

Kenmerken en constructiesystemen van stalen hallen en het ontwerp van een éénbeukige geschoorde hal volgens Eurocode 3

Hallen

M.A. Barendsz

C.H. van Eldik

A.F. Hamerlinck

J.P. den Hollander

M.B.J. van Odenhoven

J.A.M. Roosendaal

H.H. Snijder

Colofon

tekst	M.A. Barendsz (paragraaf 1.1-1.4) ir. C.H. van Eldik (hoofdstuk 2) dr.ir. A.F. Hamerlinck (hoofdstuk 5) ir. J.P. den Hollander (paragraaf 1.5-1.6 en hoofdstuk 4) M.B.J. van Odenhoven (hoofdstuk 7) ing. J.A.M. Roosendaal (hoofdstuk 6) prof.ir. H.H. Snijder (hoofdstuk 3 en 4)
eindredactie	ir. C.H. van Eldik / Bouwen met Staal
vormgeving	Karel Ley / Fig.84-Reclamestudio
uitgave	Bouwen met Staal
ISBN	978-90-72830-99-9

Deze publicatie is tot stand gekomen met financiële ondersteuning van ASK Romein. Inhoudelijke adviezen zijn gegeven door het Marktteam Hallenbouw van Bouwen met Staal én door ASK Romein.



Bouwen met Staal
www.bouwenmetstaal.nl

©Bouwen met Staal 2019

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 op enige andere manier – zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

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

Illustratieverantwoording

Alle niet-genoemde foto's en alle tekeningen komen uit het archief van Bouwen met Staal. Van sommige niet-genoemde afbeeldingen is de rechthebbende onbekend. B = boven; M = midden; O = onder; R = rechts

Abus Kraansystemen 6.4-6.6B
Aerophoto-Schiphol / Marco van Middelkoop 3.1, 4.1, 4.26
Aeroview 4.23
AJ Buildings Library 4.30
ArcelorMittal 4.12
ASK Romein cover, p. 1-1, 1.1O, 1.14, 1.17, 1.52, 1.60, 1.61, 1.62, 2.5, p. 4-1, 4.16
Vincent Basler 1.87
Bentham Crouwel Architects 4.34M
BKRS Crane Systems p. 6-1
Jacomien Boonstra Fotografie 1.1LMO, 1.74
Constructiebedrijf H. ten Brinke 3.25
F. de la Cousine 1.15
Constructiewerkhuizen Deman 6.1, 6.9, 6.10
Donati 6.2
C.H. van Eldik 2.1O
Ros Elliot 4.34OR
Fotografie Menno Emmink 1.1B
Angelo Gilardelli 3.27
Hardeman | Van Harten Dak- en wandbeplating 1.12
Van der Heijden bouw en ontwikkeling p. 5-1
Fotostudio Louk Heimans 4.48
Thea van den Heuvel Fotografie 2.1LMB, 4.38L
imgur.com 1.5O
Invest in Holland 1.79
Geert de Jong / CheeseWorks 7.4
Pieter Kers 4.38R
Fas Keuzenkamp 1.55, 2.28, 4.4, p. 7-1
Georges de Kinder 4.34B
Paul Kipping 1.18
Jef Klaassens 1.13
Konecranes 6.6O
Christian van der Kooy 1.10
Kwint 6.3
Rinus Lasschuyt 1.1RMB
Leys Pools and Leisure Centre 4.11
Jannes Linders 1.40
Lindman Photography 1.56
Van Lith Licht & Lucht 1.23
LW Cleaning 2.6
Ellen Macarthur Foundation 1.81
Mark LS 1.47
Fotografie Paul Martens 5.1
Paul McCredie / ArchDaily 4.22
Simon Menges 4.24
Niste Montage 4.13
Ooms Makelaars Bedrijfshuisvesting 1.21
PhotoPress Images / Pedro Sluiter 1.9
Plaka Nederland 1.49
D. Poklekowski 4.55
QA Photos / Jim Byrne 4.54
Jilmer Postma Media / Bouwgroep Noord 7.1
Remco Ruimtebouw 4.7, 4.35
Christian Richters 4.45
RMN-Grand Palais (Musée d'Orsay) / Hervé Lewandowski 1.2
Tom de Rooij Fotografie 4.25
J.A.M. Roosendaal 6.11-6.13, 6.29, 6.32-6.35
SAB-profiel 1.25, 2.1MOL, 2.1MBR, 2.10, 2.11, 2.14, 2.16, 2.24, 2.25
Linda van der Sanden Architectenbureau 1.48
Aannemersbedrijf H. Schouten 2.9

