

*Voorbeelden in staalbouw*

# HALLENBOUW

Keuzegids voor constructeurs, architecten en aannemers



### Samenstelling: Euro-build in Steel

Vertaling: Bouwen met Staal  
Vormgeving: The Steel Construction Institute

### Bouwen met Staal

Postbus 190  
2700 AD Zoetermeer  
tel. +31 (0)79 353 12 77  
fax +31 (0)79 353 12 78  
e-mail [info@bouwenmetstaal.nl](mailto:info@bouwenmetstaal.nl)  
internet [www.bouwenmetstaal.nl](http://www.bouwenmetstaal.nl)  
ISBN 978-1-85942-063-8 (Engelstalige versie)  
© Bouwen met Staal, 2008

### Copyright

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand en/of openbaar gemaakt – in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch door fotokopieën, opnamen of enige andere manier – zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

### Disclaimer

Aan de totstandkoming van deze publicatie is de uiterste zorg besteed. Desondanks zijn eventuele (druk)fouten niet uit te sluiten. De uitgever sluit,

mede namens al degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, elke aansprakelijkheid uit voor directe en indirecte schade, ontstaan door of verband houdende met de toepassing van deze publicatie.

### Foto voorkant

Project: Mors bedrijfsgebouw, Opmeer, Nederland  
Foto: J. En F. Versnel, Amsterdam

# Inhoud

De brochure 'Hallenbouw' biedt actuele informatie voor het ontwerp van hallenbouw met een stalen draagconstructie. Deze informatie richt zich op constructeurs en andere leden van het ontwerpteam zoals architecten en adviseurs en is met name nuttig in een vroeg stadium van het ontwerpproces. De brochure verschijnt in het kader van Euro-Build in Steel, een kennisoverdrachtsproject dat wordt gesponsord door het 'Research Fund for Coal & Steel' (RFCS). Het projectnummer is RFS2-CT-2007-00029.

Doel van het Euro-Build in Steel project is om ontwerpers te voorzien van actuele informatie en 'best practice' praktijkvoorbeelden. Op deze manier wordt een blik vooruit geworpen naar de volgende generatie utiliteitsgebouwen met staalconstructies. De andere twee brochures in de reeks behandelen de hallenbouw en de woningbouw.

De brochure 'Hallenbouw' is gebaseerd op de Engelstalige publicatie 'Industrial buildings. Best practice in steel construction' die eveneens is verschenen als onderdeel van het project Euro-Build in Steel.

Partners in Euro-Build in Steel zijn:

- ArcelorMittal
- Bouwen met Staal
- Centre Technique Industriel de la Construction Métallique (CTICM)
- Forschungsvereinigung Stahlanwendung (FOSTA)
- Labein
- SBI
- The Steel Construction Institute (SCI)
- Technische Universität Dortmund

Deze brochure kwam tot stand met financiële steun van het 'Fonds voor Onderzoek inzake Kolen en Staal' van de Europese Commissie.

## 1 Hallenbouw



## 2 Kiezen voor een staalskelet



## 3 Draagsystemen



## 4 Dak- en gevelsystemen



## 5 Nationale verschillen



## 6 Voorbeeldprojecten



# 1 Hallenbouw

**Hallen zijn grote ruimten met meestal één bouwlaag. Hallenbouw kan verschillende functies hebben. De meest voorkomende zijn hallen en loodsen, bedrijfsgebouwen, schuren en stallen. Het programma van eisen en de gewenste kwaliteit bepalen het gebruik en de schoonheid. Staal beschikt over mogelijkheden om elke functie mee te realiseren.**

Bij hallen speelt de economie van de constructie een grote rol. Bij grote overspanningen is de draagconstructie geoptimaliseerd voor een zo min mogelijke inzet van materiaal, kosten en installaties. Steeds vaker worden gebouwen ontworpen op een laag energieverbruik en voldoen zij aan andere eisen aan duurzaam bouwen.

Hallen hebben vaak een stalen draagconstructie en er zijn verschillende typen stalen gevel- en dakbekledingen. Grote, open ruimtes zijn te maken die efficiënt zijn, makkelijk te onderhouden en aanpasbaar aan functiewijzigingen. Staal wordt gekozen op economische gronden en vanwege brandveiligheid, architectonische kwaliteit en duurzaamheid.

In de meeste gevallen staat een industriehal niet op zichzelf. Er zitten kantoor- en installatieruimtes aan vast en er zijn bouwkundige onderdelen zoals luifels. Al deze zaken horen in het gebouwconcept te passen.

Deze brochure beschrijft de verschillende constructietypes en dak- en gevelbekleding die in Europa voorkomen. Hoofdstuk 5 beschrijft de verschillen tussen landen op het vlak van de ontwerppraktijk, de regelgeving en de mogelijkheden van de toeleverende bouwindustrie. Het laatste hoofdstuk toont voorbeeldprojecten.

De beschreven bouwmethode is toe te passen op andere bouwtypen: recreatiecentra en sportcomplexen, supermarkten en overige grote open ruimtes.



*Afb. 1.1 Sport- en recreatiecentrum met een stalen draagconstructie.*

## 2 Kiezen voor een staalskelet

**Veel factoren zijn van invloed op het ontwerp van een hal. Deze algemene inleiding toont in vogelvlucht de belangrijkste ontwerpaspecten en de voordelen die een staalconstructie daarbij biedt.**

Bedrijfsgebouwen hebben meestal één grote open ruimte van één bouwlaag. Voor de activiteiten die erin plaatsvinden kunnen bovenloopkranen of andere apparatuur nodig zijn. De meeste bedrijfsgebouwen hebben kantoorruimte die op een tussenvloer of in een apart gebouwdeel is ondergebracht.

De voorbije dertig jaar zijn verschillende constructietypen ontwikkeld. Daarbij zijn de kosten van de staalconstructie voor een bepaald ruimtegebruik geoptimaliseerd. Tegenwoordig wordt op architectonische gronden vaak voor expressieve draagsystemen gekozen. Voorbeelden hiervan zijn hang- en tuiconstructies.

Een grote hal is het belangrijkste kenmerk van bedrijfsgebouwen. Ontwerpers hebben een scala aan mogelijkheden ter beschikking om de functionele eisen en architectonische wensen vorm te geven. Meestal heeft een bedrijfsgebouw een rechthoekige plattegrond die uitbreidbaar is in de lengterichting. In de ontwerpfase moet niet uitsluitend met de huidige, maar ook met de toekomstige eisen rekening worden gehouden. Het energieconcept inclusief de belichting wordt steeds belangrijker.

Hier volgt een overzicht van de architectonische en constructieve mogelijkheden voor bedrijfsgebouwen. Tentoonstellingsruimtes, treinstations, aankomst- en vertrekhallen op vliegvelden en sportstadions hebben meestal een uitzonderlijk vorm. De volgende algemene kenmerken gelden voor standaard, rechthoekige plattegronden.

### Typologie

Het meest eenvoudige constructiesysteem voor een hal bestaat uit twee kolommen en een ligger. Deze combinatie is op ontelbare manieren uit te voeren met een groot aantal verschillende kolom-liggerverbindingen en kolomvoetverbindingen.

De meest gebruikte constructietypen in de hallenbouw zijn portalen met scharnierende kolomvoetverbindingen en raamwerken met scharnierende of ingeklemde kolomvoeten. Portalen hebben in hun vlak voldoende stabiliteit en hebben dus uitsluitend stabiliteitsverbanden nodig loodrecht op hun vlak.

Afb. 2.1 toont een aantal portalen met (a) ingeklemde of (b) scharnierende kolomvoeten. Bij zware bovenloopkranen komen ingeklemde kolomvoeten in beeld, omdat deze minder vervormen onder invloed van horizontale krachten. Scharnierende kolomvoeten hebben kleinere funderingen en eenvoudiger verbindingen. In voorbeelden (c) en (d) staat de constructie deels buiten het gebouw. Op de punten waar de constructie door de gevel en het dak gaat, dient zorgvuldig te worden gedetailleerd. De complexe details in de getoonde constructietypen dienen ook een architectonisch doel.

In afb. 2.2 zijn verschillende raamwerken getoond. Afb. 2.2 (a) laat een voorbeeld zien van een constructie zonder gordingen met schijfwerking door het dak- en de gevelbeplating. In afb. 2.2 (b) worden wel gordingen gebruikt, wat leidt tot een eenvoudig ontwerp voor de dakbekleding.

*Typologie*

*Brandveiligheid*

*Bouwfysica*

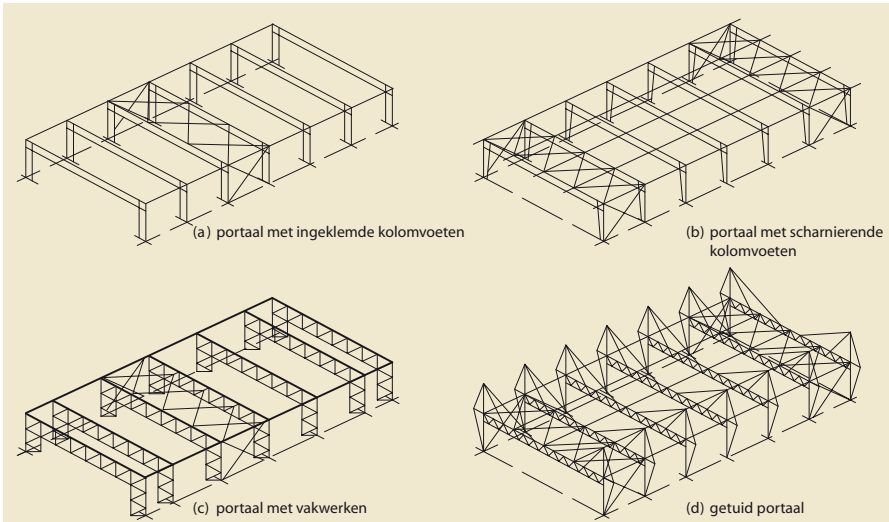
*Belastingen*

*Ontwerpconcepten*

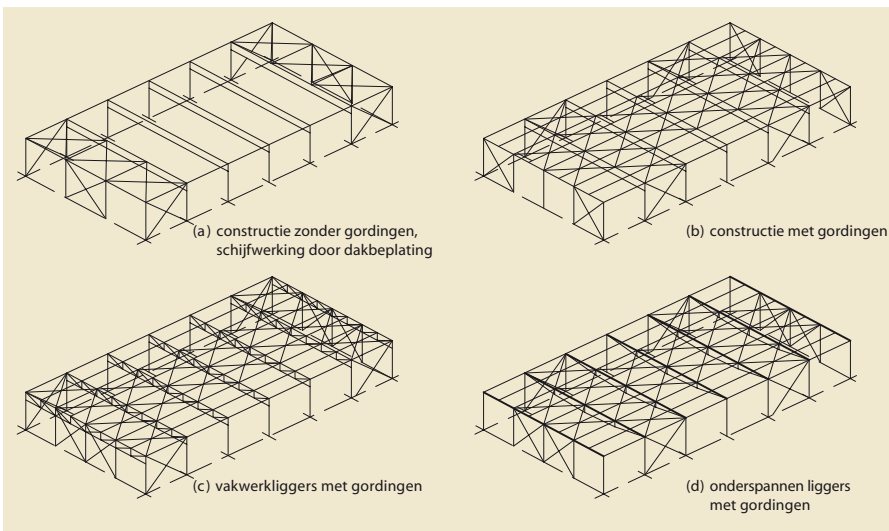
*Vloersystemen*

*Leidingenintegratie*

*Belichting*



Afb. 2.1 Voorbeelden van portalen.



Afb. 2.2 Voorbeelden van raamwerken.

De dakbeplating heeft slechts kleine overspanningen en hoeft uitsluitend verticale krachten over te brengen. Met verbanden in het dakvlak is het dak stijver gemaakt. De constructieve oplossing zonder gordingen zal van binnenuit voor de meeste mensen de aangenamere aanblik bieden. Afb. 2.2 (c) en (d) tonen respectievelijk vakwerkliggers en onderspannen liggers. Deze kunnen voordelen hebben bij grotere overspanningen en kunnen op esthetische gronden wenselijk zijn.

Boogconstructies bieden vanuit het oogpunt van belastingafdracht en van esthetica voordelen. In afb. 2.3 (a) is een boogvormig driescharnierspant getoond.

Als alternatief is dit constructietype op kolommen te plaatsen of in een vakwerkspant te integreren (afb. 2.3 (d)).

De hierboven beschreven constructietypen met primaire en secundaire elementen bezitten allemaal een overheersende richting waarin de belastingen worden afgedragen. Ruimtelijke structuren en ruimtevakwerken bezitten niet zo'n overheersende richting. Deze zijn uit te breiden, maar worden zwaar bij grote overspanningen. Afb. 2.4 toont enkele voorbeelden van ruimtelijke structuren.

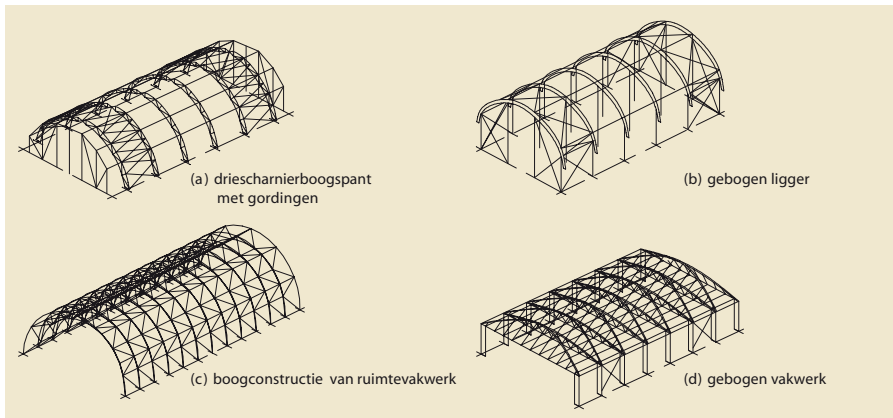
### Portalen

Stalen portalen zijn wijd verbreid in de meeste Europese landen, omdat zij

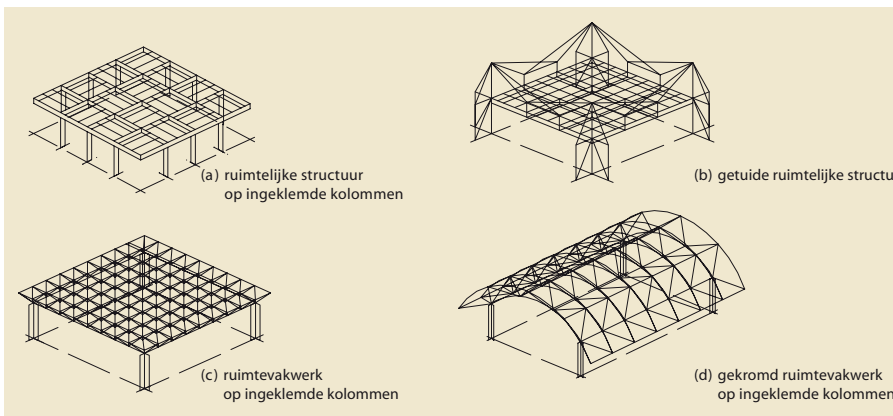
economie en functionaliteit combineren. Er zijn uitgaande van hetzelfde constructieconcept verschillende configuraties van portalen mogelijk zoals getoond in afb. 2.5. Meerbeukige portalen zijn ook mogelijk zoals te zien in afb. 2.5 (e) en (f). Dit kan met enkele of dubbele tussensteunpunten.

Bovenop de primaire stalen draagconstructie is er een groot assortiment aan secundaire elementen ontwikkeld, zoals koudgevormde dakgordingen, die ook kunnen meewerken aan de stabiliteit van het raamwerk (zie afb. 2.6 en 2.7).

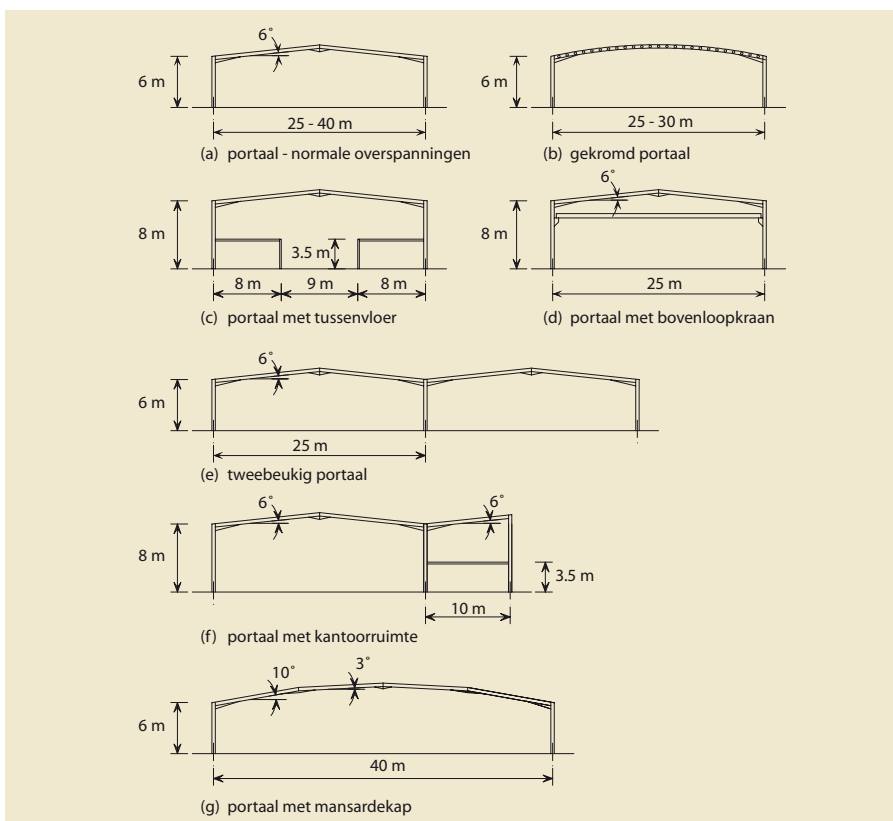
Deze eenvoudige constructiesystemen zijn architectonisch interessanter te



Afb. 2.3 Voorbeelden van boogconstructies.



Afb. 2.4 Voorbeelden van ruimtelijke structuren en ruimtevakwerken.



Afb. 2.5 Verschillende typen portalen.



Afb. 2.6 *Gekoppelde enkelbeukige portalen.*



Afb. 2.7 *Tweebeukige portalen met gordingen en stabiliteitsverbanden in het dak.*



Afb. 2.8 *Gebogen dakspanten gebruikt bij portalen.*

Afb. 2.9 *Momentvaste verbindingen in een industriegebouw.*



Afb. 2.10 *Montage van een moderne portaalconstructie.*



maken door gebogen elementen toe te passen, raatliggers of patrijspootliggers, enz. (afb. 2.8).

Er zijn ook innovatieve constructiesystemen ontwikkeld waarbij portalen grote buigende momenten kunnen opnemen door trekstaven aan te brengen en de profieldoorsnede van de ligger te vergroten (afb. 2.9).

De montage van de primaire stalen constructie en de secundaire elementen zoals gordingen wordt meestal uitgevoerd met mobiele kranen (afb. 2.10).

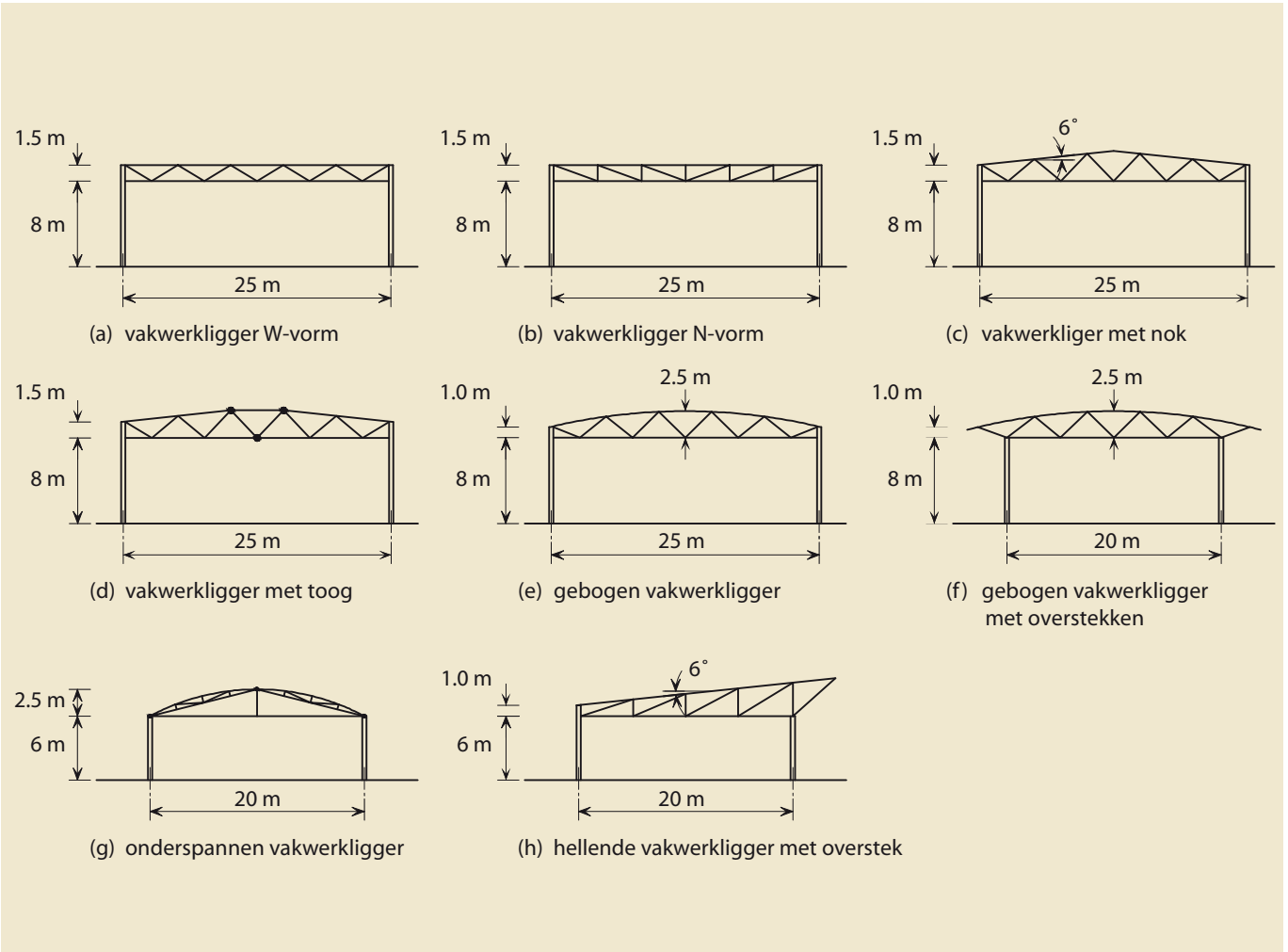
### **Vakwerkliggers**

Bij bedrijfsgebouwen met grote overspanningen zijn vakwerkliggers een optie. Bij vakwerkliggers wordt meestal gebruik gemaakt van een raamwerk, zij worden zelden toegepast in portalen. Er zijn vakwerkliggers mogelijk met C-, H- en O-profielen en met verschillende vormen (afb. 2.11). De twee meest gangbare zijn de W- en N-vorm. In dit geval wordt de stabiliteit meestal verzorgd door stabiliteitsverbanden en niet door stijve verbindingen. Toch is het ook mogelijk om kolommen als vakwerk uit te voeren en buigstijf met de vakwerkligger te verbinden (afb. 2.13).

Met vakwerken zijn een betrekkelijk hoge stijfheid en draagkracht te verkrijgen met minimaal materiaalgebruik. Behalve de mogelijkheid om er grote overspanningen mee te maken, zien vakwerken er aantrekkelijk uit en is leidingenintegratie eenvoudig.

Bij ontwerpen zijn draadmodellen geïdealiseerde constructies. Zowel met bouten als met lassen zijn verbindingen te ontwerpen die buigvaste momenten overbrengen. Als de vakwerkligger gebruikt wordt om stabiliteit van het gebouw te garanderen, wordt in het ontwerp van de vakwerkstaven rekening gehouden met de resulterende interne krachten.





Afb. 2.11 (Boven) Verschillende typen vakwerklijgers gebruikt in industriegebouwen.



Afb. 2.12 (Links) Vakwerklijgers vervaardigd uit buisprofielen.

Afb. 2.13 Vakwerkligger met vakwerkkolom.



### Hangconstructies

Door gebruik te maken van hangconstructies zijn gebouwen te realiseren met grote overspanningen met een hoge visuele en architectonische kwaliteit.

