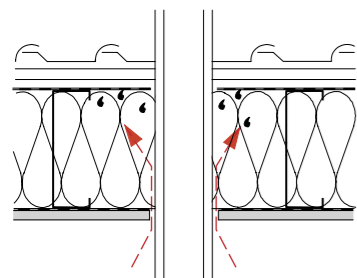
Als voor de verschillende luchtlagen folies (damp-open of dampremmende) worden toegepast, dan moet bij de verwerking ervan op een aantal zaken worden gelet. Voorkom dwarsnaden door voldoende brede folies. Bij voorkeur moet de folie groter zijn dan de bijbehorende bouwdeelfmetingen. In dakconstructies worden folies onder de sporen van vorst naar dakvoet toegepast. De folies moeten minstens met een strook van 100 mm overlappend worden aangebracht en afgeplakt (afb. 90). Gebruik op de folie afgestemde lijmen of plakbanden (tape). Ook wordt vaak dubbelzijdig tape gebruikt. Langsnaden worden tegen de stijlen en sporen aangebracht en vervolgens door de beplating of door een extra tengel vastgezet. Voor vormvaste isolatie en dikke folies zijn flexibele tapes op de markt; gebruik ook hier de juiste tapes en hou rekening met de nodige bewegingsruimte om de afgeplakte delen aan te kunnen drukken. De aansluitingen tussen de verschillende bouwdelen moeten ook met voldoende folieoverlap worden uitgevoerd. De overlap kan op de bouw worden afgeplakt of door de (extra) profielen worden vastgezet (afb. 91). Om oneffenheden in het oppervlakte te egaliseren, kan daarbij in het contactvlak tussen twee folies en de bouwdelen een elastische tape of voegband worden aangebracht.



a luchtdoorlatende binnenbekleding

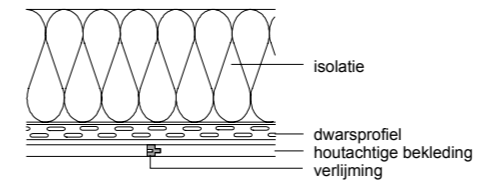


b open aansluiting bij een scheidingswand

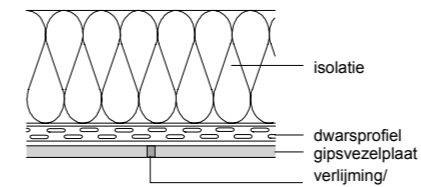


c open aansluiting bij een dakdoorvoer

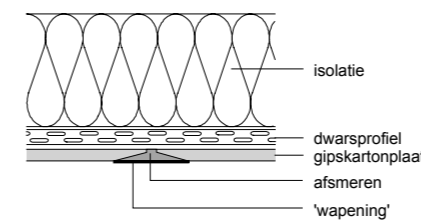
87. Koudebruggen (convectie) door open aansluitingen met de bijbehorende condensatiepunten.



voegafdichting door verlijming



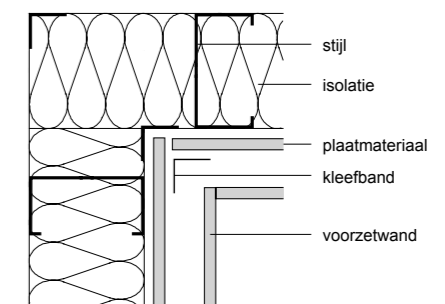
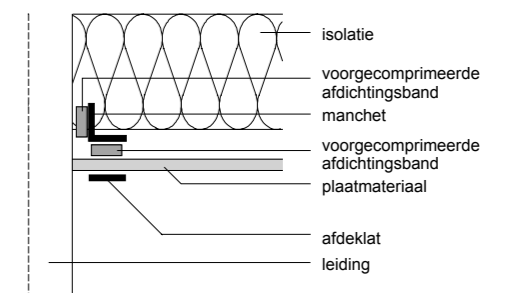
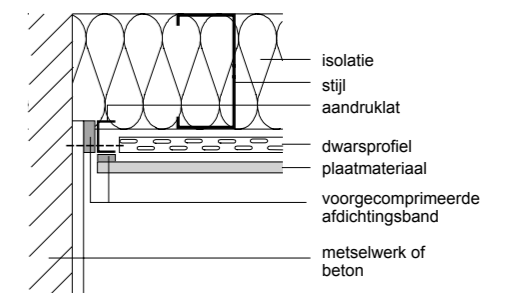
voegafdichting door verlijming of afsmeren



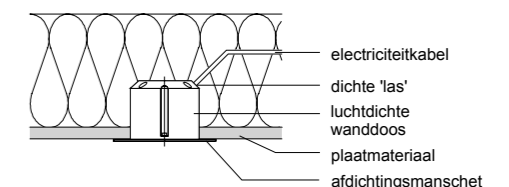
voegafdichting door 'gewapend' afsmeren

Naast de uitvoering van de aansluitingen tussen de bouwdelen, vraagt de uitvoering van doorvoeren van electra-, water- en verwarmingsinstallaties en het inbouwen van kozijnen extra aandacht. In spouwconstructies kan lekkage ontstaan door installaties zoals wandcontactdozen. Een zorgvuldige uitvoering is daarom vereist. Houd voor een goede luchtdichtheid rekening met de volgende aspecten:

- het afstemmen van de constructie en inbouw op lucht- en winddichtheidseisen, bijvoorbeeld door het vermijden van doorvoeren in de gevel;
- scheiding van bouwdelen (zoals balkendoorbekingen);
- zorgvuldige uitvoering van de luchtdichte laag, bijvoorbeeld met afgeplakte plaatvoegen of aansluitingen met folie-overlappen van minimale van 100 mm (afb. 90);



88. Luchtdichte uitvoeringen van een wandopbouw met plaatmateriaal.



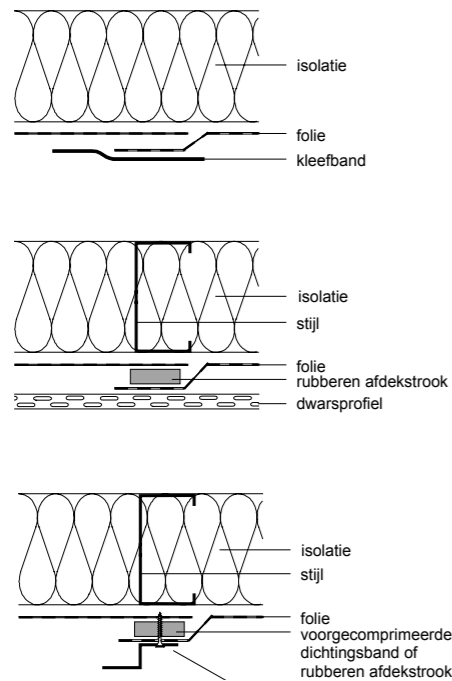
89. Een luchtdichte uitvoering van een wandcontactdoos.

Woningen in staalframebouw

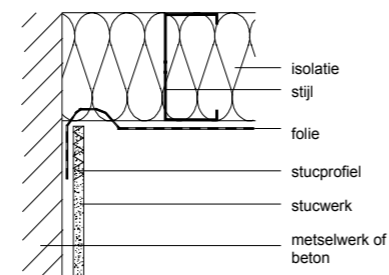
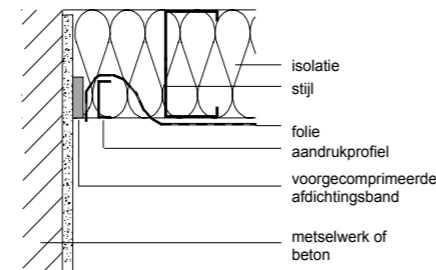
Thermische isolatie en vochtwering

- het toepassen van zo groot mogelijke folieafmetingen, waardoor het aantal 'folie-naden' minder worden;
- zorgvuldige uitvoering van doorbrekingen met een luchtdichte laag (folie). Gebruik bij voorkeur afdichtingsringen (afb. 89 en afb. 91);
- het toepassen van inbouwapparatuur die speciaal voor holle wandsystemen zijn ontwikkeld, zoals dakvensters met foliestroken of luchtdichte elektriciteitsdozen (afb. 89);
- scheiding van onderdelen met een luchtdichtheids functie én een ruimte-scheidende functie, bijvoorbeeld door een voorzetwand. Zo kan op eenvoudige wijze beschadiging aan de luchtdichte laag worden voorkomen (afb. 92).

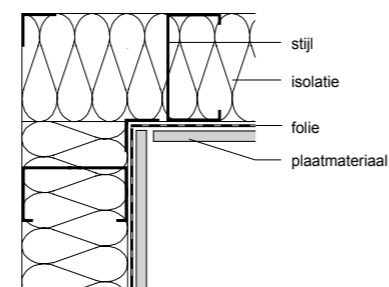
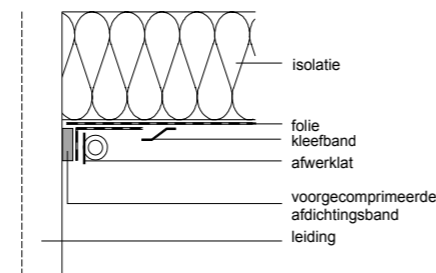
De lucht- en winddichting verdient extra aandacht bij uitkragende vloerliggers (balkon en galerijen), keperconstructies of uitkragende sporen bij een dakoverstek. Overigens is het raadzaam om deze 'traditionele' constructies in staalframebouw te vermijden of door alternatieven te vervangen, vanwege de mogelijke koudebruggen. Bij prefab