Slangen+Koenis Architecten 1.19	J. en F. Versnel 4.37
Lourens Smak / Alamy Stock Photo 1.54	Vetrotech Saint-Gobin Benelux 5.3
H.H. Snijder 4.47	Tony Vingerhoets 4.51
Spaansen 1.16	Vissers & Partners 1.26
Staalmeesters 3.26, 4.9	Bouwbedrijf Vrolijk p. 3-1
Stijnstijl Fotografie p. 2-1	want.nl 1.80
Tata Steel 2.35	David Wakely 4.15
Ronald Tilleman 1.1RMO	DTZ Zadelhoff 1.4
Cojan van Toor 1.22	Zonnegilde 1.28
Klaas Vermaas 2.1MRO, 4.53	

Hallen is het achtste boek in een nieuwe serie studieboeken die geheel aansluit op de Eurocodes. Eerder zijn verschenen, zie hiernaast:

- J.W.B. Stark en R.J. Stark, *Staal-beton. Toepassing en berekening van staal-beton constructies voor gebouwen volgens Eurocode 4 bij normale temperatuur en brand*, Zoetermeer 2009.
- A.F. Hamerlinck, *Brand. Brandveiligheid en berekening van de brandwerendheid van staal-constructies voor gebouwen volgens Eurocode 3*, Zoetermeer 2010, 148 p.
- H.H. Snijder en H.M.G.M. Steenbergen, *Krachtswerking. Grondslagen voor het berekenen en toetsen van staalconstructies voor gebouwen volgens Eurocode 0, 1 en 3*, Zoetermeer 2011, 284 p.
- J.W.B. Stark, *Verbinden. Kenmerken van verbindingen in staalconstructies en het berekenen van mechanische verbindingmiddelen en lassen volgens Eurocode 3*, Zoetermeer 2012, 208 p.
- C.H. van Eldik en B. Potjes (samenst.), *Staalprofielen. Technische gegevens, weerstanden en brandwerendheid volgens Eurocode 3 van de meest gangbare profielen*, Zoetermeer 2012 (2e druk), 238 p.
- B. Potjes, H.H. Snijder en H.M.G.M. Steenbergen, *GTS 2013. Grafieken en tabellen voor staal en staalconstructies voor gebouwen gebaseerd op Eurocode 0, 1 en 3*, Zoetermeer 2013, 176 p.
- J.W.B. Stark en J. Wardenier, *Knopen. Berekenen van geboute en gelaste verbindingen in raamwerken en in buisconstructies volgens Eurocode 3*, Zoetermeer 2014, 252 p.

Errata en aanvullingen op deze boeken zijn gratis te downloaden via www.bouwenmetstaal.nl onder 'publicaties' en 'correcties (errata)' .

Brandveiligheid en berekening van de brandwerendheid van staalconstructies voor gebouwen volgens Eurocode 3

Brand

A.F. Hamerlinck



Toepassing en berekening van staal-beton constructies voor gebouwen volgens Eurocode 4 bij normale temperatuur en brand

Staal-beton

J.W.B. Stark
R.J. Stark



Kenmerken van verbindingen in staalconstructies en het berekenen van mechanische verbindingmiddelen en lassen volgens Eurocode 3

Verbinden

J.W.B. Stark



Grondslagen voor het berekenen en toetsen van staalconstructies voor gebouwen volgens Eurocode 0, 1 en 3

H.H. Snijder
H.M.G.M. Steenbergen

Krachtenwerking



Technische gegevens, weerstanden en brandwerendheid volgens Eurocode 3 van de meest gangbare profielen

Staalprofielen



Berekenen van geboupte en gelaste verbindingen in raamwerken en in buisconstructies volgens Eurocode 3

J.W.B. Stark
J. Wardenier

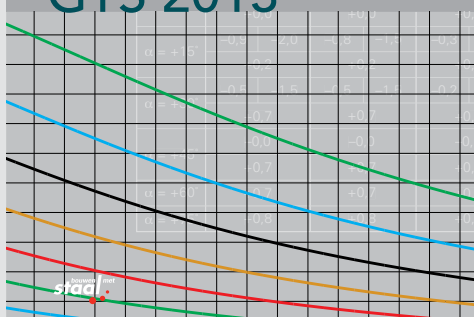
Knopen



Grafieken en tabellen voor staal en staalconstructies voor gebouwen gebaseerd op Eurocode 0, 1 en 3

