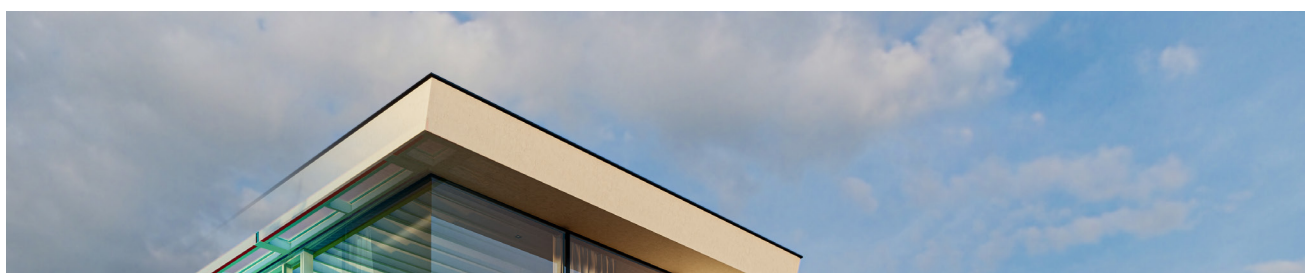




HANDBOEK STAALFRAMEBOUW



Handboek Staalframebouw

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

Ontwerp: Bane Design, Rotterdam

© Bouwen met Staal 2024
4e herziene druk

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

Voorwoord

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

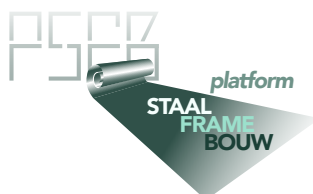
Over deze publicatie

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

Platform Staalframebouw

Om de bekendheid van staalframebouw in Nederland te vergroten en de praktijk ervan te ondersteunen, is binnen Bouwen met Staal het Platform Staalframebouw (PSFB) opgericht, met een stuur-/werkgroepstructuur. In deze formaties zijn de diverse disciplines in staalframebouw vertegenwoordigd: ontwerpers, constructeurs, (bouwfysische) adviseurs, staalframebouwers, toeleveranciers enzovoort. Gezamenlijk ontplooiën zij kennisoverdrachtsactiviteiten om het marktaandeel en de kwaliteit van staalframebouw te verhogen. Aan deze versie van het handboek hebben de volgende personen bijgedragen (in alfabetische volgorde van bedrijfsnaam).

Roy van Hoorn (voorz. PSFB) en Martijn Jansen, BAAS Architecten • Marco Pauw (secr. PSFB), Henk Orsel en Mic Barendsz, Bouwen met Staal • Ralph Hamerlinck, Bouwen met Staal en Adviesbureau Hamerlinck • Jan-Pieter den Hollander, Bouwen met Staal en Stichting MRPI • Frank van Herk, C3 Staalframebouw • Cor van Zandwijk, CFP Engineering • Kristiaan Flierman, Construsoft • Gert van den Berg, DGMR • Michiel van Dijk, Easyhousing • Martin Boot, Etex • Nico Bresser, FeNB2 Montage • Dennis Eikenboom, Finish Profiles • Gerard Nieuwenhuizen†, GenieConsult & Partners • Wim Beentjes, LBP | Sight • KeesJan Nieuwenhuis, Leebo Intelligente Bouwsystemen • Sven Lentsen en Suzanne Bron-Van der Jagt, Level Acoustics & Vibration • Robert Platje, Mei Architects & Planners • Gerrit Kerkdijk, Mframe • Erik Oostveen, Oostveen Engineering • Pascal van de Heuvel, Rockwool • Herbert Hofstad, Saint-Gobain Construction Products • Ad Maas, Saint-Gobain Solutions • Hèrm Hofmeyer, TU/e • Corné van Weert, Verhoeven en Leenders • Sven Geers, Vervest Constructief Ontwerp & Advies



DEEL 1

HANDBOEK STAALFRAMEBOUW

HANDBOEK STAALFRAMEBOUW

DEEL 1



Foto: Leebo



Foto: Leebo



Foto: Fig.84 - Reclamestudio

INHOUDSOPGAVE

1	Inleiding.....	H1-1
1.1	De overeenkomst.....	H1-1
1.2	Het onderscheid.....	H1-1
1.3	De samenwerking.....	H1-3
1.4	Hergebruik.....	H1.3
1.5	Binnenstedelijke herontwikkeling.....	H1-4
1.6	Attesten en certificering in relatie met Wkb/Bbl.....	H1-4
2	Ontwerp en constructie.....	H2-1
2.1	Constructieve eigenschappen staalframebouw.....	H2-1
2.2	Bekleding en invulling.....	H2-1
2.3	Krachtenwerking.....	H2-2
2.4	Stabiliteit.....	H2-3

Foto: Luuk Kramer



Foto: BeSteel

Foto: Finish Profiles



Illustratie: C3 Staalframebouw

2.5	Constructieprincipes	H2-4
2.6	Combinatiesystemen	H2-5
2.7	Speelruimte.....	H2-6
2.8	Ontwerp en vormgeving.....	H2-7
2.9	Productie en eigenschappen.....	H2-7
2.10	Gangbare profielen woningbouw	H2-10

3	Productie, prefabricage en montage.....	H3-1
3.1	Preproductie.....	H3-1
3.2	Productie	H3-1
3.3	Nagels of nieten	H3-2
3.4	Productie op locatie.....	H3-3
3.5	Prefabricage: productie in de fabriek.....	H3-4
3.6	Montage/assemblage.....	H3-5
3.7	Planning en bouwtijd.....	H3-6

1 Inleiding

Staalframebouw is een licht bouwsysteem met koudgeformde stalen profielen die constructief samenwerken als frame. Het basisframe (of het samenstel van stijlen en regels) wordt voorzien van plaatmateriaal, isolatie in en op het frame en de nodige afwerkingen. De verschillende bouwdeelen kunnen worden afgestemd op functies en prestaties. Met andere woorden: door de opbouw en samenstel van de elementen kunnen extra functies worden geïntegreerd of aan de elementen worden toegevoegd. Het bouwsysteem combineert gering materiaalgebruik met snelle montage.

Staalframebouw is niet hetzelfde als staalskeletbouw. Er zijn wel algemene overeenkomsten tussen de bouwmethoden: een gering eigengewicht en een hoge bouwsnelheid.

Constructief gezien zijn er wel degelijk verschillen (afb. 1.1a en b). 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. Schijfvormige elementen zijn het uitgangspunt bij staalframebouw waarbij complete panelen voor wanden, gevels en daken worden samengesteld. Aan de basis daarvan staan frames van koudgeformde profielen, gemaakt uit dunne staalplaat. Veel voorkomende profieltypes zijn C (voor de stijlen) en U-profielen (voor de regels). Er komen ook steeds meer 'complexere' profileringen voor, bijvoorbeeld als een Σ - of Z-vormige doorsnede, vanwege hun hogere traagheidsmomentcapaciteiten. Deze constructieve verschillen zijn voor ontwerpers en bouwers essentieel.

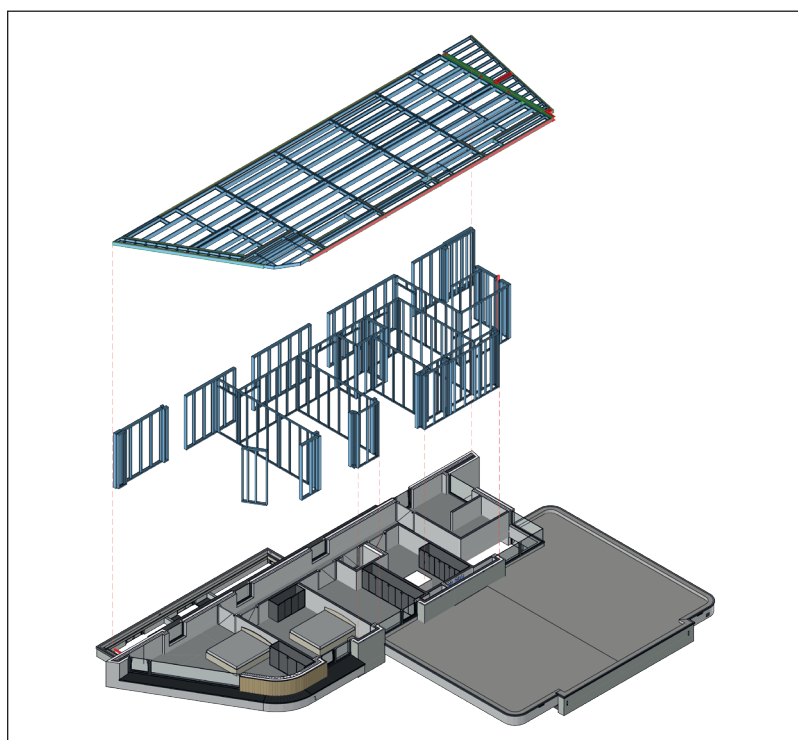
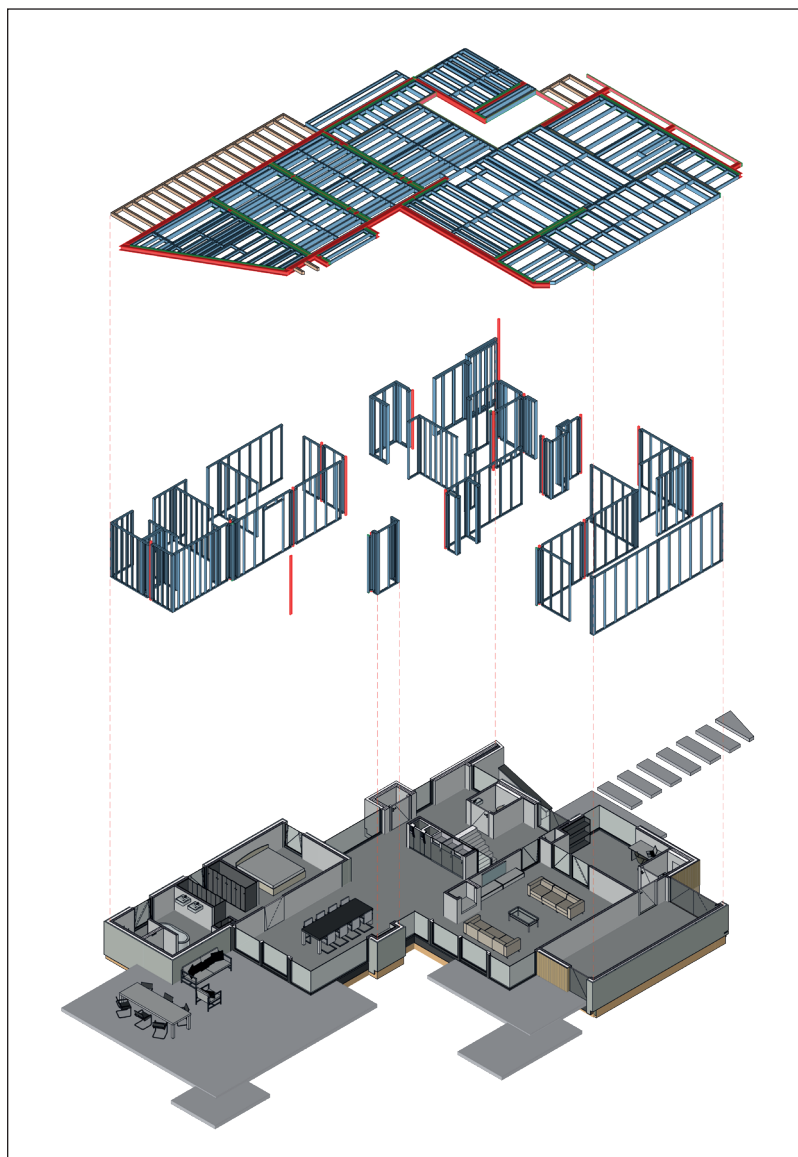
Met staalskeletbouw is vrijwel elke vorm en elk volume mogelijk. Bij staalframebouw zijn overspanningen en openingen om constructieve redenen aan maximale maten gebonden (afb. 1.2). Wel komt de combinatie met koudgeformd en warmgewalst steeds vaker voor, bijvoorbeeld voor grote(re) overspanningen, uitkragingen of overstekken.