Doordat er bij hangconstructies enerzijds onderdelen zijn die overwegend op trek worden belast en anderzijds onderdelen die overwegend op druk worden belast, zijn zeer lichte constructies mogelijk. Echter, constructies die op materiaal besparen hoeven niet per se te leiden tot goedkope oplossingen. Met name bij ruimtevakwerken zijn de verbindingen zeer complex en is er veel meer tijd nodig om deze te fabriceren en monteren. Daarom zijn deze constructies vooral kansrijk bij bedrijfsgebouwen die ook architectonische aspiraties hebben. Hangconstructies zijn te ontwerpen door de kolommen buiten de gevel te plaatsen (afb. 2.14). Met hangconstructies zijn zeer grote overspanningen te verwezenlijken. Nadelen zijn, dat de hangkabels of -staven door de dakbekleding heen moeten en dat de uitwendige constructie in de weg kan staan.

### Brandveiligheid

Hoewel de algemene context van de regelgeving ten aanzien van brandveiligheid in heel Europa gelijk is, bestaan

er nationale verschillen. Zo stelt men in Nederland geen eisen aan de brandwerendheid ten aanzien van bezwijken bij een enkellaags bedrijfsgebouw met een compartimentsgrootte van 50 x 100 m. In Frankrijk is in de meeste gevallen een brandwerendheid van 30 minuten vereist. In Italië kan zelfs 90 minuten worden geëist. In het ontwerpstadium moet bij brandveiligheid op de volgende punten worden gelet:

- ontvluchting (aantal vluchtroutes, tekens en opschriften, aantal trappen, breedte nooddeuren)
- brandverspreiding (inclusief brandwerendheid en tegengaan van brand)
- rook- en warmteafvoersystemen
- actieve brandbestrijding (handblussers, rookmelders, sprinklers, brandweer)
- toegankelijkheid voor de brandweer

Brandwerendheidseisen moeten worden gebaseerd op de parameters die groei en ontwikkeling van de brand bepalen. Dit zijn onder andere:

- brandrisico (waarschijnlijk van het optreden van brand, brandverspreiding, brandduur, vuurbelasting, ernst van de brand, enz.)
- ventilatie (luchttoevoer, rookuitvoer)
- brandcompartiment (type, omvang, vorm)

- constructiesysteem
- vluchtmogelijkheden
- veiligheid van het reddingsteam
- risico voor naburige gebouwen
- actieve bestrijdingsmaatregelen

De nieuwe Europese regelgeving staat, boven het doen van tests, drie niveaus toe van ontwerpberoeeningen voor brand:

- Niveau 1: Classificatie van constructie-elementen gebruik makend van tabellen
- Niveau 2: Vereenvoudigde berekeningsmethode
- Niveau 3: Geavanceerde berekeningsmethode

### Bouwfysica Warmte-isolatie

Het belangrijkste reden voor warmte-isolatie in bedrijfsgebouwen is om ervoor te zorgen, dat er een prettig binnenklimaat is afhankelijk van het gebruik van het gebouw. Tijdens het seizoen dat verwarmd moet worden, is één van de belangrijkste functies van de gevel en het dak om met effectieve isolatie warmteverlies te beperken. Dit is bij uitstek van belang bij gebouwen met ruimtes op normale kamertemperatuur zoals winkels, tentoonstellingsruimtes en winkelcentra. Het is minder van belang bij gebouwen met



Afb. 2.14 Hangconstructie gebruikt bij de Renaultfabriek, Swindon, Verenigd Koninkrijk, gebouwd in de jaren '80.

lage binnentemperaturen zoals fabrieken en opslagplaatsen.

Bij grote panelen hebben koudebruggen en luchtlekken een grote invloed. De warmte-isolatie moet zonder openingen geplaatst worden en de gevel en het dak moeten worden afgedicht en luchtdicht gemaakt bij de horizontale en verticale naden.

In de zomer is de rol van daken en gevels om te voorkomen, dat het interieur te sterk opwarmt.

### Condensatie

Warmteverlies en vochttransport zijn gereleerde onderwerpen. Schade die plaatselijk ontstaat door vocht, is vaak een direct gevolg van missende of onvoldoende aanwezig warmte-isolatie. Anderzijds kan het ontbreken van bescherming tegen vocht tot condensatie in de constructie leiden, wat op zijn beurt de effectiviteit van de warmte-isolatie vermindert.

In gevel- en dakconstructies met meerdere lagen moet het condensatierisico worden beteugeld door een dampdichte laag aan de binnenzijde aan te brengen. Gevelsystemen die aan beide kanten waterdicht zijn, zoals sandwichpanelen, gaan diffusie tegen. Echter, ook de

relatieve vochtigheid in het binnenmilieu moet door luchtbehandeling worden gereguleerd. Hoofdstuk 4 gaat in op dak- en gevelsystemen.

### Geluidwering

In alle Europese landen zijn er minimumeisen voor de geluidwering van gebouwen. Daar bovenop kan het voor bedrijfsgebouwen noodzakelijk zijn om grenswaarden te stellen aan geluidsemisies van bepaalde machines.

Bij gebouwen met stalen draagconstructies zijn het vooral de gevels en daken die de geluidsisolatie verzorgen. Alle geluidsisolerende maatregelen zijn gebaseerd op de volgende fysische principes:

- onderbreking van de overdracht, bijvoorbeeld door meerlaagse constructies.
- geluidsabsorptie, bijvoorbeeld door geperforeerde plaat of cassettes toe te passen.
- reductie van respons van een element door de massa te verhogen.

Bij enkele geluidsbronnen is het aanbevolen om deze plaatselijk te isoleren of in te pakken. Om een hoog niveau van geluidsisolatie te bereiken zijn speciale geluidsabsorberende dak- en gevelbekledingen beschikbaar. Bij meerlaagse

constructies is het niveau van geluidsisolatie te beïnvloeden door de akoestisch effectieve massa te variëren. Door de complexiteit van dit onderwerp is het raadzaam om de leveranciers en gespecialiseerde adviseurs te raadplegen.

### Belastingen

Bij het ontwerp van een enkellaags bedrijfsgebouw met een staalconstructie moeten de krachten en combinaties van krachten die in deze paragraaf zijn beschreven worden meegenomen. Opgelegde, sneeuw- en windbelastingen zijn gegeven in Eurocodes EN 1991-1-1, 1991-1-3 en 1991-1-4. Tabel 2.1 toont de relevante krachten en bouwdelen waar deze op aangrijpen. Afb. 2.15 toont een karakteristiek belastingschema.

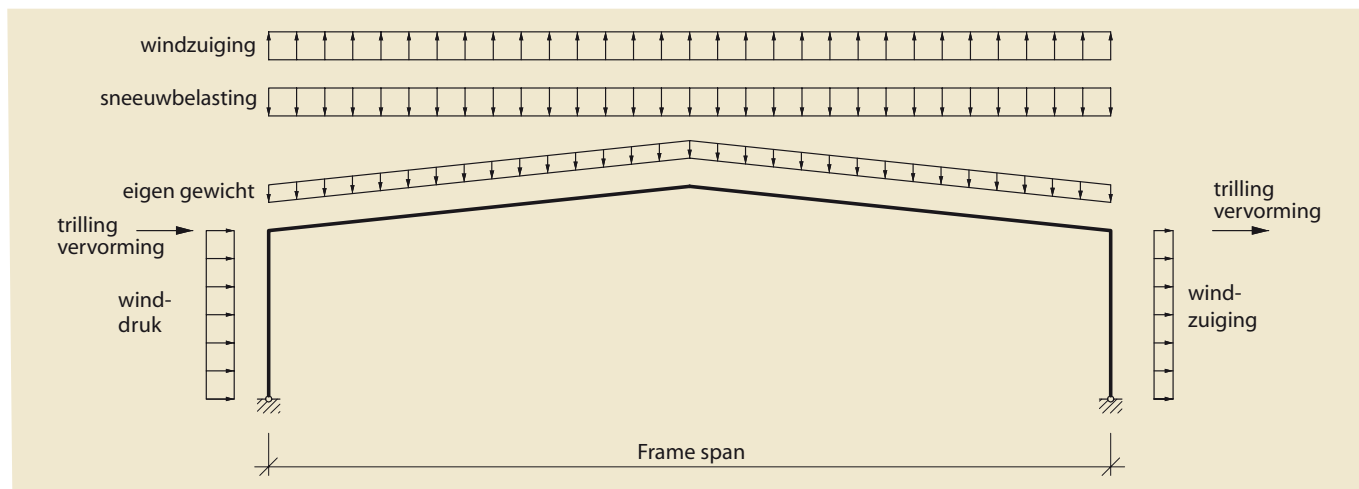
### Verticale belastingen

#### Eigen gewicht

Waar mogelijk moet het gewicht van materialen worden nagevraagd bij de leverancier. De waarden in tabel 2.2 zijn tijdens het voorontwerp van een portaal te gebruiken als karakteristieke waarden van dakmaterialen. Het eigen gewicht van een staalskelet ligt karakteristiek tussen 0,2 en 0,4 kN per m<sup>2</sup> vloeroppervlak.

#### Belastingen door installaties

Belastingen als gevolg van installa-



Afb. 2.15 (Boven) Belastingenschema van een portaalconstructie.

Action	Applied to
Eigen gewicht	dak- en gevelbekleding, gordingen, constructie, fundering
Sneeuw	dak- en gevelbekleding, gordingen, constructie, fundering
Geconcentreerde sneeuw	dak- en gevelbekleding, gordingen, (constructie), fundering
Wind	dak- en gevelbekleding, gordingen, constructie, fundering
Wind (op enkel element)	dak- en gevelbekleding, gordingen, verbindingen
Wind (piek op zuiging)	dak- en gevelbekleding, gordingen, (verbindingen)
Thermische vervorming	dak en gevel, gehele constructie
Installaties	afhankelijk van specificatie: dakbekleding, gordingen,
<b>Constructie</b>	
Kranen	kraanrails, constructie
Dynamisch	afhankelijk van functie en locatie: gehele constructie
Tweede-orde effecten	stabiliteitsverbanden in gevel, kolommen

Tabel 2.1 Belastingen en relevante constructie-elementen.

Materiaal	Gewicht (kN/m <sup>2</sup> )
Stalen dakbeplating (enkellaags)	0,07 – 0,20
Aluminium dakbeplating (enkellaags)	0,04
Isolatie (plaat, per 25 mm dikte)	0,07
Isolatie (glasfiber, per 100 mm dikte)	0,01
Binnendozen (0,04 – 0,07 mm dikte)	0,04 – 0,07
Sandwichpanelen (40 – 100 mm dikte)	0,10 – 0,15
Gordingen (verdeeld over dakvlak)	0,03
Stalen beplating	0,20
Drie lagen vilt met bevestigings	0,29
Leien	0,40 / 0,50
Tegels (klei of gewoon beton)	0,60 – 0,80
Tegels (beton in elkaar grijpend)	0,50 – 0,80
Houten latten (inclusief houten tengels)	0,10

Tabel 2.2 Karakteristieke gewichten van dakmaterialen.

ties zullen sterk variëren, afhankelijk van het gebruik van het gebouw. Bij een constructie met portalen zijn grote puntlasten te verwachten bij gehangen loopbruggen, rijgoten, hijsbalken en luchtbehandelingskasten. Tijdens het voorontwerp zijn de volgende belastingen te gebruiken:

- een gelijkmatig verdeelde belasting tussen 0,1 en 0,25 kN/m<sup>2</sup> afhankelijk van de functie van het gebouw en of er een sprinklerinstallatie aanwezig is.

### Opgelegde belastingen op daken

EN 1991-1-1 en 1991-1-3 geven karakteristieke waarden voor verschillende typen opgelegde belastingen op daken:

- een minimum belasting van 0,6 kN per m<sup>2</sup> dakoppervlak voor hellende daken met een dakhelling van minder dan 30°, die slechts belopen worden bij schoonmaak en onderhoud
- een geconcentreerde belasting van 0,9 kN, dit heeft uitsluitend invloed op het ontwerp van de beplating
- een gelijkmatig verdeelde belasting ten gevolge van de locatie van het gebouw en de hoogte boven zee-niveau. Wanneer er meerbeukige portalen met hellende daken zijn gebruikt, moet gekeken worden naar de geconcentreerde sneeuwbelastingen in de zakgoten
- een niet-gelijkmatig verdeelde belasting veroorzaakt door wind die over het dak blaast waardoor sneeuw zich aan de lijzijde ophoopt. Dit gebeurt uitsluitend bij daken met een dakhelling groter dan 15° en zal om die reden bij bedrijfsgebouwen niet vaak voorkomen

### Horizontale belastingen

#### Windbelastingen

Windkrachten staan in EN 1991-1-4. Windbelastingen bepalen zelden de profielgrootte bij laagbouw eenbeukige portalen met een verhouding hoogte:overspanning kleiner dan 1:4.

Daarom zijn windbelastingen meestal te verwaarlozen bij het voorlopig ontwerp van portalen. Uitzonderingen zijn: als de verhouding hoogte:overspanning groot is of als de dynamische belasting hoog is. Gecombineerde wind- en sneeuwbelasting is vaak kritisch in dit geval.

Echter, bij twee- of meerbeukige portalen zullen gecombineerde windbelastingen en verticale belastingen vaak de profielgrootte bepalen wanneer tussensteunpunten zijn weggelaten. De orde van grootte van de windbelasting moet bepalen welk type controle nodig is.

Wanneer bij de randen grote horizontale doorbuigingen voorkomen in combinatie met hoge normaalkrachten, dan zullen bij de controle tweede orde effecten moeten worden meegenomen.

Opwaartse windkrachten die op de dakbeplating werken, kunnen bij de hoeken van het gebouw en bij de dakranden redelijk groot zijn. Op deze plekken kan het nodig zijn om de hart op hart maat van gordingen en dakliggers te reduceren.

#### Imperfecties (scheefstanden)

Door geometrische en constructieve imperfecties kunnen horizontale krachten optreden. Volgens EN 1993-1-1 zullen bij skeletten die bij beweging gevoelig zijn voor knik het effect van de imperfecties moeten worden toegestaan voor skeletanalyse door een equivalente imperfectie in te voeren van:

- initiële zijwaartse doorbuiging; en/of
- individuele imperfecties van bouw-delen

#### Andere horizontale belastingen

Afhankelijk van het project zullen aanvullende horizontale belastingen in acht worden genomen, zoals gronddruk, kraanbelastingen, incidentele belastingen en seismische belastingen.

## Ontwerpconcepten

### Algemene aspecten

Alvorens te starten met het gedetailleerde ontwerp van een bedrijfsgebouw is het

belangrijk om een groot aantal algemene aspecten te bekijken:

- optimalisatie van de ruimte
- bouwsnelheid
- toegankelijkheid en veiligheid
- gebruiksflexibiliteit
- milieuprestatie
- standaardisatie van componenten
- opzet van levering
- leidingenintegratie
- terreininrichting
- thermische prestaties en luchtdichtheid
- geluidsisolatie
- brandveiligheid
- ontwerplevensduur
- einde levensduur en herbruikbaarheid

In eerste instantie is het nodig om de grootte van de behuizing vast te stellen en een constructieve opzet te ontwikkelen.

Dit levert, rekening houdend met alle bovenstaande punten, de gebruiksruiimte. Welke van bovenstaande aspecten belangrijk zijn, hangt af van het gebouw. De eisen voor een distributiecentrum zullen bijvoorbeeld anders zijn dan van een fabrieksgebouw.

Om een effectief gebouwconcept te ontwikkelen is het nodig om het belang van de bovenstaande aspecten af te wegen voor een bepaald gebouw. Tabel 2.3 geeft een matrix die het belang van een bepaald aspect weergeeft voor een bepaalde functie. Deze matrix biedt slechts indicatieve waarden, want elke bouwopgave is anders en heeft zijn eigen kenmerken. De matrix is slechts een leidraad.

### Compartimentering en gemengde functies

Steeds meer krijgen grote industriegebouwen gemengde functies. In de meeste gevallen hebben hallen kantoorruimte. Er zijn verschillende mogelijkheden (afb. 2.16):

- bij industriegebouwen met één laag (hallen) is er de mogelijkheid om (meestal in een hoek) een kantoorruimte van één of twee lagen te maken

Overwegingen bij het ontwerp																
Enkellaagse industriegebouwen	Optimalisatie ruimtegebruik	Bouwsnelheid	Toegankelijkheid en veiligheid	Gebruiks- en ruimteliflexibiliteit	Milieuvriendelijkheid	Standaardisatie van bouwelementen	Specialistische infrastructuur	Duurzaamheid	Sloop en hergebruik	Leidingintegratie	Landschapsarchitectuur	Esthetica en visueel uiterlijk	Thermische prestatie en luchtdichtheid	Geluidsisolatie	Vochtichtheid	Levensduur
Magazijnstellingen	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓	✓✓	✓	✓	✓✓	✓	✓	✓	✓		✓✓	✓
Fabrieksgebouwen	✓✓	✓	✓	✓✓		✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓✓	✓	✓
Distributiecentra	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓	✓✓	✓✓	✓	✓✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Supermarkten	✓✓	✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓		✓✓	✓✓	✓	✓✓	✓✓	✓✓		✓✓	✓
Opslag/koelopslag	✓	✓	✓✓	✓	✓✓	✓		✓	✓✓	✓		✓	✓✓		✓	✓
Kleinschalige productiegebouwen	✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓	
Kantoor en lichte productie	✓	✓	✓	✓	✓✓	✓		✓✓	✓✓	✓	✓	✓	✓✓	✓✓	✓	✓
Procesindustrie	✓	✓	✓✓		✓	✓	✓	✓✓	✓✓	✓			✓	✓✓	✓	✓
Recreatiecentra	✓✓	✓	✓	✓✓	✓✓	✓		✓✓	✓	✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓	✓✓	✓✓
Sportcomplexen	✓✓	✓	✓	✓✓	✓✓	✓		✓✓	✓	✓	✓✓	✓✓	✓✓		✓✓	✓✓
Tentoonstellingsruimten	✓✓	✓	✓	✓✓	✓✓	✓		✓✓	✓	✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓
Vliegtuig- of onderhoudshangaars	✓	✓	✓✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Legenda      Zonder vink = Onbelangrijk      ✓ = Belangrijk      ✓✓ = Zeer belangrijk

Tabel 2.3 Belangrijke ontwerpaspecten bij industriegebouwen.

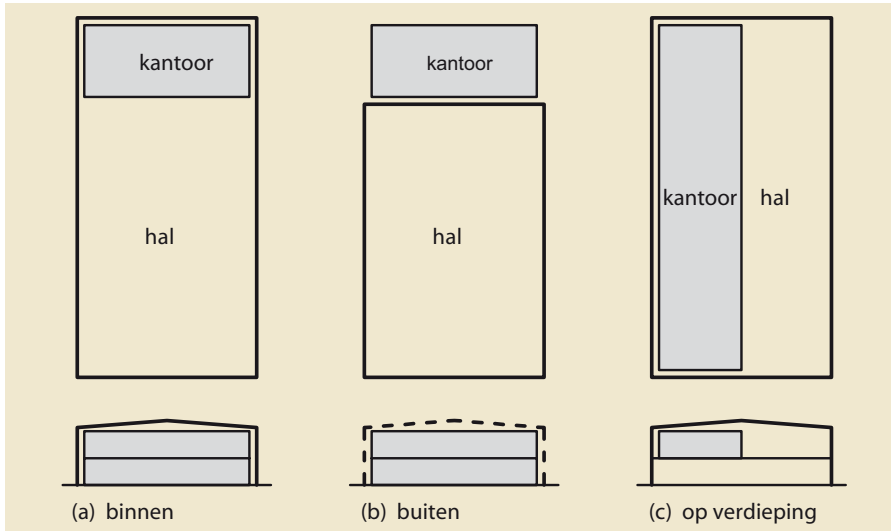
- een apart kantoorgebouw dat met de hal is verbonden
- bij industriegebouwen met twee bouwlagen een deel van de bovenverdieping, dat is ingericht als kantoorruimte.

Dit leidt tot speciale eisen aan het bouwconcept die van invloed zijn op de draagconstructie en het bouwfysisch gedrag. Als de kantoorruimte op de

bovenste verdieping van de bedrijfshal is gevestigd, kan deze als een afzonderlijke gebouwdeel zijn ontworpen. In dit geval zijn vloersystemen die worden toegepast in verdiepinggebouwen te gebruiken. Deze zijn vaak gebaseerd op staal-beton toepassingen zoals geïntegreerde liggers. Een andere mogelijkheid is om het kantoorgedeelte naast de hal te zetten. Dit vraagt erom om te letten op de stabiliteit van beide bouwdelen.

### Brandveiligheid

Bij grote industriegebouwen kunnen brandcompartimenten een grote rol spelen bij het ontwerp, zelfs als er geen apart kantoorgedeelte is. Om verspreiding van brand te voorkomen zijn de brandcompartimenten beperkt. Brandwanden zijn nodig om 60 minuten en soms zelfs 90 minuten brandwerendheid te garanderen. Deze eis is hoger als er gevaarlijke stoffen in de hal zijn opgeslagen.



Afb. 2.16 Mogelijke locaties voor een kantoorgedeelte bij een bedrijfsgebouw.

Omdat het kantoor is ontworpen op een hoger aantal gebruikers, zijn de brandveiligheidseisen hoger. Als de kantoren op de bovenverdieping van het gebouw zijn gehuisvest, zijn aanvullende vluchtroutes vereist en actieve brandveiligheidsmaatregelen moeten worden overwogen. Verspreiding van brand van het ene compartiment naar het andere moet worden voorkomen, bijvoorbeeld door een brandwand te plaatsen tussen het hallen- en het kantoorgedeelte.

#### Warmte-isolatie

Net als voor brandwerendheid hebben kantoren hogere eisen voor warmte-isolatie dan hallen. Bij industriegebouwen waar niet-rotende goederen worden opgeslagen, zoals loods, zijn er geen isolatie-eisen. In kantoren echter, waar een hoge mate van comfort is vereist, is warmte-isolatie nodig. Daarom moet worden nagedacht over de scheiding tussen de warme en koude gedeeltes van een industriegebouw.

#### Geluidwering

Bij uitstek in industriegebouwen met productieprocessen die veel geluid produceren moet er een strikte scheiding zijn tussen de productiehal en het kantoorgedeelte. Afhankelijk van de productieprocessen zijn hiervoor extra hoge geluidwerende maatregelen nodig.

### Vloersystemen

In de meeste gevallen staan op de vloeren van hallen zware machinerie of rijden er transportmiddelen overheen. De vloeren zijn erop ontworpen om hoge belastingen te dragen en ze moeten perse 'vlak' zijn. Afhankelijk van het gebruik moet er worden gelet op geconcentreerde belastingen door voertuigen, machines, magazijnstellingen en containers.

De meeste industriegebouwen hebben een betonnen begane-grondvloer met een minimale dikte van 150 mm. In landen met een harde ondergrond ligt deze vloer bovenop een laag zand of gravel die eveneens minstens 150 mm dik is. Bij grotere vloeroppervlakken is tussen de grondlaag en de betonvloer een glijdende laag aangebracht, meestal bestaande uit twee lagen synthetisch materiaal.

### Leidingenintegratie

Vanwege de machines en productielijnen stellen Industriegebouwen vaak uitzonderlijke eisen aan de werktuigbouwkundige en elektrotechnische installaties. De bouwkundige integratie van leidingen en installaties moet daarom vanaf het eerste moment aandacht krijgen. Met name de grootte en de positie van leidingen moet in samenhang worden bekeken met de draagconstructie en de voorzieningen voor zonlichttoetreding.

Leidingen zijn makkelijk door patrijspoortliggers en vakwerkliggers heen te voeren. Daarmee verkrijgt het gebouw een coherent uiterlijk.

Het ontwerp van de installaties en de installatieruimten kan van groot belang zijn bij industriegebouwen. Het centraal opstellen van de gebouwinstallaties biedt soms voordelen bij het onderhoud. Afb. 2.17 toont verschillende mogelijke oplossingen voor de situering van de installatieruimte.

Natuurlijke ventilatie reduceert de afhankelijkheid van luchtbehandelingssystemen en verlaagt de CO<sub>2</sub>-emissie. De effectiviteit van natuurlijke ventilatie hangt sterk af van de grootte en de oriëntatie van het gebouw. Ventilatieopeningen in het dak zijn een gebruikelijke oplossing voor natuurlijke ventilatie in gebouwen zonder gevelopeningen. Ventilatieopeningen moeten zorgvuldig worden geplaatst voor een zo goed mogelijke werking. Tegenwoordig zijn in industriegebouwen hybride oplossingen populair. Deze maken overwegend gebruik van natuurlijke ventilatie, maar met mechanisch aangedreven ventilatoren. Hiermee is de ventilatie onder een groter aantal weersomstandigheden goed te waarborgen. Systemen voor mechanische ventilatie met warmterugwinning (ook wel

'gebalanceerde ventilatie' genoemd) gebruiken de warmte uit afgevoerde lucht om de ingevoerde lucht van buiten op te warmen, voordat deze in het gebouw verspreid wordt. De warme lucht wordt langs de binnenkomende verse lucht geleid, waardoor warmteoverdracht mogelijk is. Hoewel de warmteoverdracht nooit 100% is, kunnen deze systemen het energieverbruik aanzienlijk reduceren.