GTS 2013

B. Peijes
H.H. Snijder
H.M.G.M. Steenbergen



Inhoud

1	Bouwopgave	1-2
1.1	Kenmerken van hallen	1-4
1.1.1	Verschijningsvormen	1-5
1.1.2	Dakvorm en gebouwschil	1-7
1.1.3	Staalconstructie	1-8
1.2	Typologieën van hallen	1-10
1.2.1	Gebruiksfuncties volgens Bouwbesluit	1-10
1.2.2	Gebouwsorten volgens CBS	1-15
1.3	Opdrachtgevers en contractvorming	1-16
1.3.1	Opdrachtgevers	1-16
1.3.2	Contractvormen	1-19
1.4	Bedrijfsactiviteiten en programma van eisen	1-22
1.4.1	Programma van eisen	1-23
1.4.2	Bedrijfsactiviteiten	1-26
1.5	Ontwerp- en bouwproces	1-30
1.5.1	Ontwerp- en bouwfasen	1-30
1.5.2	Projectpartners	1-33
1.6	Kosten	1-37
1.6.1	Staalgebruik in de constructie	1-38
1.6.2	Kostenkengetallen	1-39
1.6.3	Invloed geometrie op kosten	1-40
1.6.4	Voorkeursprofielen	1-42
1.7	Duurzaamheid	1-44
1.7.1	LCA-methodiek	1-45
1.7.2	Energieverbruik van een hal	1-49
1.7.3	BREEAM-NL voor industriegebouwen	1-50
1.7.4	Circulaire economie en industriegebouwen	1-52
1.7.5	Ontwerpen van een duurzame hal	1-54
1.8	Literatuur	1-59
2	Gevel en dak	2-2
2.1	Algemene aspecten	2-4
2.2	Opbouwsystemen (voor gevels)	2-7
2.2.1	Kenmerken	2-7
2.2.2	Ontwerpen en detailleren	2-9





2.3	Sandwichpanelen (voor gevels en daken)	2-11
2.3.1	Kenmerken	2-12
2.3.2	Ontwerpen en detailleren	2-14
2.4	Warmdak (voor platte daken)	2-17
2.4.1	Kenmerken	2-18
2.4.2	Ontwerpen en detailleren	2-18
2.5	Wateraccumulatie (bij platte daken)	2-20
2.6	Bouwfysica	2-22
2.6.1	Warmte	2-22
2.6.2	Vocht en lucht	2-24
2.6.3	Geluid	2-24
2.7	Literatuur	2-26



3	Stabiliteit van hallen	3-2
3.1	Overdracht van horizontale belastingen	3-5
3.1.1	Geschoorde constructies	3-5
3.1.2	Ongeschoorde constructies	3-12
3.2	Overdracht van verticale belastingen	3-14
3.3	Weerstand, stijfheid en stabiliteit	3-15
3.3.1	Knik	3-15
3.3.2	Oriëntatie van kolommen	3-17
3.3.3	Kip	3-18
3.3.4	Combinatie van dragende functies	3-19
3.3.5	Aanpendelende belasting	3-20
3.4	Literatuur	3-20



4	Constructiesystemen voor hallen	4-2
4.1	Kolom/ligger-systemen	4-3
4.1.1	Gewalste liggers	4-4
4.1.2	Plaatliggers	4-5
4.1.3	Geprofileerde-lijfplaatliggers	4-6
4.1.4	Liggers met lijfopeningen	4-7
4.1.5	Onderspannen liggers	4-8
4.1.6	Vakwerkliggers	4-10
4.1.7	Ruimtelijke vakwerkliggers	4-12
4.1.8	Vierendeelligers	4-13
4.1.9	Getuide liggers	4-14



4.2	Portalen	4-16
4.2.1	Portaalliggers	4-18
4.3.2	Portaalkolommen	4-19
4.3	Bogen	4-21
4.4	Ruimtelijke constructies	4-23
4.4.1	Vlakke constructies	4-23
4.4.2	Gebogen constructies	4-25
4.5	Hang- en kabelconstructies	4-26
4.6	Literatuur	4-27