1.1 De overeenkomst

Staalframebouw lijkt op metal stud. Maar niet in constructief opzicht. Bij metal stud hebben de profielen met een staaldikte van ongeveer 0,6 mm dik geen draagcapaciteit. Een staalframebouw systeem – met 1 tot 5 mm, of zelfs tot en met 8 mm dikke profielen – heeft dat wel. Wat dat betreft is staalframebouw net 'dikke metal stud'. Verdere overeenkomsten met metal stud zitten in de afwerking en uitvoering.

1.2 Het onderscheid

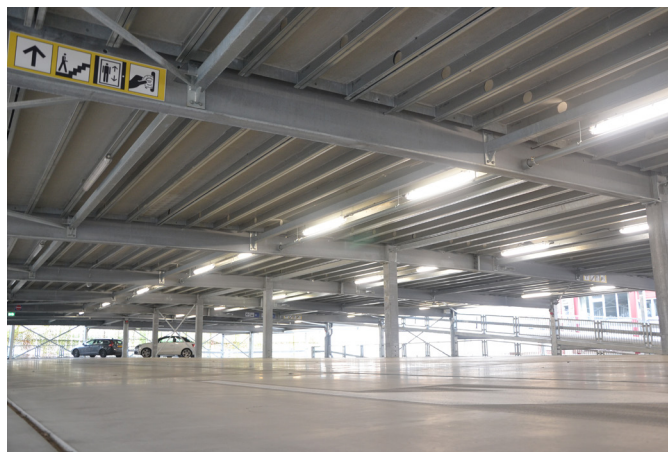
Staalframebouw is licht van gewicht, maatvast dankzij krimpvrije materialen, praktisch ongevoelig voor klimaatinvloeden en bestand tegen ongedierte en schimmels. Grote overspanningen met enkele liggers zijn mogelijk tot ± 8 m (met uitschieters



1.1a en 1.1b. Villa, begane grond en verdieping. Aan de basis van staalframebouw ligt een stijl- en regelwerk en liggers van koudgeformde profielen. De beklede frames vormen een constructieve schijfstructuur.



1.2. Woning. Bij kleine overspanningen volstaan relatief lage vloerliggers, hier samengestelde kruisprofielen (foto: Thea van den Heuvel Fotografie & Film).



1.3. Quantum Deck Vloer met prefab betonnen bovenlaag, gecombineerd met een warmgewalste constructie voor grote overspanningen in een parkeergarage (foto: Tata Star-Frame).



1.4. Gevelsluitende elementen Gelderhof, Amsterdam.



1.6. Optop-maisonnettes (foto: Fig.84 - Reclamestudio).



1.5. Optop-maisonnettes (vijfde laag, teruggelegd) Leeuw van Vlaanderen, Amsterdam (foto: Luuk Kramer).



1.7.a en b. Transformatie van kerk naar hotel en restaurant.



1.8.a en b. De Polynormwoningen in Eindhoven (Strijp) zijn de eerste staalframebouw woningen (1951) in Nederland. Door asbestsanering werden de woningen in 2006 gesloopt waarbij twee woningen voor onderzoek zijn heropgebouwd op het universiteitsterrein van TU Eindhoven. Een derde leven als expositiegebouw van Industrieel Erfgoed in Strijp ligt in het vooruitzicht.

tot 10 m) en kleine uitkragingen ($< \sim 0,5$ m) zijn haalbaar. Bij maten daarboven leent het zich prima in combinatie met warmgewalste profielen (afb. 1.3) of met vakwerkconstructies uit koudgevormde profielen. Ander voordeel is een ruime ontwerpvrijheid bij kleine aantallen tegen relatief lage kosten (afb. 1.4). Bovendien heeft staalframebouw de intrinsieke kwaliteit van holle wand- en vloersystemen. Die holle ruimtes kunnen worden benut voor leidingdoorvoeren, maar ook via voorgeponste of -gestante openingen in de profiellijven.

De profielen worden op de juiste lengte geknipt, en de onderlinge aansluitingen worden gemarkeerd (met inkepingen of uitsparingen) en de schroefgaten voorgeponst. Montagemallen zijn niet nodig. Het frame kan maar op één manier in elkaar worden gezet, of het nu in de werkplaats is of op de bouwplaats.

1.3 De samenwerking

Staalframebouw gaat dus goed samen met andere bouwsystemen. De genoemde combinaties met staalskeletbouw zijn inmiddels talrijk; de reden is duidelijk: grote, kolomvrije en flexibel indeelbare plattegronden. Staalframebouw uitbreidingen of

optopmodules bij een betonnen of steenachtig casco komen veel voor (afb. 1.5 en 1.6). Maar ook staalframebouw inbouw onder een houten kap van een bestaand monumentaal gebouw (afb. 1.7). Drie bouwmethoden combineren in één project is ook mogelijk. Zo zijn elementen uit staalframebouw, staalskeletbouw, betonbouw en houtskeletbouw toegepast. Met staalframebouw kunnen gebouwen van zes-acht lagen als een soort zelfdragende carrosserie worden opgezet. Voor hogere gebouwen moet een staalskelet als hoofddraagconstructie dienen, waarbij de wanden, vloeren en daken van staalframebouw elementen worden gemaakt.

1.4 Hergebruik

Er is een beweging gaande om (meer) staalschroot op kwaliteit te scheiden en opnieuw in te zetten zonder gebruik van nieuw ijzererts en cokes, voor milieuwinst om uitputting van natuurlijke grondstoffen te voorkomen. Staalframebouw profielen kunnen eenvoudig worden ontdaan van bekleding, isolatie en installaties, en zo worden ingezet in smeltovens of converters. Hergebruik van staalframebouw elementen komt tot nu toe niet voor, daarvoor is het systeem nog te jong. Hergebruik of 'einde levens-



1.9. Het terrein van de Pastoor van Arskerk in Delft is getransformeerd (2023) tot woongebied met zestien koopwoningen, waarvan tien 'cirkelwoningen' op de oude fundering en tussen de gehandhaafde kooromgang (foto: C3 Staalframebouw).

duur' zijn nog niet aan de orde. In theorie kunnen ze een tweede leven krijgen, maar er zijn geen circulaire praktijkvoorbeelden van bekend, op één na, de Polynormwoningen in Eindhoven (Strijp) (afb. 1.8.a en b).

1.5 Binnenstedelijke herontwikkeling

De combinatie van prefab elementen met een laag gewicht en een grote ontwerprijheid, maakt staalframebouw geschikt voor stadsvernieuwing en renovatie (afb. 1.9). Juist hier onderscheidt staalframebouw zich door kortere bouw tijden zonder hulpconstructies. Het biedt oplossingen voor de huidige vraagstukken, van verdichten zoals optoppen van naoorlogse flatgebouwen, herontwikkeling en transformaties. Overlast voor de omgeving en omwonenden wordt tot een minimum beperkt.

1.6 Attesten en certificering in relatie met Wkb/Bbl

Staalframebouw wordt in diverse landen, waaronder Duitsland en Engeland, voorzien van certificaten, attesten of andere kwaliteitsdocumenten. In deze documenten staat aangegeven op welke wijze staalframebouw met zijn verschillende principe-oplossingen en productcombinaties voldoet aan de gestelde prestatie-eisen. Nederland kent het KOMO-atteest 'Star-Frame Bouwsysteem'. Het attest geeft ontwerpers, gemeentes, aannemers en kwaliteitsborgers de zekerheid dat het systeem voldoet aan de eisen, waardoor de 'bouwactiviteit', volgens de nieuwe opzet van de Wet kwaliteitsborging voor het bouwen, snel kan worden afgegeven. Het attest is dynamisch: het 'beweegt' mee met wijzigingen in norm- en regelgeving en nieuwe ontwikkelingen.

2 Ontwerp en constructie

2.1 Constructieve eigenschappen staalframebouw

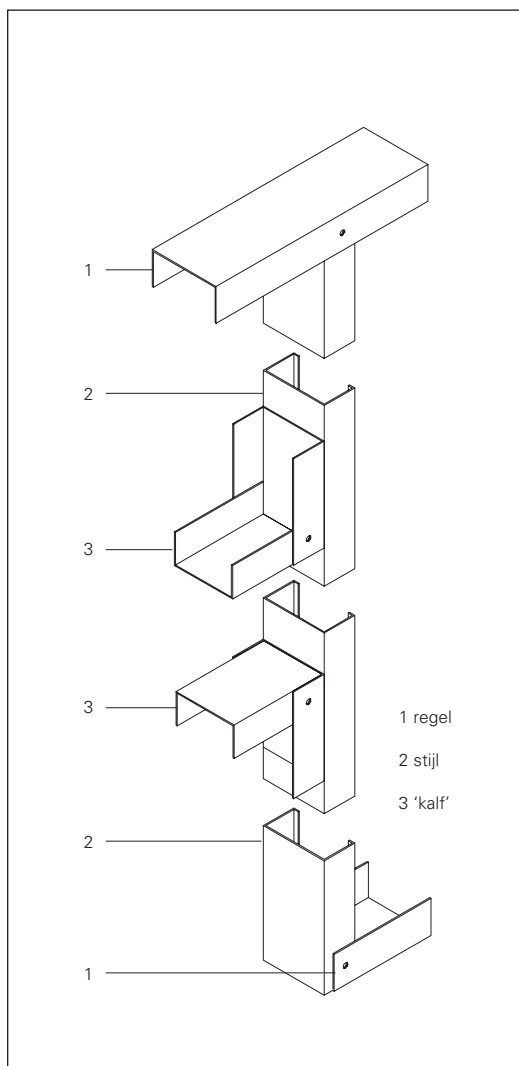
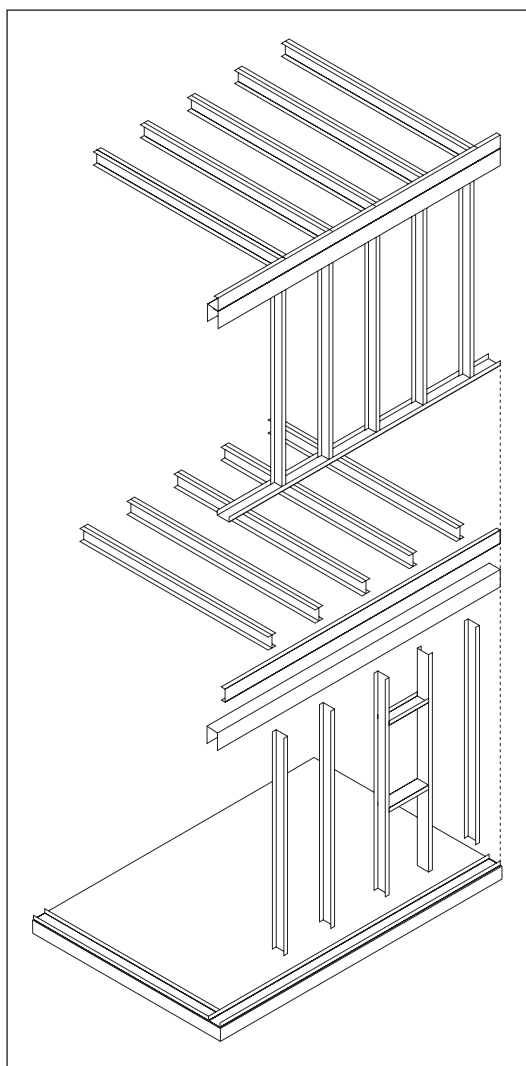
De draagconstructie van staalframebouw met dunwandige koudgevormde staalprofielen is gelijk aan alle andere dragende stijl- en regelsystemen (afb. 2.1a), zoals in houtskeletbouw. De wandstijlen (vaak C-profielen) (afb. 2.1b) worden aan de onderzijde en de bovenzijde in een regel gevat. Dat kan een ietwat grotere U-profiel zijn, maar meestal is dat een gelijk C-profiel als de wandstijl waarin de aansluitende delen in de omgezette hoeken worden uitgespaard en de stijl aan boven- en onderzijde wat wordt 'ingeknepen', zodat over het gehele frame geen overgangen plaatsvinden tussen stijl en regel. Fabrieksmatig worden ook de schroefgaten tussen de profielen voorgeponst en ietwat verdiept aangebracht, zodat de verbindende schroef niet uitsteekt. De regel verbindt, maar verdeelt niet de (verticale) belasting over de verschillende stijlen. Vloeren en daken worden overigens op dezelfde manier geframed. De stijlen van onder- en bovenliggende wanden moeten daarom in elkaars verlengde liggen. Maar een beter alternatief is het toepassen van een lastspreidende L-profiel van de (prefab) vloer over de wand toe te passen, of de randregel van de vloer daarvoor te benutten. De stijlverdeling is dan 'vrij

naar inzicht'. Extra voordeel van een extra oplegprofiel is dat een zogeheten bi-moment zijdelings wordt ontnomen (wegdraaien van de onderzijde van het vloerprofiel bij de oplegging). Horizontaal dragende onderdelen in wanden (lateien), zoals boven deur- en raamopeningen, worden geplaatst op inkassingen ('pockets') of ze worden opgehangen tussen twee wanden (afb. 2.2). Ook lateien worden geplaatst door uitsparingen in de profielen zelf, zo is het frame integraal onderling verbonden.