Overige aandachtspunten bij het installatieontwerp zijn:

- de mogelijke effecten van zonnewering op de luchttoetreding
- afvoer van geuren

- controle van de vochtigheidsgraad
- controle van de luchtdichtheid
- geluidsisolatie

### Belichting

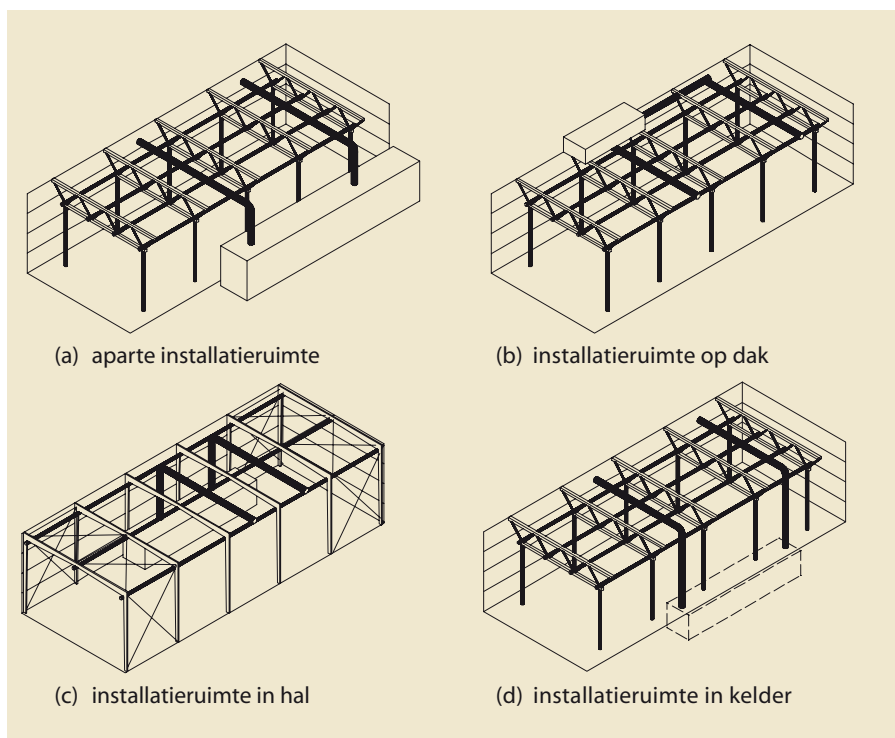
De eisen aan de belichting zijn afhankelijk van de functie van het industriegebouw.

Het concept en de plaatsing van openingen voor lichttoetreding staan variatie in het architectonisch ontwerp toe. Daklichten zijn gebruikelijk, net als raamstroken in de gevel (afb. 2.18). Openingen voor toetreding

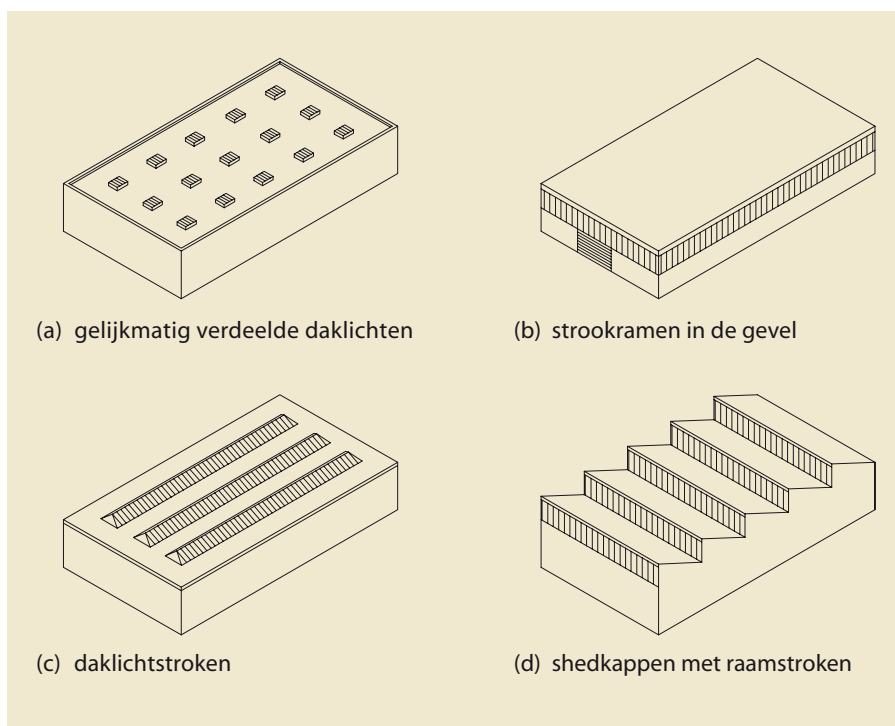
van zonlicht zijn tevens te gebruiken voor afvoer van rook en hitte bij een brand.

Goed ontworpen raamopeningen hebben een grote invloed op de CO<sub>2</sub>-emissies van een gebouw. Echter, te veel daglicht kan in de zomerperiode resulteren in oververhitting en juist een hoog warmteverlies door de gevel in de winterperiode.

De beslissing om daglicht toe te laten treden en het type lichttoetreding hebben grote invloed op het gebouwontwerp.



Afb. 2.17 Mogelijke locaties van de installatieruimtes.



Afb. 2.18 Mogelijkheden voor zonlichttoetreding in hallen.



# 3 Draagsystemen

**Dit hoofdstuk beschrijft de meest gebruikte constructiesystemen voor bedrijfsgebouwen. De belangrijkste karakteristieken van portalen en kolom- en liggerraamwerken zijn beschreven en er is informatie over secundaire elementen en verbindingen.**

## Portalen

Meestal worden portalen toegepast in laagbouw en bestaan uit kolommen en horizontale of hellende dakliggers die buigvast zijn verbonden.

Scharnierende kolomvoeten genieten bij portalen de voorkeur boven ingeklemde kolomvoeten, omdat die kleinere funderingen nodig hebben. Bovendien zijn bij ingeklemde kolommen de verbindingen duurder. Daarom worden ze voornamelijk gebruikt als er grote horizontale krachten moeten worden overgebracht. Scharnierende verbindingen hebben echter het nadeel, dat ze tot een iets zwaardere constructie leiden. Dit komt door de lagere stijfheid van het skelet tegen zowel verticale als horizontale krachten.

Een portaal is een star raamwerk, dat stabiel is in zijn eigen vlak. Het levert een vrije overspanning die niet gehinderd wordt door stabiliteitsverbanden. De starre verbindingen worden meestal verkregen door consoles toe te passen.

Stabiliteit uit het eigen vlak komt in de meeste gevallen uit aanvullende elementen, zoals verbanden en gordingen (afb. 3.1). Als geprofileerde staalplaat voor de dakduk is toegepast, is zonder aanvullende verbanden stijfheid van het dakvlak te verkrijgen door schijfwerking. Wanden, kernen en stijf verbonden kolommen in de kopgevel kunnen ook de stabiliteit in dwarsrichting verlenen aan portalen.

Er is een aantal constructietypes te classificeren als portaal. De informatie die

wordt gegeven over overspanningen, dakhelling, enz. is karakteristiek voor de constructievorm die wordt gekozen.

In portalen met overspanningen van 12 tot 30 m worden meestal warmgewalste staalprofielen gebruikt. De staalkwaliteiten zijn S235, S275 of zelfs S355. Gebruik van hoge sterkte staal is zelden economisch in constructies waar bruikbaarheid (dus: doorbuiging) of stabiliteit de voornaamste criteria zijn.

Staalconstructies die met de plastische rekenmethode zijn ontworpen zijn economischer, maar in sommige landen heeft de elastische rekenmethode de voorkeur. Als de plastische rekenmethode is gebruikt, moeten de afmetingen van de staaf dusdanig zijn, dat deze weerstand kunnen bieden aan het plastisch moment. De verbinding moet over voldoende vervormingcapaciteit beschikken.

### Portaal met hellend dak

- Één van de meest gebruikte constructietypes bij bedrijfsgebouwen is het eenbeukige symmetrische portaal (afb. 3.2). De volgende kenmerken kwamen naar voren als het meest economisch en kunnen daarom worden gezien als basisprincipes:
- overspanning tussen 15 en 50 m (van 25 tot 35 m is het meest efficiënt).
- hoogte dakrand tussen 5 en 10 m (van 5 tot 6 m is het meest efficiënt).
- dakhelling tussen 5° en 10° (6° is algemeen gebruikt)
- beukmaten tussen 5 en 8 m (grotere beukmaten komen voor bij portalen met grote overspanningen)

## Portalen

## Kolom- en liggerraamwerken

## Secundaire elementen

## Verbindingen

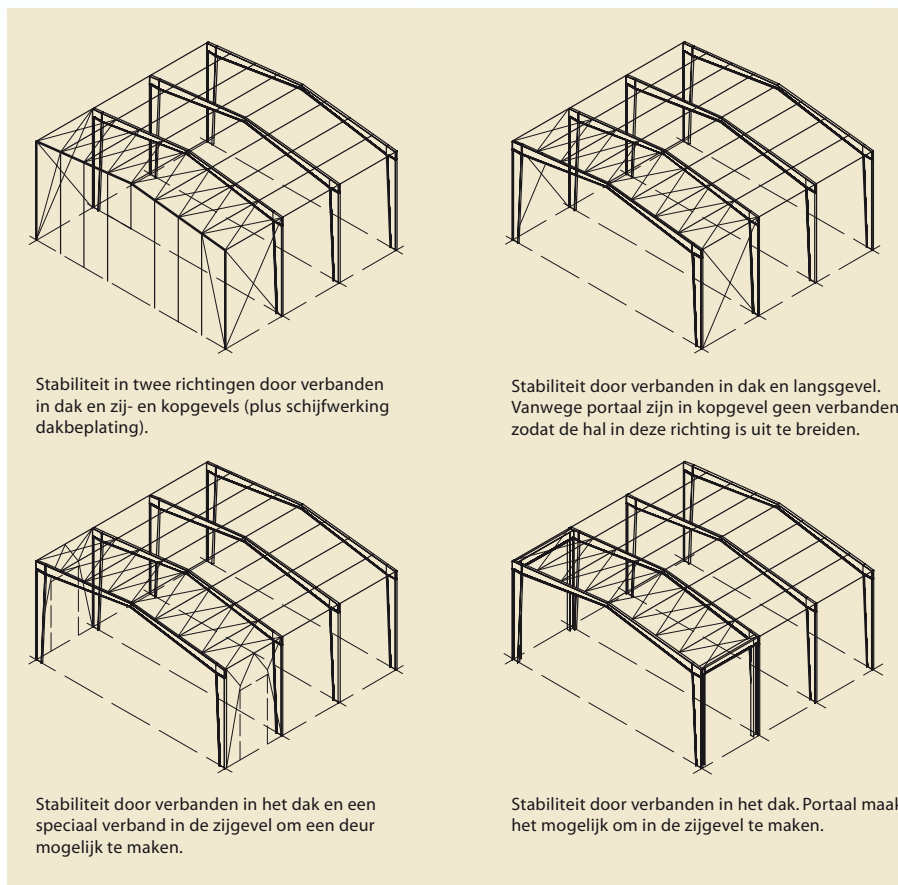
Afb. 3.1 Mogelijkheden om portaalconstructies loodrecht op zijn vlak te stabiliseren.

- consoles bij de kolom-liggerverbinding en bij hellende daken soms ook in de nok

Tabel 3.1 is te gebruiken als hulpmiddel bij het voorontwerp van eenbeukige portalen. Door het gebruik van consoles bij de rand en de nok kan de dakligger lichter worden uitgevoerd. Hiermee wordt een efficiënte momentverbinding gerealiseerd. Vaak wordt de console uit hetzelfde staalprofiel gehaald als de ligger zelf.

#### Portaal met tussenvloer

Kantoorruimte wordt vaak gemaakt door in het portaal een tussenvloer aan te brengen (afb. 3.3). Deze tussenvloer is deels of over de volle breedte te maken. Het is zo te ontwerpen, dat hij meehelpt om het portaal te stabiliseren. Vaak moet de tussenvloer tegen brand worden beschermd.



#### Portaal met uitwendige tussenvloer

Kantoorruimte is ook buiten het portaal te plaatsen, waardoor een asymmetrisch portaal ontstaat (afb.3.4). Het belangrijkste voordeel hiervan is, dat er geen grote kolommen en consoles door de kantoorruimte lopen. Meestal ontleent de extra constructie zijn stabiliteit aan het portaal.

#### Portaal met consoles voor kraanbaan

Kranen hebben een grote invloed op het ontwerp van de profielgroottes van de portalen. Zij leveren extra verticale belastingen en aanzienlijke horizontale krachten, wat met name de profielafmetingen van de kolommen beïnvloed.

Bij een kraan met een betrekkelijk kleine capaciteit (tot circa 20 ton) zijn consoles aan de kolommen te bevestigen om de kraanbaan te ondersteunen (afb. 3.5). Om vervorming van de constructie te beperken, kan het nodig zijn om een

trekstang aan te brengen tussen de consoles of tussen de kolomvoeten. De horizontale verplaatsing ter hoogte van de kraan kan van kritisch belang zijn op het functioneren.

Voor zware kranen is het beter om de kraanbaan op extra kolommen te plaatsen. Voor de stabiliteit zijn deze aan de kolommen van de portalen te bevestigen.

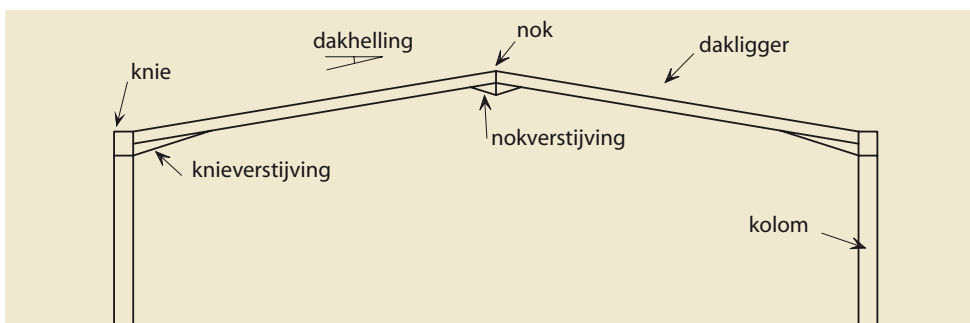
#### Portaal met tussensteunpunt

Als de overspanning van een portaal groter is dan 30 m, en er is geen noodzaak dit te doen met een vrije overspanning, dan is een portaal met tussensteunpunt toe te passen. Zo is een kleinere dakligger te kiezen en zijn de horizontale krachten bij de kolomvoeten geringer. Dit leidt tot besparingen bij het staalwerk en bij de funderingen.

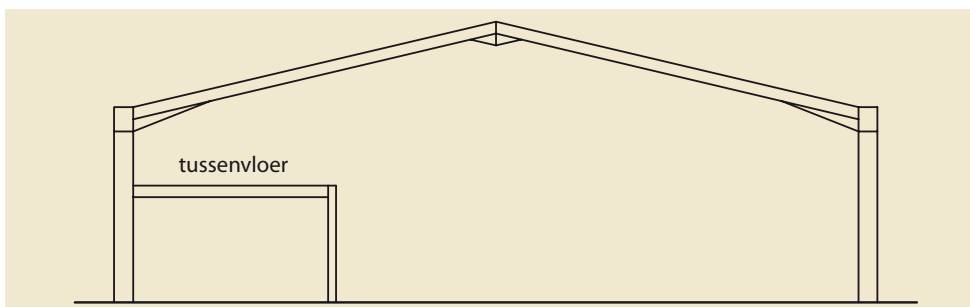
Dit type raamwerk wordt soms een portaal met tussensteunpunt genoemd, maar het werkt constructief als een tweebeukig portaal.

Sneeuw belasting	Over- spanning	Goot- hoogte	Dak- helling	Beuk- maat	Benodigd staalprofiel	
					Kolom	Ligger
[kN/m <sup>2</sup> ]	[m]	[m]	[°]	[m]		
0.75	30.0	6.0	6.0	5.0	IPE 600	IPE 550
	25.0	6.0	6.0	5.0	IPE 500	IPE 500
	20.0	6.0	6.0	5.0	IPE 450	IPE 450
	15.0	5.0	6.0	5.0	IPE 360	IPE 360
	12.0	4.0	6.0	5.0	IPE 300	IPE 300
1.20	30.0	6.0	6.0	5.0	HEA 500	HEA 500
	25.0	6.0	6.0	5.0	IPE 600	IPE 550
	20.0	6.0	6.0	5.0	IPE 500	IPE 500
	15.0	5.0	6.0	5.0	IPE 450	IPE 450
	12.0	4.0	6.0	5.0	IPE 360	IPE 360
2.00	30.0	6.0	6.0	5.0	HEA 650	HEA 650
	25.0	6.0	6.0	5.0	HEA 550	HEA 550
	20.0	6.0	6.0	5.0	IPE 600	HEA 600
	15.0	5.0	6.0	5.0	IPE 500	IPE 500
	12.0	4.0	6.0	5.0	IPE 400	IPE 400

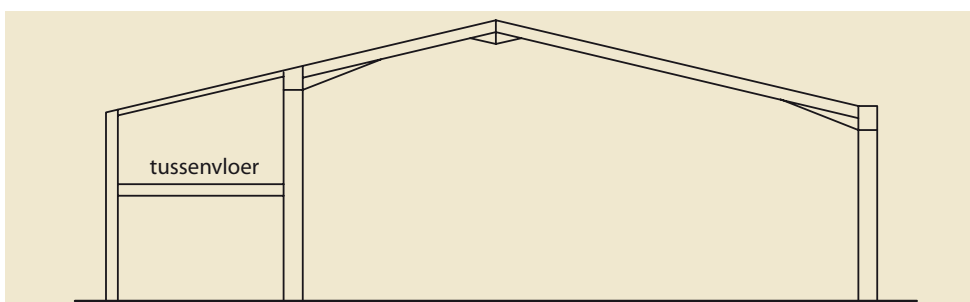
Tabel 3.1 Ontwerptabel voor portalen.



Afb. 3.2 Eenbeukig symmetrisch portaal.

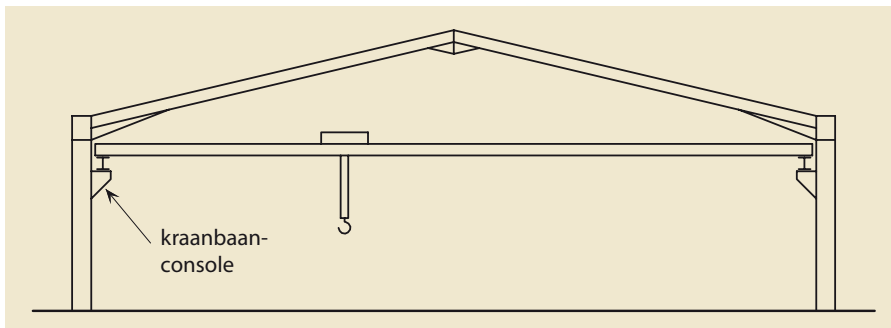


Afb. 3.3 Portaal met tussenvloer.

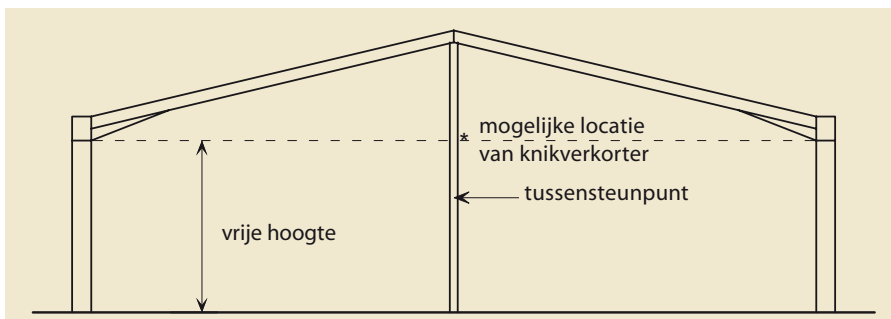


Afb. 3.4 Portaal met uitwendige tussenvloer.

Afb. 3.5 Portaal met consoles voor kraanbaan.



Afb. 3.6 Portaal met tussensteunpunt.



### Portaal met onderspanning

Bij een portaal met onderspanning zijn de horizontale krachten bij de kolomligerverbinding en de momenten in de kolommen kleiner. Daar tegenover staat een geringere vrije hoogte. Daken met een dakhelling minder dan  $15^\circ$  zullen aanzienlijke krachten in de dakligger en de trekstang ontwikkelen.

### Portaal met mansardekap

Een portaal met mansardekap maakt een kromming met meerdere knikken (afb. 3.8). Dit type is te gebruiken bij een grote vrije overspanning, maar de hellingshoek bij de knie mag niet al te groot zijn. Het kan economisch zijn om een mansardekap met onderspanning toe te passen.

### Portaal met gebogen dakligger

Portalen met gebogen dakliggers worden vaak gebruikt bij architectonische toepassingen. De dakligger kan een toeg krijgen. Bij overspanningen groter dan 16 m kan het nodig zijn om delingen aan te brengen in de ligger om deze te kunnen vervoeren. Het is dan architectonisch een uitdaging om die delingen zo vorm te geven, dat ze betrekkelijk onzichtbaar

zijn. Ook is de gekromde dakligger op te bouwen uit verschillende rechte stukken en een gekromde dakhuid toe te passen.

### Portaal met patrijspoortligger

Bij portalen met gebogen dakliggers worden betrekkelijk vaak patrijspoortliggers toegepast (afb. 3.10 en 2.9). Als delingen in de dakligger nodig zijn is het de kunst om de delingen zo vorm te geven dat het uiterlijk van de patrijspoortligger geen geweld wordt aangedaan.

### Skeletvormige kopgevels

Bij de kopgevels is het mogelijk om simpelweg een raamwerk van kolommen en liggers toe te passen die de dakligger ondersteunen. Dit kan een compleet portaal vervangen (afb. 3.11). Als het gebouw moet worden uitgebreid kan een portaal van gelijke afmetingen het raamwerk vervangen. In gevallen waar de stabiliteit van de kopgevel niet wordt verzorgd door een portaal, zijn verbanden of starre gevelvlakken nodig (afb. 3.11).

## Raamwerken

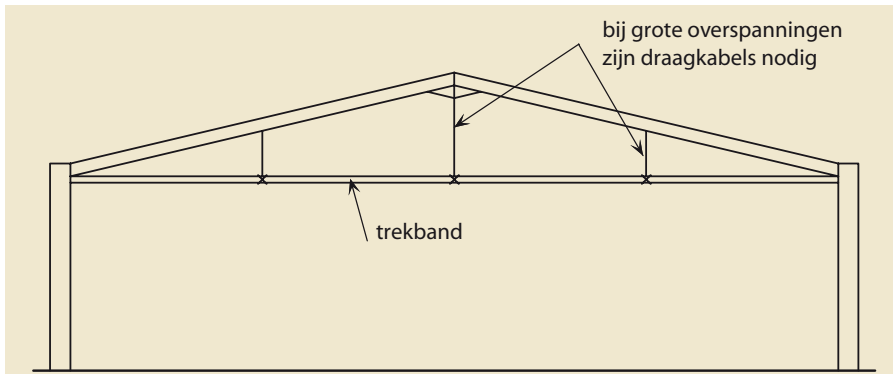
Raamwerken bestaan uit kolommen en liggers en hebben stabiliteitsverbanden

nodig, zowel in langsrichting van het gebouw als in dwarsrichting. De dakliggers zijn I-profielen of vakwerken. Tabel 3.2 geeft indicaties voor de kolommen en liggers die te gebruiken zijn bij het voorontwerp.

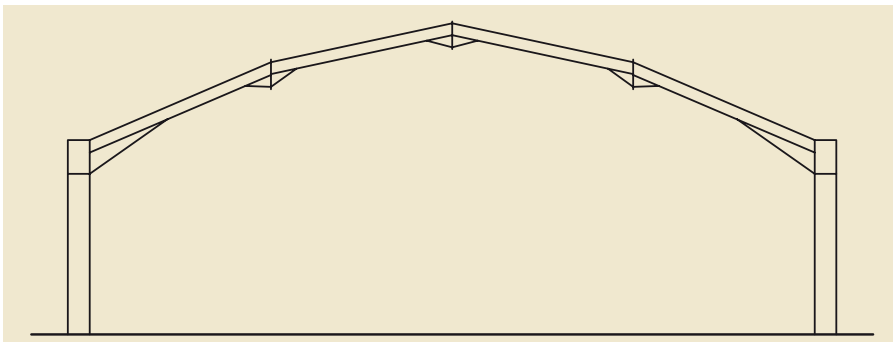
### Raamwerken met scharnierende voetplaten

Bij eenvoudige raamwerken zijn de kolommen uitsluitend op druk belast, wat tot kleinere afmetingen leidt. Vergeleken met het portaal is het moment in de dakligger groter, met een groter profiel als resultaat. Omdat scharnierende verbindingen minder ingewikkeld zijn dan momentverbindingen, zijn de eersten goedkoper te maken.