5 Brandveiligheid **5-2**

5.1 Begrippen en definities **5-3**

5.2 Brandveiligheidseisen **5-6**

5.2.1 Ontvluchting 5-6

5.2.2 'Hoofd'draagconstructie 5-8

5.2.3 Compartimentering 5-10

5.2.4 Brandoverslag 5-10

5.3 Gelijkwaardige oplossingen bij grote hallen **5-14**

5.3.1 Grote brandcompartimenten met NEN 6060 5-14

5.3.2 Grote brandcompartimenten met NEN 6079 5-19

5.3.3 Lange vluchtafstanden met NEN 6060 5-21

5.4 Staalconstructie zonder brandwerende bekleding **5-25**

5.4.1 Constructiegedrag bij brand 5-26

5.4.2 Staalconstructie bij de brandwand 5-30

5.4.3 Staalconstructie bij de gevel 5-32

5.5 Sprinklers en rook- en warmteafvoer **5-33**

5.5.1 Sprinkler 5-33

5.5.2 Rook- en warmteafvoerinstallatie 5-34

5.6 Gevels en daken **5-35**

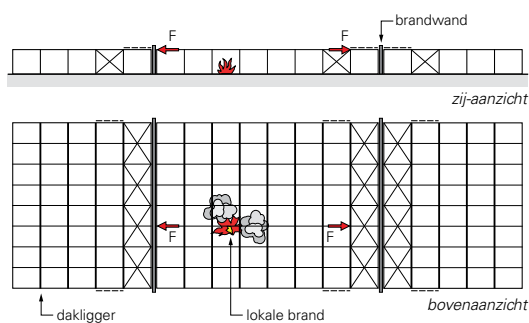
5.6.1 Brand- en rookgedrag 5-35

5.6.2 Brandwerendheid 5-36

5.6.3 Aansluiting brandwand met dak 5-38

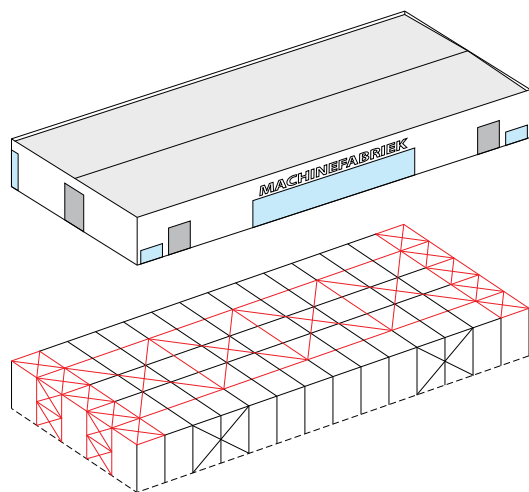
5.6.4 Aansluiting brandwand met gevel 5-41

5.6 Literatuur **5-42**





6	Kraanbanen	6-2
6.1	Bovenloopkranen	6-4
6.1.1	Kraanrail en wielgeleiding	6-5
6.2	Kraanbelastingen	6-6
6.2.1	Dynamische factoren	6-7
6.2.2	Verticale belastingen	6-8
6.2.3	Horizontale belastingen	6-10
6.2.4	Combinatie van belastingen	6-21
6.3	Vermoeiing	6-22
6.3.1	Vermoeiingsbelasting	6-22
6.3.2	Toetsen op vermoeiing	6-25
6.4	Ontwerpaspecten	6-26
6.4.1	Detailering kraanbaanligger	6-27
6.4.2	Berekening kraanbaanligger	6-28
6.4.3	Stijfheid kraanbaanconstructie	6-31
6.4.4	Lasberekening blok rail	6-32
6.5	Literatuur	6-35



7	Constructief ontwerp geschoorde hal	7-2
7.1	Uitgangspunten voor het ontwerp	7-4
7.2	Belastingen	7-8
7.3	Stabiliteit	7-12
7.4	Staalconstructie	7-14
7.4.1	Afdracht van verticale belastingen	7-14
7.4.2	Afdracht van horizontale belastingen	7-16
7.5	Windverbanden	7-20
7.5.1	Windligger in dwarsrichting (dwarswindverband)	7-21
7.5.2	Windligger in langsrichting (langswindverband)	7-22
7.5.3	Randstaaf van de langsgevel op as A en F	7-33
7.5.4	Windbokken	7-35
7.6	Dakliggers	7-38
7.6.1	Hoofdliggers	7-38
7.6.2	Randliggers van de kopgevels	7-43
7.7	Kolommen	7-46
7.8	Voorlopige funderingsbelastingen en kolomankers	7-51
7.9	Van ontwerpfase naar bestek	7-52
7.10	Literatuur	7-56



Bouwopgave

Hallen vormen – naast woningen en kantoren – het meest voorkomende gebouwtype in Nederland. Er bestaan echter vele soorten hallen, zowel wat betreft de uiterlijke verschijningsvorm (zoals gebouwworm, materiaal en kleurgebruik van dak en gevel) als de activiteiten of (bedrijfs)processen die erin plaatsvinden. Afbeelding 1.1 toont de grote verscheidenheid aan hallen met een staalconstructie in Nederland.