Constructief gezien verschilt staalframebouw fundamenteel van staalskeletbouw (afb. 2.3). De krachten worden niet afgedragen door een staafvormig skelet (kolommen en liggers), dus onafhankelijk van vloeren, wanden en gevels, maar juist door deze (schijfvormige) elementen (afb. 2.4) die zowel de dragende als de scheidende functies vervullen.

2.2 Bekleding en invulling

Op het stijl- en regelwerk van koudgevormde staalprofielen (het staalframe) worden platen bevestigd (geschoten of geschroefd). Het totaalpakket van de platen heet de bekleding. Het staalframe wordt ook binnenin geïsoleerd, vaak met minerale wol. Zo ontstaat een samengesteld onderdeel, het element. Bij



2.1.a. Constructieschema staalframebouw.

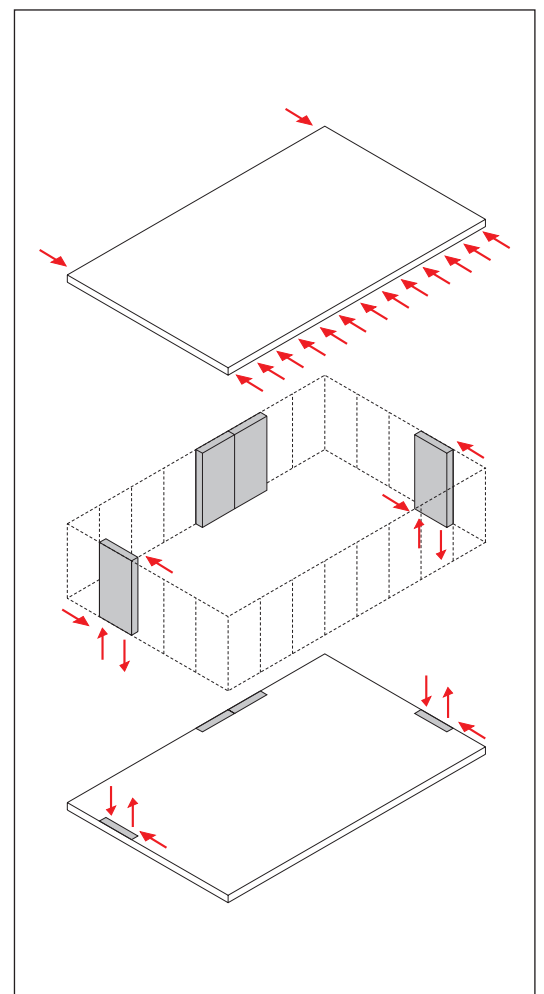
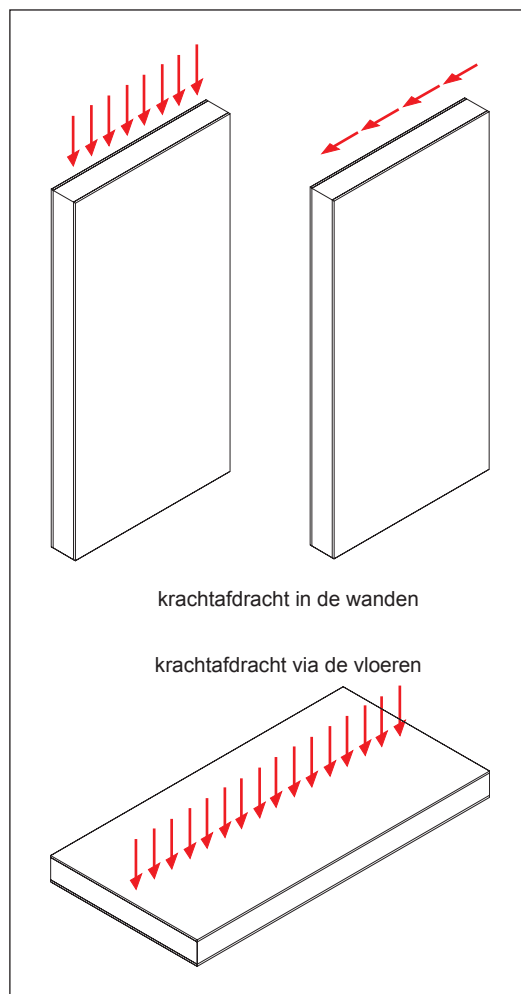
2.1.b. Onderdelen staalframebouw.

2.2. Staalframebouw
woning, combinatie
van warmgewalst en
koudgevormd (foto: C3
Staalframebouw).



2.3. Schijfwerking uit
horizontale en verticale
elementen.

2.4. Stabiliteit uit
schijfvormige wand- en
vloerelementen.

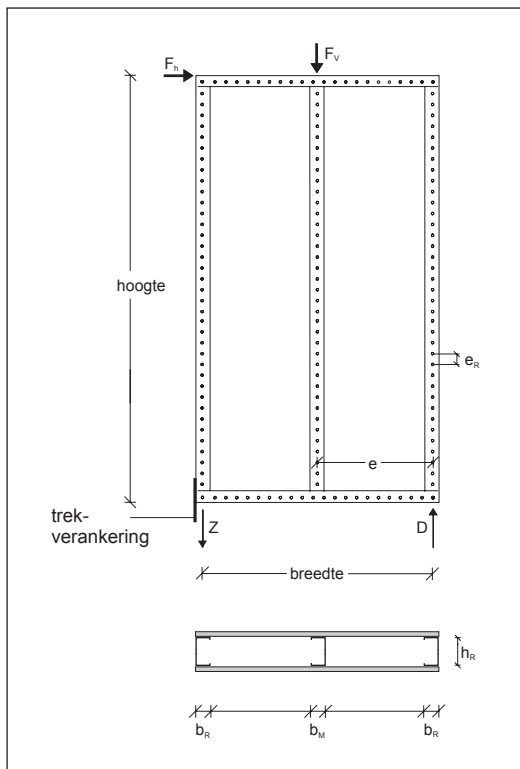
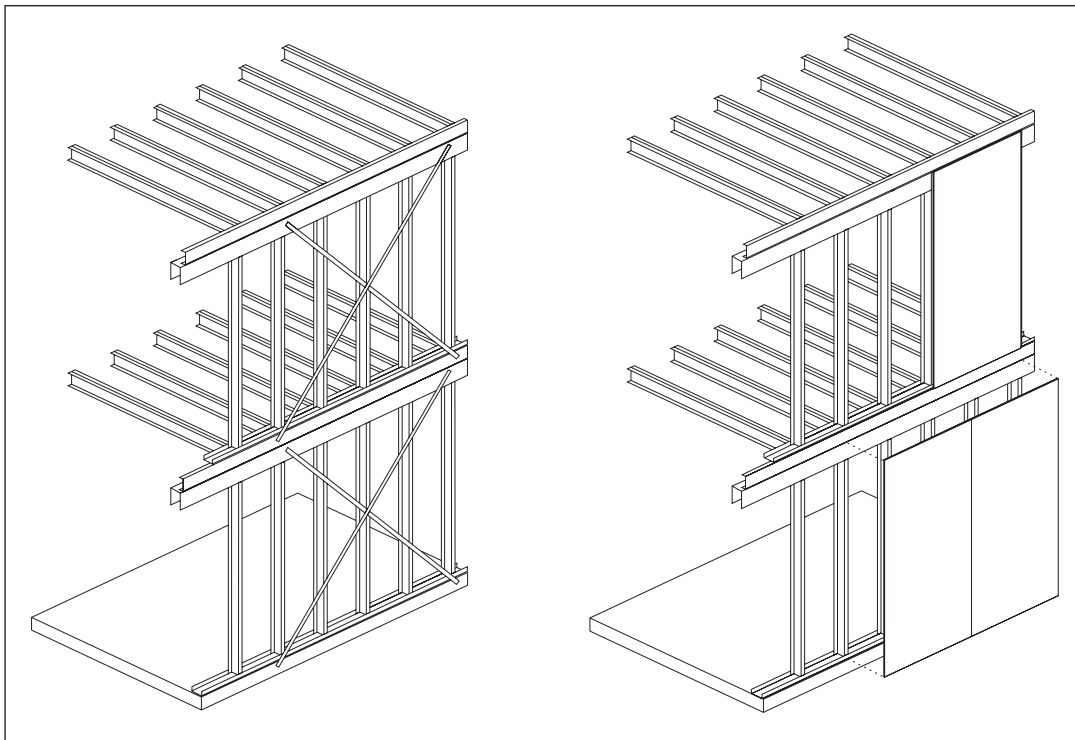


gevelelementen wordt ook isolatie aan de buitenzijde gemonteerd (pir). Het zo ontstane element kan krachten opnemen loodrecht op het vlak, maar ook evenwijdig aan het eigen vlak (via schijfwerking) bijdragen aan stabiliteit. Staalframebouw kan dus voor horizontale en verticale krachtafdracht gebruikt worden. De stijfheid van bekleding is, bij voldoende bevestigingspunten, zo groot, dat de bekleding constructief meewerkt (schijfwerking) (afb. 2.5). De constructieve eigenschappen van deze samengestelde constructie dienen veelal proefondervindelijk te worden vastgesteld. De koudgeformde profielen kunnen door de bekleding niet uitknikken in het wandvlak. Het plaat-

materiaal van het vloerelement voorkomt zo ook het 'kippen' van de vloerprofielen (bij enkel symmetrische profielen de combinatie van eerste-orde wringing en kip). De interactiekrachten tussen vloerbeplating en liggers bij aanname van een torsie/kipsteun dienen dan te worden bepaald, en zijn leidend in de h.o.h.-afstand en sterkte en stijfheid van de verbindingsmiddelen. De wandelementen ondersteunen de vloeren, maar nemen ook de horizontale belastingen op, veroorzaakt door wind en initiële scheefstand.