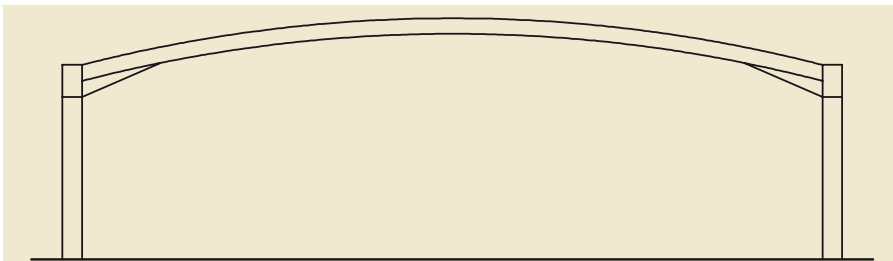
Bij raamwerken moeten in beide richtingen de horizontale krachten worden opgevangen. Daarvoor zijn stabiliteitsverbanden in het dak en in de gevels nodig. Daarom wordt deze constructie vaak toegepast bij hallen met overwegend gesloten gevels. Tijdens de montage moeten tijdelijke verbanden worden aangebracht.



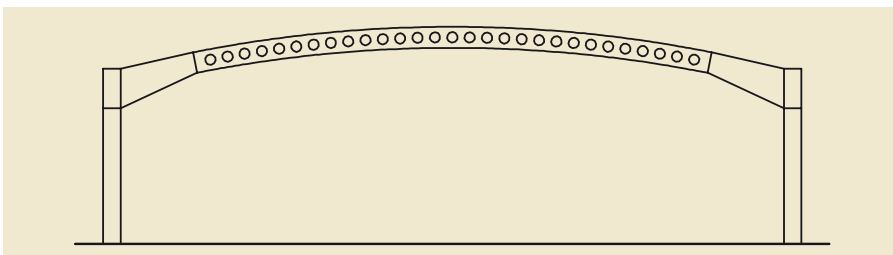
Afb. 3.7 Portaal met onderspanning.



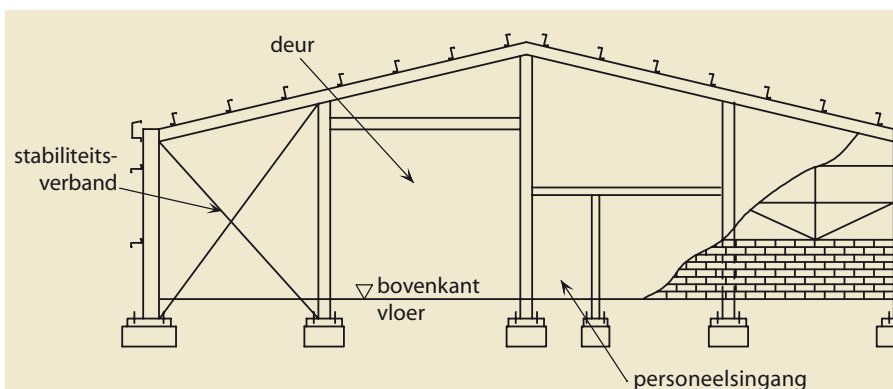
Afb. 3.8 Portaal met mansardekap.



Afb. 3.9 Portaal met gebogen dakligger.



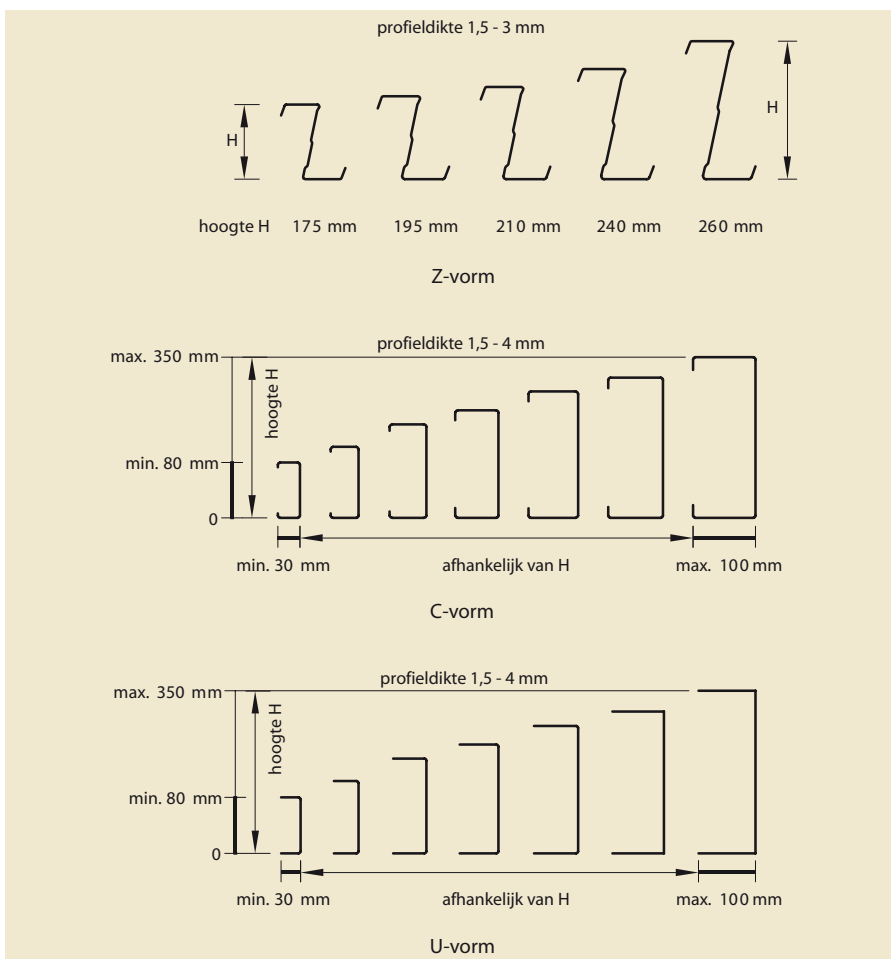
Afb. 3.10 Portaal met patrijspootligger.



Afb. 3.11 Skeletvormige kopgevels.

Sneeuw-belasting [kN/m <sup>2</sup> ]	Over-spanning [m]	Goot-hoogte [m]	Dak-helling [°]	Beuk-maat [m]	Benodigd staalprofiel	
					Kolom	Ligger
0.75	30,0	6,0	6,0	5,0	IPE 270	HEA 550
	25,0	6,0	6,0	5,0	IPE 270	IPE 600
	20,0	6,0	6,0	5,0	IPE 240	IPE 500
	15,0	5,0	6,0	5,0	IPE 200	IPE 360
	12,0	4,0	6,0	5,0	IPE 160	IPE 300
1.20	30,0	6,0	6,0	5,0	IPE 300	HEA 700
	25,0	6,0	6,0	5,0	IPE 300	HEA 550
	20,0	6,0	6,0	5,0	IPE 270	IPE 550
	15,0	5,0	6,0	5,0	IPE 220	IPE 450
	12,0	4,0	6,0	5,0	IPE 180	IPE 360
2,00	30,0	6,0	6,0	5,0	IPE 330	HEA 900
	25,0	6,0	6,0	5,0	IPE 300	HEA 700
	20,0	6,0	6,0	5,0	IPE 300	HEA 500
	15,0	5,0	6,0	5,0	IPE 240	IPE 500
	12,0	4,0	6,0	5,0	IPE 200	IPE 450

Tabel 3.2 Ontwerptabel voor kolom- en liggerraamwerken.



Afb. 3.12 Koudgeformde gordingen.

### Raamwerken met ingeklemde voetplaten

Als de kolomvoeten zijn ingeklemd zijn grotere funderingen nodig. Dit is het gevolg van het extra buigend moment. Omdat de kolommen geringe normaalcrachten overbrengen, zijn die grote funderingen mogelijk niet economisch. Grote kolommen in bedrijfshallen die kraanbanen ondersteunen zijn als vakwerk uit te voeren.

Vergeleken met portalen zijn de interne buigende momenten in de ligger en de zijwaartse vervormingen groter. De voordelen van dit systeem zijn de mate van aanpassing aan zakkingen en, bij ingeklemde kolommen, dat de inklemming werkt in beide richtingen. Bovendien is de constructie na montage stabiel zonder aanvullende stabiliteitsvoorzieningen.

### Secundaire elementen

Een karakteristiek stalen portaal constructie met zijn secundaire elementen

wordt getoond in afb. 3.14. Vergelijkbare systemen zijn beschikbaar voor kolomliggerverbindingen.

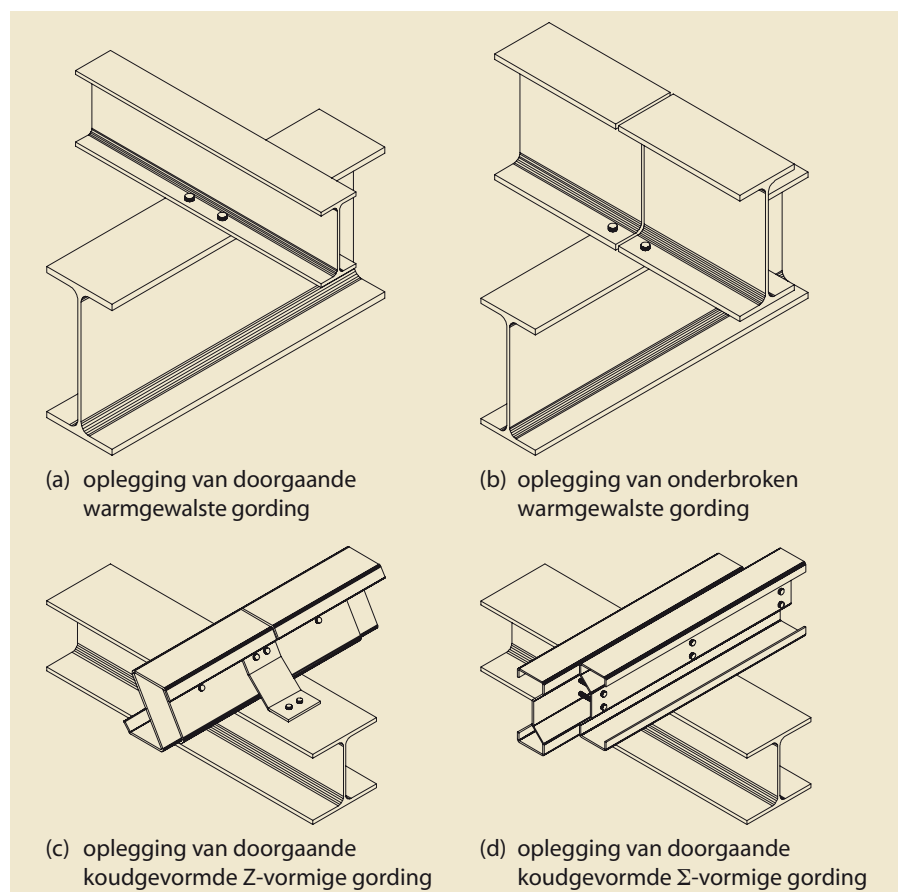
De stabiliteitssystemen zoals getoond in afb. 3.1 worden doorgaans verkregen door stabiliteitsverbanden (meestal uit ronde staven) in het vlak van de wand of het dak aan te brengen. Gordingen en randliggers ondersteunen de dak- en gevelbekleding, en stabiliseren de stalen draagconstructie tegen torsieknik. Ook is het mogelijk om de stabiliteit te verzorgen met behulp van de schijfwerking van de geprofileerde plaat.

### Gordingen

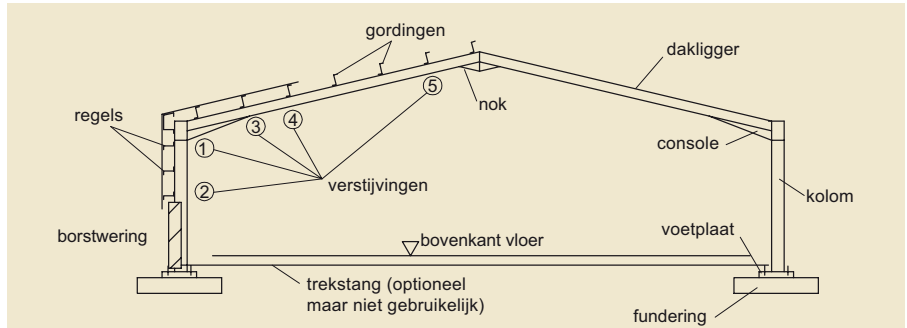
Gordingen dragen de krachten over van de dakbekleding naar de primaire constructie-elementen, in dit geval zijn dat de dakspanten. Bovendien kunnen gordingen dienst doen als gedrukte staven in het stabiliteitssysteem en kunnen ze in beperkte mate torsieknik van de dakspanten tegengaan. Bij beukmaten tot 7 m

kan het economisch zijn om de dakplaat te laten overspannen van spant tot spant zonder gebruik te maken van gordingen. Bij grotere beukmaten wordt bespaard op het aantal primaire constructie-elementen en op de fundering, maar zijn zwaardere gordingen vereist. In de hallenbouw worden zowel warmgewalste I-profielen toegepast, als koudgevormde profielen met Z-, C-, U- of andere doorsneden (afb. 3.12).

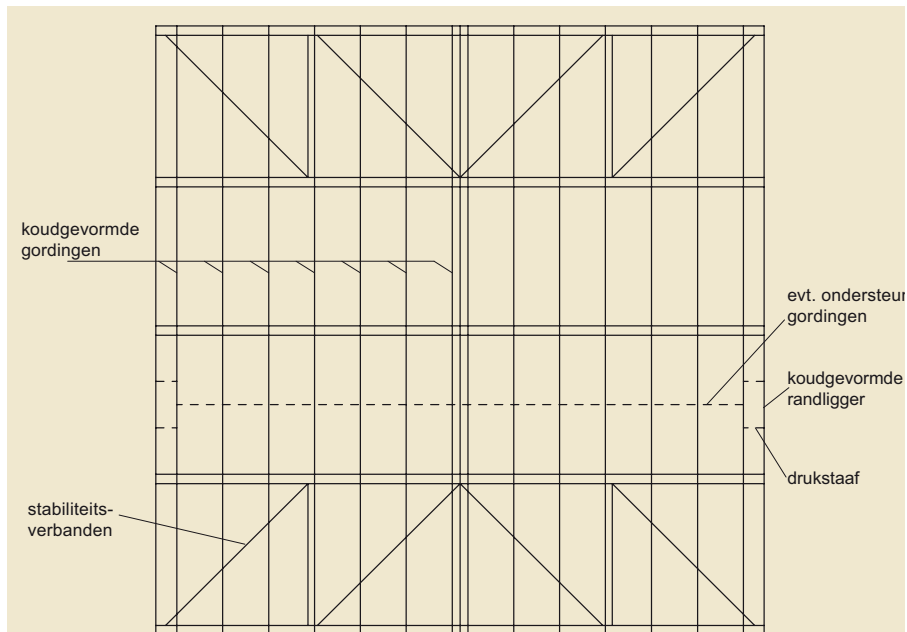
Bij toepassing van koudgevormde dakgordingen zijn de overspanningen meestal 1,5 tot 2,5 m. De hart-op-hart maat van gordingen is kleiner in gebieden met hogere wind- en sneeuwbelastingen en op plekken in de constructie waar de gordingen meehelpen aan de stabiliteit van het dakspant. Dat is dichtbij de dakrand aan de langs- en de dwarszijde. Vaak bieden leveranciers van daksystemen speciale verbindingselementen aan, bijvoorbeeld prefab platen waarmee de gordingen en de dakspanten zijn te verbinden (afb. 3.13).



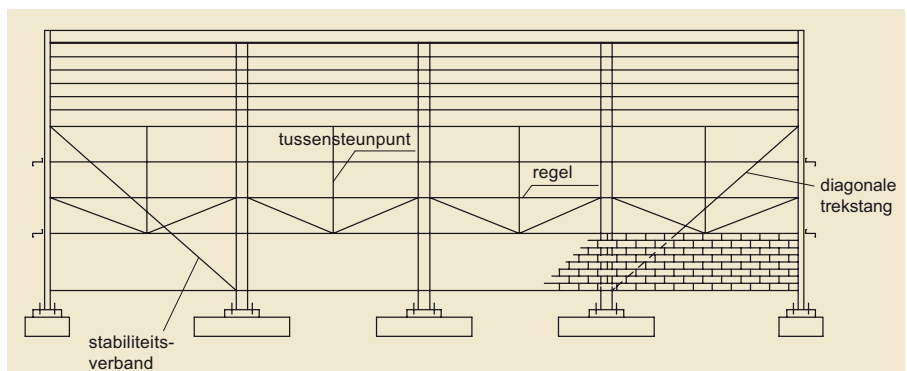
Afb. 3.13 Ligger-gording-verbindingen.



(a) dwarsdoorsnede van portaal met verstijvingen



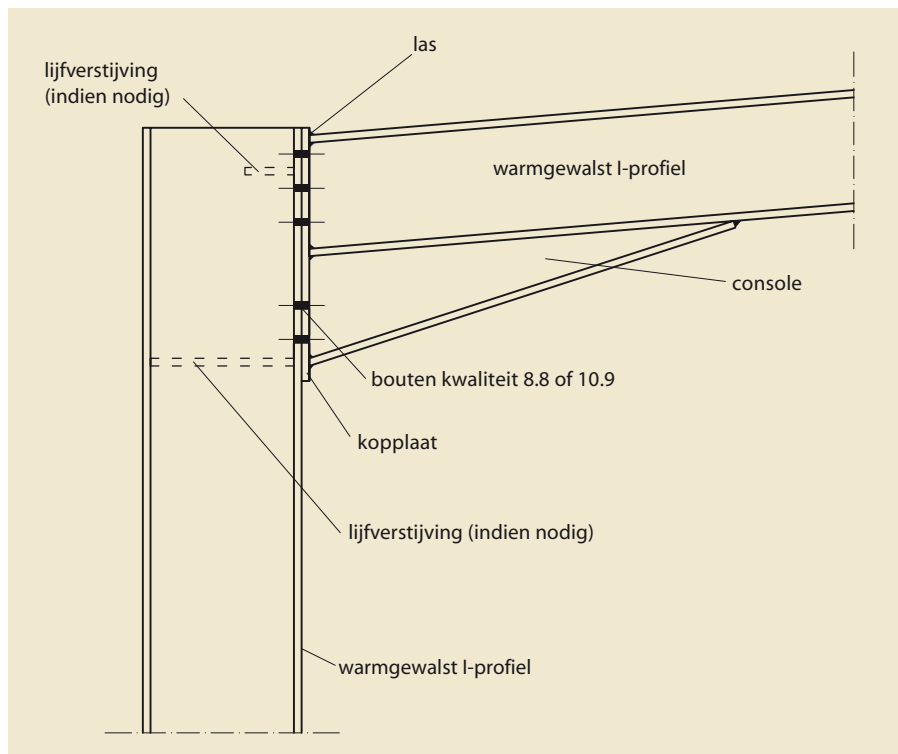
(b) staalconstructie dak



(c) aanzicht zijgevel

Afb. 3.14 Overzicht van secundaire elementen in een portaalconstructie.





Afb. 3.15 Kolom-/liggerverbinding met coupe.

## Verbindingen

De drie belangrijkste verbindingen in een eenbeukig portaal zijn die bij dakrand, in de nok en bij de kolomvoet.

Voor de kolom-liggeraansluitingen bij de dakranden zijn geboute verbindingen het meest in zwang (afb. 3.15). Het is mogelijk om een console te maken door een coupe aan de ligger te lassen. Zo wordt plaatselijk de inwendige arm vergroot en is de verbinding effectiever. De coupe komt meestal uit het hetzelfde staalprofiel als de ligger.

In sommige gevallen zijn de kolom en console van de ligger ontworpen als één element. De dakligger is aan de kolom gebout met een kopplaatverbinding.

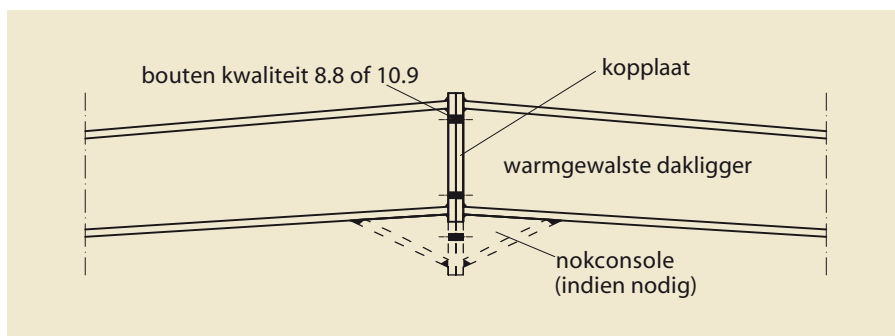
Om fabricagekosten te reduceren heeft het de voorkeur om de bij de kolom-liggerverbinding geen verstijvingen te gebruiken. In sommige gevallen moeten de effecten van de beperkte stijfheid van de verbinding worden meegewogen bij de bepaling van het gedrag van de

gehele constructie. Let daarbij op de effecten op de inwendige krachten en de vervormingen. EN 1993-1-8 geeft een ontwerpmethode die met deze half-starre ('semi-rigid') effecten rekening houdt.

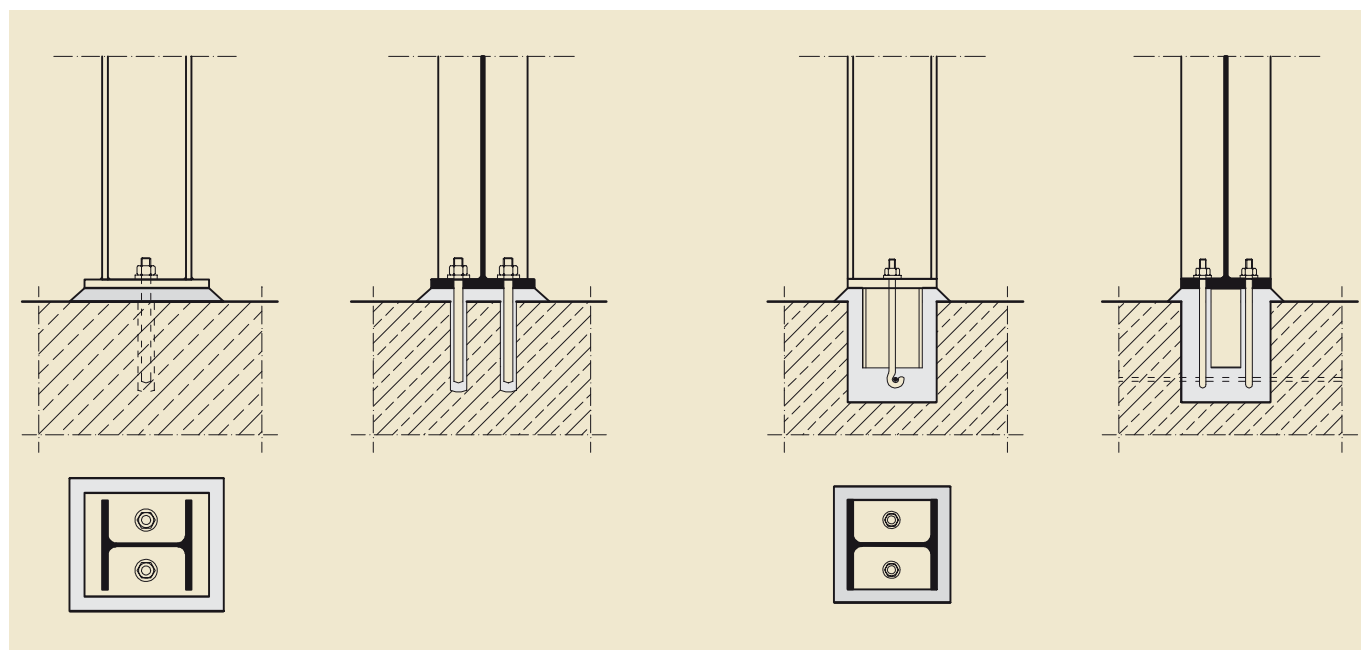
Vaak wordt de nok op vergelijkbare wijze uitgevoerd (afb. 3.16). Over de weg zijn elementen uit één stuk te vervoeren met een maximale lengte van 16 m. Als de breedte van het portaal daaronder blijft, is het mogelijk om de in het werk aan te brengen nokverbinding te vermijden. Dit spaart geld uit.

De kolomvoet is vaak eenvoudig uitgevoerd. Hierbij wordt rekening gehouden met grotere toleranties om de overgang van de betonnen fundering naar de staalconstructie te kunnen maken. Afb. 3.17 toont karakteristieke details. Scharnierende verbindingen genieten de voorkeur om de afmetingen van de fundering zo klein mogelijk te houden. Echter, wanneer horizontale krachten moeten worden overgebracht, kan het nodig zijn om de kolomvoeten in te klemmen

Afb. 3.16 Nokverbinding.



Afb. 3.17 Scharnierende kolomvoeten.



# 4 Dak- en gevelsystemen

Dit hoofdstuk beschrijft de meest gebruikte dak- en gevelsystemen. Deze dienen voor de huid van het gebouw en kunnen stabiliteit bieden aan de primaire draagconstructie. Ook komen de belangrijkste bouwkundige en installatietechnische aspecten voor de hallenbouw aan de orde zoals leidingenintegratie en verlichting.

## Daksystemen

Er zijn veel systemen beschikbaar voor de dakhuid in de hallenbouw. Deze zijn in te delen in een aantal categorieën.