Bij industriële en agrarische hallen is vaak sprake van incidentele opdrachtgevers die zelf de toekomstige gebruikers zijn. Maar bij stationshallen en theaters bijvoorbeeld zijn meestal professionele projectontwikkelaars betrokken die het opdrachtgeven tot hoofdtak hebben.

Industriële hallen zijn doorgaans bij uitstek gebouwen waar de functionaliteit voorop staat. Bij het opstellen van het programma van eisen en bij het architectonisch ontwerp is er dan ook veel aandacht voor de bedrijfsprocessen en de logistiek. In de traditionele contractvorm komt het staalconstructiebedrijf pas laat in beeld. Steeds vaker echter levert de staalbouwer meer dan uitsluitend de staalconstructie en wordt gewerkt met geïntegreerde aannemingscontracten, zoals turnkey contracting en design & build.

Vanwege de nadruk op functionaliteit is bij industriële hallen het budget voor esthetica (denk aan vormgeving en gevelkeuze) vaak beperkt. In het ontwerp van een hal gaat duurzaamheid een steeds een grotere rol spelen, denk aan hogere isolatie-eisen en de toenemende belangstelling voor circulair bouwen.

Dit hoofdstuk behandelt de algemene (niet-constructieve) aspecten die te maken hebben met het ontwerp van een (stalen) hal. De nadruk ligt vooral op (industriële) hallen met een plat dak.

Aan de orde komen:

- algemene kenmerken;
- typologie en gebruiksfuncties;
- opdrachtgevers;
- bedrijfsactiviteiten en programma van eisen;
- bouwproces;
- bouwkosten;
- duurzaamheid.