90. Afbeeldingen van luchtdichte folie-overlappen.



aansluiting van folie op metselwerk of beton



91. Luchtdichte uitvoering met folies.

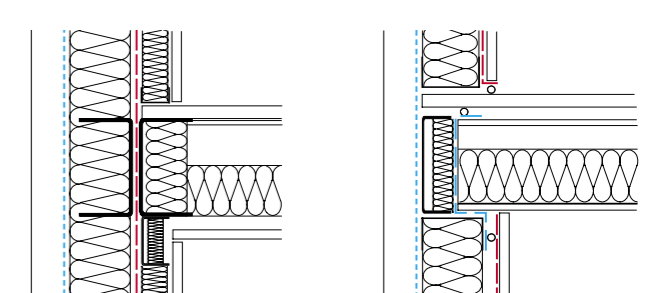
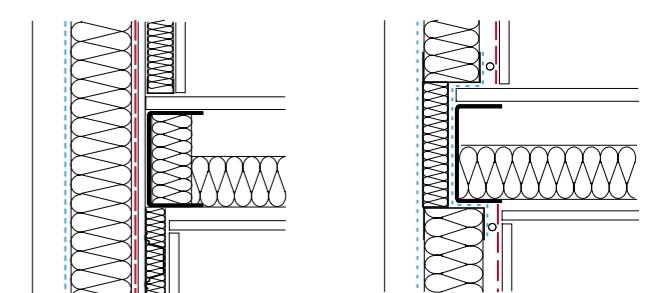
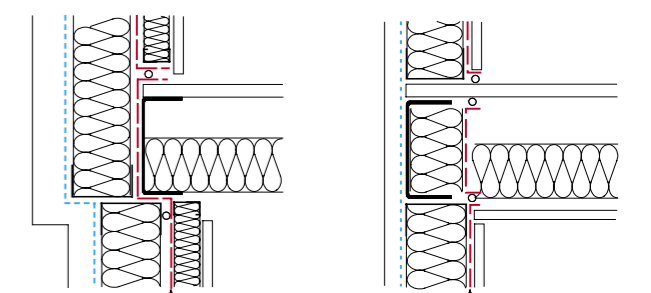
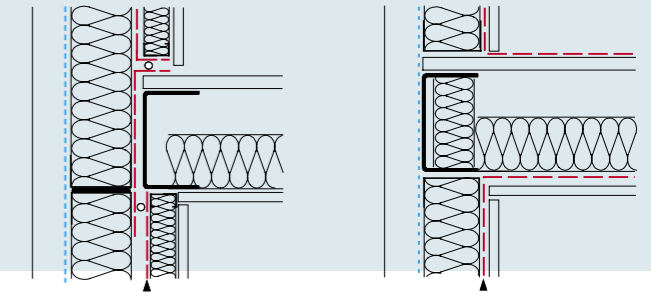
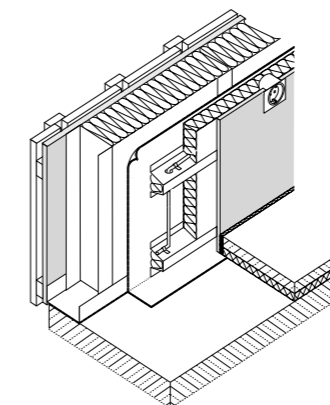
staalframebouw komen de aansluitingen tussen de bouwdelen voor een groot deel overeen met prefab beton en prefab houtskeletbouw. Tijdens de werkvoorbereiding moet bij deze voegen rekening worden gehouden met de lucht- en winddichtheid én de uitvoering ervan. Neem ook de stelruimten en de mattoeranties in acht. Door het lichte gewicht en vooral de grote maatvastheid van de staalframebouw elementen kunnen de aansluitdetails met de huidige afdichtingstechnieken tegen relatief lage kosten uit worden gevoerd.

Vochtwerking

In tegenstelling tot de traditionele bouw moet bij staalframebouw – door de lagenstructuur van een element – specifiek gelet worden op de dampdiffusiestroom door de verschillende lagen. De diffusieweerstanden van de afzonderlijke lagen moeten van binnen naar buiten afnemen om condensatie uit te sluiten.

Oppervlaktecondensatie

Het optreden van condensatie bij een kortstondige, sterke stijging van de luchtvochtigheid (koken, wassen) aan de binnenzijde van een gebouw kan worden verminderd als aan de binnenzijde van de ruimtes vochtregulerende, vochtabsorberende materialen worden toegepast. Gips is daarvoor geschikt en hout in iets mindere mate. Een kortstondige inwerking van vocht is bij deze oppervlakken geen bezwaar, omdat zij door hun materiaalstructuur vocht kunnen opnemen en weer aan hun omgevingslucht kunnen afgeven. Om het absorberend vermogen te behouden mogen de oppervlakten alleen met een dampopen afwerklaag (of



93. Verschillende aansluitingen van vloeren op buitenwand voor de balloon- en platformmethode met lucht- en winddichte uitvoeringen. De rode folie is dampremmend, de blauwe folie is dampdoorlatend.

92. Opbouw van een staalframebouw gevel en een voorzetwand voor installaties met een doorgaande luchtdichte laag.

Woningen in staalframebouw

Thermische isolatie en vochtwering

gelijkwaardig) worden behandeld. Overigens zijn speciale, vochtwerende gipsplaten voor de 'natte' ruimtes beschikbaar. Ze zijn te herkennen aan hun groene uiterlijk. Resumerend zijn gevels zonder probleem uit te voeren in de staalframebouw, het heeft:

- goede tot zeer goede thermische isolatiewaarden;
- voldoende dampdiffusieweerstand door de binnenbekleding (bijvoorbeeld door een dampremmende laag).

Overigens moet de spouw achter bijvoorbeeld rabatdelen of geprofileerde staalplaat, zwak ventilerend worden uitgevoerd. De dampopen laag (spouwzijde) moet 4 tot 5 maal zo dampopen zijn als de dampremmende laag. Er zijn speciale waterkerende dampopen foliën met microperforaties. Dat zijn zulke kleine gaatjes, dat er geen water doorheen kan, maar wel waterdamp van binnen naar buiten kan doorstromen. Sinds enkele jaren zijn ook de zogeheten spinvliezen verkrijgbaar, folies met een hoge waterdampdoorlaatbaarheid, zonder perforaties en volkomen waterdicht.

Warmte-accumulatie

Bij het ontwerpen van gebouwen moet men – onafhankelijk van de bouwmethode – letten op de isolatie tijdens de zomerperiode, om te voorkomen dat een te warm en onbehaaglijk binnenklimaat ontstaat. Door de zonnestraling én het zomerklimaat ontstaat een verhoging van de binnentemperatuur. Met de huidige technische kennis is een goede warmte-isolatie in de zomerperiode mogelijk. De temperatuurstabiliteit van woningen wordt vaak met dikke spouwmuren geassocieerd. Dit is misleidend, tenminste bij goed geïsoleerde woningen.

Invloeden

De warmte-toename in een gebouw wordt bepaald door zonlicht. Dat geldt voor de traditionele én lichte bouwmethodes. Door de glaspartijen komt zonlicht binnen, dat wordt omgezet in warmte-energie. Daardoor is het glasoppervlak de belangrijkste oorzaak voor de stijging van de binnentemperatuur. Maar ook zonder directe zonnestraling kunnen de gevels door diffuse en reflecterende straling behoorlijke warmtehoeveelheden opnemen. Door verkeerde of onvoldoende isolatie, lekken in het element, onvoldoende ventilatie of door niet of onvoldoende zonnewering, kunnen te hoge binnentemperaturen ontstaan. De temperatuurverhoging van gebouwen wordt

door de volgende grootheden bepaald:

- de totale energiedoorlaatcoëfficiënt van glas;
- de grootte en positie van de glaspartijen;
- de zonnewering van de ramen binnen of buiten, bijvoorbeeld markiezen, jaloezieën, zonwerende beglazing;
- de ventilatiemogelijkheden van de ruimten, ook nachtventilatie;
- het accumulerend vermogen van de gevels, wanden én de vloeren;
- de R_{ζ} -waarde van daken en gevels;
- het faseverschuivingsgedrag van de gevels: warmte wordt in een bouwdeel opgeslagen en na een bepaalde tijd weer afgegeven naar een achtergelegen ruimte.

Bij goed geïsoleerde woningen zijn de temperatuurverschillen tussen dag en nacht klein. Een geringer accumulerend vermogen dat bij staalframebouw ten opzichte van traditionele bouw het geval is, kan gedeeltelijk worden gecompenseerd door het verhogen van de isolatie. Met betrekking tot het effect van warmte-accumulatie is het interessant te weten, dat bij zware, massieve wanden slechts een laag van 60 tot 100 mm warmte accumuleert tijdens de dag-nacht cyclus, met een afnemend temperatuurniveau ten opzichte van het wandoppervlak (afb. 94). De grootste invloed op het opwarmen van de binnentemperatuur komt primair uit het glasoppervlak. Overigens is de uiteindelijke inrichting ook van invloed, maar deze wordt bij warmte-accumulatieberekeningen niet meegenomen.

Ontwerprichtlijnen.

Het bouwsysteem en het accumulerende vermogen van het gebouw zijn niet de voornaamste factoren voor de zomerse temperatuurbeheersing. Bij het ontwerp zijn de volgende richtlijnen van belang (naar rato van invloed):

- de intensiteit van de zoninstraling (door de glaspartijen) in de ruimte reduceren (oppervlakte, detaillering, positie, maatregelen voor zonwering, eigenschappen van glas);
- het optimaliseren van de R_{ζ} -waarde en de winddichtheid van de gevels;
- de grootte van de verwarmings- en koelelementen optimaliseren (interne warmtebronnen in de zomer minimaliseren, de inzet van een gecombineerd warmte-koelsysteem);
- de capaciteit van de mechanische ventilatie in relatie tot de klimaatregeling van binnen-buitentemperaturen;

- de hoogte van de R_{ζ} -waarde en het accumulerend vermogen optimaliseren door een effectieve materiaalkeuze bij de opbouw van de wandconstructie.