### Enkele trapeziumvormige plaat

Enkellaagse trapeziumvormige plaat heeft een brede toepassing in agrarische en industriële gebouwen waar geen warmte-isolatie nodig is. Het systeem is te gebruiken bij bijna vlakke daken met dakhellingen tot circa 4°. Daarbij zijn voor de overlappen en de afdichtingen van de platen de aanwijzingen van de leveranciers in acht te nemen. De beplating is direct verbonden met de gordingen en de veerregels en biedt stabiliteit aan deze elementen (afb. 4.1). In bepaalde gevallen wordt isolatiemateriaal onder de beplating gehangen.

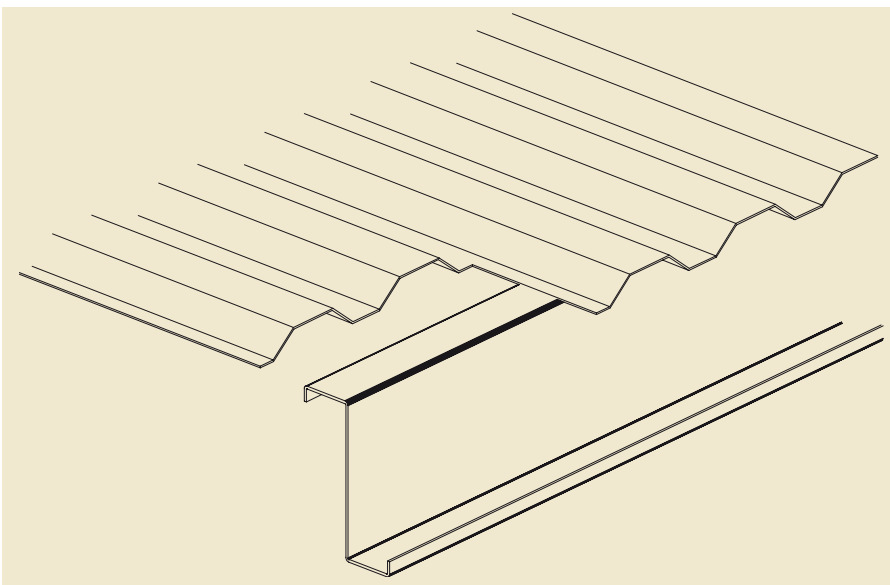
In het algemeen wordt beplating gemaakt van verzinkte staalplaat S280G, S320G of S275G volgens EN10326. Vanwege de vele verschillende producten (diktes, profielvormen) bestaan er geen standaard afmetingen. Er zijn echter gangbare profielen die snel uit voorraad leverbaar zijn. Deze zijn op te zoeken in de voorraadprogramma's van leveranciers. Verzinkte staalplaat heeft doorgaans een dikte van 0,5 tot 1,50 mm.

### Tweelaags systeem

Tweelaagse (of 'opbouw') systemen beginnen doorgaans met een geprofileerde plaat die op de gordingen is geschroefd, waarop afstandhouders zijn bevestigd. Op de plaat wordt isolatie gelegd en tenslotte wordt de buitenplaat geplaatst.

## Daksystemen

## Gevelsystemen



Afb. 4.1 Enkele trapeziumvormige plaat.

Omdat de verbinding tussen de binnen- en buitenplaat niet stijf genoeg kan zijn, is het nodig om de binnenplaat en de verbindingen zo te kiezen, dat deze voldoende stabiliteit bieden aan de gordingen. Alternatieven met een kunststof onderslagring en een Z-profiel als afstandhouder, of veerregels bevestigd aan een console, zijn getoond in afb. 4.2 en 4.3.

Door de hogere eisen aan warmte-isolatie zijn de dakpakketten dikker geworden. Het systeem met veerregels bevestigd aan een console wordt daardoor meer en meer toegepast, omdat dit stabiel is. De binnenplaten zijn lucht- en dampdicht te maken door de overgangen adequaat af te dichten. Ook is een dampdichte folie bovenop de plaat aan te brengen.

#### Plaat met staande naad

Plaat met staande naad heeft een blinde (verborgen) bevestiging en is aan te brengen met lengtes tot 30 m. De voordelen zijn, dat er geen openingen zijn waardoor water kan lekken en de snelle montage.

Afb. 4.2 Tweelaags systeem met kunststof onderslagring en Z-profiel als afstandhouder.

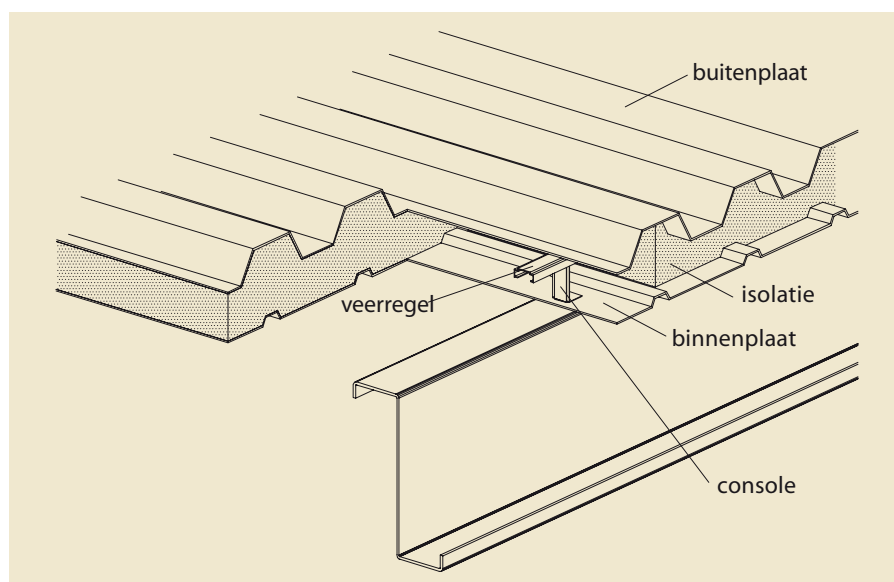
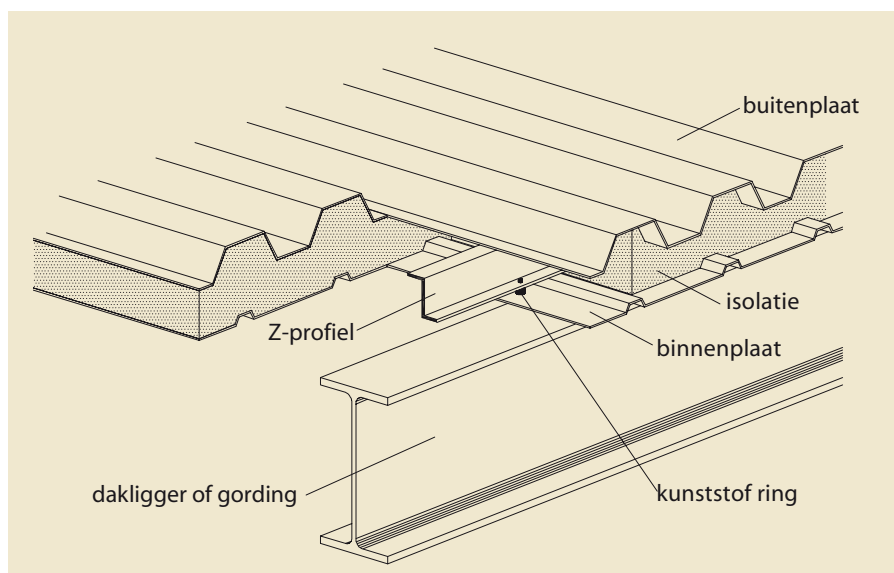
De verbindingen worden gevormd door clips die de beplating neerwaarts trekken, maar in lengterichting beweging van de plaat mogelijk maken (afb. 4.4). Het nadeel is, dat de gordingen niet worden gestabiliseerd zoals met andere systemen het geval is. Desondanks krijgen de gordingen, bij een correct aangebrachte clipverbinding, voldoende ondersteuning.

#### Sandwichpanelen

Sandwichpanelen worden gevormd door in de fabriek kunststof isolatie in schuimvorm aan te brengen tussen een

binnen- en buitenhuid. Sandwichpanelen kunnen grote lengtes overspannen door de constructieve samenwerking tussen de stalen beplating en het kunststof. Er zijn systemen met een bevestigingsclip in de staande naad (afb. 4.5) en systemen waarbij het sandwichpaneel direct blind op de gording is bevestigd. Het is duidelijk, dat beide systemen een verschillende mate van stabiliteit aan de gording verlenen.

Sandwichpanelen voor daken hebben meestal een breedte van 1000 mm met



Afb. 4.3 Tweelaags systeem met veerregels op een console.

diktes van 70 en 110 mm, afhankelijk van de benodigde warmte-isolatie en de dakbelasting. Ondanks de relatief grote dikte van de elementen is het gewicht laag. Daarom zijn sandwichpanelen makkelijk te hanteren en te monteren. Omdat de elementen lengtes kunnen hebben tot 20 m zijn daken en gevels mogelijk met heel weinig naden. Het basismateriaal voor de buitenhuid is meestal een verzinkte geverfde (gecoilcoate) staalplaat met diktes van 0,4 tot 1,0 mm. Het profiel van de binnenhuid van een sandwichpaneel is meestal geprofileerd of

gelineerd. Er zijn speciale producten met vlakke binnenzijdes. Ook zijn microliniëringen beschikbaar die van een afstand vlak lijken, maar van dichtbij hele kleine golfjes. Voor de buitenhuid wordt een grotere verscheidenheid aan profileringen toegepast (afb. 4.6).

De eisen aan corrosiebestendigheid van de buitenhuid van sandwichpanelen zijn gelijk aan die van geprofileerde staalplaat. Voor de isolatie zijn de volgende materialen beschikbaar:

- polyurethaan-schuim (PUR)

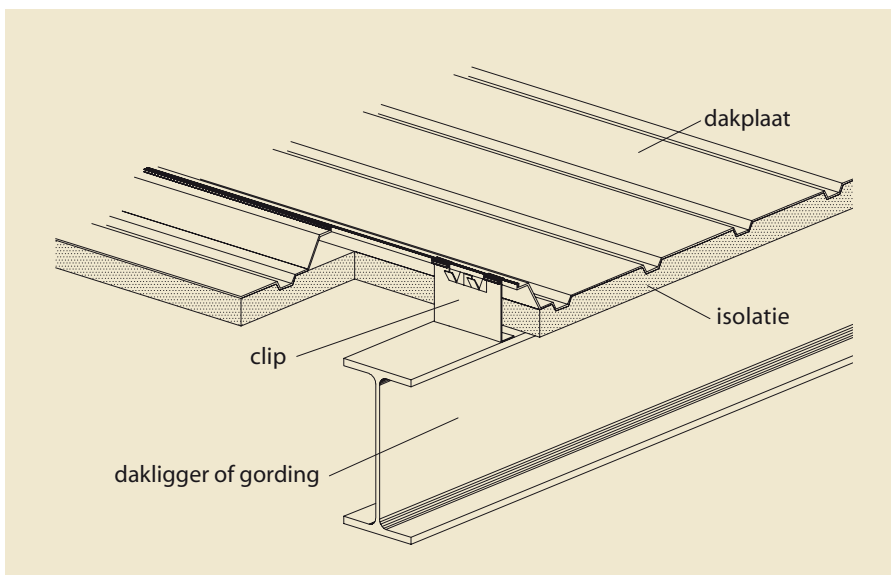
- minerale wol (steenwol en glaswol)
- polystyreen (PS); uitsluitend in uitzonderingsgevallen door de lagere warmte-isolatie

De staalplaat en de isolatie zijn beide niet-giftig, zowel tijdens productie en montage als in de gebruiksfase van het gebouw. De kern is reukloos, niet-vergankelijk en flexibel. Bovendien is een sandwichpaneel eenvoudig te recyclen.

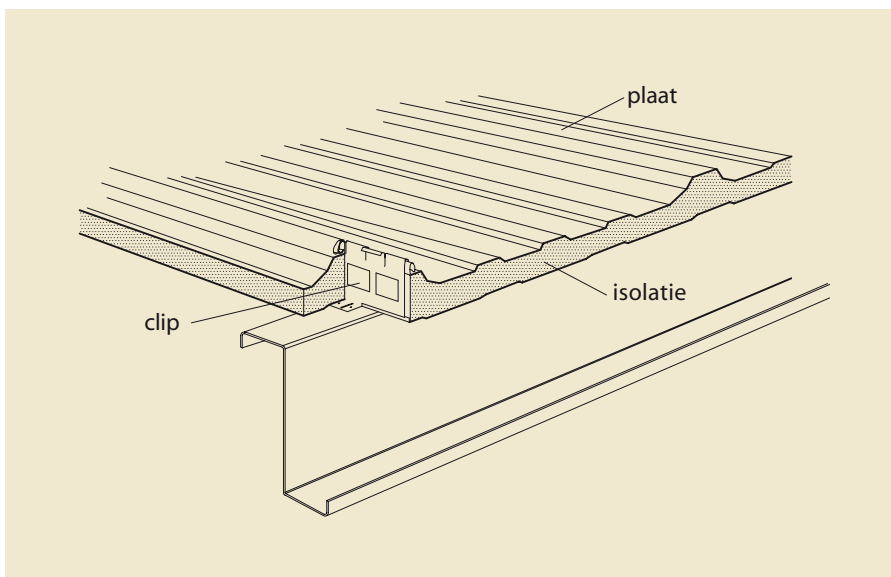
Een belangrijk punt, dat bij het ontwerp van sandwichpanelen in acht moet worden genomen is het temperatuurverschil in het element.

De scheiding tussen de binnen- en buitenhuid leidt er in de zomer toe, dat de buitenhuid sterk opwarmt en uitzet ten opzichte van de binnenhuid.

Elementen die één veld overspannen buigen hierdoor uit. Dit hoeft niet te leiden tot grote inwendige krachten, maar dit kan onaanvaardbaar zijn voor het uiterlijk van het gebouw.

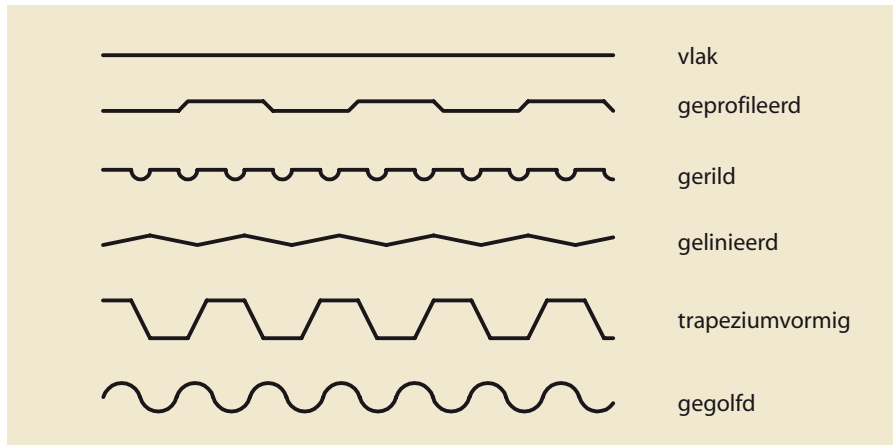


Afb. 4.4 Plaat met staande naad.



Afb. 4.5 Sandwichpaneel met bevestigingsclip.

Afb. 4.6 Mogelijke profileringen van de buitenhuid.



## Voordelen sandwichpanelen

- Door prefabricage hoge bouwsnelheid en lage kosten.
- Uitstekende bouwfysische eigenschappen.
- Te monteren onder bijna alle weersomstandigheden.
- Grote overspanningen dus minimale achterconstructie.

Panelen die meerdere velden overspannen bieden weerstand aan de doorbuiging. De buitenhuid van het paneel wordt samengedrukt, wat kan leiden tot knikken van het element. Hoe donkerder de kleur, hoe hoger de krachten. Daarom moeten voor panelen die meerdere velden overspannen controles worden uitgevoerd voor de zomersituatie en de wintersituatie, waarbij rekening moet worden gehouden met de kleur van de buitenhuid. Op Europees niveau legt EN 14509 (in voorbereiding) een aantal zaken vast: de methode voor het constructief ontwerp en de productie- en kwaliteitsrichtlijnen van sandwichpanelen.

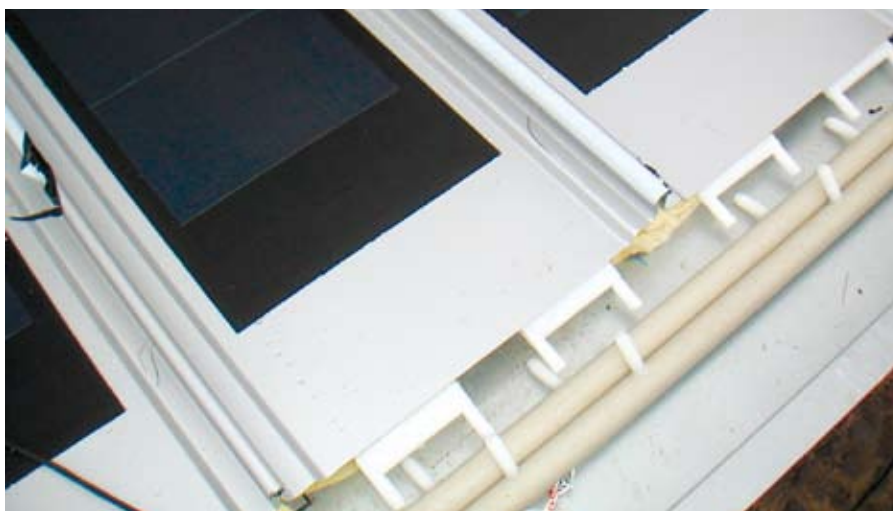
Meer informatie is te verkrijgen bij leveranciers.

### Speciale daksystemen

Een plat dak op een industriegebouw heeft een groot oppervlak dat aan zonnestraling blootstaat. Hier zijn voordelen uit te halen door een folie met zonnecellen op de dakhuid aan te brengen. Er zijn diverse economische en makkelijk aan te brengen producten op de markt. Er is ook een daksysteem ontwikkeld met daarin waterkanalen die de warmte uit de dakplaat aftappen.

### Verbindingen

Onder verbindingstechnieken verstaan wij twee dingen: de bevestiging van de beplating aan de constructie en de verbinding tussen de beplating onderling. Om stalen beplating te bevestigen zijn er zelftappende schroeven en schiet- en



Afb. 4.7 Zonnecellen en waterkoeling (Bron: Corus).



Afb. 4.10 Horizontale sandwichpanelen en strookramen.



Afb. 4.11 Grote ramen in sandwichpanelen.



en buitenhuid. In Europa worden ze het meest toegepast als gevelbekleding van industriegebouwen. Voor gevels hebben ze een breedte van 600 tot 1200 mm. Meestal zijn ze tussen de 40 tot 120 mm dik, maar in koelhuizen worden sandwichpanelen toegepast tot wel 200 mm.

Voor een goed uiterlijk van het gebouw zijn de volgende aspecten van belang:

- textuur van het oppervlak
- kleur
- detaillering van de aansluitingen
- verbindingen

Daar bovenop wenst de opdrachtgever tegenwoordig praktisch onzichtbare verbindingen en mooie gevelovergangen bij de hoeken van het gebouw. Desondanks worden zichtbare door-en-door verbindingen ook nog gebruikt. De details bevatten ofwel onzichtbare verbindingen of elementen met toegevoegde clipver-

bindingen (afb. 4.5 en 4.12). Door deze clipverbindingen toe te passen is te voorkomen dat kleine deuken bij de verbindingen zichtbaar worden door onjuiste montage of temperatuurverschillen.

Voor de overgangen van gevel op dak zijn speciaal gevormde tussenstukken ontwikkeld. Bij kwalitatief hoogstaande gevels bieden leveranciers hoekige en ronde elementen die binnen het systeem passen. Deze speciale componenten dienen dezelfde kwaliteit en kleur te hebben als de overige panelen.

#### **Brandwanden**

Waar gebouwen dicht tegen de perceelgrens staan, vereist nationale bouwreggeving vaak, dat de gevel ontworpen is om brandoverslag naar het ernaast gelegen perceel te voorkomen. Brandtesten tonen aan, dat bepaalde sandwichpanelen voldoen, op voorwaarde, dat zij in het

geval van een brand verbonden blijven aan de constructie. Meer informatie hierover is bij de leveranciers te verkrijgen.

Om thermische uitzetting toe te staan is het vaak nodig om veerregels van sleufgaten te voorzien. Dit moet onder normale temperatuursomstandigheden niet ten koste gaan van de stabiliteit van de kolom. Daarom zijn de sleufgaten voorzien van kunststof ringen. Deze ringen zijn gemaakt van een materiaal, dat bij hoge temperaturen smelt. Hierdoor kan bij brand de veerregel bewegen ten opzichte van de constructie (afb. 4.13).

#### **Andere gevelsystemen**

Er zijn veel geschikte gevelsystemen om toe te passen bij industriegebouwen, bijvoorbeeld glas (afb. 4.14). Toepassing van dit soort hoogkwalitatieve gevels leidt niet automatisch tot hogere kosten. In het voorbeeld, dat in afb. 4.14 is getoond, is

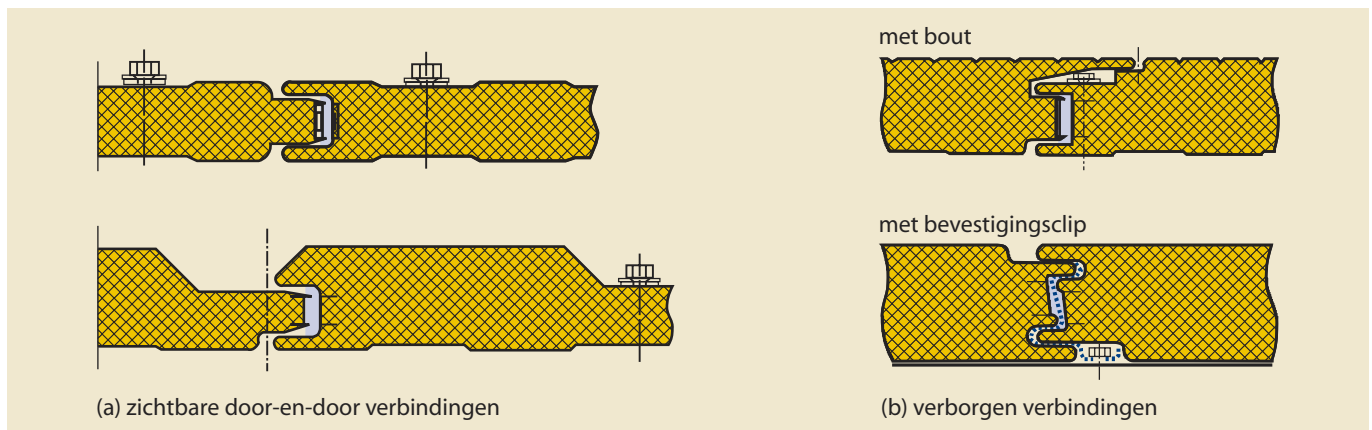


tegen een draagconstructie van warm-gewalste profielen structural glazing aangebracht. Door in het ontwerp rekening te houden met opslag van zonne-energie, zijn de energiekosten tijdens de gebruiksfase aanzienlijk te reduceren. De draagconstructie en de bouwkundige detaillering zijn over te nemen uit de meerlaagse utiliteitsbouw, waar dit type gevelsystemen gewoon is.

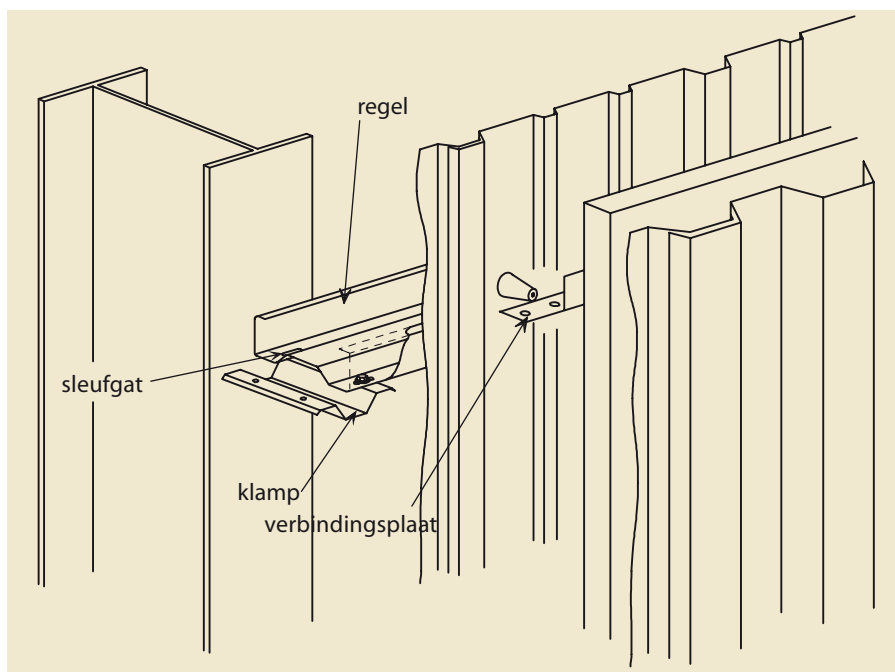
Een andere moderne manier om industriegebouwen op een architectonisch aantrekkelijke wijze te ontwerpen is het gebruik van verschillende kleuren in de gevel. Een variëteit aan kleuren, inclusief pastel scha-

duwen en metallische afwerkingen zijn beschikbaar bij meerdere leveranciers van beplating. Afb. 4.15 toont een voorbeeld van een gebouw, dat door kleurgebruik goed integreert in de omgeving.