bedrijfsgebouw

1.1 Grote verscheidenheid van hallen met een staalconstructie.



overslagterminal



skihal



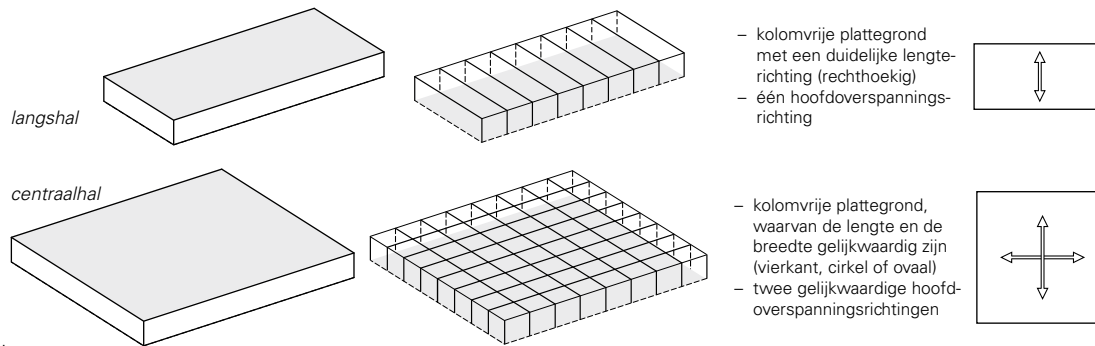
tropische kas



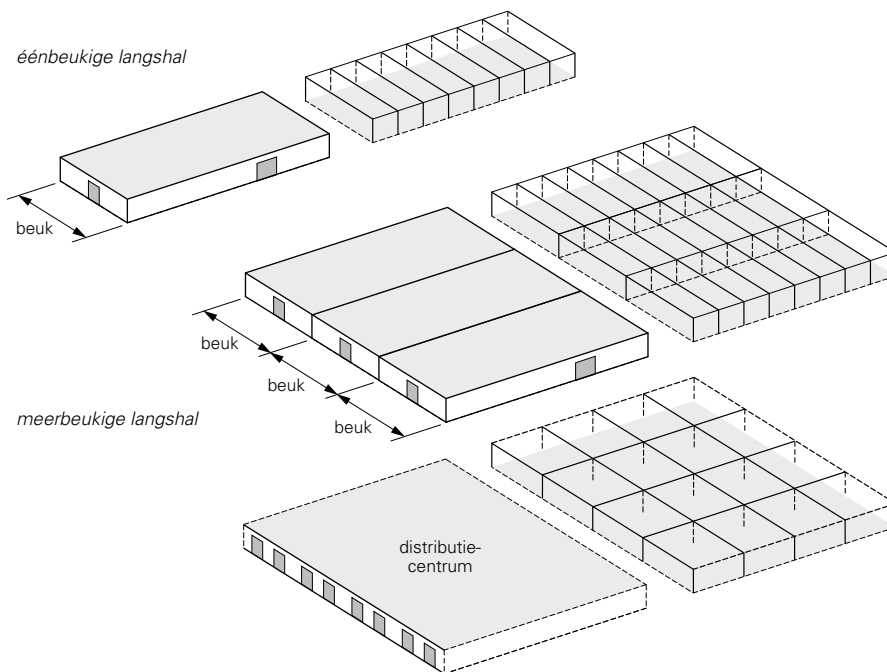
museum



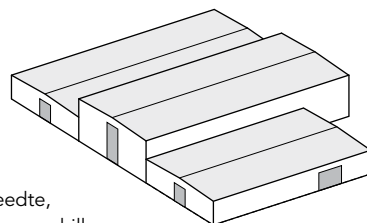
distributiecentrum



1.6 Langshal en centraalhal.



1.7 Eénbeukige en meerbeukige langshal.



1.8 Samengestelde langshal waarvan de breedte, de lengte en/of de hoogte van elke beuk kan verschillen.

Op basis van de vorm van de constructieve plattegrond kunnen hallen worden ingedeeld in twee hoofdtypen: langshallen en centraalhallen (afb. 1.6).

- Bij een *langshal* – verreweg het meest voorkomende type – is de lengte veel groter dan de breedte en is er sprake van één hoofdoverspanningsrichting. Er ontstaat zo een kolomvrije ruimte met een rechthoekige plattegrond, waarvan de breedtemaat ook wel beuk wordt genoemd. Een hal die uit slechts één beuk bestaat heet een eenvoudige (of éénbeukige) langshal. Bij twee of meer aaneengesloten beuken is er sprake van een meervoudige (of meerbeukige) langshal (afb. 1.7). In beide situaties zijn de kolomafstanden in dwarsrichting beduidend groter dan die in langsrichting. Wanneer in een hal met inpandige kolommen de kolomafstanden in beide richtingen ongeveer gelijk zijn, ontstaat een kolomstramien dat in twee richtingen gelijkwaardig. Distributiecentra en megastores bijvoorbeeld hebben doorgaans een dergelijke constructieve opbouw.

Bij meervoudige langshallen hoeven de afzonderlijke beuken niet altijd een gelijke vorm te hebben. Hoogte, lengte en zelfs de breedte kunnen per beuk verschillen: in dat geval is er sprake van een samengestelde langshal (afb. 1.8).



1.9 Uitbreiding museum De Fundatie in Zwolle met een centraalhal op het bestaande gebouw (ovale plattegrond met radiale, gebogen spanten).

- Bij een *centraalhal* is de plattegrond ten opzichte van twee onderling loodrechte assen gelijk (vierkant, rond of een regelmatige veelhoek) of vrijwel gelijk. Er is dan vaak sprake van twee hoofdoverspanningsrichtingen. Ook de dakconstructie is dan meestal geheel of gedeeltelijk symmetrisch ten opzichte van de plattegrondsassen. Afbeelding 1.9 toont een centraalhal met een ovale plattegrond en radiale spanten en afbeelding 1.10 een centraalhal met een (nagenoeg) vierkante plattegrond met een balkrooster.