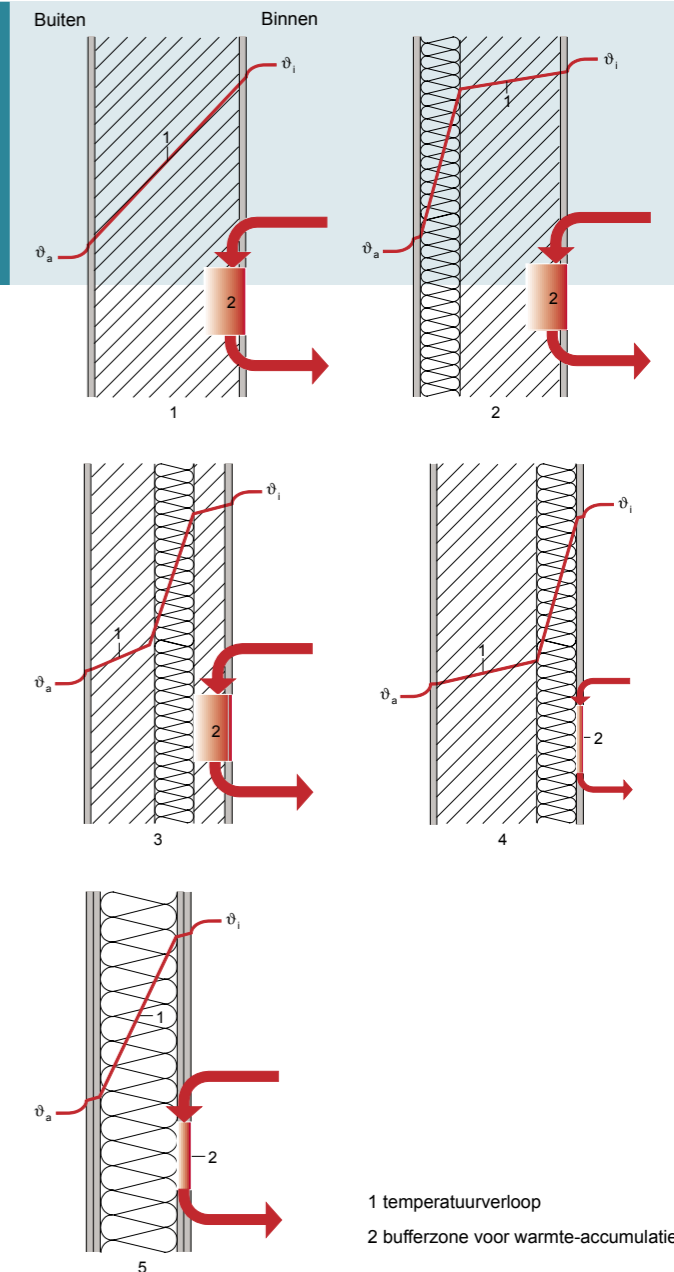
Als principeel ontwerppunt geldt: verhinder binnekomende warmte en voer de binnengekomen warmte weer af. Een menselijke lichaam stelt zich overdag in de zomer in op de warmte; 's nachts verwacht het de verkoeling van de nachtlucht. Daarom verdient de (natuurlijke) ventilatie tijdens de nacht aandacht. Als men de ontwerprichtlijnen gebruikt, zijn staalframebouw woningen ook 's zomers comfortabel. Gemiddeld liggen de binnentemperaturen slechts 0,5 tot 1,0 K boven de waarden van traditionele bouwwerken. Daarentegen verdient de invloed van zonwering met temperatuurverschillen van ongeveer 16 tot 19° meer aandacht (afb. 96). Bij de keuze voor een lichte of een traditionele bouwmethode hoeft de vraag van warmte-wering in de zomer dus geen rol te spelen.

Ontwikkelingen

De nieuwste ontwikkelingen voor verdere comfortverhoging gaan in de richting van de zogeheten latente warmteopslag met gipsplaten of cellulose-isolatie.

Gipsplaten

Het gips van de gipsplaten wordt gebonden met ongeveer 20% toeslagstof van zeer kleine waskogeltjes (parafine). Dit materiaal wordt aangemerkt als 'Phase Changing Material' (PCM). Voor de faseovergang van de parafine (smelten) is veel warmte nodig (afb. 95). De warmte wordt daardoor in het materiaal opgenomen en opgeslagen (overdag). In het omgekeerde geval, bij het stollen, wordt de warmte weer 'latent' afgegeven ('s nachts). Een element dat met dergelijke platen is bekleed, kan het equivalent aan warmte opslaan van een 115 mm dikke kalkzandsteenwand.



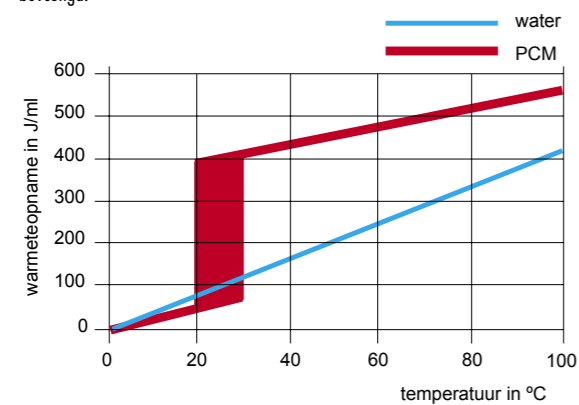
94. Warmte-accumulerend vermogen van verschillende wanden.
1 monoliet: het feitelijk warmte-accumulerend vermogen vindt slechts plaats over de eerste 80-100 mm.
2 wand met buitenisolatie.
3 een 'sandwich'-constructie: het warmte-accumulerend vermogen wordt bepaald door de dikte van het wanddeel aan de binnenzijde.
4 wand met binnenisolatie: binnenisolatie beperkt het warmte-accumulerend vermogen, maar verzorgt ook een snelle binnenverwarming.
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).

Woningen in staalframebouw

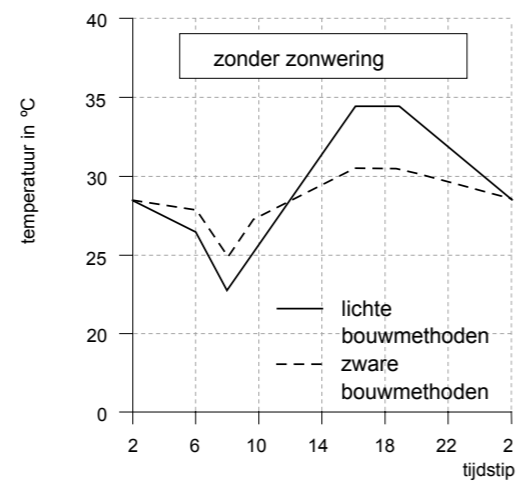
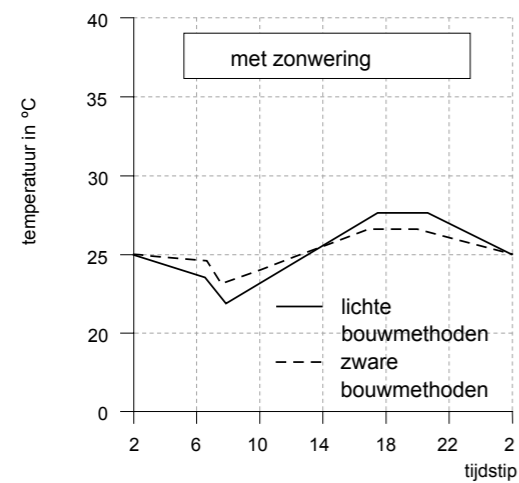
Thermische isolatie en vochtwering

Isolatie van cellulose

Cellulose is een recyclingsproduct van krantenpapier. In Duitsland zijn proeven gedaan met identieke woningen met verschillende isolatiematerialen van minerale wol en cellulose. De 'cellulose-woning' bleef in de zomer gemiddeld 6° koeler dan de 'minerale-wol-woning' en de cellulose-woning koelde minder snel af. Daaruit blijkt dat cellulose goede warmte-accumulerende en warmte-régulerende eigenschappen heeft. In de winter zal een woning met cellulose de warmte bijvoorbeeld langer vasthouden. Deze warmtetechnische eigenschappen van cellulose zijn inmiddels door TNO uit Delft bevestigd.



95. Warmteopname van een 'Phase Changing Material' (PCM) in vergelijking met water.



96. Invloed van zonwering op de opwarming van gebouwen.



Woningen in staalframebouw

Brandveiligheid

Functies

De sterkte en elasticiteitsmodulus van staal nemen bij temperaturen vanaf 400°C af. Staal zelf is onbrandbaar. Maar dunwandige en lichte staalconstructies, staan, zonder bescherming, direct bloot aan de hoge temperaturen die tijdens een brand ontstaan. Daarom worden ze tegen de hoge temperatuur beschermd door koelende of isolerende beplating. Zo kunnen sterke thermische vervormingen en het bezwijken van de bouwdelen worden voorkomen. Bij staalframebouw worden de staalprofielen vanwege de constructieve toepassing opgenomen in (woningscheidende) wanden, gevels en vloeren met specifieke brandwerendheidseisen. Op die manier vervult de wand een dubbele functie (scheiding plus bescherming) en wordt effectief omgegaan met de (brandwerende) bekleding.

Brandgedrag van de bouwmaterialen in staalframebouw

De totale brandwerendheid van de staalframebouw wanden en -vloeren wordt verzorgd door de verschillende componenten waarmee de elementen zijn opgebouwd (afb. 97).

De staalprofielen zelf zijn onbrandbaar en dragen dus niet bij aan de vuurbelasting. Ze moeten echter brandwerend worden bekleed. Voor deze bekleding kunnen de volgende materialen worden gebruikt:

- gipskartonplaten;
- gipsvezelplaten;
- glasvlies versterkte gipsplaten;
- calciumsilicaatplaten.

Deze materialen zijn brandveilig en beschermen de achterliggende constructie tegen de directe brandhaard en dienen tegelijkertijd als wand-, plafond- en vloerafwerking. In afbeelding 98 staan de karakteristieke doorbrandtijden van de verschillende bouwmaterialen. Deze – indicatieve – waarden geven aan hoelang ze het staal beschermen tegen de brand, respectievelijk de in de constructie aanwezige vuurbelasting.