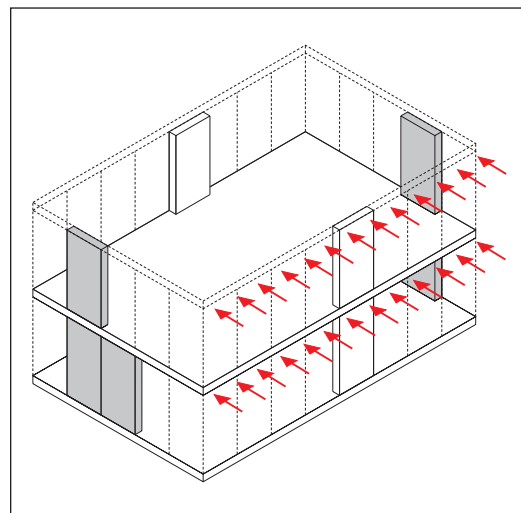
2.3 Krachtswerking

De uiteindelijke sterkte van de wandelementen



26. Wand voor schijfwerkingsproeven.

wordt dus mede bepaald door het soort bekledingsmateriaal, de dikte en de kwaliteit van de bekleding, en de hart-op-hart afstand van de bevestiging ervan (nagels, schroeven etc.) (afb. 2.8). Het principe van het krachtenverloop is te zien in afbeelding 2.4 en 2.7. 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 te worden bevestigd, zodanig dat de trekkrachten en schuif-

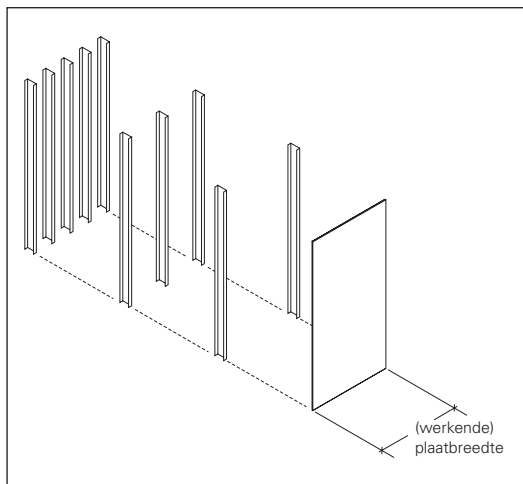


27. Systeem stabiliteitswanden.

krachten in de wandelementen, naar de volgende, lagergelegen vloer-/wandconstructie overgebracht kunnen worden. De rekenregels voor schijfwerking uit plaatmateriaal met bijbehorende bevestigingsmiddelen kunnen worden herleid uit Eurocode 5, het SBR-rapport 89 en RMBS 2000 dat rekenregels bevat voor schijfwerking uit (geprofileerde) staalplaat, hout- en gipsplaten voor stabiliteit. In veel bedrijfsinformatie en certificaten van staalframebouw is soortgelijke schijfwerking opgenomen, verkregen uit proeven (afb. 2.6).

2.4 Stabiliteit

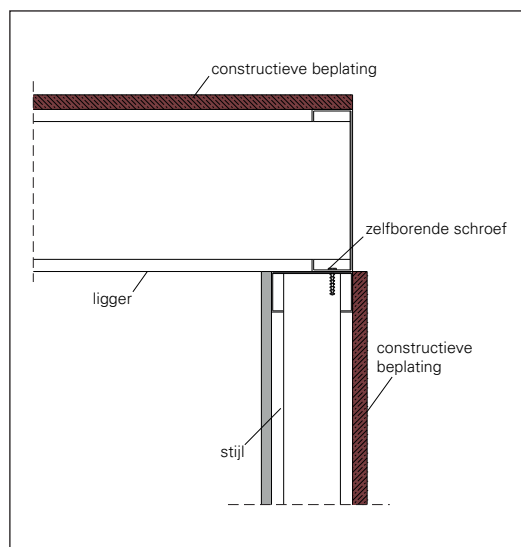
Door een relatief nieuwe ontwikkeling met een fabrieksmatig aangestorte betonlaag (aan onder- of bovenzijde) is schijfwerking van de vloer feitelijk geen onderwerp van discussie meer. De betonlaag is de schijf en uitsluitend de aansluitende stalen randprofielen moeten de horizontale kracht kunnen overbrengen met (voldoende) bevestigingsmiddelen. In de afgelopen jaren zijn steeds meer gegevens



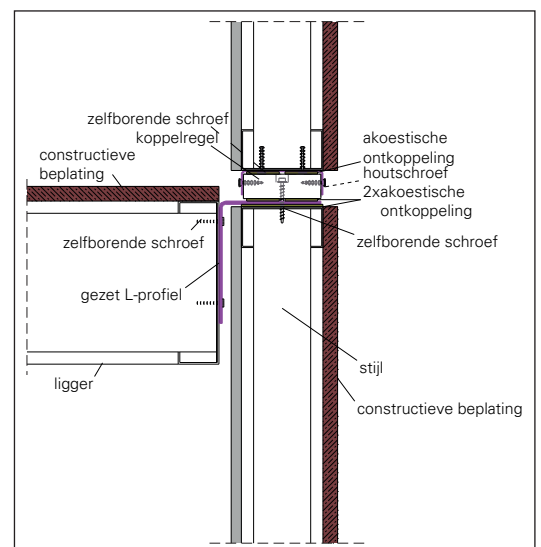
2.8. Hart-op-hart stijlen afstemmen op plaatmateriaal.



2.9. Gestapelde woningbouw met staalframebouw (foto: MFrame).



2.10. Oplegdetail 'platformmethode'.



2.11. Oplegdetail 'balloonmethode NL'.

beschikbaar gekomen voor zowel rekenmethoden als testen met welke plaatmaterialen en verbindingsmiddelen de schijfwerking via bekleding of beton in combinatie met een staalframe kan worden bepaald.

Soms worden de frames nog voorzien van traditionele windverbanden uit vlakke plaat en grote schetsplaten, zoals bij warmgewalste constructies gangbaar is, en weggewerkt achter bijvoorbeeld een beplating op rachsels of tengels. Bij raam- en deuropeningen dient dan in het ontwerp rekening te worden gehouden met deze stabiliteitsvoorzieningen. Veel frames (halffabrikaten of in situ) worden uitgevoerd met diagonalen in het frame tussen twee stijlen, soms over meerdere vakken herhaald. Deze zijn meestal om maatafwijkingen (rechtstand, haaksheid) van het frame zelf te borgen en niet altijd bedoeld als 'vakwerk'. Daarvoor zijn de hoeken (tussen stijl en diagonaal) te scherp met (te hoge) geconcentreerde lasten.

Bij rijtjeswoningen, bijvoorbeeld, zijn drie stabiliteitswanden nodig, de woningscheidende wanden vormen het welbekende duo in de langsrichting. In de richting loodrecht daarop is minimaal nog één stabiliteitswand nodig, soms wordt die of worden meerdere – afhankelijk van de plattegronden – rondom het trappengat en/of in de gevel verwerkt.

Houd rekening met penanten met een breedte van 0,25 maal de verdiepinghoogte, maar liefst met meer om bewerkelijke, of grootschalige koppelstukken te beperken. Hoe korter de arm, hoe hoger de over te brengen trek- en drukkracht. Let om die reden ook op de constructies onder en naast de stabiliteitswanden (voor voldoende 'vlees') en hun onderlinge koppelingen (voor voldoende montage-ruimte).

2.5 Constructieprincipes

Net als bij de houtskeletbouw onderscheidt men bij staalframebouw de platform- en de ballonmethode. De ballonmethode, zoals hier omschreven, wordt het meest toegepast in Nederland, maar wijkt af van de originele definitie. De klassieke platformmethode, waarmee alle prefab houtskeletbouw (ook CLT) wordt verwerkt, is niet aan te bevelen bij staalframebouw.

Platformmethode

Bij deze methode worden eerst de wanden geplaatst, daarna wordt de vloer op de wanden 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



212.a en b. Atelierwoning met een combinatie van zwaluwstraatplaat en zandcement dekvloer. Rechts, doorlopende wandstijlen.

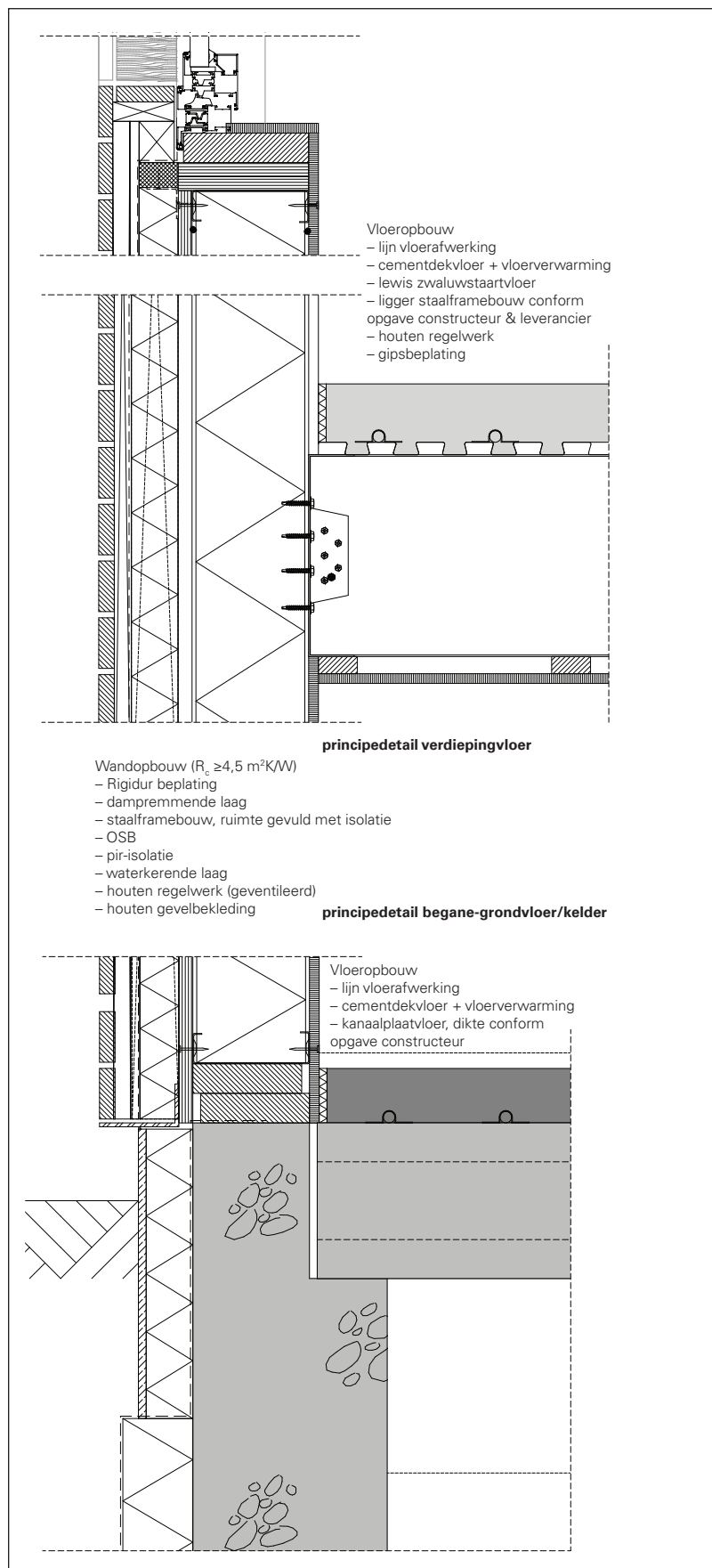
is de meest bekende methode uit de houtskelelbouw, maar niet de meeste gebruikte of geëigende manier van staalframebouwen in 'zuivere' vorm. Een belangrijk aandachtspunt van de platformmethode bij staalframebouw is dat de geconcentreerde krachten vanuit de bovenstaande wanden via het plooi gevoelig lijf ('kreukelen'/cripling) van de vloerprofielen moet worden overgebracht. Daarvoor zijn speciale voorzieningen beschikbaar, maar de plooi gevoeligheid ('kreuk') kan eenvoudig worden vermeden door de ballonmethode NL (afb. 211).