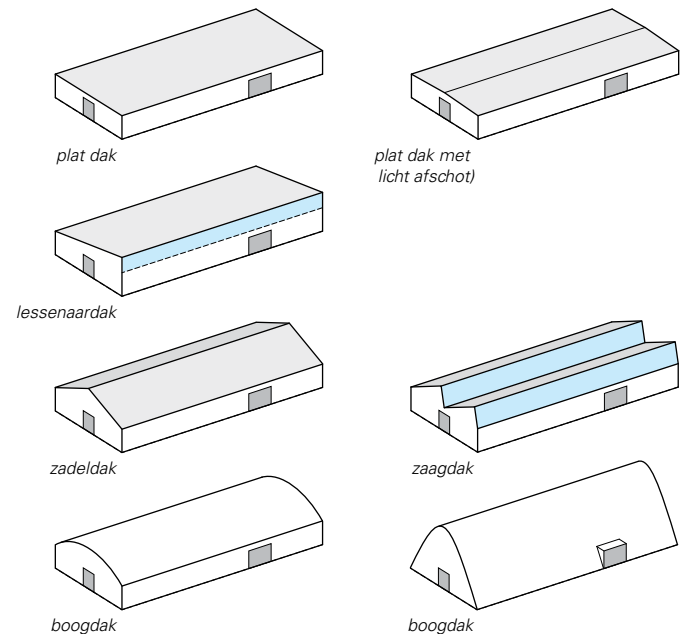
1.1.2 Dakvorm en gebouwschil

Afhankelijk van de functie (gebruik) van de hal volgt uit het programma van eisen het stramien en het profiel van vrije ruimte. De vorm het dak en de maximale vrije overspanning zijn dan bekend.

Afbeelding 1.11 toont de meest voorkomende dakvormen voor langshallen. In veel gemeenten schrijft echter het bestemmings- of welstandsplan een bepaalde dakvorm voor en/of wordt er een maximale dakhoogte (dakrand) gegeven. Voor de agrarische bouw heeft dan doorgaans een hellend dak (meestal een zadeldak) de voorkeur (afb. 1.12) en bij een industriële hal op een industrieterrein meestal een plat dak. Een plat dak is wat economischer voor wat betreft het materiaalgebruik voor de dakconstructie dan een hellend of een gebogen dak. Daarnaast is de nuttige gebouwinhoud bij een plat dak doorgaans ook wat gunstiger, omdat er geen 'moeilijk' te gebruiken ruimte onder de nok of in de boog is. Nadeel van platte daken is de gevoeligheid voor wateraccumulatie, zie hiervoor *Hallen 2* (Gevel en dak).



1.10 Erasmus paviljoen in Rotterdam met een centraalhal (vierkante plattegrond met een balkrooster).



1.11 De meest voorkomende dakvormen voor een langshal.

1.12 Loodsen (samengestelde langshal) voor bloembollenkwekerij Van Klink-Belkmeer in 't Zand. Agrarische gebouwen hebben meestal een zadeldak.



Management (12%)		Water (6%)	
3	MAN 1 prestatieborging	3	WAT 1 waterverbuik
2	MAN 2 bouwplaats en omgeving	1	WAT 2 watermeter
4	MAN 3 milieu-impact bouwplaats	1	WAT 3 lekdetectie hoofdwatersaansluiting
1	MAN 4 gebruikershandleiding	1	WAT 4 zelfsluitende watertoevoer sanitair
1	MAN 6 consultatie	1	WAT 5 recycling van water
1	MAN 8 veiligheid	1	WAT 6 irrigatiesysteem
1	MAN 9 kennisoverdracht	2	WAT 7 voertuigwasservice
1	MAN 11 onderhoudsgemak		
2	MAN 12 levenscycluskostenanalyse	Materialen (12,5%)	
Gezondheid (15%)		8	MAT 1 bouwmaterialen
1	HEA 1 daglichttoetreding	4	MAT 5 onderbouwde herkomst van materialen
1	HEA 2 uitzicht	1	MAT 7 robuust ontwerpen
1	HEA 3 tegengaan lichthinder	2	MAT 8 gebouwflexibiliteit
1	HEA 4 hoogfrequente verlichting	Afval (7,5%)	
1	HEA 5 kunstverlichting binnen en buiten	3	WST 1 afvalmanagement op de bouwplaats
1	HEA 6 lichtregeling	1	WST 2 gebruik van secundair materiaal
1	HEA 7 spuiventilatie	1	WST 3 opslagruimte voor hergebruikt afval
2	HEA 8 interne luchtkwaliteit	1	WST 5 compost
1	HEA 9 vluchtige organische verbindingen	1	WST 6 inrichting
2	HEA 10 thermisch comfort	Landgebruik en ecologie (12%)	
1	HEA 11 temperatuurregeling	3	LE 1 hergebruik van land
1	HEA 13 akoestiek	1	LE 2 verontreinigde bodem
1	HEA 14 privé-buitenruimte	1	LE 3 aanwezige planten en dieren op locatie
2	HEA 15 toegankelijkheid	1	LE 4 planten en dieren als medegebruiker van het plangebied
Energie (19%)		1	LE 6 duurzaam medegebruik van planten en dieren op de lange termijn
15	ENE 1 CO ₂ -emissiereductie	1	LE 9 efficiënt grondgebruik
2	ENE 2 subbemetering energieverbruiken	Vervuiling (10%)	
1	ENE 4 energiezuinige buitenverlichting	1	POL 1 GWP van koudemiddelen voor klimatisering
3	ENE 5 toepassing van hernieuwbare energie	2	POL 2 voorkomen van lekkages van koudemiddelen
1	ENE 6 minimalisatie lichtinfiltratie laad-/losplatforms	1	POL 3 GWP van koudemiddelen voor warenkoeling
1	ENE 7 energiezuinige koel- en vriesopslag	3	POL 4 ruimteverwarmingsgerelateerde NOx-emissie
2	ENE 8 energiezuinige liften	3	POL 6 afstromend regenwater
1	ENE 9 energiezuinige roltrappen en rolpaden	1	POL 7 minimalisering lichtvervuiling
2	ENE 26 waarborging thermische kwaliteit gebouwschil	1	POL 8 geluidsoverlast
Transport (8%)		rood: niet van toepassing op industriefunctie	
2	TRA 1 aanbod van ov (kantoren, scholen, industrie)	blauw: toegelicht in de tekst	
1	TRA 2 afstand tot basisvoorzieningen		
2	TRA 3 alternatief vervoer		
2	TRA 4 voetgangers- en fietsersveiligheid		
3	TRA 5 vervoersplan en parkeerbeleid		
1	TRA 7 vervoersinformatiepunt		
1	TRA 8 toelevering en manoeuvreren		