Als de holle ruimtes van de wanden worden gevuld met isolatie, is het van belang of de wand dragend of niet-dragend is. In een niet-dragende wand kan de isolatie

functie	onderdeel
draagconstructie onderslagconstructie	staalprofielen (koudgevormde profielen en warmgewalste kolommen en liggers)
plaatmateriaal, bekleding	gipsplaten (gipsvezel- en gipskartonplaten en glasvlies versterkte gipsplaten)
	platen van mineraal gebonden vezels
	glasvlies versterkte cementplaten
	houtachtige platen
isolatie	minerale wol organische isolatie
aansluit-/ afdichtingsmaterialen	afdichtingsband/minerale vezels minerale afsmeermiddelen

97. Verdeling van de in staalframebouw gebruikte materialen naar functie en onderdeel.

de brandwerendheid van de constructie verhogen. Hiervoor wordt minerale wol gebruikt dat een smeltpunt heeft dat ligt boven de 1000°C. Hierdoor reduceert de warmtestroom naar de niet-verhitte zijde. Wanneer de (brandwerende) bekleding aan de vuurzijde er af valt, vertraagt de isolatie de doorslag naar de andere zijde. In een dragende wand is de kritische temperatuur van de staalprofielen doorgaans 500°C en bepalend voor de draagkracht van de wand. De isolatie in de holle ruimtes van de constructie verhindert de warmteafgifte naar de niet-verhitte zijde, waardoor aan de brandzijde de kritische temperatuur van de beplating sneller wordt bereikt dan wanneer geen isolatie aanwezig is (afb. 99).

Ook als voor de brandwerendheid geen isolatie nodig is of zelfs nadelig werkt, dan nog kan isolatie nodig zijn om bouw fysieke redenen. De voor- en nadelen zijn in elk geval de moeite waard om af te wegen. Moet de isolatie om akoestische of thermische redenen worden toegepast, dan moet de constructie zijn doorgerekend op de mogelijke invloeden van de isolatie. Dampremmende lagen of foliën beïnvloeden het brandgedrag niet.

Classificatie en bepaling van de brandwerendheid van staalframebouw onderdelen

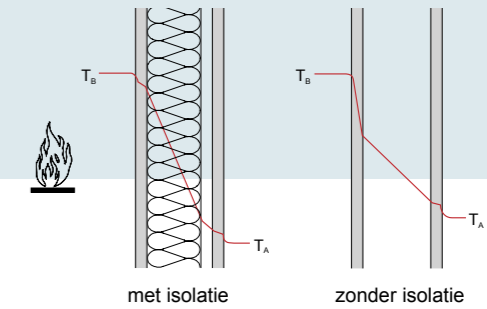
Bij brand moet uitbreiding naar andere brandcompartimenten (andere woningen of andere verdiepingen) worden vermeden. Het Bouwbesluit stelt daarom eisen aan de weestand tegen branddoorslag en brandoverslag (WBDBO) tussen brandcompartimenten. Voor alle gebouwonderdelen die een brandscheidende functie hebben, resulteren deze WBDBO-eisen in eisen aan de brandwerendheid met betrekking tot de scheidende functie. Hierbij gelden de volgende criteria:

- vlammen of hete gassen mogen niet worden doorgelaten;
- de temperatuur aan de niet-verhitte zijde mag niet te hoog oplopen (gemiddeld minder dan 140°C stijging) (geldt voor binnenwanden en vloeren);

- de straling aan de niet-verhitte zijde mag niet te hoog oplopen (minder dan 1 kW/m² op 1 m) (geldt voor buitenwanden);
- er mag geen bezwijken optreden gedurende de bepaalde tijd van de hoofdconstructie; let op voortschrijdende instorting. Dragende wanden moeten daarbij worden beoordeeld op de aanwezige gebruiksbelasting tijdens het belastinggeval brand (volgens NEN 6702).

Het brandgedrag en de brandwerendheid van de staalframebouw onderdelen is afhankelijk van:

- de thermische belasting (eenzijdig bij woningscheidende wand, of tweezijdig bij kolommen);
- de afmetingen (van het bouwdeel);
- het type constructie (de afzonderlijke componenten en wijze waarop ze samenwerken);
- het statisch systeem;
- de belasting op het bouwdeel;
- de brandwerende bekledingen.

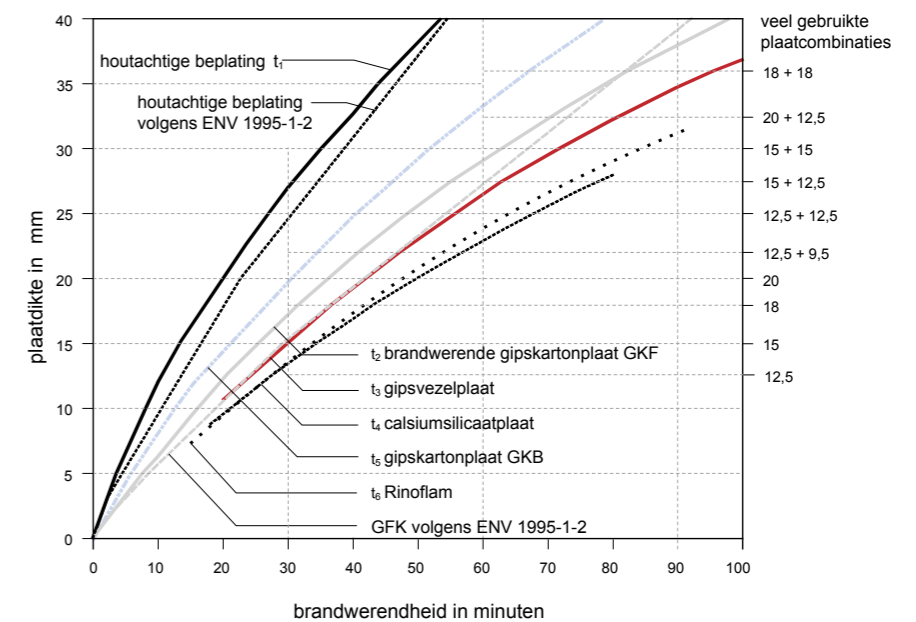


99. Temperatuurverloop in een scheidingswand met en zonder isolatie bij een eenzijdige brandhaard.

Het bouwbesluit stelt naast eisen aan de brandwerendheid ook eisen aan het brandgedrag van de bouwmaterialen (bijdrage aan de brand- en rookvoortplanting).

Doordat staalframebouw elementen (aan de brandzijde) vrijwel volledig bestaan uit brandveilige onderdelen (gipsbeplating, minerale wol en stalen profielen) wordt automatisch voldaan aan deze eisen. Dit geldt ook voor de strengere eisen die voor brand- en rookvrije vluchtroutes gelden.

De verschillende onderdelen samen en voornamelijk de bekleding, bepaalt de brandwerendheid van het staalframebouw element: het soort plaatmateriaal, de plaatafmetingen, de dikte, het aantal lagen van de bekleding en de dikte van de isolatie. Een bekleding van platen met extra brandwerende eigenschappen kan de totale brandwerendheid tot op de hoogste eis brengen. De brandwerende



98. Karakteristieke doorbrandtijden van verschillende plaatmaterialen.

Woningen in staalframebouw

Brandveiligheid

bekledingen voor staalconstructies worden bepaald aan de hand van de profielfactor (omtrek-doorsnedeverhouding van de profielen) en de kritieke staaltemperatuur. Brandwerende bekledingen voor staalconstructies hebben in het algemeen een toepassingsgebied tot een profielfactor van 300 m^{-1} . Omdat de profielen in staalframebouw deze waarde te allen tijde overstijgen, kan hiervan geen gebruik worden gemaakt. De waarden voor de brandwerendheid van de staalframebouw onderdelen (opbouw en detaillering) zijn bepaald uit brandproeven of ze zijn vastgelegd in erkende kwaliteitsverklaringen (KOMO-attesten). Het maatgevende criterium bij brandproeven is vaak de maximale temperatuursverhoging van 140°C in het midden van de constructie aan de niet-verhitte zijde. Wordt aan dit criterium voldaan, dan kan die constructie in principe worden gebruikt als bescherming voor stalen profielen, omdat de kritische staaltemperatuur van ongeveer 500°C gedurende de beproefde tijdsduur niet wordt bereikt en daarmee blijft de draagkracht van het bouwdeel gewaarborgd. Wel dient gecontroleerd te worden, of de brandwerende beplating gedurende verhitingsduur in tact blijft.

Wanden met brandwerendheidseisen

De opbouw van dragende en niet-dragende wanden is met het oog op brandwerendheid gelijk. Maatgevend voor de brandwerendheid is het type bekleding, de isolatie, de wandhoogte en de dikte ervan. Een niet-dragende wand moet zijn scheidende functie gedurende de geëiste brandduur behouden. Een dragende wand of stabiliteitswand moet daarbij ook zijn constructieve functie blijven vervullen. Dat houdt in dat alle dragende delen tegen brand beschermd moeten worden. Dat geldt voor de stijlen en vloerprofielen, maar ook voor de stabiliserende onderdelen zoals windverbanden of constructief meewerkende bekleding (afb. 105).

Bijzondere aandacht is — naast een vakbekwame montage — ook geboden bij de volgende punten:

- verticale en horizontale voegen van de wandelementen;
- aansluitingen op aangrenzende wanden en vloeren;
- inbouw van lichtdoorlatende elementen (bijvoorbeeld glas);
- inbouw van deuren;
- leidingdoorvoeren.

Elektrische installaties in wanden

Hollewandcontactdozen kunnen op elke willekeurige plek in een dragende of niet-dragende wand worden ingebouwd. Rekening moet worden gehouden met de in afbeelding 104 weergegeven beperkingen. Ook andere installaties kunnen in de holle ruimtes doorgevoerd worden. Daarbij moeten de toelichtingen en randvoorwaarden in acht genomen worden zoals vermeld in de volgende paragraaf: 'Staalframevloeren met brandwerendheidseisen', afbeelding 107 en de paragraaf over 'Brandwerende eigenschappen van holle wandconstructies'.