Balloonmethode NL

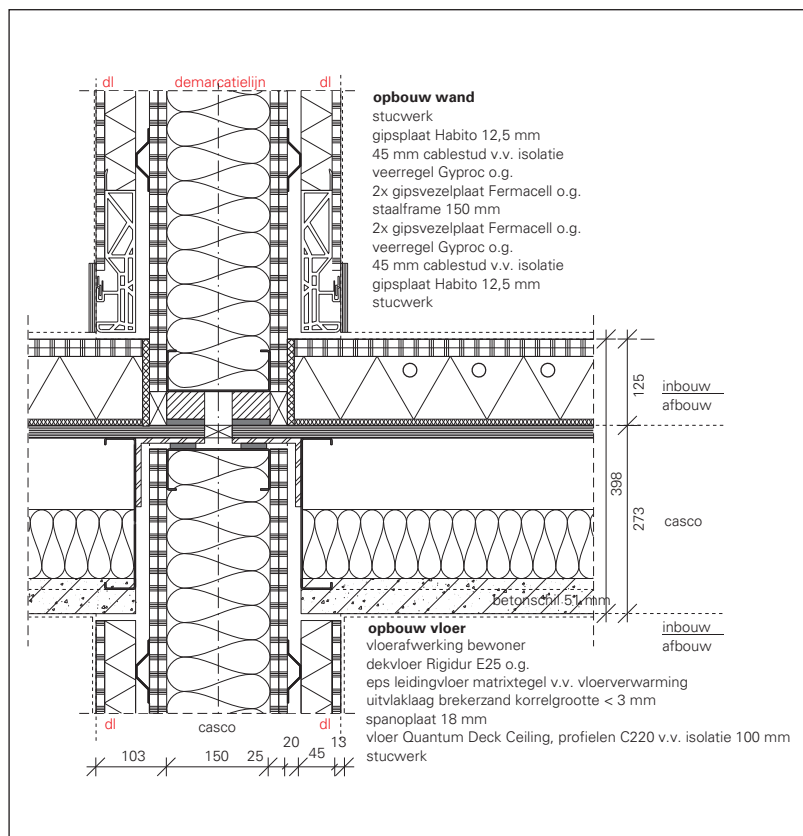
Hierbij wordt de vloer 'opgehangen' aan de onderliggende wand met een gezet hoek- of z-profiel (afb. 211). Een systeem dat feitelijk als combinatie van de platform- en de traditionele ballonmethode kan worden beschouwd. De ballonmethode is van oudsher namelijk een bouwsysteem op de bouwplaats zelf, waarbij de wandstijlen doorlopen, over meerdere verdiepingen (afb. 212.a en b). Tegen de lijven van de wandstijlen worden dan de vloerprofielen geschroefd, ook via het lijf, al of niet met een ondersteunings- of aanslagprofiel. Bij de ballonmethode NL worden de vloeren met een lip tussen de wandelementen opgehangen. De dragende wandelementen/-stijlen lopen hier niet voorbij de vloer door. Via de opleghoek, die de vloerlast spreidt over de wand, vindt de verbinding wand-vloer plaats via schroef of bout, waarna via een overgangsprofiel (kunststof of hout) bouw fysische ontkoppeling plaatsvindt en daarbij ook dient als maatvaste aanslag voor verdere opbouw. De bovenkant van de vloer is de bovenkant van de onderliggende wand, met een minimale constructieve tussenlaag (niet meer dan de staaldikte van het oplegprofiel) waardoor direct excentriciteiten en bijkomende, hinderlijke effecten (momentvorming en plooi bijvoorbeeld) zijn opgelost.

2.6 Combinatiesystemen

Staalframebouw kan zuiver worden toegepast, maar ook in combinatie met andere bouwsystemen. In de praktijk blijkt dit zeer lonend bij grote of complexe utiliteitsprojecten of de unieke woongebouwen (villa's). Grote overspanningen vanaf 8 m kunnen met extra warmgewalste profielen of portalen worden gerealiseerd (afb. 213.a). Het gebouw kan een volledig staalskelet als hoofd draagconstructie hebben,



waarbij de scheidende 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 vloeren worden gecombineerd met houtskeletbouw wanden



2.13.b. Combinatie met Quantum Deck Ceiling vloer (wooncomplex Pastorale, Delft).

en staalframebouw wanden met staalplaat-betonvloeren. Er bestaan ook specifieke, soms gepatenteerde, systemen met speciale profielen.

2.7 Speelruimte

De h.o.h.-afstanden van de dragende profielen (stijlen en vloerprofielen) zijn verschillend en wordt bepaald door de statische berekeningen en door de afmetingen van de beplating (hout, staal of anders). Een praktische en veel voorkomende h.o.h.-afstand is 600 of 610 mm, gebaseerd op een gangbare plaatbreedte (gips of houtplaat) van 1200 of 1220 mm, en hun meervouden. Bij grotere staaldiktes vanaf 1,5 tot en met 5 mm, hogere profielen en sterkere platen zijn h.o.h.-afstanden tot 1200 mm mogelijk, afhankelijk van de belasting en de doorbuigingseisen. De h.o.h.-afstand van de stijlen in een gevelelement is min of meer ondergeschikt aan het ontwerp van de gevel. Het is uiteraard gunstig als de sparringen in wandelementen zijn afgestemd op de h.o.h.-afstand van de stijlen die correleren met de plaatbreedtes. Dan hoeft de logische



2.13.a. Combinatie met warmgewalste profielen (Pastorale, Delft).

stijlverdeling niet te worden doorbroken. Grotere sparringen in dragende wand- en vloerelementen kunnen worden overspannen met dikkere of met in elkaar geschoven staalprofielen (lateiconstructie), of eventueel met warmgewalste staalprofielen. Een materiaalcombinatie in opgang is staal-beton: aan de bovenzijde van het staalframe wordt deels in de bovenflens een betonnen toplaag aangebracht: het frame wordt met wapening aan de flens aangestort met beton, na harding wordt het frame omgekeerd. Daardoor is de bovenzijde van de vloer altijd glad en strak. De staalframe-betonvloer is van origine ontwikkeld voor tijdelijke, prefab parkeergarages, maar inmiddels wordt het ook – vanwege het comfort – verwerkt in (seriematige) woningbouw. Een omgekeerde uitvoering (betonlaag onder, analoog aan de Slimlinevloer, al of niet met zwevende afwerkvloer) komt ook voor met alle voor- en nadelen van dien ([afb. 2.13.b](#)).

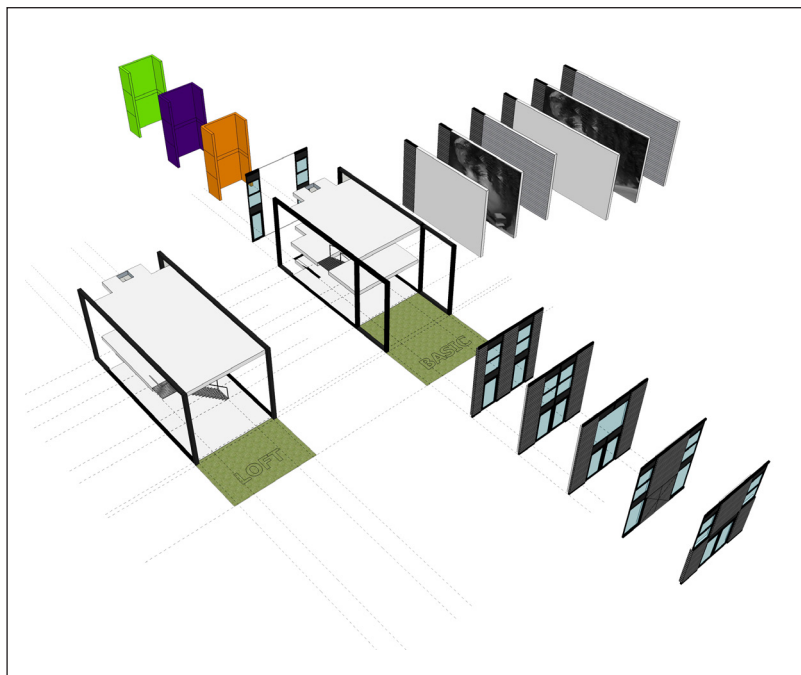
Het materiaalsoort en de dikte van het plaatmateriaal voor de bekleding van de staalframes worden bepaald door de constructieve, brandwerende en de akoestische eisen die aan het onderdeel, of aan het gehele gebouw, worden gesteld. De ruimte tussen de stijlen kan net als bij de houtskeletbouw en metal stud met minerale wol worden geïsoleerd. De soort isolatie, positie – in het element en/of op het element – 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



2.14. Drielaagse optop in Scheveningen.



2.15. Combinatie in bungalow (foto: Vincent Basler).



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 het netto vloeroppervlak. Dit kan bij een woning met een oppervlak van 120 m² oplopen tot 10% winst. In de holle ruimte tussen de stijlen kunnen leidingen eenvoudig in het systeem opgenomen worden. In de staalprofielen kunnen standaard gaten worden geponst/gestanst 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 eigengewicht 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) (afb. 2.14). Het lage eigengewicht biedt evenveel voordeel bij nieuwbouw (afb. 2.15). Bij gebouwen tot drie verdiepingen is het mogelijk de constructie op staal te funderen, afhankelijk van de ondergrond.

2.8 Ontwerp en vormgeving

Vloerconstructies met overspanningen tot 8 m kunnen in staalframebouw worden uitgevoerd met eenvoudige profielen. 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-betonvloer voor overspanningen tot 7 of zelfs 12 m, in uitvoering dan wel tijdelijke ondersteund. Het is zinvol om stabiliteitswanden in de gevel of rond trappenhuis en sanitaire gedeeltes te plaatsen. Op die manier heeft de ontwerper meer vrijheid bij de indeling. Met de juiste trekverankering kunnen

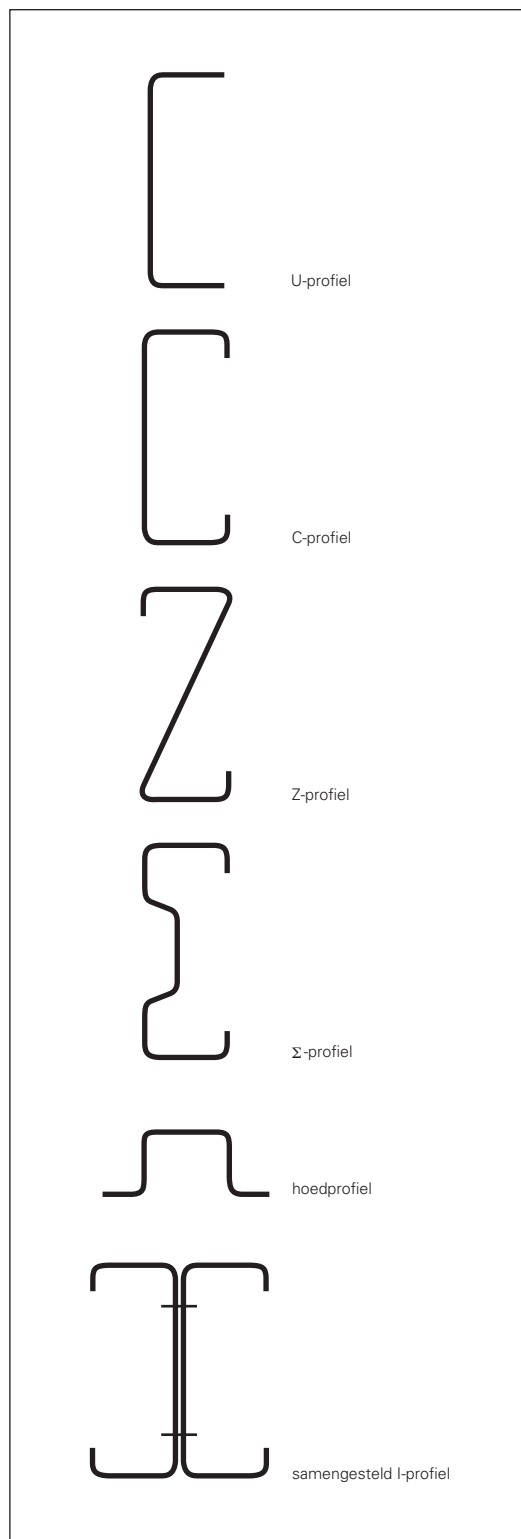
de stabiliteits-elementen zelfs beperkt blijven tot een breedte van 1,25 m, ook wanneer de wanden verder geen vloer ondersteunen. Hierbij wordt meer breedte geadviseerd om een logisch bevestigingspatroon van de schietnagels of schroeven van het als schijf werkend plaatmateriaal te kunnen ontwerpen en te fabriceren.

Toekomstige uitbreidingen of herindelingen kunnen eenvoudig worden uitgevoerd als daar bij het ontwerp rekening mee is gehouden (afb. 2.16.a en b). 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 bouwtechnische prestaties en statische belastingen zijn diverse bekledingsmaterialen aan de binnenzijde mogelijk, die op elke denkbare wijze kunnen worden nabehandeld (schilderen, behangen, stucadoeren, 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).