Als een toevoeging zijn panelen met fotovoltaïsche cellen in de gevel toe te passen. De positie ten opzichte van de zon is bij de gevel niet optimaal. Maar het gebruik van coatings met meerdere lagen maakt de zonnecellen minder afhankelijk van de hoek ten opzichte van zonnestraling. Afb. 4.16 toont een voorbeeld van deze technologie.



Afb. 4.12 *Verbindingsmethodes van sandwichpanelen.*



Afb. 4.13 *Brandwand.*

Afb. 4.14 Industriegebouw met gevel van structural glazing.  
Bron: Bauen mit Stahl e.V.



Afb. 4.15 Industriegebouw dat door kleurgebruik past in de omgeving.  
Bron: [www.tks-bau-photos.com](http://www.tks-bau-photos.com).



Afb. 4.16 Gevel met geïntegreerde zonnecellen.  
Bron: [www.tks-bau-photos.com](http://www.tks-bau-photos.com).



# 5 Nationale verschillen

In de voorgaande hoofdstukken zijn constructie-, dak- en gevelsystemen beschreven die in Europa worden toegepast in de hallenbouw. Niet alle systemen worden in elk land toegepast en ook zijn er systemen die karakteristiek zijn voor een bepaald land. Dit hoofdstuk beschrijft de nationale verschillen.

## Duitsland

### Constructie

In Duitsland bestaat een karakteristieke hal uit portaalconstructies met scharnierende kolomvoeten. De overspanning van de portalen varieert van 12 m tot 30 m als warmgewalste of gelaste I-profielen zijn gebruikt. Meestal zit de overspanning tussen 15 m en 20 m. Bij grotere overspanningen dan 30 m worden meestal vakwerkliggers toegepast. Als er door de functie van het gebouw geen beperkingen zijn, worden meestal uit I-profielen opgebouwde, meerbeukige portalen gebruikt met overspanningen tot 20 m.

Andere constructietypen, zoals dakliggers eenvoudig opgelegd op de kolommen, bogen, rasters, schalen, enzovoort, worden minder vaak toegepast, behalve in architectonisch expressieve gebouwen.

De hart-op-hart maat van de kolommen varieert meestal tussen 5 m en 8 m, maar tot 10 m is mogelijk. In standaard gevallen is de kolomhoogte 4,5 m. Bij kraanbanen kan deze oplopen tot 8 m en meer.

De kolommen van portaalconstructies zijn gemaakt van IPE- of HE-profielen. Meestal zijn de liggers aan de kolommen verbonden met boutverbindingen (afb. 3.15). Waar het portaal overgaat van de kolom in de dakspant zijn consoles toe te passen om de krachten en momenten over te dragen. In bepaalde gevallen is deze consoles al in de constructiewerkplaats aan de kolom gelast. Het deel van het dakspant met gelijke doorsnede is dan op de bouwplaats met

boutverbindingen aan te brengen. Het is gebruikelijk om de beplating tussen de dakspanten en de gordingen te laten overspannen. In Duitsland is ongeveer 40% van de gordingen warmgewalst en 60% is koudgevormd. Het aandeel koudgevormd is groeiende.

Het constructief ontwerp wordt meestal uitsluitend uitgevoerd met elastische berekeningen van de krachten en de momenten. Deze worden vergeleken met de elastische of plastische waarden van de profieldoorsneden. De huidige ontwerpnorm is DIN 18800, Parts 1-5. Deze is hetzelfde als de Europese norm EN 1993-1-1.

### Dak

Daken van industriële gebouwen in Duitsland zijn meestal gemaakt van trapeziumvormige stalen plaat. De dakbeplating overspant direct van portaal tot portaal of is ondersteund door de gordingen.

Op dit moment wordt de enkellaagse, geïsoleerde stalen dakbeplating het meest toegepast (afb. 5.1). Bij dit type dakbekleding mag de hellingshoek van het dak niet minder zijn dan 2° om het water voldoende af te kunnen voeren. Dit type dak is relatief goedkoop, maar is gevoelig voor mechanische schade aan de dakbedekking.

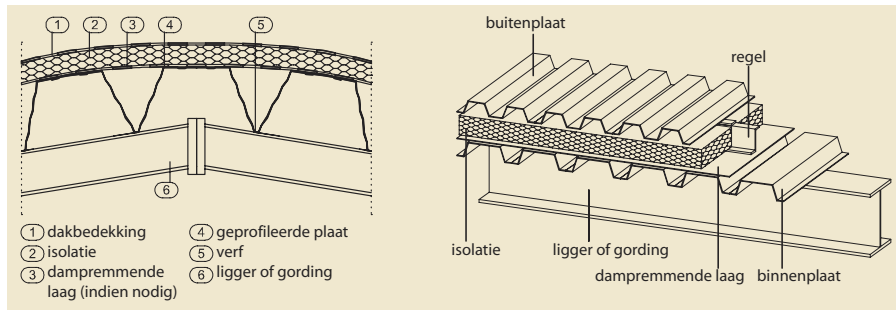
## Duitsland

## Nederland

## Spanje

## Zweden

## Verenigd Koninkrijk



Afb. 5.1 In Duitsland gangbaar daksysteem.

Tweelaagse systemen (afb. 5.1 rechts) zijn in opkomst, vanwege het gemakkelijke onderhoud en de langere gebruiksduur. Overige voordelen zijn een lage schadegevoeligheid en een goede geluidwering en brandwerendheid. Vaak is de buitenplaat met klemverbindingen en veerregels aan de binnenplaat verbonden. Vanwege de klemverbinding hoeft de buitenplaat niet doorboord te worden en blijft deze intact.

### Gevel

Voor de hallenbouw in Duitsland zijn er veel verschillende gevelsystemen beschikbaar. Welke is toe te passen, hangt af van de gebouwfunctie, de bouwfysische eisen en de eisen voor brandoverslag naar belendende panden.

Gevelsystemen met geprofileerde, lichtgewicht en grootformaat sandwichpanelen winnen terrein. Dit komt door de zogeheten 'Muster-Industriebau-Richtlinie' waardoor de brandwerendheidseisen omlaag gaan.

Deze panelen zijn snel en makkelijk te

monteren onder alle weersomstandigheden. Ook bieden zij hoge warmte-isolatie.

### Warmte-isolatie

In Duitsland maakt de 'Energy Saving Act' (ENEV 2002) onderscheid tussen gebouwen met een 'normale binnentemperatuur' en gebouwen met een 'lage binnentemperatuur' (onder 19°C). Veel industriebouw valt in deze laatste categorie. Gebouwen met een lage binnentemperatuur hebben uitsluitend eisen voor warmteverlies door de buitenhuid. Er zijn geen eisen aan de verwarmingsinstallatie. Ook zijn de isolatie-eisen minder hoog waardoor het isolatiepakket minder dik is.

### Brandveiligheid

In maart 2000 is een nieuwe richtlijn in werking getreden over de brandwerendheid van industriële gebouwen. Aanleiding hiertoe waren onderzoeken naar natuurlijke branden. In combinatie met DIN 18230 regelt deze richtlijn de brandveiligheid in industriële gebouwen door rekening te houden met de brandwerendheid (in tijdsduur) van constructie-

elementen, de grootte en ligging van brandcompartimenten, en locatie en lengte van ontvluchtingsroutes.

De richtlijn biedt drie rekenmethodes, oplopend in complexiteit:

1. vereenvoudigde rekenmethode
2. meer exacte rekenmethode met de determinatie van de duur en hevigheid van de brand gebaseerd op DIN 18230-1
3. fire engineering

Hoe eenvoudiger de rekenmethode, hoe conservatiever de uitkomst.

Gebruikmakend van de eenvoudige rekenmethode 1 zijn enkellaagse industriële gebouwen met een gebruiksoppervlak tot 1800 m<sup>2</sup> te ontwerpen met onbeschermd constructiestaal. Hierbij zijn geen aanvullende actieve maatregelen nodig. Door een automatische sprinklerinstallatie toe te passen zijn brandcompartimenten te maken met een maximum van 10000 m<sup>2</sup>. Door brandwanden te maken zijn de compartimenten tot een groter gebouw samen te voegen.

Enkellaagse winkelgebouwen hebben vergelijkbare lage brandwerendheidseisen aan de constructie als een sprinklerinstallatie is toegepast. De maximale grootte van een brandcompartiment is eveneens 10000 m<sup>2</sup>.

Tabel 5.1 Brandcompartimenten in industriegebouwen in Duitsland.

Maatregelen	Geen eis	30 minuten
Geen maatregelen (K1)	1.800 m <sup>2</sup> *	3.000 m <sup>2</sup>
Brandmelders (K2)	2.700 m <sup>2</sup> *	4.500 m <sup>2</sup>
Brandmelders en bedrijfsbrandweer (K3)	3.200-4.500 m <sup>2</sup> *	6.000 m <sup>2</sup>
Sprinkler (K4)	10.000 m <sup>2</sup>	10.000 m <sup>2</sup>

\* Breedte gebouw ≤ 40 m

De meer exacte rekenmethode 2 is gebaseerd op DIN 18230-1, die een equivalente brandduur definieert. Deze waarde relateert de parametrische brandkromme van een bepaald gebouw met de standaard brandkromme. Deze houdt rekening met projectspecifieke eigenschappen zoals ventilatiecondities, enzovoort. Met deze methode zijn met onbeschermd constructiestaal brandcompartimenten te ontwerpen tot wel 30000 m<sup>2</sup>.

Bovenop de twee vereenvoudigde rekenmethodes is fire engineering analyse te gebruiken. De richtlijn formuleert basisprincipes voor de benodigde toetsen om aan de normen te voldoen.

## Nederland

Al decennialang is staal het favoriete materiaal voor de draagconstructie en dak- en gevelbeplating van hallen in de industriële en agrarische sector. De eigenschappen van staalbouw maken deze bouwwijze uitermate geschikt voor de hallenbouw: staal is snel en economisch, licht en prefab, industrieel, flexibel en demontabel en herbruikbaar op materiaal-, bouwdeel- en gebouweniveau. Maar het voornaamste argument voor staal is, dat deze constructie-, gevel- en daksystemen verreweg het goedkoopste zijn.

*Afb. 5.2 Bij overspanningen tot 25 m hebben walsprofielen de voorkeur.*

## Constructie

Verreweg de meeste hallen en loodsen en bedrijfsgebouwen bestaan uit eenbeukige hallen met een vrije overspanning van gevel tot gevel. Meerdere eenbeukige hallen kunnen zijn samengevoegd tot een samengestelde hal of gaan vergezeld van een kantoorgedeelte. Meerbeukige hallen zijn in de minderheid.

Voor langshallen met een overspanning tot circa 25 m en een hoogte tot circa 6 m is de meest economische oplossing een hoofdconstructie met raamwerken, gordingen en enkele schuine schoren in het dakvlak en de zijgevels (afb. 5.2). Voor langshallen hoger dan 6 m is een hoofdconstructie met liggers en kolommen en met horizontale en verticale

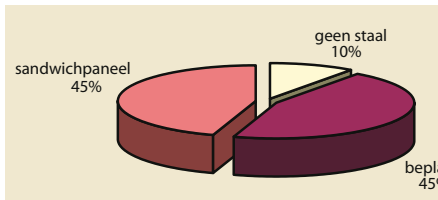
stabiliteitsverbanden economischer) Het aantal onderdelen en verbindingen is in dit geval belangrijk groter. Daartegenover staat echter het gunstige materiaalgebruik.

De meest gangbare industriële hal in Nederland bestaat uit warmgewalste portalen van kolommen uit HEA 180 profielen en vollewand dakliggers uit IPE 500 met hart-op-hart afstanden van 5,4 m. Dakplaten P106 met een staaldikte van 0,75 mm en binnendozen B90 (0,75 mm) zijn bij 90% van de gebouwen de dak- en gevelbekledingsproducten.

Voor overspanningen groter dan 25 m kan het economischer zijn de gewalste dakligger te vervangen door een vakwerkligger (afb. 5.3). Ook worden



*Afb. 5.3 Bij overspanningen groter dan 25 m zijn vakwerkliggers populair.*



Afb. 5.4 Marktaandelen van gevelsystemen in industriegebouwen in Nederland.



Afb. 5.5 Buitenbeplating op stalen binnendozen.



Afb. 5.6 Sandwichpanelen.

Afb. 5.7 De meeste industriegebouwen zijn eenlaagse, eenbeukige hallen met een kleine kantoorruimte. In Nederland hebben de meeste bedrijfsgebouwen een plat dak. Bij schuren en stallen worden vaak hellende daken toegepast.

vollewandliggers steeds vaker vervangen door raatliggers en patrijspootliggers. Hang- en tuiconstructies kunnen economisch zijn voor draagconstructies met grote overspanningen en als zware installaties moeten worden opgehangen.

### Gevel

In 2007 heeft Bouwen met Staal in Nederland marktonderzoek gedaan naar gevel- en daktoepassingen bij hallen en bedrijfsgebouwen. Daaruit blijkt, dat stalen buitenbeplating bij deze bouwtypen een marktaandeel heeft van circa 90%. De overige 10% bestaat uit een van het maai-veld af opgemetseld buitenspouwblad, dat als borstwering dient tegen mechanische belasting door stoten (afb. 5.4).

Grofweg bestaat de helft van de gevels in de industriebouw in Nederland uit stalen binnendozen met stalen buitenbeplating (afb. 8). De andere helft is bekleed met stalen sandwichpanelen. Met respectievelijk ongeveer 2 en 1,5 miljoen vierkante meter geveloppervlak zijn deze beide stalen gevelsystemen samen met metselwerk verreweg de meest toegepaste gevelproducten in de totale bouw in Nederland.

### Dak

Platte daken en lessenaarsdaken komen verreweg het meeste voor in de hallenbouw in Nederland. Zadeldaken ("pitched

roofs") zijn een hoge uitzondering in de industriebouw. In de agrarische bouw daarentegen vormen zadeldaken de meerderheid. Vroeger werden zaagdaken of sheddaken veel toegepast vanwege de daglichttoetreding. Daarnaast zijn er nog allerlei bijzondere vormen mogelijk zoals gebogen daken.

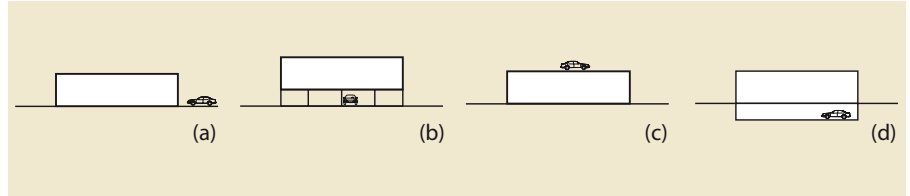
Grofweg bestaat 80% van de daken in de industriële bouw uit geprofileerde stalen dakplaten. Circa 15% bestaat uit stalen sandwichpanelen en slechts 5% is niet van staal.

### Wateraccumulatie

Een punt van aandacht bij platte daken is de wateraccumulatie. In 2002 bezweken op één dag zes platte daken tijdens zware regenbuien. Het Ministerie van VROM stelde een onderzoek in. Eén van de resultaten is de praktijkrichtlijn NPR 6773, die als wijzigingsblad A1 bij NEN 6702 gepubliceerd. Deze eenvoudigere en meer robuuste rekenmethode leidde, in combinatie met beter toezicht, tot een significante afname van het probleem.



Afb. 5.8 (a) Parkeren naast het gebouw.  
 (b) Onder het gebouw.  
 (c) Op het gebouw.  
 (d) Onder het maaiveld.



### Brandveiligheid

Brandveiligheid is de voornaamste reden voor het hoge marktaandeel van stalen producten in de hallenbouw. Deze eisen zijn relatief laag ten opzichte van die in andere Europese landen.

Voor hallen en loodsen en de meeste bedrijfsgebouwen met een klein kantoor zijn er geen eisen aan de brandwerendheid van de hoofdconstructie. In sommige gevallen wordt er 30 of 60 minuten geëist aan vluchtroutes, aan brandcompartimenten of vanwege weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag (wbdb). Aan deze eisen is doorgaans eenvoudig te voldoen met brandwerendheidsmaatregelen.

### Parkeren

Momenteel is in Nederland ongeveer 70.000 hectare in gebruik als bedrijventerrein; dat is 2% van het totale oppervlak. De groei in dit ruimtegebruik is groot: de overheid probeert paal en perk te stellen. In toenemende mate worden bedrijventerreinen gerenoveerd en wordt het aangemoedigd om parkeren op of onder bedrijfshallen.

### Energie

Er wordt naar gestreefd om in 2012 gebouwen te produceren die in de gebruiksfase energieneutraal zijn. Dit betekent, dat zij evenveel energie produceren als zij verbruiken. Als proef is in Zaandam een eerste 0-energiehal in aanbouw.

### Spanje Constructie

De meeste industriële gebouwen in Spanje maken gebruik van (uit plaat) samengestelde profielen, hoewel in de besproken halontwerpen vaak warmgewalste profielen zijn toegepast. Het gebouw bestaat uit het constructiesysteem en dak- en gevelsystemen. De geprefabriceerde elementen worden uit de constructiewerkplaats naar de bouwplaats getransporteerd en worden daar geassembleerd. Het gehele proces is snel, efficiënt en economisch. De constructie-elementen in veel Spaanse hallen zijn:

- samengestelde I-vormige profielen voor de primaire structuur van portaalconstructies. (Met taps toelopende kolommen en liggers van 750 mm

tot 1280 mm hoog, gefabriceerd uit staalkwaliteit S275JR)

- koudgevormde Z- en C-vormige profielen voor de secundaire elementen (dakgordingen, wandregels, enzovoort)
- dak- en wandsystemen die tegemoet komen aan nieuwe normen voor brandveiligheid

In het algemeen hebben de dakspanten overspanningen van 25-50 m, maar het is mogelijk om portalen te ontwerpen van 60-70 m zonder tussensteunpunten. Anderzijds zijn de karakteristieke afstanden tussen portalen 9-10 m en zijn de kolommen 7-12 m hoog.

De aanvullende subsystemen (zogenoeten "klein staalwerk") bestaan uit tussenverdiepingen, kraanbanen, kranen, dakplatforms, luifels en alle andere toebehoren om een compleet, functionerend gebouw te maken.

De funderingseisen van deze stalen gebouwen zijn aanzienlijk kleiner geworden door de grote kolomvrije ruimte die met

Afb. 5.9 Gangbaar portaal in Spanje: met taps toelopende kolommen en liggers.



Afb. 5.10 Interieur.



Tabel 5.2 Spaanse bouwregelgeving met invloed op de bouw van industriegebouwen.

Norm	Inhoud
CTE	Spaans bouwbesluit (Código Técnico de la Edificación): DB-SE-AE-Basisdocument. Constructieve veiligheid.
NCSE	Spaanse norm voor aardbevingsbestendig bouwen (Norma de Construcción Sismoresistente).
EN 1993-1-1	Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies. Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen.
EN 1993-1-3	Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies. Deel 1-3: Algemene regels – Aanvullende regels voor koudgevormde dunwandige profielen en platen.
RSCIEI	Spaanse regelgeving voor brandveiligheid in industriegebouwen (Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales).

de grote overspanningen, de grotere beukmaten en de lagere constructiegewicht te maken zijn.

Stalen hallen gebruiken een veel verschillende aan materialen die tegemoetkomen aan een grote verscheidenheid aan constructieve eisen. Deze flexibiliteit biedt oneindige mogelijkheden aan de gebouwwontwerpen en –toepassingen.

### Constructieve voordelen

Het constructiesysteem biedt veel voordelen ten opzichte van traditionele bouwwijzen. Geavanceerde ontwerp- en fabricagemethoden helpen om de kosten te reduceren door een snellere constructiewijze en het beperken van werkzaamheden op de bouwplaats.

Constructiesystemen, gevels, daken en klein staalwerk hebben de volgende voordelen:

- het gebruik van taps toelopende samengestelde primaire constructie-elementen (kolommen en dakliggers) resulteert in een gewichtsreductie tot 40% voor de portalen met stijve kolomliggerverbindingen ten opzichte van conventionele warmgewalste profielen
- het gebruik van Z-vormige secundaire constructie-elementen (dakgordingen en wandregels), en dan in het bijzonder de overlapping Z-vormige gordingen bij de portalen, resulteert in een gewichtsbesparing tot 25% voor de secundaire elementen
- in het algemeen zijn alle elementen in de werkplaats gefabriceerd op

geautomatiseerde productielijnen, wat op de bouwplaats tot minder montageproblemen leidt.

- het schroot van de fabricage van samengestelde profielen en koudgevormde Z-profielen wordt gerecycled
- als het staal is constructief efficiënt

Publieke en private bedrijven, aannemers en ontwerpers hebben er baat bij door de kostenvoordelen en de snellere bouwtijd.

### Normen

De belangrijkste normen die het ontwerp van industriegebouwen in Spanje beïnvloeden zijn gegeven in tabel 5.2.

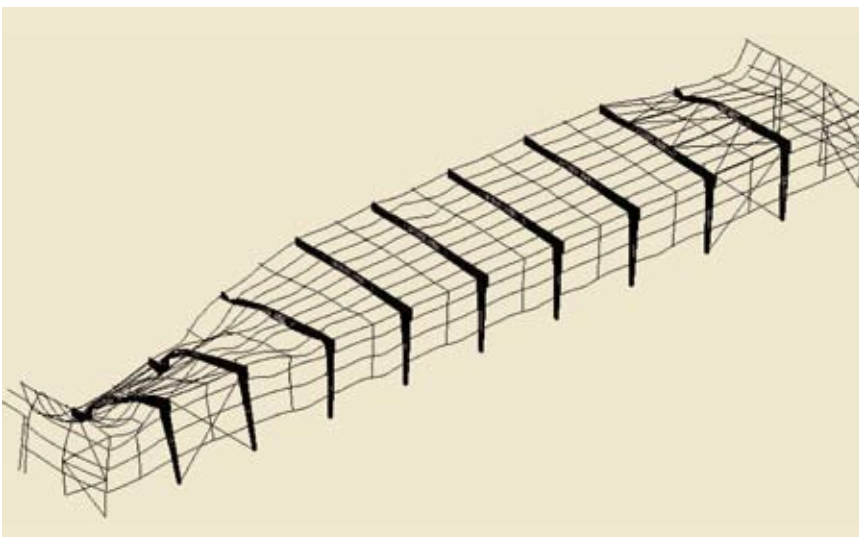
### Fire safety engineering

De Spaanse normen voor fire safety





Afb. 5.11 Industriegebouw in Spanje.



Afb. 5.12 Computermodel om instorting door brand te bepalen.

engineering voor industriële gebouwen staan in RSCIEI. Deze vragen om een toetsing van de brandwerendheid van het gebouw afgaande op de verwachte duur en hevigheid van de brand, de compartimentsgrootte en de belendende percelen.

Het is mogelijk om industriegebouwen te ontwerpen zonder additionele brandwerende maatregelen, namelijk bij vrijstaande hallen met lage vuurbelasting. Fire safety engineering biedt een uitdagende

benadering bij hallen met hoge vuurbelasting of plattegronden waar een grotere compartimentsgrootte gewenst is. Afb. 5.12 toont een voorbeeld van een model, dat is gebruikt bij de bepaling van het gedrag van de constructie en het moment van instorting van een industriële hal met stalen draagconstructie.

#### **Bronvermelding**

De getoonde afbeeldingen zijn geleverd door Prado Transformados Metálicos S.A. ([www.pradotm.com](http://www.pradotm.com)).