- In scheidingswanden mogen de wandcontactdozen niet direct tegenover elkaar liggen (afb. 104.1), maar in afzonderlijk vakken (afb. 104.3).
- Tegenover elkaar liggende wandcontactdozen in een wand met dubbele stijlen met een afstand $< 600 \text{ mm}$ moeten gescheiden worden door een GKF-beplating van $> 600 \times 600 \text{ mm}^2$ en een dikte overeenkomstig de wandbekleding (afb. 104.2).
- De isolatie die vanwege brandwerendheid wordt toegepast mag ter plaatse van de wandcontactdozen niet meer dan tot op 30 mm worden ingedrukt (afb. 104.3)

Staalframevloeren met brandwerendheidseisen

De brandwerende classificatie van staalframevloersystemen gebeurt op dezelfde wijze als bij wanden. Daarbij moet vloeren altijd als een totaal van vloer + plafond + constructie beschouwd worden. De vloerprofielen worden door de brandwerende bekleding aan de onderzijde (plafond) tegen brand beschermd en aan de bovenzijde door de afwerklaag.

De brandwerendheidseis, bijvoorbeeld 90 minuten, wordt feitelijk bepaald door de materialen van de ruwbouwvloer respectievelijk de plafondbekleding. De belangrijke onderdelen daarvan zijn alle dragende en stabiliserende onderdelen die bijdragen aan de sterkte en draagkracht van de vloer. Dat geldt voor vloeren met directe bekleding aan de onderzijde en voor 'opgehangen' plafonds.

Brand van onder

Net als bij de wanden zijn voor de staalframebouw vloeren geen specifieke rekennormen voor handen en wordt voor de bepaling van de brandwerendheid gebruik gemaakt van bestaande proeven of attesten van de afzonderlijke bouwmaterialen óf van de staalframebouw systemen. Daarbij wordt hoofdzakelijk teruggegrepen naar de waarden van plafondsysteem die bij brand zelfstandig een

bepaalde brandwerendheid hebben (zelfstandige plafondsysteem).

De verschillende draagprofielen van de plafonds worden kruiselings aangebracht. De afstand ervan wordt bepaald door de draagkracht van de plaat. Bij staalframebouw kunnen de basisprofielen worden vervangen door de vloerprofielen. Daar moet echter wel een berekening van de constructeur aan ten grondslag liggen. Sommige plafonds (afb. 105) kunnen ook geheel zonder een aanvullende constructie onder aan de vloer worden bevestigd. De vloerliggers mogen dan echter niet meer dan 400 mm uit elkaar te liggen.

Brand van boven

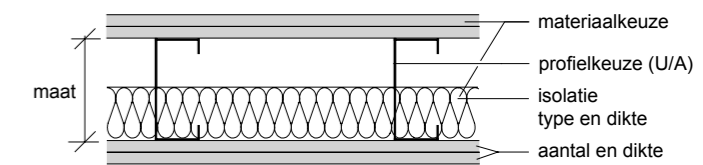
In de Nederlandse norm (NEN 6069) worden vloeren niet beoordeeld op een brand van boven. In andere landen zoals Duitsland wel. Bij staalframebouw vloeren met een brandwerendheid van 30 minuten is daar de gebruikelijke zwevende afwerklaag of extra afwerkplaat al voldoende. Deze beschermt de dragende vloerbeplating op de staalprofielen tegen de brand en verhindert een vroegtijdig bezwijken. Bij brandwerendheid van de staalframebouw vloer is het type en de dikte van de vloerafwerking aan de bovenzijde en die van de isolatie maatgevend. Voor 60 minuten brandwerendheid kunnen zandcement-, gips- en anhydrietlagen maar ook gipskartonplaten, gipsvezelplaten en spaanplaten worden ingezet.

Dakconstructies

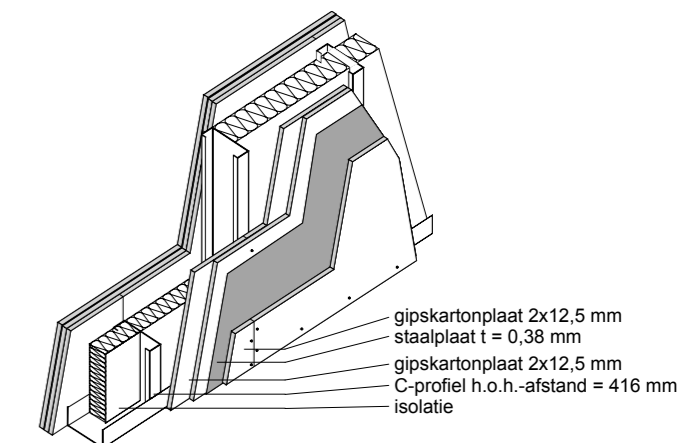
Daken die qua afbouw met vloeren vergelijkbaar zijn, worden op brandwerendheid gelijk gesteld. De genoemde bepalingen voor de brand van onder, gelden ook. Over het algemeen moeten daken tegen brand van buiten voldoende weerstand kunnen bieden tegen vliegvlam conform NEN 6063.

Installaties in de vloeren

Sporadisch voorkomende elektrische leidingen kunnen door de vloeren worden doorgevoerd zonder invloed op de brandwerendheid als de openingen met gips wordt gevuld. Verticale leidingen vragen extra zorg bij de uitvoering als ze de vloeren loodrecht doorsnijden. Gebundelde leidingen met een gezamenlijke doorsnede van 50 mm kunnen zonder extra maatregelen worden doorgevoerd. De doorvoer moet worden dichtgezet met een minerale wol met een smeltpunt van $> 1000^\circ\text{C}$ of een gipslaag.



100. Mogelijkheden bij staalframebouw om de brandwerendheid te verbeteren.



101. Brandwerendheid van een stabiliteitswand.

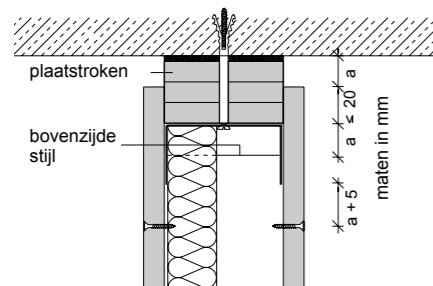
Woningen in staalframebouw

Brandveiligheid

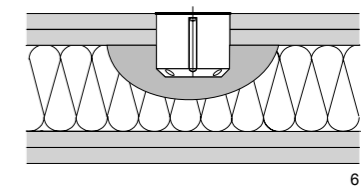
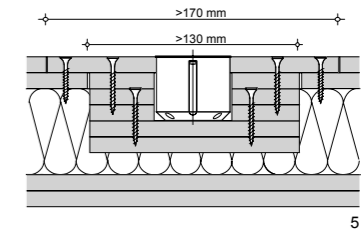
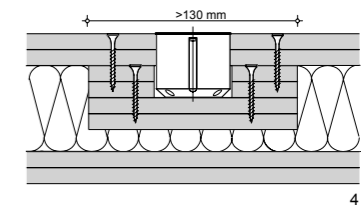
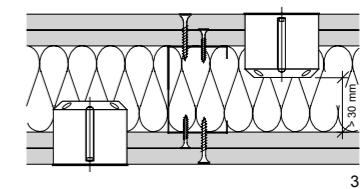
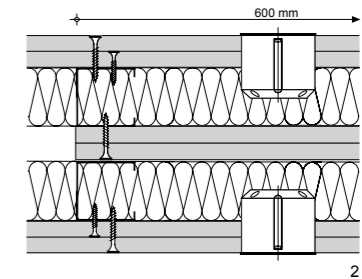
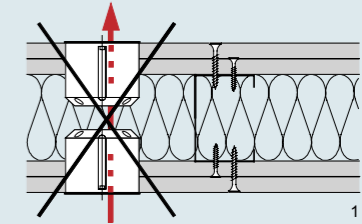
	dragende wand		niet-dragende wand	
	h.o.h. = 625 mm		h.o.h. = 625 mm	
	tweezijdige bekleding	isolatie dikte massa [mm] [kg/m ³]	tweezijdige bekleding	isolatie dikte massa [mm] [kg/m ³]
30 min.	2 x 12,5 mm gipskartonplaat	niet bevorderlijk	2 x 12,5 mm GKB, DIN 4102	40 30
	10 + 12,5 mm gipsvezelplaat	niet bevorderlijk	12,5 mm gipskartonplaat	niet bevorderlijk
	20 mm Rinoflam	niet bevorderlijk	12,5 mm gipsvezelplaat	40 20
60 min.	2 x 15 mm gipsvezelplaat	niet bevorderlijk	2 x 12,5 mm GKF, DIN 4102	40 40
	2 x 15 mm Rinoflam	niet bevorderlijk	25 mm gipskartonplaat	40 40
90 min.	2 x 25 mm gipskartonplaat	niet bevorderlijk	2 x 12,5 mm gipskartonplaat	40 100
	2 x 20 mm Rinoflam	niet bevorderlijk	2 x 12,5 mm gipsvezelplaat	50 50
	3 x 12,5 mm gipsvezelplaat	niet bevorderlijk	25 mm gipskartonplaat	60 50
90 min.	25 mm GKF staalplaat	niet bevorderlijk	2 x 12,5 mm GKF staalplaat	niet bevorderlijk
	20 mm Rinoflam staalplaat	niet bevorderlijk	2 x 12,5 mm GF staalplaat	niet bevorderlijk
	2 x 12,5 mm GF staalplaat	niet bevorderlijk	15 mm Rinoflam staalplaat	niet bevorderlijk
	25 mm GKF		20 mm Rinoflam	
	20 mm Rinoflam		2 x 12,5 mm GF	
	2 x 12,5 mm GF staalplaat		15 mm Rinoflam	
	12,5 mm GF		15 mm Rinoflam	

GKF = gipskartonplaat; GF = gipsvezelplaat

102. Opbouw met verschillende brandwerende bekledingen en de bijbehorende brandwerendheid.



103. Glijdende vloeraansluiting van een niet-dragende wand met een brandwerende functie.



Brandwerende bekledingen op dragende wanden en stabiliteitswanden

Wanneer in de staalframebouw constructie vrijstaande kolommen of liggers worden toegepast die niet in een wand of vloer vallen, dan moeten maatregelen worden genomen voor de vereiste brandwerendheid. De meest logische en economische manier is een brandwerende bekleding. Daarnaast kan ook een brandwerende spuitapplicatie of brandwerende verf worden toegepast. Stalen onderdelen kunnen ook een brandwerende bekleding nodig hebben zelfs als ze reeds door integratie in een vloer of wand gedeeltelijk (maar nog onvoldoende) tegen brand zijn beschermd, zoals een hoofdconstructie tussen twee wanden. Om de vereiste brandwerendheid te waarborgen moet met de volgende criteria rekening worden gehouden:

- eisen aan de bouwdeelen (30, 60, 90 of 120 minuten);
- geldende normen;
- verhitting van de constructie elementen (1, 2, 3, of 4-zijdig);
- geometrie van de profielen: profielfactor (omtrek-doorsnede-verhouding);
- keuze van de bekleding en de bekledingsdikte;
- bescherming van de bekleding daar waar ze de meeste kans op beschadiging oplopen (bijvoorbeeld de zijanten);

De volgende plaattypen worden als brandwerende plaat gebruikt:

- gipskartonplaten;
- gipsvezelplaten;
- glasvlies versterkte gipsplaten;
- cementgebonden brandwerende platen;
- calciumsilicaatplaten;
- vermiculietplaten;
- minerale vezelplaten.