2.9 Productie en eigenschappen

Koudgeformde staalprofielen worden gemaakt uit koud- of warmgewalste dunne staalplaat (het moedermateriaal). Het moedermateriaal komt direct vanaf de staalfabriek voorzien van een coating (zink, zinkaluminium, magnesiumzink) met gewenste dekking. De staalplaat wordt geleverd op rollen (coils). De gewenste profielvorm wordt verkregen door het zetten (vouwen van plaatmateriaal) of rolvormen (profielwalsen) vanaf de coils. Eventueel benodigde

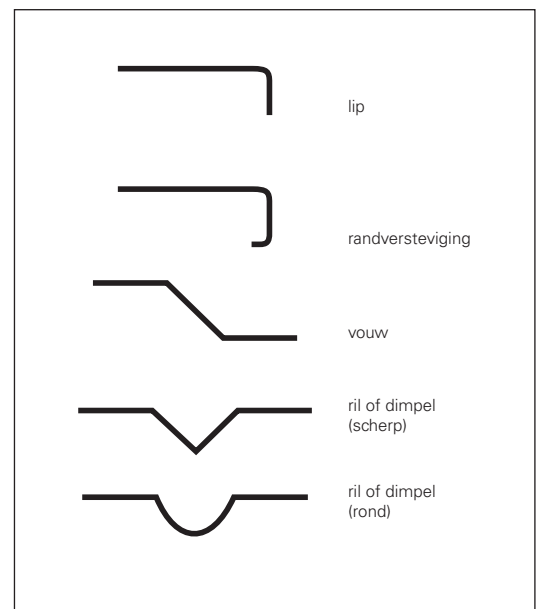
2.16.a en b. Indelings- en vormvrijheid (foto: Courage).



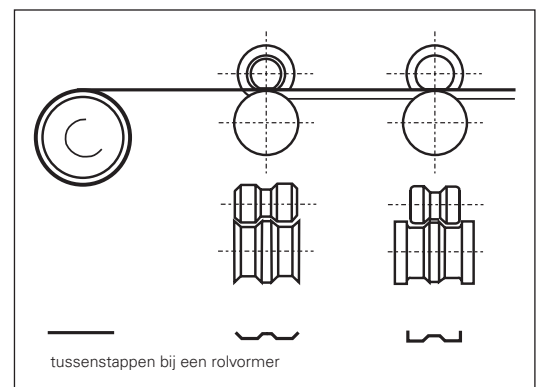
2.17.a. Overzicht courante profielen.



2.17.b. Speciaal 'kruisprofiel' met klinknagels.



2.18. Versterkingen in lijf en/of flens.



2.19. Walsprincipe rolvormer.

gatenpatronen kunnen worden aangebracht tijdens het walsen middels een pons-eenheid. Een overzicht van de staalsoorten die koud zijn te vervormen staat in Eurocode 3 (NEN-EN 1993-1-3). De vloei- dan wel 0,2%-rekgrens van deze staalsoorten ligt tussen 220 en 500 N/mm². In het algemeen wordt een staalplaat gebruikt met een grenswaarde van 280 tot 350 N/mm².

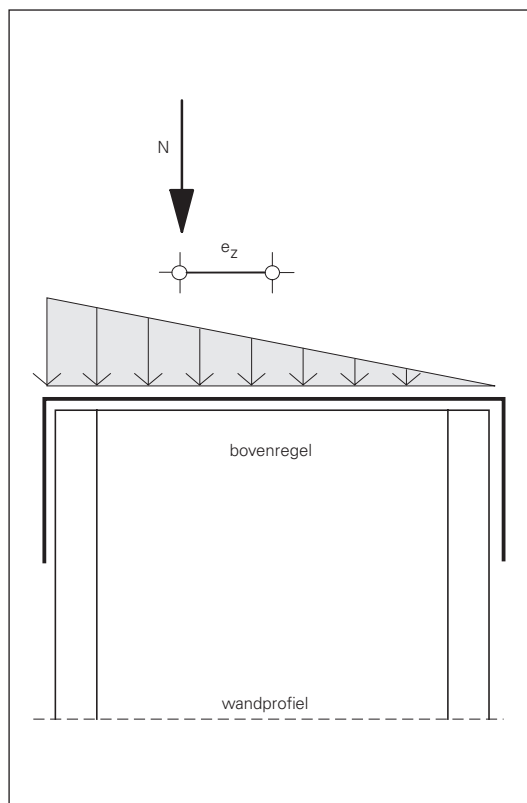
Koudvervormen is een makkelijk en simpel productieproces met veel verschillende mogelijkheden in doorsnedeform, die allemaal toepasbaar zijn in staalframebouw. Er worden verschillende profielen als standaard op de markt aangeboden (afb. 2.17.a en 2.17.b). Afwijkende vormen zijn leverbaar, maar kunnen bij kleinere aantallen minder economisch zijn. In diverse (bedrijfs)documentaties zijn de standaardafmetingen van koudgevormde profielen terug te vinden. De staaldikte varieert tussen de 1,5 en 3 mm, en officieel zelfs tot 8 mm of nog meer. Staaldiktes van 1,0 mm zijn ook mogelijk met de kanttekening dat dit extra aandacht vraagt voor plooi en lokale (in)stabiliteit van het profiel. Ondanks de relatief geringe staaldiktes kunnen de profielen constructief veel belasting aan en daardoor kan staalframebouw ook in meerlaagse woningbouw tot en met zes lagen probleemloos toegepast worden. Een hogere draagkracht ontstaat door in de profielvorm plooi- en versterkingen in de profieldelen



2.21. Geslitte staalrol/bandstaal (coil).



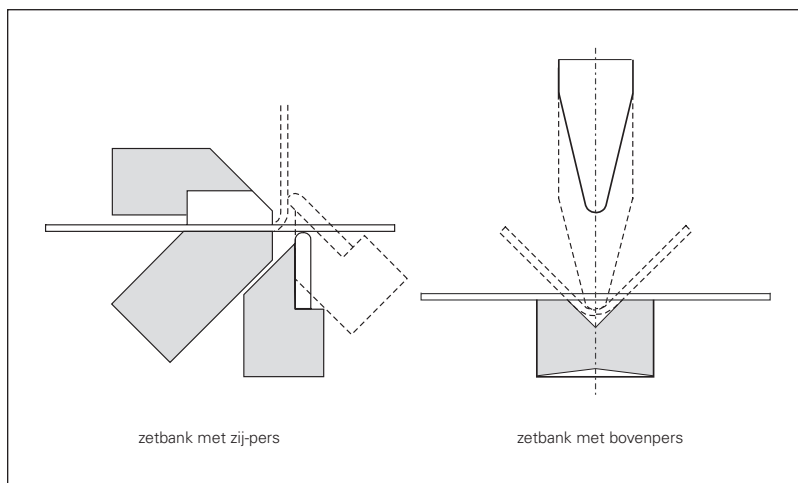
2.22. Profileermachine of rolvormer.



2.23. Excentrische belasting op een stijl.

en voldoende hoge lippen (randverstijvingen) mee te walsen of te zetten. Boven de zes lagen kunnen extra voorzieningen nodig zijn of een aanvullende constructie, bijvoorbeeld een warmgewalst staalskelet. Niet-dragende staalprofielen voor lichte scheidingswanden worden gemaakt met staaldiktes tot ~ 0,6-0,7 mm.

De sterkte en stabiliteit van de draagprofielen moet aan de hand van NEN-EN 1993-1-3 worden vastgesteld. Deze norm houdt ook rekening met een verhoogde sterkte na het profileren, want het vervormen maakt het staal 'sterker' (maar wel min-



2.20. Schaarvormen zetbank.

der taai). Dunwandige profielen zijn gevoelig voor (lokaal) plooiën, en in geval van een enkelsymmetrische vorm ook voor torsieknik, en dat heeft invloed op het uiteindelijke draagvermogen. Door verstijvingen in de verschillende delen van een profiel aan te brengen, kunnen de toelaatbare plooi spanningen worden verhoogd (afb. 2.18). De volgende punten zijn daarbij van belang:

- eenzijdig opgelegde delen van een profiel, zoals de flenzen, worden altijd sterker door een extra randverstijving ('lip');
- een verzet of dimpel in een tweezijdig opgelegd deel (bijv. lijf of flens met een effectieve randverstijving) is effectiever dan een ril, omdat die veelal minder diep is;
- twee rillen op een deel is voldoende, meer rillen hebben geen effect;
- sparingen voor installaties worden bij grote voorkeur zo veel mogelijk in het midden van een profiel aangebracht en mogen geen verstijvingen doorbreken. Hierdoor ontstaat de minste doorsnede verzwakking voor buiging (let op: knik is ook buiging (tweede orde)).

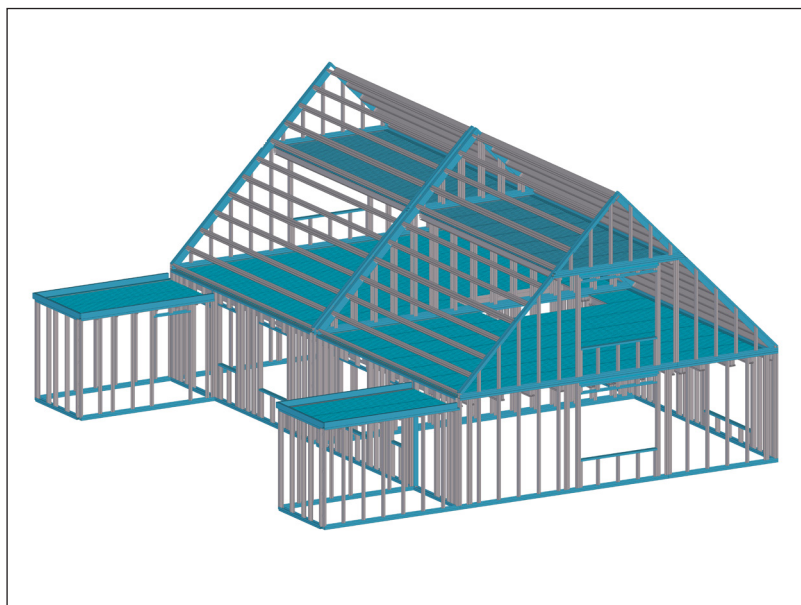
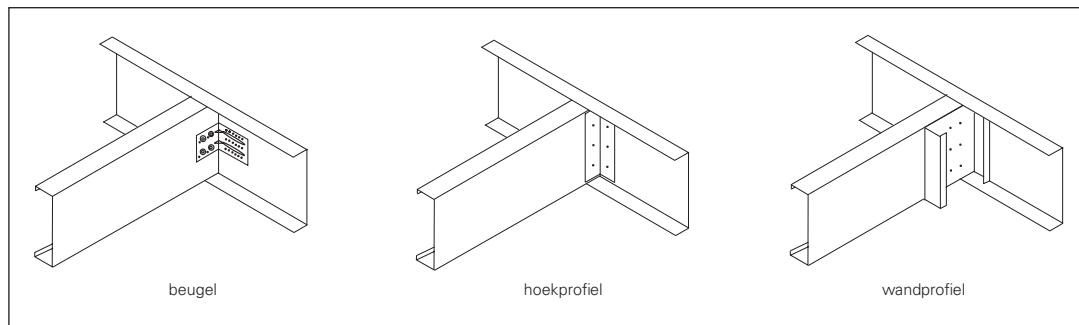
De invloed van een rond gat in het midden van een lijf mag bij een op buiging belaste ligger (vloer) worden verwaarloosd als de verhouding tussen gatdiameter en de lijfhoogte tussen 0,3 en 0,5 ligt. Bij een tweezijdig opgelegd deel (lijf begrensd door een flens of lip) met een rond gat in het midden van dat deel onder een constante drukspanning, zoals bij een wandstijl, moet de meewerkende breedte van het lijf worden gereduceerd. Voor de mate van deze reductie bestaat er geen rekenregel. Dit moet ofwel via 'analyse met eindige-elementenmethode' of met 'design assisted by testing' worden vastgesteld.