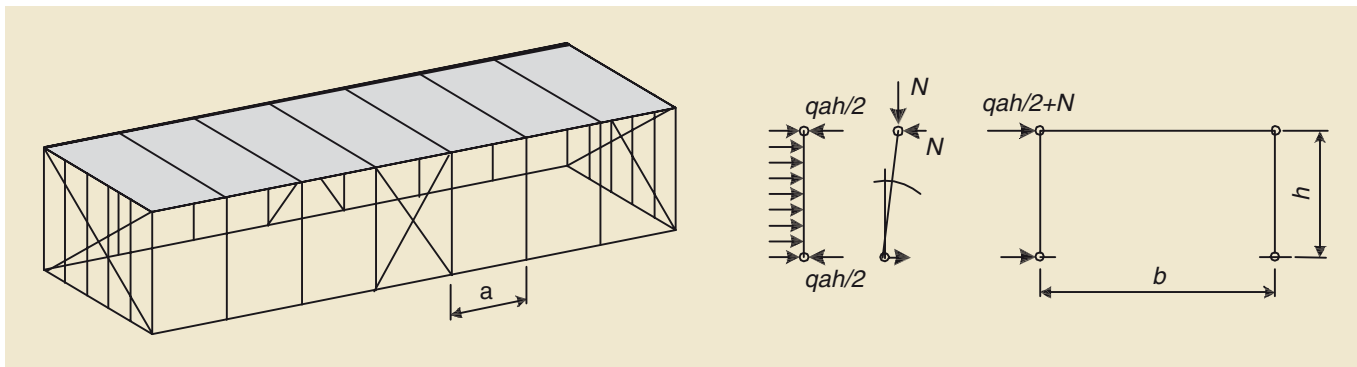
## **Zweden**

### ***Een karakteristiek Zweeds industriegebouw***

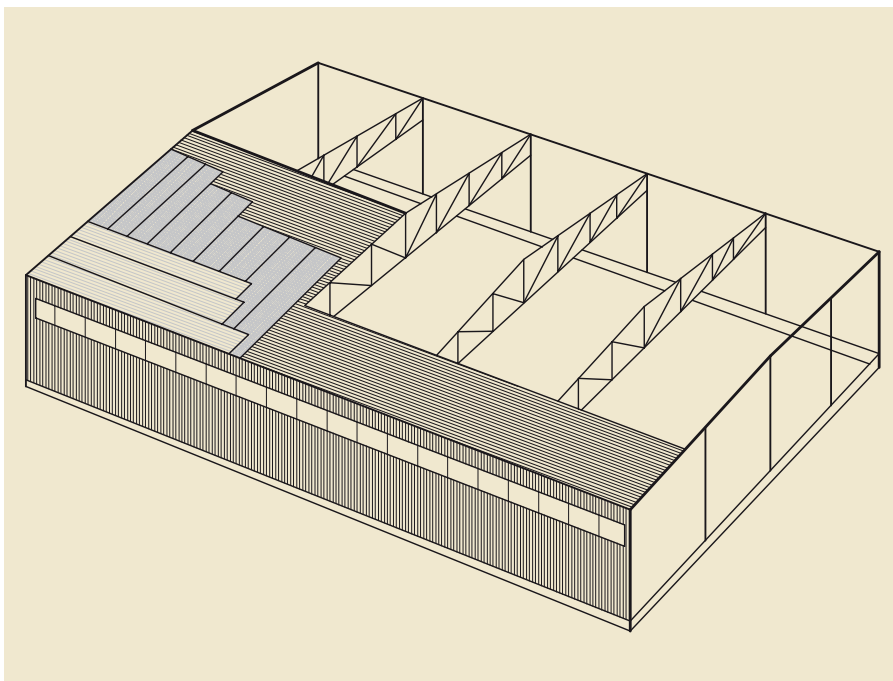
Gebouwen met een vrije plattegrond (kolomvrije ruimte) zoals industriegebouwen zijn een belangrijk marktsegment voor staalbouw in Zweden (SBI 2004).

Lichtgewicht hallen hebben meestal afmetingen tussen 15 en 25 m en hoogtes van 5 tot 8 m.

De gebouwooppervlaktes liggen meestal tussen 1500 en 2000 m<sup>2</sup>. Vaak leveren



Afb. 5.13 Stabiliteitssysteem van een Zweeds industriegebouw. Bron: SBI.



Afb. 5.14 Zweedse industriehal. Bron: SBI.

aannemers die in industriebouw zijn gespecialiseerd de bedrijfshallen turnkey.

Moderne gebouwen van dit type hebben meestal een isolatielaag van ongeveer 120 tot 150 mm minerale wol. De gebouwen hebben meestal een kantoorruimte op een tussenverdieping.

De meest gebruikelijke en in de meeste gevallen meest economische manier om een vrije plattegrond te stabiliseren is om stabiliteitsverbanden aan de langsijde van het gebouw te plaatsen en om de geprofileerde dakbeplating voor schijfwerking te benutten (afb. 5.13). De kolomvoeten zijn scharnierend ontworpen. Ook de gevelbeplating kan schijfwerking bieden.

Een karakteristiek gebouw met een vrije plattegrond is getoond in afb. 5.14. Vaak wordt een hellend dak toegepast met een helling van  $3,6^\circ$  of  $5,7^\circ$  toegepast. De beukmaat ligt meestal tussen 6 en 10 m. De gevels zijn meestal van sandwichpanelen of geprofileerde plaat bevestigd op veerregels. De isolatie is bovenop de geprofileerde dakplaat geplaatst en afgedekt met een passende dakbedekking. Een kunststof folie zorgt voor lucht- en dampdichtheid.

Voor de dakspanten worden meestal vakwerkliggers gebruikt. Met standaard profielen zijn overspanningen tot 45 m te maken. De kolommen zijn doorgaans HEA-profielen met vier ankerbouten vastgezet op de funderingsplaat.

Hoewel de kolomvoeten scharnierend zijn ontworpen, is het aan te bevelen om vier ankerbouten toe te passen omwille van stabiliteit tijdens de montagefase.

Bij niet-geïsoleerde hallen en loodsen wordt de geprofileerde dakbeplating ondersteund door gordingen. Tot overspanningen van 12 m worden vaak Z-profielen gebruikt als gordingen. Bij gebruik van scharnierende kolomvoeten is het van belang om tijdens de montage het gebouw te stabiliseren. Vaak is het daarbij nodig om tijdelijke stabiliteitsverbanden aan te brengen bij de kolommen en soms bij de dakliggers. Omdat het vaak tijdens de montage nodig is de kolommen te stabiliseren,



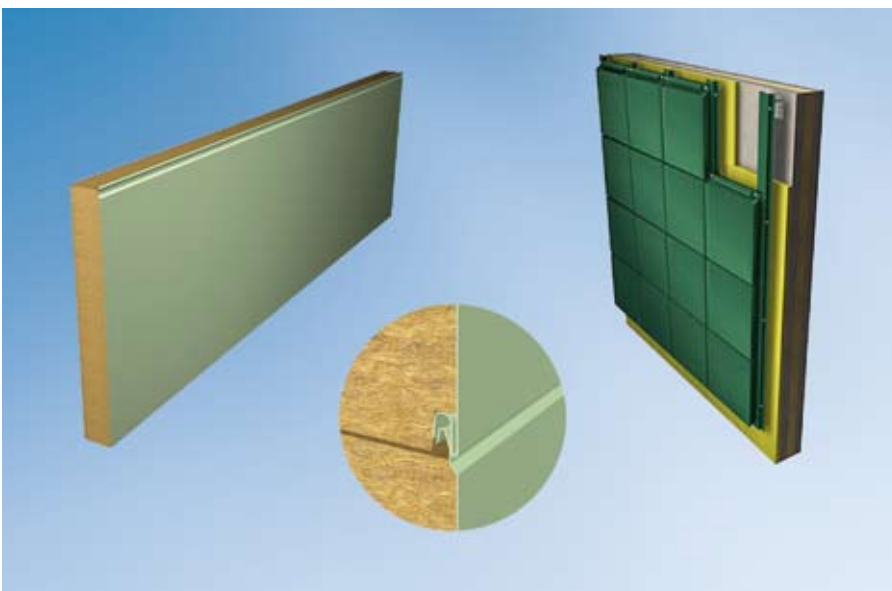
Afb. 5.15 Dak- en gevelbekleding in Zweden.



Afb. 5.16 Plannja 40 systeem voor daken met een hellingshoek tussen 3 en 6 graden.  
Bron: [www.plannja.se](http://www.plannja.se)



Afb. 5.17 Ruukki Fassetti gevelsysteem.  
Bron: [www.ruukki.com](http://www.ruukki.com)



Afb. 5.18 Links: Plannja sandwichpaneel. Rechts: Libertà Grande gevelcassette van Ruukki.

worden deze verbanden vaak permanent gemaakt. Zonder ze weg te halen als het gebouw in gereede toestand leunt op de schijfwerking door de geprofileerde plaat.

### Dak

Er is een aantal dakproducten, voornamelijk geprofileerde plaat en dakpanplaten. Meestal wordt dakbeplating toegepast zoals getoond in afb. 5.15. Dakpanplaten zijn te gebruiken bij dakhellingen vanaf 14°. Dakpanplaten zijn er in traditionele dakpankleuren, maar zijn belangrijk lichter van gewicht dan keramische of betonnen dakpannen.

Hoge geprofileerde plaat is te gebruiken bij geïsoleerde daken met overspanningen tot ongeveer 11 m. Grotere overspanningen zijn te bereiken met beplating die in beide richtingen is verstijfd. Bij kortere overspanningen, tot ongeveer 8 m, worden traditionelere profielplaten toegepast.

Het dak is meestal zo ontworpen, dat deze constructief meewerkt door schijfwerking van de dakbeplating. Hierdoor hoeven in het dak geen stabiliteitsverbanden te worden aangebracht.

Geprofileerde plaat draagt dakbelastingen bij geïsoleerde daken. De hoogte van de profielplaten wordt gekozen op grond van de overspanning. Isolatie in de vorm van minerale wol is gebruikt in twee lagen met kunststof folie als een dampremmende laag die geen lucht doorlaat.

Trapeziumvormige beplating wordt aan de buitenzijde van het dak gebruikt. Slechts een minimale dakhelling van 3,6° is vereist.

U-waarden van 0,3 tot 0,7 W/m<sup>2</sup>K zijn te behalen, afhankelijk van de dikte van het isolatiepakket. Deze prestatie komt tegemoet aan de eisen in de Zweedse bouwregelgeving.

### Gevel

Meestal is de geprofileerde plaat die voor gevels wordt gebruikt dezelfde als de plaat die voor daken in gebruik is.

Sandwichpanelen bieden thermische isolatie, brandwerendheid en uitstraling. Sandwichpanelen hebben aan beide zijden stalen beplating met een isolatielaag van minerale wol of EPS ertussen. Afhankelijk van de dikte van de isolatie kunnen U-waarden variëren van 0,18 en 0,8 W/m<sup>2</sup>K. De systemen hebben luchten waterdichting tussen de panelen. Bij toepassing van minerale wol biedt het systeem goede brandwerendheid en geluidwering. De panelen kunnen een lengte hebben tot wel 10 m.

De stalen sandwichpanelen zijn te combineren met andere materialen zoals steen, hout, glas, stuc en beton. Het sandwichpaneel kan verschillende texturen hebben met hoge en lage profilering.

Er zijn speciale gevelsystemen om gevels te renoveren. Meestal wordt de gevelrenovatie gecombineerd met isolatie van het gebouw. Er zijn afstandhouders met schuifverbindingen om de buitenhuid mee te bevestigen. Dit maakt het mogelijk om minerale wol toe te passen.

Er zijn ook producten beschikbaar die tegemoetkomen aan of beter zijn dan de Zweedse bouwregelgeving op het punt van warmte-isolatie van industriegebouwen. Karakteristieke waarden voor een sandwichpaneel van 150 mm liggen tussen 0,24 en 0,28 W/m<sup>2</sup>K en er zijn standaard oplossingen voor U-waarden tot wel 0,17 W/m<sup>2</sup>K.

## Verenigd Koninkrijk

### Algemene aspecten

De bouw van grote enkellaagse industriegebouwen, meestal 'hallen' genoemd, zijn een belangrijke markt voor de staalconstructiesector in het Verenigd Koninkrijk. Ze worden gebruikt als winkels, distributiecentra, productiegebouwen en recreatiecentra.

Voorbeelden van innovatie zijn de toepassing van het plastisch rekenen bij het ontwerp van portaalconstructies, IT-systemen voor het ontwerpen en produceren, toepassing van koudgeformde

elementen voor bijvoorbeeld dakgordingen en effectieve dak- en gevelsystemen.

De hallenbouw in het Verenigd Koninkrijk heeft een jaarlijkse productie van ongeveer 1 biljoen pond voor constructies (1,4 miljard Euro) en 1,5 biljoen pond voor dak- en gevelsystemen (2,1 miljard Euro).

Er is de afgelopen 10 à 15 jaar veel meer aandacht gekomen voor het uiterlijk van industriegebouwen. Architectenbureaus van naam zijn verantwoordelijk voor het ontwerp van het distributiecentrum van autofabriek Renault in Swindon en de Schlumberger fabriek in Cambridge.

Desondanks bestaat de overgrote meerderheid van hallen uit constructies met stalen portalen. Hier zijn veel verschillende varianten van ontstaan zoals die met patrijspoortliggers en gebogen dakliggers (afb. 5.19).

Tegenwoordig worden hogere eisen gesteld aan dak- en gevelsystemen door de normen voor energiehuishouding die zijn vastgelegd in Deel L van de bouwregelgeving in het Verenigd Koninkrijk en de hoge kwaliteitseisen die aan dit type gebouwen zijn gesteld. De introductie van een aangepaste versie van Deel L, met zijn te zware eisen, en het Europese 'Besluit en regeling energieprestatie van gebouwen' hebben geleid tot de volgende eisen:

- een besparing van 23 tot 28% aan CO<sub>2</sub>-emissies ten opzichte van vergelijkbare gebouwen in 2002
- de introductie van energiepaspoorten voor verschillende typen gebouwen

### Keuze van staal

De volgende criteria zijn van belang voor en bieden toegevoegde waarde aan opdrachtgevers en gebruikers.

### Architectuur

Architecten bepalen de vorm en het uiterlijk van een gebouw. Ook bepalen zij als ontwerpers in hoge mate zaken als het thermisch gedrag en daardoor



*Afb. 5.19 Industriegebouw met gebogen dakliggers in Engeland.*

het energieverbruik van het gebouw. Hoewel de constructie nog steeds het terrein is van de constructief ontwerper en de staalbouwer, bepaalt de architect in toenemende mate mee welk constructiesysteem wordt gekozen. Architecten leggen steeds meer hun oor te leen bij bouwers. Voorbeelden van architectonische toepassingen van staal zijn te zien in afb. 2.9 en 5.20.

#### **Bouwsnelheid**

Voor logistieke en vergelijkbare bedrijfstakken is bouwsnelheid van groot belang. Dit kan het ontwerp op verschillende manieren beïnvloeden. Zo zijn de platte-

grond en de bouwelementen zo te ontwerpen, dat de bouw meer tegelijkertijd dan na elkaar kan plaatsvinden.

#### **Flexibiliteit**

De grote overspanningen en daardoor minder gebruik van tussenkolommen, karakteristiek voor staalconstructies, bieden een gebouw maximale mogelijkheden om verschillende functies en functieverandering te huisvesten.

De opdrachtgever kan op een gegeven moment het gebouw willen verkopen aan een vastgoedmaatschappij. Om deze optie open te houden worden vaak

criteria zoals minimum hoogte en hogere opgelegde belastingen gespecificeerd om de waarde van het onroerend goed te behouden en om flexibiliteit te bieden aan toekomstige gebruikers.

#### **Onderhoud**

Bij veel gebouwen is de gebruiker tevens de opdrachtgever. Bij verhuur is de tendens om af te stappen van 'full repairing 25 year leases', dat zijn huurcontracten van 25 jaar waarbij de huurder verantwoordelijk is voor het onderhoud. Tegenwoordig zijn er kortere huurperiodes waarbij de gebouweigenaar het onderhoud doet. Waar de eigenaar verantwoordelijk is, zal de keuze eerder vallen op materialen met hoge kwaliteit die een langere levensduur bezitten. Reductie van onderhoudskosten zal daarbij worden aangemoedigd.



*Afb. 5.20 Recreatiecentrum met gebogen patrijspoortliggers.*

### Duurzaamheid

Energiekosten en de reductie van CO<sub>2</sub>-emissies zijn steeds belangrijker en duurzaamheid is tegenwoordig een belangrijk punt bij het gebouwoontwerp. In de toekomst zal het waarschijnlijk makkelijker zijn om een bouwvergunning te verkrijgen met duurzame, milieuvriendelijke oplossingen. Veel opdrachtgevers, potentiële opdrachtgevers en gebruikers voeren een beleid waarin duurzaamheid een rol speelt.

### Waar voor je geld

De staalbouw is een van de meest effectieve sectoren van de bouwindustrie. Staalconstructiewerkplaatsen produceren de elementen in de werkplaats. Zij maken daarbij gebruik van computergestuurde machines die vanuit software met 3D-modellen worden aangestuurd. Daarbij wordt de informatie in de computertekening niet uitsluitend gebruikt om de productie aan te sturen. Deze digitale informatie wordt ook gebruikt om de materialen te bestellen, voor de planning, de levering en de montage.

### Ontwerpaspecten

#### Keuze skelet

Bij enkellaagse gebouwen met een vrije overspanning tussen 25 en 60 m wordt de portaalconstructie het meest toegepast. Redenen zijn de materiaalefficiënte constructie en het gemak van fabricage en montage. Portaalconstructies zijn te ontwerpen met behulp van elastische en plastische rekenmethodes. Portalen die elastisch zijn ontworpen zullen minder scherp zijn uitgerekend en dus zwaarder zijn. Daar tegenover staat dat het hoofd- en detailontwerp eenvoudiger zijn te doen zonder specialistische computersoftware.

Bij grotere overspanningen zijn vakwerkliggers een alternatief. Vakwerkliggers zijn effectiever bij overspanningen boven 60 m en bij gebouwen met veel installaties.

#### Wisselwerking skelet en gevel

De constructieve doelmatigheid van de portaalconstructies komt deels door de

steun die de gordingen verlenen aan de dakspanten en de veerregels aan de kolommen. Vergelijkbaar krijgen de gordingen gesteund door de beplating. Schijfwerking is bij het ontwerp ook toe te passen, al was het maar om de doorbuiging te reduceren.

De ontwerpmethodes voor de staalconstructie zijn tegenwoordig alom bekend. De aandacht gaat nu meer uit naar de gevel en het dak. Hier zijn drie belangrijke redenen voor:

- Het gebruik van staalconstructies is gebruikelijk in industrie- en utiliteitsbouw.
- De noodzaak om architectuur in te zetten voor het imago betekent meer aandacht voor de bouwplanning en voor de esthetica.
- De concentratie op energiebesparing en het groeiende belang van het Europese 'Besluit en regeling energieprestatie van gebouwen' met zijn eisen voor energielabels.

#### Energieprestatie

De afgelopen jaren zijn de U-waarden geregeld gereduceerd. Dit leidde tot een aanzienlijke stijging van de dikte van het isolatiepakket. Dit heeft weer invloed op de stabiliteit (in het bijzonder van opbouwssystemen), het gewicht van de gevel en ten gevolge daarvan het montagegemak. Het punt is nu echter bereikt, waarop een verdere vergroting van het isolatiepakket steeds minder tot een verhoging van de isolatiewaarde leidt.

Bij veel functies is het belangrijk om daklichten toe te passen, omdat deze de hoeveelheid benodigde kunstverlichting beperken en daarmee de energiebehoefte van het gebouw. Daklichten vergroten echter ook de opvang van zonnewarmte, wat in de zomer kan leiden tot oververhitting waardoor mechanische koeling noodzakelijk is.

Naarmate de dikte van het isolatiepakket groter wordt, wordt het warmteverlies door koudebruggen ook steeds belangrij-

ker. Hierdoor neemt de behoefte toe aan doordachte details en speciale componenten.

#### Luchtdichtheid

Het is belangrijk om gebouwen te ontwerpen en te bouwen die geen hoog energieverbruik hebben. Daartoe wordt ook getest om de luchtdichtheid van een gebouw na te gaan. Recent onderzoek toont aan, dat controle op de luchtdichtheid van een gebouw een effectieve manier is om de energieprestaties te verbeteren.

De huidige minimumeis aan de luchtdichtheid van een gebouw is 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/hr op 50 Pascal. Maar met standaard technieken zijn prestaties van wel 2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/hr mogelijk. Het bepalen van dergelijke hoge eisen hangt sterk af van de kwaliteit van de constructie en van de bouwkundige detaillering. Bij gebouwen met een vloeroppervlak van minder dan 5000 m<sup>2</sup> is het, door de relatief hoge hoeveelheid gevelopeningen, moeilijk om hoge niveaus van luchtdichtheid te behalen.

#### Ontwerpcoördinatie

Een belangrijk onderdeel van het ontwerpproces is de coördinatie van de verschillende systemen van de verschillende leveranciers. Deze taak wordt van oudsher op zich genomen door de architect, maar als de hoofdaannemer hiervoor verantwoordelijk is, kan dit voordelen bieden.

#### Ontwerpproces

Volgens het Britse Bouwbesluit moet er bij het ontwerp worden gelet op:

- geometrie van het gebouw
- minimum hoogte (vrije hoogte hijskraan, dikte van de console van het portaal)
- verkrijgen van maximum verhuurbaar oppervlak
- kolomraster kiezen, dat deze gebruikersflexibiliteit garandeert.
- belastingen en eventueel in de toekomst veranderde belastingen
- keuze van gordingen en veerregels

- toetsing op scheefstanden en maatafwijkingen
  - dak- en gevelsystemen en garanties daarop
  - toegankelijkheid voor gehandicapten
  - maattoleranties van de vloer
  - hergebruik en recycling van materialen
  - sloopvoorwaarden
  - energieconsumptie en reductie van CO<sub>2</sub>-emissies
- De toestand van de bouwlocatie is van invloed op de gekozen bouwwijze. Daarnaast is er voor de inrichting van de bouwplaats al een raadgevend ingenieur nodig. Deze werkt samen met de

Tabel 5.3 Trends in industriegebouwen in het Verenigd Koninkrijk.

Ontwerpaspecten	Huidig	Toekomstig
Gebouwworm en constructie	Rechthoekig gebouw met oppervlakte tot 90 x 150 m, meerveldoverspanning portalen	
	15 m hoogte	8 – 12 m hoogte
	30 – 35 m overspanning, 6° dakhelling	2° dakhelling
	6 – 8 m beukmaat en tussenkolommen 12 – 16 m	
	200 m glasvezelversterkt beton begane-grondvloer	Nagespannen beton
	Kantoorgedeelte met staalconstructie 13,5 m diep en overspanningen van 6 en 7,5 m	
Dak- en gevelbekleding	Sandwichpanelen voor daken en bovenzijde gevels	Sandwichpanelen afgewisseld met groendaken
	Betonelementen voor onderzijde gevels	Hellende betonelementen
	U-waarden 0,35 W/m <sup>2</sup> K gevels en 0,25 W/m <sup>2</sup> K daken	U-waarden 0,25 W/m <sup>2</sup> K gevels en 0,20 W/m <sup>2</sup> K daken
	15% beglaasd dakoppervlak	Geïsoleerd glas
	Luchtdichtheid 10 m <sup>3</sup> /hr/m <sup>2</sup> bij 50 Pa	
Installaties en onderhoud	Luchtverwarming	
	Beperkt gebruik van zonnecellen op het dak	Meer zonnecellen en opvang van zonnewarmte met water (evt. windturbines)
	Branddetectie en –alarm	Sprinklersysteem
	Bijregeling klimaat door eindgebruiker	
	Levensduur 40 jaar, na 25 jaar groot onderhoud	
	Water doorlatende stenen op parkeerterrein	
	Opvang regenwater van dak	

architect, voordat het Design and Build contract is opgesteld. Zijn taken bestaan uit de selectie en het ontwerp van een passend funderingssysteem. Bij een grote meerderheid van de gebouwen heeft het staalskelet scharnierende kolomvoetverbindingen.

#### **Duurzaam bouwen**

Duurzaam bouwen wordt op veel verschillende manieren aangemoedigd. Deze variëren van Europese aanbevelingen voor thermische effectiviteit tot een toename van bedrijven die het maatschappelijk verantwoord ondernemen (MVO) omarmen. Het vermogen om een duurzame aanpak te demonstreren wordt

steeds belangrijker om toestemming voor een bouwvergunning te verkrijgen. Het duurzaamheidsconcept bestaat uit een drievoudige eis tot economische, sociale en milieuvriendelijke levensvatbaarheid. De moderne staalbouw moet aan alle drie voorwaarden voldoen.

#### ***Trends***

Tabel 5.3 toont een samenvatting van trends in het ontwerp van moderne industriële opslaggebouwen. De tabel is overgenomen uit een brochure van het Steel Construction Institute.



## 6 Voorbeeldprojecten

Om de ontwerp- en constructieprincipes uit de voorgaande hoofdstukken te illustreren, toont dit hoofdstuk een aantal voorbeeldprojecten. De voorbeeldprojecten bieden een scala aan gebouwvormen en een breed spectrum aan locaties in geheel Europa.