Bij de uitvoering is de bevestiging van de bekleding van groot belang. Deze waarborgt dat de bekleding bij brand er niet afvalt (afb. 110). Er zijn op de markt beproefde en gecertificeerde wand- en vloerplaten verkrijgbaar die (op grond van hun mechanische sterkte) met mechanische bevestigingsmiddelen (schroeven of nagels) met elkaar worden verbonden zonder hulpconstructie.

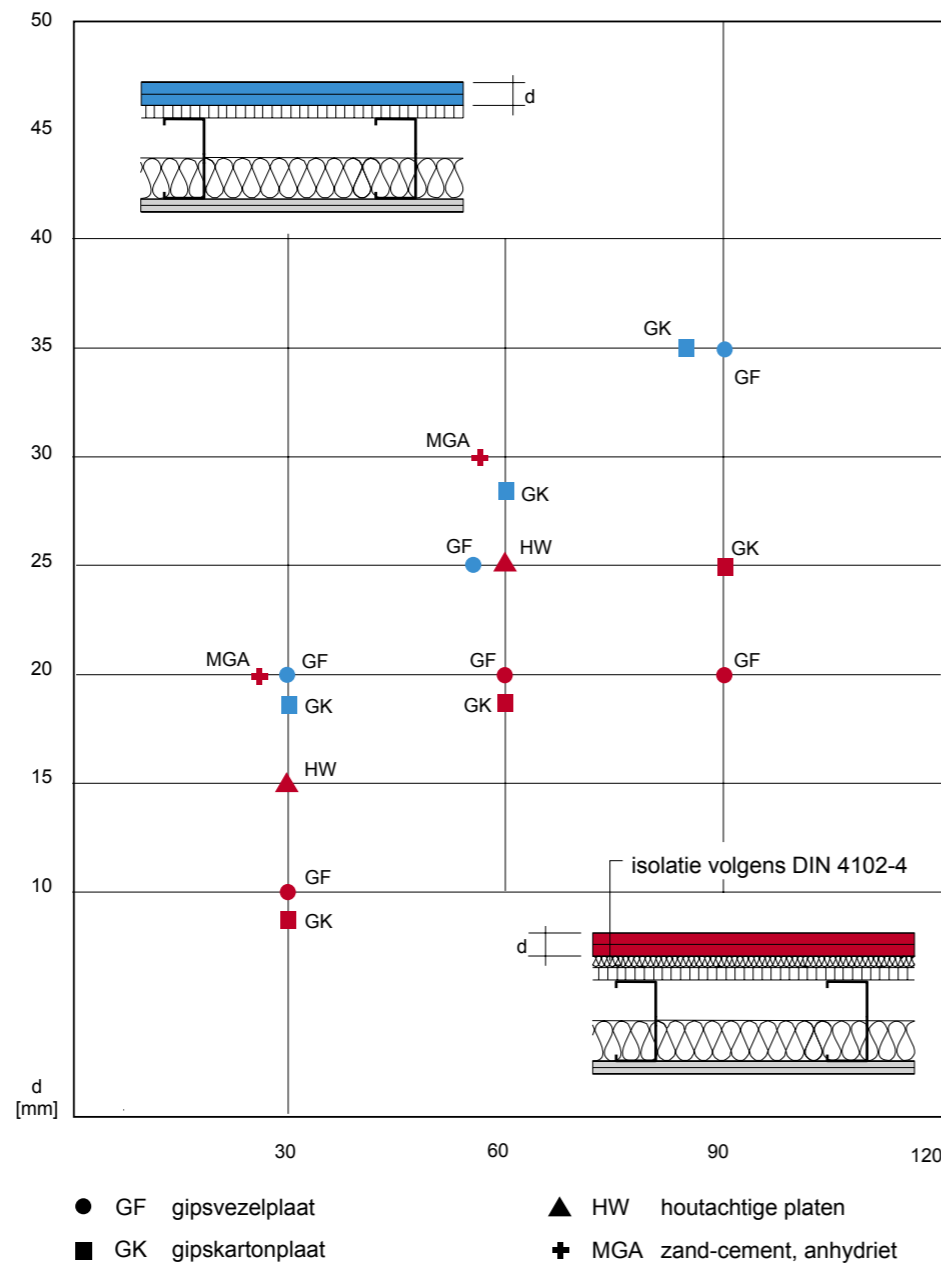
104. 'Protocol' voor het inbouwen van wandcontactdozen en wanden met een brandwerende functie.

Woningen in staalframebouw

Brandveiligheid

bekleding aan de onderzijde	
30 min.	
	2 x 12,5 mm gipskartonplaat
	2 x 10 mm gipsvezelplaat*
	20 mm Rinoflam*
60 min.	
	18 + 15 mm gipskartonplaat
	2 x 15 mm gipsvezelplaat*
	2 x 15 mm Rinoflam*
90 min.	
	2 x 20 mm gipskartonplaat
	25 + 18 mm gipskartonplaat
	2 x 20 mm Rinoflam*
	4 x 10 mm gipsvezelplaat*
	1 x 15 mm + 2 x 12,5 mm gipsvezelplaat*
bekleding van de bovenzijde volgens DIN 18181	
* deze constructies kunnen ook met betrekking tot de brandwerendheid direct op de constructie worden aangebracht. In dat geval mogen de h.o.h.-afstanden van de vloerliggers niet meer dan 400 mm zijn	

105. Onderbekleding staalframebouw vloer als zelfstandig element voor de totale brandwerendheid.



106. Brandwerendheid van staalframebouw vloeren met een droge of natte dekvloer bij een brandhaard van bovenaf.

Brandwerende eigenschappen van hollewandconstructies

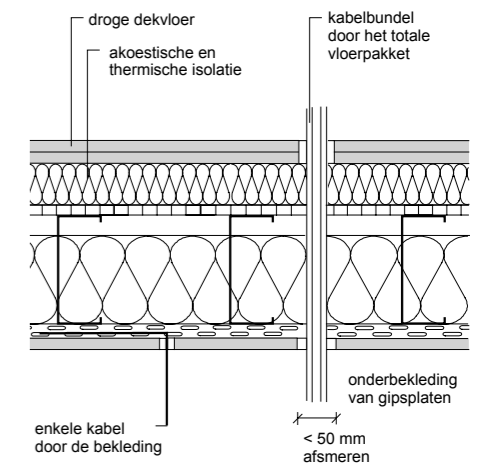
Staalframebouw is een hollewandstelsel. Brand kan zich in de holle ruimtes van het systeem uitbreiden en de schadelijke gassen kunnen terechtkomen in bouwdeelen waar geen brand is. Om branduitbreiding in gebouwen te verhinderen en de rookdichtheid van detailleringen te verzekeren, moet op verschillende punten worden gelet (afb. 109).

Aansluitdetaillering en leidingverloop

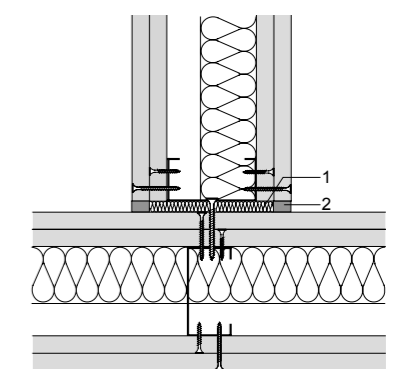
In de eerste plaats moet er worden gelet op de kierafdichting in de aansluiting tussen horizontale en verticale bouwdeelen. Deze moeten met onbrandbare minerale wol isolatiestroken, kit, of PUR worden afgedicht. De voegen moeten zorgvuldig worden afgesmeerd (afb. 108).

Deze uitvoering geldt ook wanneer bouwkundige onderdelen en/of leidingen een wand kruisen. Deze punten verzwakken namelijk de brandwerende bekleding en hierdoor zou het vuur toegang kunnen krijgen tot de holle ruimte van een wand (afb. 109).

Indien leidingen een wand doorkruisen, moet ervoor worden gezorgd, dat naast de functie van het afdichten ook vlamoverslag door de sparing niet voorkomt. Bij openingen met een diameter > 50 mm moet de leiding buiten de wand brandwerend worden bekleed, of het moet een leiding van onbrandbaar materiaal zijn, zodanig dat aan de brandwerendheidseis voor deze wand wordt voldaan.