Koudgevormde profielen worden op de volgende manieren geproduceerd, in courante volgorde:

- rolvormen (afb. 2.19);
- zetten (afb. 2.20).

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 hoek en radius worden aangepast. In een pers drukt een stempel de plaat in een gewenste vorm. Ook ronde rillen kunnen bijvoorbeeld worden geperst. Rolvormen is de meest gebruikelijke manier van produ-

2.24. Plooverstevigingen
bij oplegging vloer.



2.26.
Aardbevingsbestendige
woningen, Loppersum.

ceren van koudgeformde profielen. De staalplaat wordt direct vanaf de coil (afb. 2.21) door machinaal aangedreven rollen in de juiste vorm gewalst. Het aantal achter elkaar liggende rollen wordt bepaald door de gewenste eindvorm (afb. 2.22). Voor een extra lip zijn bijvoorbeeld extra rollen nodig. De profielen kunnen met lengtes tot ongeveer 16 m worden gerolvormd. Door het rolvormen kunnen walsspanningen ontstaan in het materiaal, vooral bij de vlakke onderdelen. Door te variëren in de profielvorm (denk aan extra verstijvingen als rillen, ribbels en dimpels) kunnen walsspanningen worden voorkomen. Een tweede, belangrijker effect van extra verstijvingen is dat het profiel sterker wordt. De constructieve veiligheid moet worden beoordeeld bij de belastingen volgens NEN-EN 1990 en sterkte, stijfheid en stabiliteit zoals bepaald met de eerdergenoemde NEN-EN 1993-1-3, alle in combinatie met de respectievelijke Nationale Bijlagen. Hierbij is het bij staalframebouw elementen gebruikelijk gebruik te maken van 'design assisted by testing'.

2.10 Gangbare profielen woningbouw

Voor woningbouw zijn de volgende, constructieve, koudgeformde staalprofielen gangbaar.

- Wandprofielen: C100-1,5 mm.
- Vloerprofielen: C250-1,5-2,0 mm.
- Platdakprofielen: C200-1,5-2,0 mm.
- Schuindakprofielen: C200-1,5-2,0 mm.

Het totale pakket is afhankelijk van de gewenste bouw fysische prestaties (brandveiligheid, akoestiek, trillingen enz.).

Technisch Dossier #4

KOUDGEFORMDE PROFIELN
REKENVOORBEELDEN VOLGENS EUROCODE 3



bouwen met
staal

VEELZIJDIG • FLEXIBEL • DUURZAAM
www.bouwenmetstaal.nl

'Technische dossier # 4' maakt constructeurs vertrouwd met het rekenen aan koudgeformde profielen via rekenvoorbeelden volgens NEN-EN 1993-1-3 (Eurocode 3. Ontwerp en berekening van staalconstructies. Deel 1-3. Algemene regels. Aanvullende regels voor koudgeformde dunwandige profielen en platen).

Hoofdstuk 1 is een inleiding en geeft een overzicht van de meest belangrijke instabiliteitsvormen van dunwandige staalprofielen. Daardoor moet worden gerekend met een gereduceerde (effectieve) doorsnede. Voor de rekenvoorbeelden in hoofdstuk 2 zijn profielen gekozen met een relatief grote breedte/dikte-verhouding van de plaatdelen om het rekenen met effectieve doorsneden te verduidelijken. Voor de rekenvoorbeelden in hoofdstuk 3 en 4 zijn in de praktijk gebruikelijke profielafmetingen gehanteerd, met een verwijzing naar de (in hoofdstuk 2 beschreven) excel-spreadsheets.

M.C.M. Bakker, H. Hofmeyer, K.H. Chan, H.A.F. Spies, M. Terink en L. Visschers, *Koudgeformde profielen. Rekenvoorbeelden volgens Eurocode 3* (Technisch dossier 4), Bouwen met Staal, Zoetermeer 2010 (bouwenmetstaal.nl via 'gratis publicaties' zoeken op 'koudgeformd').

3 Productie, prefabricage en montage

Bij de uitvoering van staalframebouw moeten we onderscheid maken tussen de verschillende processtappen. Dat weer heeft te maken met de uitvoering op locatie of in de fabriek. Net als bij houtskeletbouw, hebben planning, uitvoering en logistiek, maar ook kwaliteit, invloed op elkaar. Het loont de moeite voor ieder project de voor- en nadelen van de opties af te wegen

De processtappen van staalframebouw heeft te maken met de fase waarin het proces zich bevindt: ruwweg productie, prefabricage en montage. De (op)bouw van dunwandige staalprofielen, het plaatmateriaal, de isolatie en de folies tot staalframebouw, kan zowel op de bouwplaats als in de fabriek plaatsvinden.

Staalframebouw kan dus op verschillende manieren worden samengesteld tot een hele woning of gebouw. Vindt de productie in de fabriek plaats, dan kent fabrieksmatige productie ook nog twee varianten: halffabricaat of volledig prefab. De halffabricaten worden vervolgens op locatie verder samengesteld en afgewerkt. Volledig prefab behoeft uitsluitend nog afwerking.

De productie, oftewel het samenstellen van de dak-, wand-, vloer- en gevelelementen is – ongeacht de locatie – feitelijk gelijk. Vindt het samenstellen op de bouwlocatie plaats, spreken we van assemblage-, montage- of elementenbouw. We gaan nu verschillende fases/opties onderscheiden en uitleggen.

- Preproductie of voorproductie.
- Productie of samenstellen.

En dan vervolgens:

1. productie op locatie;
2. productie in de fabriek: halffabricaat van elementen;
3. productie in de fabriek: geheel prefabricage van elementen;
4. montage/assemblage op de bouw (afb. 3.2), geldt voor 2 en 3;
5. afwerking.

Opgemerkt moet worden dat productie op locatie (afb. 3.1) vrijwel niet meer in Nederland voorkomt, en ook niet tot aanbeveling strekt. Dat komt door de weersomstandigheden. Het biedt wel enkele



3.1. Productie op de bouwplaats (foto: Finish Profiles).

voordelen, vooral voor de doe-het-zelver, waarover later meer.

3.1 Preproductie

Onder preproductie wordt verstaan:

- slitten van de staalrollen (coils) (afb. 3.3 en 3.4): het op (breedte)maat (laten) brengen, door machinale scharen, van het bandstaal;
- profileren van de geslitten rollen tot stijl- en regelwerk, liggers, gordingen, sporen enzovoort (afb. 3.5);
- op maat (laten) maken van plaatmateriaal (hout, gipskarton, geprofileerde staalplaat of zwaluwstaartplaten enzovoort).

3.2 Productie

Met productie wordt bedoeld: het handmatig samenstellen van staalprofielen (afb. 3.5-3.8), plaatmateriaal, folies, isolatie en installatievoorzieningen (leidingen, wandcontactdozen etc.) tot elementen, bouwonderdelen.

De staalprofielen, die vooraf vrijwel altijd machi-



3.2. Prefab elementen voor assemblage-bouw (foto: Courage).



3.3. Coil (moedermateriaal) (foto: Finish Profiles).



3.4. Geslitte rollen (foto: Finish Profiles).



3.5a en b. Profileermachine (foto's: Finish Profiles en BeSteel).



naal op (lengte)maat worden geknipt, zijn op de plek waar ze onderling moeten worden verbonden (stijl-regel, ligger-koppelprofiel) voorzien van voor-geponste en verzonken schroefgaten (afb. 3.9) op de juiste maatvoering. Op die manier kunnen de frames maar op één manier worden samengesteld. Mallen zijn overbodig. Het verzonken schroefgat zorgt ervoor dat de schroefkoppen niet uitsteken zodat het plaatmateriaal niet kan worden beschadigd of knapt/barst. Daar waar twee gelijksoortige profielen aansluiten, wordt er ofwel een 'inknijping/inkneep' aangebracht (afb. 3.10) ofwel een deel van de flens uitgestanst. Ook hier bedoeld voor een gelijkmatig oppervlak voor verdere opbouw. Bij schoren of diagonale profielen worden de kruisende profielen voorzien van uitsparingen, schroefgaten, inknepen enzovoort, eveneens op de juiste maatvoering (afb. 3.11).

De dampremmende folies worden ofwel via lijm-spray, dubbelzijdige tape of enkelzijdige tape (tijdelijk) verbonden, rechtstreeks op de staalframes. De plaatmaterialen verzorgen definitieve bevestiging. Het isolatiemateriaal in het frame wordt van de rol (glaswol) of plaat (steenwol etc.) op maat gesneden tussen de profielen.

3.3 Nagels of nieten

De bekleding wordt doorgaans op de staalprofielen geschroefd of genageld (afb. 3.12). Houten platen worden tegenwoordig niet vaak meer aan het staalframe geschroefd, maar geschoten met speciale getordeerde nagels of nieten. Voor een gelijkwaardige constructie met schroeven zijn meer nagels nodig, maar het schieten gaat sneller.

Vergelijkbaar met houtskeletbouw worden de nagels en nieten met hoge (luchtdruk)snelheid



3.6. Het gereedschap (foto: Leebo).

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').

In tegenstelling tot schroeven hebben nagels en nieten het nadeel, dat ze – eenmaal geschoten – lastig of niet zijn te verwijderen of te corrigeren. Gebruikelijk is de gips(karton)platen te schroeven. Isolatie aan de buitenzijde van de gevel- en dakelementen wordt geschroefd met de gebruikelijke schotels of met (houten) latten, afhankelijk van de gevelbekleding of dakbedekking die traditioneel kunnen worden aangebracht.

De (dragende) koudgeformde profielen worden in het lijf (standaard) voorzien van kleine en grote pongaten voor leidingdoorvoer van elektriciteit en water, maar ook bijvoorbeeld voor binnenriolering en ventilatiekanalen (afb. 3.13). Bij grote sparingen is een constructieve berekening nodig. Niet alleen voor de grootte, maar juist voor de positie in het lijf, en bij liggers de afstand tot de oplegging (dwarskrachtzone en plooi gevoeligheid).



3.7. Typen bouten en schroeven (foto's: Finish Profiles).



3.8. Eenvoudig, handmatig framen (foto: Leebo).



3.9. Verzonken schroefgaten (foto: BeSteel).

3.4 Productie op locatie

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 standaardlengtes worden op maat geslepen, een praktijk die om meerdere redenen wordt afgeraden: maatfouten, oppervlaktebeschadiging enzovoort.

Op maat knippen, zoals bij metal stud gebruikelijk, is door de dikkere staaldikte (> 1,0-6,0 mm) niet mogelijk. Momenteel zijn er ook verrijdbare rolvormers die op de bouw kunnen worden geplaatst (in een container). Dan wordt op locatie de profielen gevormd met speciale software die direct de rolvormer aanstuurt. Ook bestaat hier de mogelijkheid met voorgestante schroefgaten en andere voorzieningen.

De staalframes worden vanaf de begane-grondvloer of op de keldervloer/-wand opgebouwd, waarbij de eerste wandelementen veelal eerst horizontaal wor-

den samengesteld en dan handmatig verticaal op maat en waterpas worden gesteld. 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.

Een belangrijk pluspunt van bouwplaatsproductie is dat de verbindingen met de fundering/begane grondvloer en tussen de frames onderling goed bereikbaar en eveneens eenvoudig zijn (afb. 3.14a t/m c). Bij prefab is men aangewezen op uitwendige koppelstukken met zwaardere bevestigingen (bouten), zie montage/assemblage.

Bij productie op de bouwplaats hebben weersomstandigheden zeker invloed op de bouwtijd. Houd 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 afdekking van de bouw en de opslag van materialen nodig. Raadpleeg ook de (verwerkings)voorschriften van de verschillende fabrikanten.



310. 'Inknepen' voor vlak oppervlak (foto's: Finish Profiles).