Dit zijn de voorbeeldprojecten met een korte kenschets van hun constructiesysteem:

- Opslaghal, East Midlands Airport, Verenigd Koninkrijk  
*Portaal met twee beuken en patrijspoortliggers voor tussenvloer en kantoorgedeelte.*
- Airbus productiehal, Toulouse, Frankrijk  
*Vakwerkliggers met grote overspanningen voor ruimteflexibiliteit en hoge bouwsnelheid.*
- Cactus winkelcentrum, Esch-Alzette, Luxemburg  
*Portalen met gekromde patrijspoortliggers voor kolomvrije ruimte en transparantie.*
- Netto supermarkt, Smålandsstenar, Zweden  
*Lichtgewicht kolom-/liggerstructuur die gebruik maakt van schijfwerking van de beplating.*
- Distributiecentrum, Waghäusel, Duitsland  
*Magazijnstelling met cassettegevel en een groendak gebruik makend van staalplaat zorgen voor een economische constructie.*

*Opslaghal, East Midlands Airport, UK*

*Airbus productiehal, Toulouse, Frankrijk*

*Cactus winkelcentrum, Esch-Alzette, Luxemburg*

*Netto supermarkt, Smålandsstenar, Zweden*

*Distributiecentrum, Waghäusel, Duitsland*

## 6.1 Opslaghal, East Midlands Airport, Verenigd Koninkrijk

*Op East Midlands vliegveld bij Nottingham is een nieuw distributiecentrum met kantoorruimte gebouwd voor DHL. Het distributiecentrum bestaat uit portalen met een overspanning van 40 m. Het kantoor gebruikt patrijspootliggers met een overspanning van 18 m. De totale bouwkosten zijn 45 miljoen Euro.*

### Voordelen

- Eenvoudige oplossing met portalen maakt efficiënt ruimtegebruik mogelijk.
- Laad- en losinstallatie staat op tussenvloer met patrijspootliggers.
- Drie lagen kantoor met 18 m lange patrijspootliggers.
- 30 laad- en losplaatsen voor vrachtwagens onder luifel met overspanning 22,5 m.



DHL is al vijftig jaar gevestigd op de luchthaven East Midlands ten oosten van Nottingham. Vanwege de sterke groei van de goederenoverslag voldoet het bestaande distributiecentrum niet meer. Er werd een nieuwe ontworpen met een capaciteit van meer dan 1000 ton per jaar. Het gebouw met een oppervlak van 40000 m<sup>2</sup> bestaat uit twee delen: een distributiecentrum en een kantorencomplex.

Het distributiecentrum gebruikt een raster dat wordt gedecteerd door het mechanische laad- en lossysteem. Het systeem is modulair en is in de toekomst uit te breiden. Voor de draagconstructie is gekozen voor een tweebeukig portaal met een overspanning van 40 m. De mechanische laad- en losinstallatie.

De grootte van het gebouw vroeg om een fire safety engineering strategie. Daardoor was de lengte van de vluchtroute te verlengen tot 95 m. Maatregelen zijn beperking van de rookverspreiding door het gebruik van rookventilatoren en rookgordijnen.

De kantoorruimte van drie lagen met een oppervlak van 9000 m<sup>2</sup> biedt plek aan 650 personeel. De vloer overspant in een keer 18 m met patrijspootliggers. De binnenwanden zijn lichtgewicht en verplaatsbaar en bieden flexibiliteit aan huidige en toekomstige gebruikers. Onder de eerste verdiepingvloer kunnen vorkheftrucks doorrijden. De tweede laag hangt aan de vakwerkliggers van het dak.

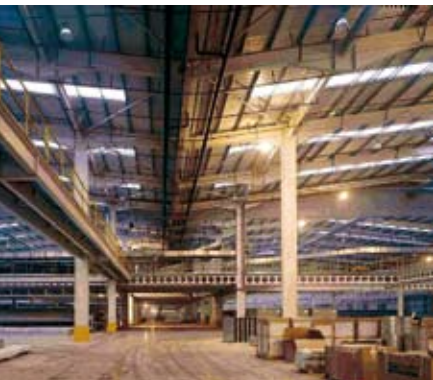
Boven het laden en lossen staat een luifel met een overspanning van 22,5 m.

Op esthetische gronden is een gebogen dak gekozen. Vanwege de bouwsnelheid is daar het bekledingssysteem met staande naad gekozen.

Het hele bouwproject was gereed in slechts 18 maanden. Het biedt DHL voldoende ruimte voor nu en in de toekomst.

**Projectpartners**

- Opdrachtgever:  
**DHL.**
- Architect:  
**Burkes Green.**
- Constructeur:  
**Burkes Green.**
- Aannemer:  
**Howard Associates.**
- Staalconstructie:  
**Westcol.**
- Installaties:  
**Couch Perry Wilkes.**



## Constructiedetails

### Dak en vakwerkliggers

Het tweebeukige portaal is plastisch ontworpen en berekend. Dit bleek de meest efficiënte constructieve oplossing voor het distributiecentrum. De mechanische laad- en losinstallatie steunt op de tussenvloer met patrijspootliggers.

Het kantoorgedeelte van 9000 m<sup>2</sup> heeft dezelfde constructie. Omdat de verwachting was, dat het kantoor na 15 jaar moest worden verbouwd, was aanpasbaarheid een vereiste. Patrijspootliggers bieden leidingintegratie door de openingen met een diameter van 600 mm. Het ontwerp van de kantoorruimte was gecompliceerd, omdat er een hellingbaan onderdoor ging. Dit maakte het nodig om de tussenvloeren op te hangen aan de vakwerkliggers in het dak.

Het brandveiligheidsconcept was van eminent belang voor het gebouwontwerp. De tussenvloer heeft openingen die het mogelijk maken dat bij brand de rook door het dak wordt afgevoerd.

De tweebeukige portaalconstructie met stijve kolomvoeten werd eerst gemontereerd. Daarna kon het mechanische laad- en lossysteem er op worden gezet. Dit was mogelijk door de constructieve overwaarde van de hoofddragconstructie en het feit dat de montage in een wind- en waterdichte hal kon plaatsvinden. De luifel is aan één zijde open. Hij staat op poten die 45 m van elkaar staan en heeft een uitkraging van 22,5. De luifel staat onder een hoek van 45° en is stabiel verbonden met de portaalconstructie. Het dak van het kantoordeel heeft stalen profielen met een radius van 150 m.



## 6.2 Airbus productiehal, Toulouse, Frankrijk

*Door het lage gewicht zijn met staalconstructies zijn enorme overspanningen te maken. De productiehal voor de nieuwe generatie Airbus vliegtuigen voor intercontinentale vluchten, type A380 is een voorbeeld.*

### Voordelen

- Hoge bouwsnelheid van de draagconstructie.
- Efficiënt gebruik van stalen componenten.
- Ruimteflexibiliteit.
- Duurzaam bouwen.
- Bovenloopkranen.



Interieur tijdens bouw.



Dit industriegebouw heeft een oppervlak van 200000 m<sup>2</sup>, is 45 m hoog en heeft een vrije overspanning van meer dan 115 m. Ondanks het enorme oppervlak is bij het ontwerp gelet op een efficiënt ruimtegebruik en de mogelijkheid om de ruimte flexibel te gebruiken.

De verwachting is dat het productieproces binnen afzienbare tijd anders wordt georganiseerd. Hier is bij het ontwerp al rekening mee gehouden, zodat de kosten van een renovatie binnen de perken blijven. De architectuur en de constructie zetten het imago van het bedrijf neer.

De grootste hal is 115 m lang en 250 m breed. Deze heeft de volgende zware kranen:

- twee evenwijdige industriële bovenloopkranen met een overspanning van 50 m en een capaciteit van 22 ton om de vleugels te tillen.
- twee evenwijdige industriële bovenloopkranen met een overspanning van

35 m en een capaciteit van 30 ton om de romp te tillen.

- twee hijskranen voor gewone dienst.

De kranen om de vleugels op te tillen bewegen op rails. Deze kraanbaan hangt aan de vakwerkconstructie die het dak draagt. Om de vliegtuigen naar buiten te kunnen rijden heeft de hal een deuropening van 117 m breed en 32 m hoog. De schuifdeuren hebben een eigen ondersteuningsconstructie. Bij het ontwerp van deze enorme hal is gestreefd naar reductie van materiaalgebruik door toepassing van samengestelde profielen en vakwerkliggers voor het dak.

**Projectpartners**

- Opdrachtgever:  
**EADS.**
- Architect:  
**ADPI.**
- Constructeur:  
**Samenwerkingsverband  
ADPI & Jaillet Roubly.**
- Aannemer:  
**URSSA (Spanje), Cimolia (Italië),  
Castel & Fromaget, Joseph Paris,  
Richard Ducrot (Frankrijk), Buyck  
(België).**
- Projectmanager:  
**Socotec en Veritas.**



## Constructiedetails

### Vakwerkliggers

De primaire liggers van het dak zijn vakwerkliggers die 117 m overspannen. Ze bestaan uit I-vormige uit plaat samengestelde profielen die met bouten zijn verbonden. De hoogte van de vakwerkliggers varieert van 8 m bij de opleggingen tot 13,5 in het midden van de overspanning. De vakwerkliggers worden op de grond samengesteld, vervolgens opgetild en bovenop de kolommen geplaatst. De verticale doorbuiging van de vakwerkliggers moet vanwege de kranen beperkt blijven tot 1/2000ste van de overspanning.

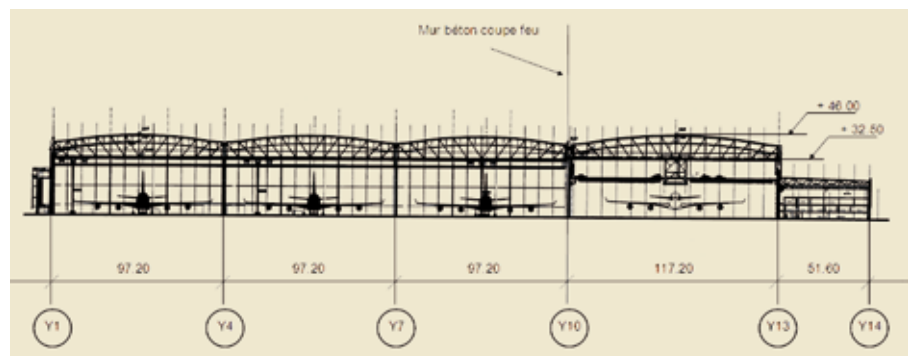
Tussen deze vakwerkliggers zijn prefab constructiedelen geplaatst met een overspanning van 33 m. Vakwerkliggers gemaakt van rechthoekige stalen kokerprofielen dienen als basis. Een compleet constructiedeel voor het dak bestaat uit deze secundaire vakwerkliggers, de verdere dakconstructie, beplating en onder-

steuningsconstructies voor klimaatinstallaties en brandveiligheidsvoorzieningen. Deze dakelementen worden eveneens geassembleerd, getild en op de primaire liggers geplaatst.

De kolommen zijn ingeklemd in de fundering. De slankheid van de kolommen is in elke richting gelijk, zodat er tijdens hijswerkzaamheden geen knikproblemen ontstaan. Elke kolom is samengesteld uit twee profielen die door een vakwerk zijn verbonden.

Assemblage op het maaiveld heeft als voordelen: veiligheid, geen steigers nodig en eenvoudig en snel van bouwen. De vakwerkliggers zijn scharnierend verbonden aan de kolommen. Dit heeft de volgende voordelen:

- eenvoudige, snelle verbindingen in een kritische montagefase
- geen laswerk nodig
- de bovenflens van de vakwerkligger is eenvoudig opgelegd op een console aan de kolom

**Bron afbeeldingen bij dit project:**

Cabinet Jaillet-Roubly, Frankrijk

## 6.3 Cactus winkelcentrum, Esch sur Alzette, Luxemburg

*Het nieuwe winkelcentrum van Esch sur Alzette heeft dankzij gebogen patrijspootliggers en een glasgevel een helder, transparant uiterlijk. Dankzij fire safety engineering kon de lichte staalconstructie in het zicht blijven..*

### Voordelen

- Kolomvrije ruimte creëert maximale flexibiliteit.
- Attractief uiterlijk door gebruik van gekromde patrijspootliggers.
- Onbeschermd staalconstructie door fire safety engineering.



Het winkelcentrum ligt in het stadscentrum van Esch zur Alzette, de tweede stad van Luxemburg. Het vervangt een ouder gebouw op die locatie. De eigenaar wilde een modern, helder winkelcentrum en koos voor een grote open ruimte met aan de voor- en achterzijde volledig glazen gevels. Ook eiste de opdrachtgever dat de gebogen patrijspootliggers die het dak dragen in het zicht blijven. Door de

situering in het stadscentrum eisten de toezichhoudende gemeentelijke instanties voor de staalconstructie een brandwerendheid ten aanzien van bezwijken van 90 minuten. Om de brandontwikkeling in het gebouw te calculeren werd gebruik gemaakt van de richtlijn 'Natural Fire Safety Concept' (natuurlijk brandveiligheidsconcept). Hiermee was aan te tonen dat het gebouw de brandveiligheidseis haalt.

## Constructiedetails

### Constructie

De constructie bestaat uit een aantal portalen met een beukmaat van 7,5 m. De portalen zijn opgebouwd uit stalen kolommen en gebogen patrijspoortliggers en zijn onderling verbonden met gordingen en stabiliteitsverbanden. De overspanning is 20 m, de kolomhoogte is 7,5 m en de maximum hoogte in het midden van de gebogen ligger is 9,1 m.

De portalen zijn onderling verbonden met doorgaande stalen gordingen IPE200. Het dak is bekleed met een geprofileerde staalplaat Hoesch TR44A, isolatie en dakbedekking. De patrijspoortliggers zijn door Arcelor, de plaatselijke staalproducent, gefabriceerd uit HEB450-profielen met de staalsoort S235. De hoogte van de liggers is 590 mm, de openingen hebben een doorsnede van 400 mm en de hart-op-hart afstand van de openingen is 600 mm.

### Natuurlijke brand

Arcelor Profil Luxembourg Research ontving het verzoek om de brandveiligheidsconcept te ontwikkelen. Bouwtoezicht stemde toe in de toepassing van het natuurlijk-brandconcept. Het concept is gebaseerd op de voorschriften van EN 1991-1-2. Voor de vuurbelasting werd die voor een kantoorgebouw aangehouden namelijk  $730 \text{ MJ/m}^2$ . Bij het ontwerp en de calculaties werden actieve maatregelen voor brandbescherming meegenomen zoals automatische brandmelding en rookafvoersystemen.

Vanwege de beperkte afmetingen van het gebouw waren geen sprinklers nodig. De temperatuur van de brand werd bepaald met het computerprogramma Ozone.

De temperatuur van de constructie tijdens een brand werd berekend met de methode die door de Japanse hoogleraar Yuji Hasemi is ontwikkeld. Er is een aantal simulaties gedaan om te analyseren hoe het glas in de voor- en achtergevel in geval van een brand breekt.

Uit de simulatie bleek dat de temperatuur van de kolommen bij een brand oploopt tot  $880^\circ\text{C}$ . Daarom is een eindige elementen analyse uitgevoerd waarbij is gekeken naar het gedrag van de hele constructie bij deze temperatuur. Hierbij is een driedimensionaal model gemaakt van het complete gebouw. Voor de simulaties is gebruik gemaakt van het computerprogramma Safir. Het resultaat is dat voor de staalconstructie geen passieve brandbescherming nodig is.

#### Project Team

- Opdrachtgever:  
**Cactus S.A.**
- Architect:  
**Paczowski Fritsch Associés.**
- Constructeur:  
**Schroeder & Associés S.A.**
- Aannemer:  
**Mabilux S.A.**
- Brandveiligheidsadviseur:  
**Arcelor Profil Luxembourg R&D.**

#### Projectgegevens

Oplevering: **2003**  
 Totale hoogte: **9,13 m**  
 Afmetingen: **28,5 x 48,0 m**



## 6.4 Netto supermarkt, Smålandsstenar, Zweden

*De hier beschreven supermarkt is een typisch voorbeeld van een Zweeds licht industriegebouw. Het bestaat uit kolommen, vakwerkliggers en dakbeplating die door schijfwerking constructief meewerkt.*

### Voordelen

- Snelle bouwmethode.
- Hoog niveau van prefabricage.
- Geoptimaliseerde draagconstructie.
- Weinig kolommen in de ruimte waardoor grote open ruimte die makkelijk in te richten is voor andere functies.



De meeste industrie- en opslaggebouwen in Zweden zijn lichte gebouwen van één bouwlaag met een stalen draagconstructie. Alle Netto supermarkten in Zweden gaan uit van hetzelfde ontwerp. Op deze manier kan snel en tegen lage kosten worden gebouwd. De nieuwe winkel in Smålandsstenar toont dit.

Afhankelijk van de locatie waar de winkels staan, zijn er verschillende sneeuw- en windbelastingen. Daar wordt het constructiesysteem aan aangepast. De sneeuwbelastingen in Zweden variëren van 1 tot 3 kN/m<sup>2</sup> en de windbelastingen van 21 tot 26 m/s.

Het constructiesysteem bestaat uit kolommen met scharnierende kolomvoeten, liggers en geprofileerde plaat. In de gevels zijn stabiliteitsverbanden aangebracht. De dakbeplating is ontworpen om via schijfwerking horizontale belastingen op de wanden over te brengen



**Projectpartners**

- Opdrachtgever:  
**Netto Marknad AB.**
- Architect:  
**GL Consult.**
- Constructeur:  
**EAB AB.**
- Staalconstructie:  
**EAB AB.**

**Projectgegevens**

Oppervlak:	<b>750 m<sup>2</sup></b>
Staalgebruik:	<b>20 ton</b>
Dakbeplating:	<b>1000 m<sup>2</sup></b>
Bouwperiode:	<b>5 weken</b>
Projectperiode:	<b>17 weken</b>

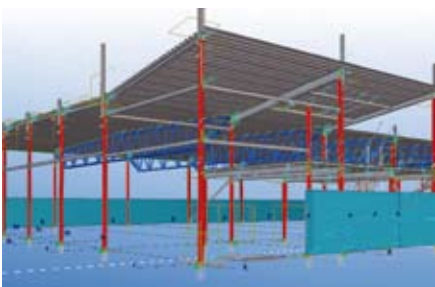
**Constructiedetails**

De dakbeplating heeft een dikte die varieert tussen 0,65 mm en 1,2 mm. De beplating draagt zowel de verticale als de horizontale belastingen over zoals het eigen gewicht, de sneeuw- en windbelastingen. De verticale en horizontale krachten uit de kolommen en de stabiliteitsverbanden worden naar de fundering overgedragen. De kolommen zijn HEA-profielen. De randliggers in de gevel zijn eveneens HEA-profielen. Als dakliggers zijn IPE-profielen toegepast met een maximale overspanning van 10 m.

Er zijn meerdere redenen om portalen toe te passen in plaats van scharnier-

de kolom/liggerverbindingen. Met portalen kunnen kleinere staalprofielen worden gekozen, wat de gebouwhoogte en de materiaalkosten beperkt. Ook kan het zijn, bijvoorbeeld bij een gebouw met veel deur- en raamopeningen, dat het niet mogelijk is om in de kopgevel stabiliteitsverbanden te plaatsen.

Nadat de fundering was gestort, duurde het ongeveer een week om de kolommen, de vakwerkliggers en de dak- en gevelbeplating te monteren. Nadat het gebouw zo wind- en waterdicht was, kon het interieur worden voltooid en de installaties geplaatst.



*(Boven) Driedimensionaal computermodel voor calculaties van de constructie.*



*(Rechts) Staalkelet met tussenvloeren en dakbeplating.*

## 6.5 Distributiecentrum, Waghäusel, Duitsland

*Het derde distributiecentrum van de DM-Drogerie in het zuidwesten van Duitsland heeft een oppervlak van 20.000 m<sup>2</sup>. Het gebouw is opgeleverd in 2004. De prefab bouwmethode met magazijnstellingen was sneller en goedkoper dan traditionele bouwwijzen.*

### Voordelen

- Hoge dichtheid voor maximale opslagcapaciteit.
- Gebruik gebouw niet beïnvloed door constructie.
- Goedkoopste bouwmethode voor hoogbouwmagazijn.
- Korte bouwtijd.
- Snelle return of investment.



DM-Drogerie is Europese marktleider in de drogisterijenbranche. De keten heeft circa 1500 vestigingen en ongeveer 20.000 medewerkers in dienst. De omzet is bijna 3 miljard Euro en het assortiment beslaat circa 12.000 producten. In 2003 besloot het bedrijf een derde distributiecentrum te bouwen in Waghäusel in het zuidwesten van Duitsland tussen Karlsruhe en Mannheim.

Het gebouw is onderverdeeld in vier bouwdelen. De ruimtes voor in- en uitgaande goederen, de installatieruimtes en de kantoren, vergaderruimtes en de kantine hebben een betonconstructie. Het grootste deel, de opslagruimte, heeft een staalconstructie. Dit magazijn is 90 m lang, 125 m breed en 20 m hoog en heeft een oppervlakte van 24.024 m<sup>2</sup>.

De magazijnstellingen in de opslagruimte vormen de primaire draagconstructie van de hal. Ze ondersteunen ook het dak

en de wanden. De stellingen staan op de betonnen fundering. Tegelijk met de montage van de magazijnstellingen zijn de dak- en gevelbekleding gemonteerd. Vergeleken met een traditionele staalconstructie waarbinnen nog aparte stellingen moeten worden gebouwd, is de bouwsnelheid groter en zijn de kosten eerder terug te verdienen. Omdat de magazijnstellingen de primaire draagconstructie vormen, moest bij het ontwerp rekening worden gehouden met de het gewicht van de dak- en wandbeplating en de wind- en sneeuwbelastingen.

**Projectpartners**

- Opdrachtgever:  
**DM-Drogerie markt GmbH & Co. KG.**
- Architect:  
**BFK + Partner Freie Architekten BDA, Stuttgart.**
- Hoofdaannemer:  
**Swisslog AG, Buchs, Zwitserland.**
- Staalconstructie:  
**Nedcon Magazijninrichtingen B.V., Doetinchem, Nederland.**
- Brandveiligheidsadvies:  
**Brandschutz Hoffmann, Worms.**
- Bouwkundige installaties:  
**Axima GmbH, Karlsruhe.**

**Projectgegevens**

Bouwperiode: **2003-2004**  
 Locatie: **70.000 m<sup>2</sup>**  
 Magazijn (inh.): **200.000 m<sup>3</sup>**  
 Overslaghal: **4.500 m<sup>2</sup>**

**Constructiedetails**

De stalen magazijnstelling van het distributiecentrum staat op een betonnen vloer.

De gevelbekleding bestaat uit stalen geïsoleerde cassettes die zijn bevestigd aan de kolommen. De magazijnstellingen hebben een beukmaat van 3,14 m. Daarom is voor de dakliggers dezelfde overspanning aangehouden. Het gebouw heeft een groen dak dat is opgebouwd uit een geprofileerde plaat, 100 mm isolatie, een folie en een laag aarde.

Er zijn vijf trappenhuizen die allemaal in beton zijn uitgevoerd. De wanden van de trappenhuizen hebben een brandwerendheid van 90 minuten. Aan de achterzijde leiden galerijen naar de trappenhuizen, zodat bij brand de hal snel is te ontruimen.

**Brandbescherming**

Tussen de opslaghal, de overslaghal en de installatieruimtes staan brandwanden. De brandwanden steken 0,5 m boven het dak uit. Tussen de opslaghal en de overslaghal is een strook in het dak gemaakt van beton. Dit element is explosiebestendig en garandeert dat de brand niet overslaat van de ene naar de andere ruimte.

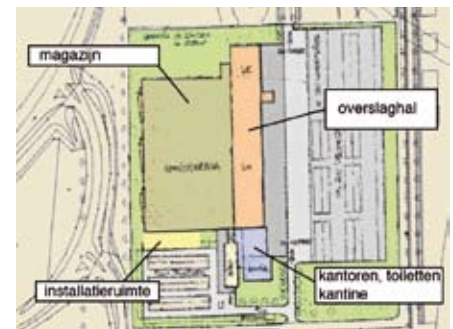
De opslaghal en de overslaghal zijn beiden uitgerust met een sprinklersysteem. Tussen de magazijnstellingen zijn extra sprinklers aangebracht. Bovendien is een automatisch brandalarm geïnstalleerd.



*Interieur opslaghal.*



*Doorsnede.*



*Plattegrond.*

**ArcelorMittal**

Long Carbon, Research and Development,  
66, rue de Luxembourg, L - 4009 Esch/Alzette, Luxembourg  
[www.arcelormittal.com](http://www.arcelormittal.com)

**Bouwen met Staal**

Boerhaavelaan 40, NL - 2713 HX Zoetermeer,  
Postbus 190, NL - 2700 AD Zoetermeer, The Netherlands  
[www.bouwenmetstaal.nl](http://www.bouwenmetstaal.nl)

**Centre Technique Industriel de la Construction Métallique (CTICM)**

Espace Technologique, L'orme Des Merisiers - Immeuble Apollo  
F - 91193 Saint-Aubin, France  
[www.cticm.com](http://www.cticm.com)

**Forschungsvereinigung Stahlanwendung (FOSTA)**

Sohnstraße 65, D - 40237 Düsseldorf,  
Germany  
[www.stahlforschung.de](http://www.stahlforschung.de)

**Labein - Tecnalia**

C/Geldo – Parque Tecnológico de Bizkaia – Edificio 700,  
48160 Derio, Bizkaia, Spain  
[www.labein.es](http://www.labein.es)

**SBI**

Vasagatan 52, SE - 111 20 Stockholm,  
Sweden  
[www.sbi.se](http://www.sbi.se)

**The Steel Construction Institute (SCI)**

Silwood Park, Ascot, Berkshire,  
SL5 7QN, United Kingdom  
[www.steel-sci.org](http://www.steel-sci.org)

**Technische Universität Dortmund**

Fakultät Bauwesen - Lehrstuhl für Stahlbau  
August-Schmidt-Strasse 6, D - 44227 Dortmund, Germany  
[www.uni-dortmund.de](http://www.uni-dortmund.de)