107. Brandwerende uitvoering van openingen en doorvoeren in staalframebouw vloeren.

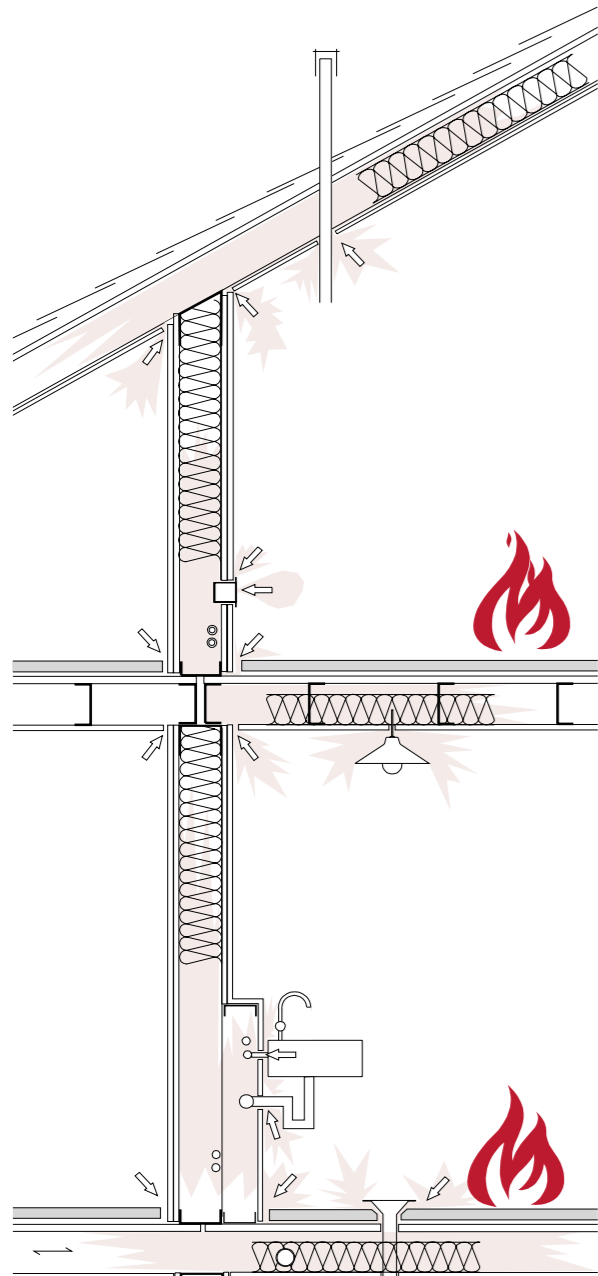


1 vulstroken van minerale wol 10 mm smeltpunt > 1000 °C
 2 voegdichting

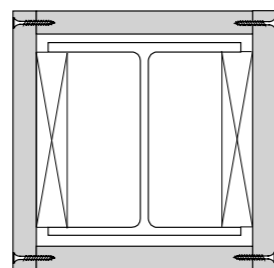
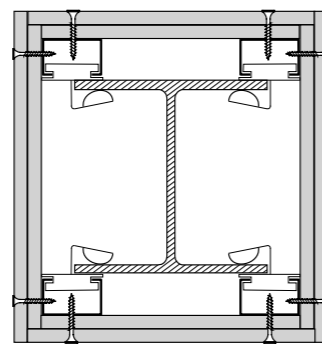
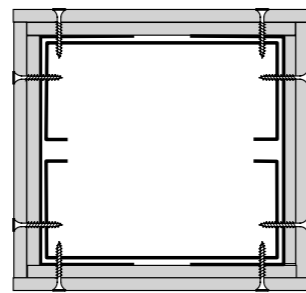
108. Brandwerende uitvoering van een Taansluiting wand op wand.

Woningen in staalframebouw

Brandveiligheid



109. Verschillende details moeten al in de ontwerpfase zijn beoordeeld op rookontwikkeling en brandvoortplanting.



110. Brandwerende gipsbekledingen voor staalprofielen.

Corrosiebescherming

De profielen die in staalframebouw worden gebruikt, zijn gemaakt van verzinkt staalplaat met een zinklaagdikte van $20 \mu\text{m}$. Dat komt overeen met 275 gram/m^2 . Het verzinken geeft een bijna levenslange corrosiebescherming, zolang de detaillering en afwerking van de staalframebouw onderdelen zorgvuldig zijn uitgewerkt en uitgevoerd.

De zinklaag is gevoelig voor mechanische beschadiging tijdens transport en opslag van de profielen, bijvoorbeeld door stoten of krassen.

De transportverpakking moet deze beschadigingen voorkomen. De profielen moeten zo worden opgeslagen dat geen vuil en water in de profielen terecht kan komen.

Bij een normale binnentemperatuur gaat $0,1 \text{ gram/m}^2$ zink per jaar 'op' aan corrosie. Dat is een normale situatie. Daarmee houdt de zinklaag van 275 gram/m^2 ruimschoots stand tijdens de theoretische levensduur van een woning (50 jaar).

Zink heeft bovendien de eigenschap om beschadigingen in de zinklaag te 'genezen'. Deze genezende kracht komt voort uit het onderlinge verschil in elektrisch potentiaal tussen staal en zink. Het onedele zink (het metaal met de minst hoogste potentiaal) offert zich op ten gunste van het edelere staal. Zodra een deel onbeschermd staal met vocht in aanraking komt, verplaatst het zink zich naar het onbeschermd deel om het tegen corrosie te beschermen. Hierdoor hoeven de zaag- of knipkanten bij (dunwandige) staalprofielen niet extra te worden behandeld.

Nieuwe, pas verzinkte staalproducten hebben een opvallende glans, die echter binnen een paar weken dof grijs wordt. Deze vergrijzing wordt veroorzaakt door een laag zinkcarbonaat, dat ontstaat door het corroderen van het zink, een reactie van zink met water, zuurstof en kooldioxyde, wat alledrie in de lucht zit. Deze laag zinkcarbonaat is niet in water oplosbaar en geeft het zink een goede bescherming tegen verdere corrosie. Dat houdt niet in dat de profielen zonder meer kunnen worden opgeslagen in weer en wind. De profielen moeten tegen regen en vocht zijn beschermd en voldoende worden geventileerd.

Als staal kort na de productie met vocht, onvoldoende zuurstof én kooldioxyde in aanraking komt, vormt zich 'witte roest'. Deze poedervormige, witte zinkoxyde is redelijk volumineus. Als deze oxyde makkelijk is te verwijderen zonder duidelijke sporen achter te laten op de zinklaag, dan is de corrosiewerende werking niet beïnvloed. Tekenen zich wel duidelijke sporen af in de zinklaag, dan moet de bechermende werking tegen corrosie worden onderzocht en getoetst.

Over de zinklaag heen, kunnen één of meerdere verflagen worden aangebracht. Men spreekt dan van een duplex-systeem. Een duplex-systeem wordt doorgaans gebruikt als een zware aanslag op de corrosiewerende werking wordt verwacht, bijvoorbeeld



Woningen in staalframebouw

Corrosiebescherming

bij gebouwen in een agressief milieu (maritiem of industrieel klimaat). De verflaag verhindert de vorming van zinkcarbonaat (zinkcorrosie). De verflaag voorkomt ook roestverspreiding, die bij de normaal verzinkte delen kan optreden, door kleine mechanische beschadigingen of veroudering. De beschermingsduur van het duplex-systeem is door deze 'synergie' van de producten ongeveer 1,8 tot 2,5 keer langer dan de som van de aparte zink- en verflagen.

De verzinkte staalplaat kan ook fabrieksmatig worden voorzien van een verflaag. Daardoor kan met minder inspanning en tegen lagere kosten een hoge kwaliteit worden bereikt dan wanneer de verf door rollen of schilderen achteraf wordt aangebracht.

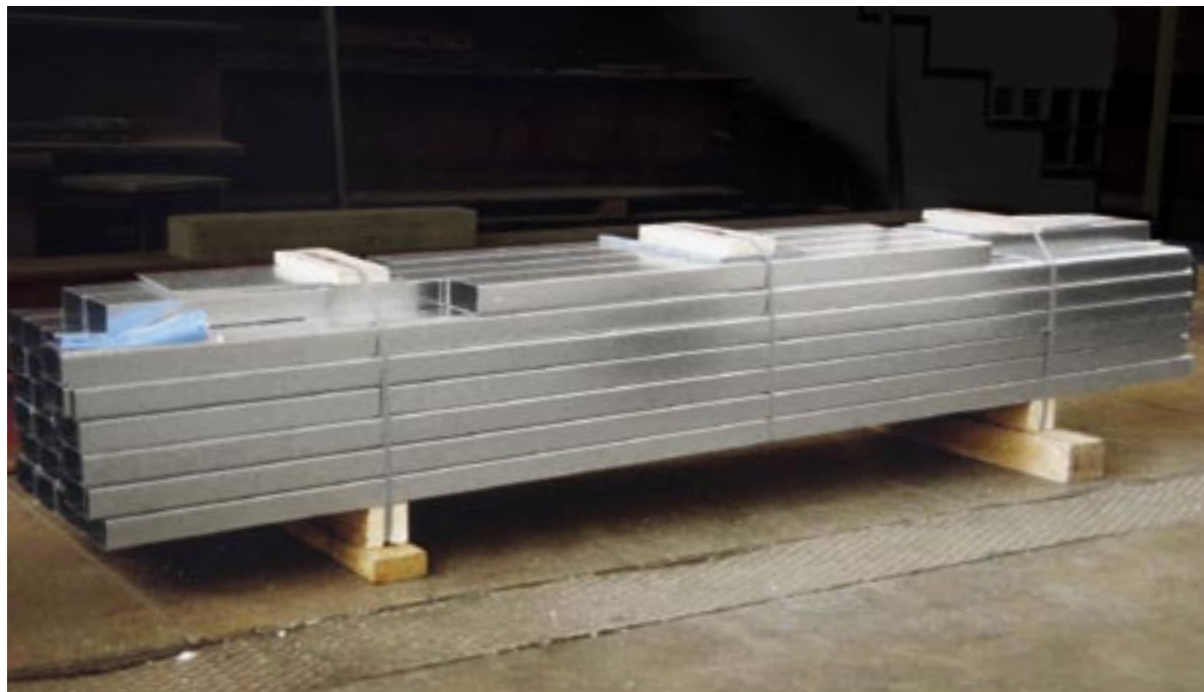
Bij staalframebouw worden verzinkt staal toegepast, om corrosie tijdens de productie van de elementen en tijdens de ruwbouw te voorkomen.