311. Bewerkingen voor inwendige bevestiging.

3.5 Prefabricage: productie in de fabriek

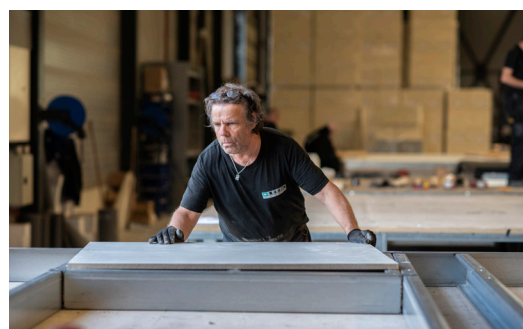
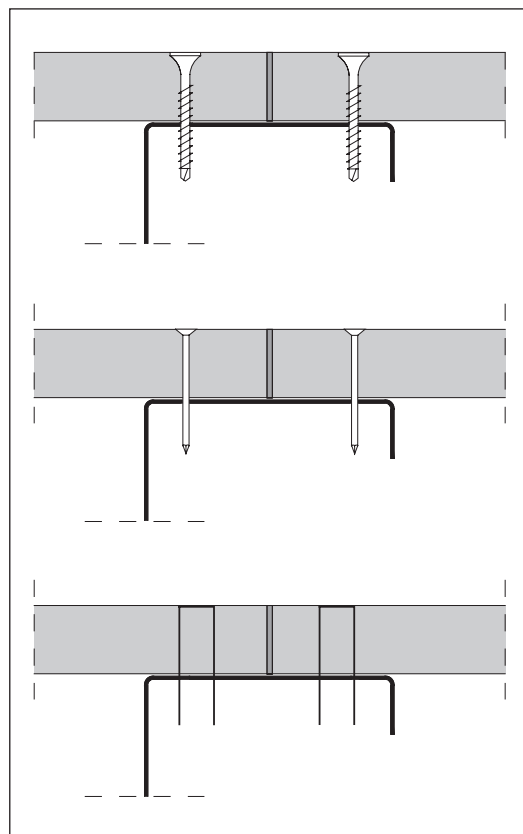
Met de huidige technieken zijn veel (handmatige) bewerkingen op de bouwplaats mogelijk, zoals bouten, schroeven en nagelen. Voor een optimale productie is het echter gunstig om die onder geconditioneerde omstandigheden uit te voeren. Prefabricage geniet de voorkeur. In de fabriek kan onafhankelijk van het weer, continu en onder gelijkblijvende omstandigheden worden gewerkt. Het voordeel van industrieel vervaardigde producten is de kwaliteitswaarborging. Het productieproces kan voortdurend en systematisch/automatisch worden gecontroleerd, gemonitord en gearchiveerd. Bij de productie van grote hoeveelheden kunnen andere machines worden ingezet dan op de bouwplaats, zelfs tot en met een volautomatische productiestraten.

Bij modulaire maatvoering kunnen standaardproducten op voorraad worden geproduceerd. Alle materialen liggen voor de productiemedewerkers voor handen, en bovenloopkranen en kantelmachines (afb. 3.15) vereenvoudigen de werkzaamheden. Staalframebouw is bij uitstek geschikt voor prefabricage.

De verschillende onderdelen worden ook hier door schroeven, bouten en nagels verbonden. In de productiehal worden de staalprofielen tot een staalframe geassembleerd, en vervolgens bekleed. Daarbij bestaat de mogelijkheid om de staalframes niet (kaal), eenzijdig of tweezijdig te bekleden. Bij eenzijdige bekleding (deel-/halffabrikaat) 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 verdere opbouw en afbouw van de elementen.

Bij prefabricage van tweezijdig beklede elementen worden ook de folies en isolatiematerialen aangebracht of nog meer, gelang de wens (afb. 16 a, b en c). Zo kunnen ook de installaties (denk aan wandcontactdozen enzovoort) in de elementen worden opgenomen en zelfs (beglaasde) kozijnen worden voormonteerd.

Gangbare elementbreedtes voor vloeren zijn 2,44 en 3 m. De maximale afmetingen voor prefab staalframebouw elementen zijn ongeveer 3,7x12 m. De afmetingen zijn afhankelijk van de productiemogelijkheden van de fabriek, de hijs- en transportmogelijkheden en van de omstandigheden op de bouw-



3.12a en b. Bevestigingen voor plaatmateriaal.

plaats (laden, lossen, kraancapaciteit, montage). De mate van prefabricage bij staalframebouw reikt ver. De productie van deze elementen krijgt in de fabriek een extra kwaliteitscontrole, vaak voor een zogenaamde productcertificering. Dit garandeert voor de afnemer dat de elementen voldoen aan de gestelde kwaliteitseisen. Prefab biedt extra voordeel bij gescheiden afvalverwerking en het terugbrengen van restmateriaal in hergebruik- en recyclingsprocessen (afb. 3.19).



3.13a en b. Halffabricaten, vloer en wand, met gaten en sporingen (foto's: Finish Profiles).



3.15. Verankeringsstypen bij open frames (foto's: BAAS architecten en CFP, rechts).

3.6 Montage/assemblage

Nu gaan we bouwen op locatie. Alle panelen/elementen worden per vrachtwagen naar de bouwplaats vervoerd en met een kraan gemonteerd en opgebouwd (afb. 17a en b). Op de bouwplaats zijn de bevestigings- en montagemiddelen van de prefab elementen bepalend en hebben een directe invloed hebben op een correcte montage. Hierin is duidelijk verschil tussen deelfabricaten en totaal prefab met rondom 'gesloten' panelen. Dat wordt veroorzaakt doordat bij montage van, of beter gezegd de koppeling tussen de gesloten panelen onderling en met andere bouwdeelen niet kan verlopen via de hartlijnen.

Bij deelfabricaten, dus eenzijdig voorbeklede panelen, zijn de aansluitingen van de elementen van binnenuit bereikbaar, wat wel een constructief optimale koppeling (in de hartlijnen) faciliteert. Montage van de begane grond-wanden op de fundering is met extra hoekprofielen (trekverankering) eenvoudig te bewerkstelligen via stekken, lijmanekers of keilbou-



ten. Ook wandelementen onderling of wand-vloer aansluitingen zijn van binnenuit het open frame te koppelen, met schroef of bout.

Bij totaal prefab elementen is er sprake van uitwendige verankeringen en constructieve koppelingen via opleghoeken, koppelstukken of

3.14. Kantelmachine (foto: Leebo).



3.16.a. Volautomatische gipsmachine, voor totaal prefab elementen en b. Kantelmachine (foto's: MFrame).



3.17a en b. Optop schoolgebouw met volledig prefab elementen (foto's: MFrame).

-stroken, aanslagprofielen en bijvoorbeeld vooraf aangebrachte stalen stelregels (U-profiel). Omdat uitwendige koppelingen nodig zijn, worden excentrische krachten geïntroduceerd en bovendien meestal puntkrachten, dus geconcentreerde last. Daardoor kunnen extra, hoge momenten en hogere dwarskrachten ontstaan. Doorwrochte detaillering van aansluitingen (afb. 18a en b) is hier cruciaal en overleg met de (casco)constructeur noodzakelijk. In enkele gevallen zijn de prefab elementen aan onder- en bovenzijde of uiteinden deels open om evengoed van binnenuit te kunnen koppelen. Dat vraagt dan wel om extra (aanheel)werk op de bouwplaats.

3.7 Planning en bouwtijd

Door prefabricage van elementen is een aanzienlijke besparing op de bouwtijd te bereiken. Ook omdat de voorbereidende werkzaamheden op de bouwplaats tegelijk met de productie van de elementen

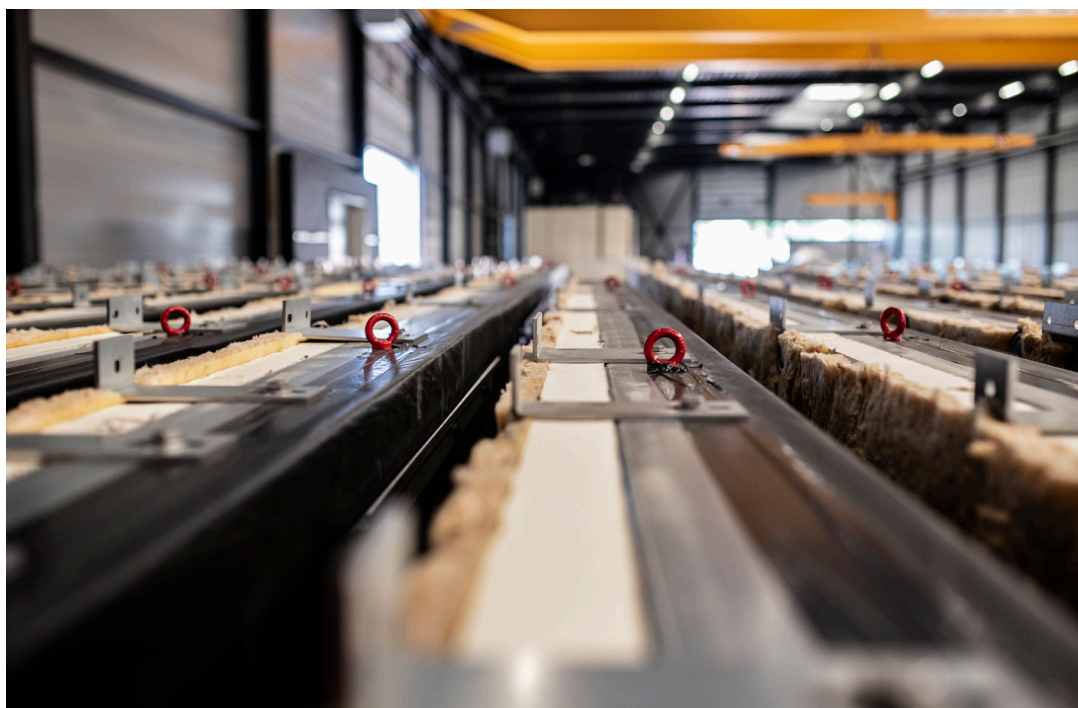
kan plaatsvinden. Hier tegenover staat dat de voorbereiding en productie in een vroeg stadium moet gebeuren en dat ontwerp van het gebouw op de prefabricage moet worden afgestemd. Niet alleen de productie van de elementen moet goed worden voorbereid, ook de montage op de bouw verdient zorgvuldige aandacht.

De vereiste bouwfysische eigenschappen gelden namelijk niet alleen voor de verschillende onderdelen, maar juist voor het samenstel van die elementen. Afhankelijk van de mate van prefabricage moet de planning vaststaan op het moment dat de productie begint. Houd 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 tijdrovend en kostbaar. Afhankelijk van de mate van prefabricage moeten op de bouw nog elementen worden afgewerkt, zoals het voegen van



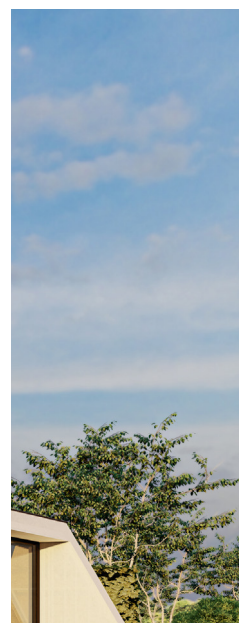
3.18.a. Koppel-/
montagemiddelen: prefab
vloer (L-profiel) en b.
Beugel voor gevel-element
(foto's: C3 Staalframebouw
en MFrame, onder).



de gipsbeplating. Soms moeten oppervlaktecorrecties worden uitgevoerd. In elk geval moet bij deze werkzaamheden rekening worden gehouden in de planning, ook bij geprefabriceerde elementen. De geprefabriceerde elementen worden just-in-time geleverd en maken een korte (ruw)bouwperiode mogelijk. In slechts drie tot vier dagen tijd kan een eengezinswoning bijvoorbeeld wind- en waterdicht zijn. Daarna kan direct worden gestart met de afbouw. Naast deze kostenbesparingen, zijn opslagen en productieruimte op de bouwplaats niet nodig. Bouwplaatsafval wordt tot een minimum beperkt (afb. 19). Belangrijk bij de montage in het werk is de controle op de uitvoering van de koppelingen tussen de elementen, omdat ze grote invloed hebben op de uiteindelijke bouwfysische en constructieve kwaliteit van het gebouw als het eenmaal is opgeleverd.



3.19. Restafval na profileren
(foto: MFrame).



bouwen met
staal!

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