Vocht bevordert corrosie. Daarom worden de profielen vaak met de open zijde naar

beneden gemonteerd of ze zijn voorzien van een vochtdoorlatende perforatie. Zo wordt vermeden dat zich tijdens de ruwbouw vocht in de profielen ophoopt. Open ruimtes, zoals bij koppelingen en verbindingen tussen de elementen, dienen zo gemaakt te worden dat indringende water direct weer afvloeit.

Bij de keuze van verbindingmiddelen moet men rekening houden met contactcorrosie. Contactcorrosie wordt veroorzaakt door het onderlinge verschil in elektrisch potentiaal dat ontstaat wanneer verschillende metalen met elkaar contact hebben (net als bij zink en staal). Bij verzinkte profielen moeten daarom verzinkte bevestigingsmiddelen worden gebruikt. Buiten, dat wil zeggen bij direct contact met regenwater of daar waar condens kan voorkomen, moet men roestvast stalen bevestigingsmiddelen gebruiken.

Binnen kan men ook gefosfateerde schroeven toepassen. Daarbij moet men er wel zeker van zijn dat er geen vocht bij kan komen.



111. Een pakket staalprofielen ligt op afschot om stilstaand water en corrosie te vermijden.

De ontwikkelingsmogelijkheden van staalframebouw

Een laag eigengewicht, sterkte én grote overspanningen zijn onderscheidende eigenschappen van staalframebouw. Veel bouwbedrijven maken gebruik van koudgevormde gordingen en wandregels, lichte scheidingswanden (metal-stud) en staalframebouw bij kantoren, productiehallen en loodsen. Vooral hotels, kleuterscholen en ziekenhuizen maken dankbaar gebruik van de flexibiliteit van deze systemen. Hotelkamers, klaslokalen en ziekenhuiskamers zijn onderhevig aan de dynamiek van alledag, en moeten makkelijk kunnen worden aangepast aan de snel wisselende eisen.

Maar ook in de woningbouw wordt staalframebouw vaker ingezet; een groot aantal praktijkvoorbeelden wekken grote belangstelling bij architecten en opdrachtgevers. De toepassing van staal is in de laatste jaren gegroeid en vormt thans de basis voor vele innovatieve producten die in de (woning)bouw worden toegepast.

Er is een nieuwe generatie profielen met een geoptimaliseerde vorm ontwikkeld die lichte en slanke (draag)constructies mogelijk maken. De bekende, maar arbeidsintensieve verbindingstechnieken zoals lassen en schroeven zijn verdrongen door nieuwe snelle verbindingen zoals clinchen en schietnagels. Verduurzaming (verzinken), duplex bekleding en niet-oxyderende staalsoorten geven extra zekerheid tegen corrosie.

Opdrachtgevers zoeken oplossingen. Naast de stichtingskosten en waardebehoud van de gebouwen wordt duurzaamheid, flexibiliteit en het milieuprofiel steeds belangrijker. Dit wordt mede bepaald door de levensduur en kwaliteit van de verschillende onderdelen. Een optimale en constante kwaliteit van de gebouwonderdelen wordt verkregen door de productie onder gelijkblijvende condities in de fabriek te laten plaatsvinden. Daarom zal de bouw steeds meer ingericht worden op de toepassing van geprefabriceerde elementen. De prefab staalframebouw elementen hebben een constante, hoge kwaliteit met uiteenlopende prestaties en zijn prijstechnisch zeker interessant. Staalframebouw is een duurzaam bouwconcept: het is als bouwafval eenvoudig te scheiden én te recyclen.

De voorbeelden van projecten met staalframebouw zijn legio. En de redenen voor hun toepassingen ook. Daarnaast zal in de toekomst de bouw — net als in de autoindustrie — meer en meer worden bediend met prefab-elementen uit volgeautomatiseerde productielijnen, van onder andere staalframebouw (afb. 112). Staalframebouw is goed geschikt voor Industrieel Flexibel en Demontabel bouwen (IFD). Tussen 1999 en 2004 ontvingen meerdere staalframebouw projecten de IFD-demonstratiestatus van de SEV (Stichting Experimentele Volkshuisvesting), zoals de Multiple Choice woningen in Almere en de Leeuw van Vlaanderen in Amsterdam.

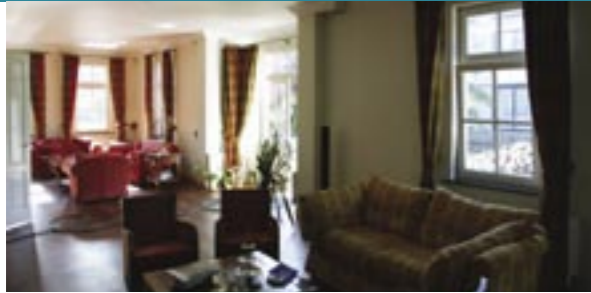


112. Industriële productiestraat van stalen modules (Sekisui Heim, Japan) in vergelijking met een productiestraat voor automobielen (Daimler-Chrysler).



Woningen in staalframebouw

Voorbeelden



Woonhuis familie Van der Mark (Kralingen, Rotterdam).



Wachtersgebouwtje in Den Haag.



A-markt, Amsterdam. Een tijdelijk onderkomen voor een buurtsuper met twee kantoorruimtes op de eerste verdieping. Het gezamenlijk terras biedt een weids uitzicht over de Nemo boven de IJ-tunnel.



HEM-hotel in Amsterdam. Als een zelfdragende 'carrossie' zijn vier bouwlagen van staalframebouw opgetrokken.



Smarthouse in Rotterdam (Kralingen). Het bouwconcept biedt de particuliere opdrachtgever totale vrijheid in indeling en afwerking. Ook achteraf is de woning te veranderen.

Achtien 'Multiple Choise' woningen in Almere. De staalframebouw vloeren en dakgordingdozen zijn gemonteerd in een hoofddragconstructie van warmgewalste profielen.



Wenswonen te Zaltbommel. De huidige én toekomstige bewoners hebben de optie op een extra verdieping en/of een grotere leefruimte op de begane grond. De staalframebouw optop- en aanhangmodules worden gemonteerd aan een betonnen casco.

Woningen in staalframebouw

Literatuur

- [1] W.H. Verburg, *Bouwen op Toplocaties, Optoppen met staalframebouw*, Rotterdam 2001
- [2] A.W. Tomà en B.W.E.M. van Hove, *The application of steel in urban habitat - structural design of optopping housing, archetypes 1 and 2*, TNO-rapport 95-CON-R0986, Delft 1996
- [3] J. Niermeijer en M.C. Pauw, *Staalframe vloeren. Rekenvoorbeeld conform eisen NEN 6773*, Rotterdam 2001
- [4] K. Peterse, *De lange levensduur van een tijdelijke oplossing*. Projectdocument A-Markt te Amsterdam, Rotterdam 2001
- [5] K. Peterse, *Staalframebouw, een flexibele partner bij herontwikkeling*. Projectdocument Schuttersveld te Delft, Rotterdam 2002
- [6] P. van Deelen, *Staalijes van woningen*, Rotterdam 2004
- [7] M. Roose, *'Koudgevormde profielen' in: (Over)Spannend Staal. Deel 3. Construeren B*, p. 295-328, Rotterdam 1996
- [8] J.W.B. Stark, *Koudgevormde profielen*, uitgave Staalcentrum Nederland en Staalbouwkundig Genootschap, Rotterdam 1984
- [9] A.W. Tomà, *Koudgevormde stalen profielen*, uitgave Centrum Staal, Rotterdam 1992
- [10] ECCS publicatie 118. *Design Examples for the Use of Light Gauge Steel in Steel Framed Housing According to ENV 1993-1-3:1996*, 2004
- [11] SCI publicatie P262: *Durability of light steel framing in Residential Building*, Ascot (UK), 2000
- [12] H. Burstrand, SBI publication: *Light Gauge steel framing for housing*, Stockholm 2000
- [13] Nomo-attest Star-Frame Bouwstelsel, ATTO436/99. *Voor het vervaardigen van casco's met een staalframe draagconstructies*, IKOB-BKB, Rotterdam 1999 Bijbehorend wijzigingsblad, ATTO436/04, Rotterdam 2004
- [14] **NEN 6702** (TGB 1990. Belastingen en vervormingen), 2001 + ontw. A1, 2005
- [15] **NEN 6773** (TGB 1990. Staalconstructies. Basiseisen, basisrekenregels en beproevingen voor overwegend statisch belaste dunwandige koudgevormde profielen en geprofileerde platen), 2000 + A1, 2001
- [16] **NVN-ENV 1993-1-3** (Eurocode 3. Ontwerp en berekening van staalconstructies. Deel 1-3: Algemene regels; Aanvullende regels voor koudgevormde dunwandige profielen en platen), 1996 + C1, 1997
- [17] **NAD-NVN-ENV 1993-1-3** (Richtlijnen voor het gebruik van NVN-ENV 1993-1-3 (Eurocode 3) Ontwerp en berekening van staalconstructies. Deel 1-3: Algemene regels; Aanvullende regels voor koudgevormde dunwandige profielen en platen), 2001
- [18] **EN 1993-1-3** (Final Draft september 2003 Part 1-3: General rules. Supplementary rules for cold-formed thin gauge members and sheeting.)
- [19] *Case studies Staalframebouw*, uitgave van Bouwen met Staal, Rotterdam 2002

Diverse artikelen uit het vakjdschrift *Bouwen met Staal* zijn in PDF-formaat op te halen via www.bouwenmetstaal.nl/staalframebouw.

Ook publiceert Bouwen met Staal de nieuwsbrief *Staalframebouw*, een gratis kwartaaluitgave over actuele bouwprojecten en ontwikkelingen in staalframebouw. Aanmelden kan met fax. (079) 3531278 of e-mail info@bouwenmetstaal.nl.