1.78 De negen milieu-indicatoren (met onderverdeling) in BREEAM-NL.

1.7.3 BREEAM-NL voor industriegebouwen

BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) is een van oorsprong Brits duurzaamheidslabel. In Nederland heeft de Dutch Green Building Council dit label omarmt en als basis genomen voor een Nederlandse versie BREEAM-NL voor woningen, scholen, kantoren en industriegebouwen, zie [3]. Sinds 2009 is zo'n 7,5 miljoen vierkante meter aan projecten gecertificeerd, waarvan ruim 3 miljoen vierkante meter industriegebouwen. BREEAM-NL is opgezet rondom negen hoofdcategorieën (tabel 1.78) met elk een eigen weging:

MAN	management	12%
HEA	gezondheid	15%
ENE	energie	19%
TRA	transport	8%
WAT	water	6%
MAT	materialen	12,5%
WST	afval	7,5%
LE	landgebruik en ecologie	10%
POL	vervuiling	10%

Elke hoofdcategorie is vervolgens onderverdeeld in meerdere onderwerpen die credits worden genoemd. Op elke credit kunnen punten worden gescoord die opgeteld leiden tot een score per hoofdcategorie. Per hoofdcategorie kan een maximum aantal punten worden behaald. Is bijvoorbeeld op de categorie 'materialen' 50% van de maximaal te halen punten gescoord dan bedraagt de eindscore op materialen: $50\% \times 12,5\% = 6,25\%$. In de categorie 'materialen' weegt de credit MAT1 (bouwmaterialen) zwaar mee. Deze credit heeft tot doel het stimuleren van het gebruik van materialen met een lage milieu-impact gedurende de gehele levenscyclus, gebaseerd op de LCA-methodiek. De opgetelde eindscores van alle categorieën leveren de uiteindelijke BREEAM-NL score. De Nederlandse overheid stelt echter voor industriehallen een BREEAM-berekening niet verplicht.

BREEAM-NL is geschikt om industriegebouwen met uiteenlopende gebruiksfuncties te certificeren, zoals: werk-

plaats, magazijn, fabriek (lichte industrie), (gekoelde) opslag en datacenter. Een voorbeeld hiervan is de Tesla-assemblagefabriek (New Logic II) in Tilburg (afb. 1.79). De nieuwbouw bestaat uit vier geschakelde hallen met een totale bruto-vloeroppervlakte van 49.027 m² met een entresol geschikt voor opslag. Vóór de industriefunctie (assemblage) ligt een kantoorfunctie met een bruto-vloeroppervlakte van 717 m² verdeeld over twee bouwlagen.

In het ontwerp is sterk ingezet op energiebesparing. Zo hebben de sandwichpanelen in de gevels een hoge R_C -waarde van 5 m²K/W in combinatie met een hoge luchtdichtheid, waardoor het kantoorgedeelte niet hoeft te worden afgescheiden van de assemblagehal. De gevels kunnen eenvoudig worden aangepast aan een wijziging in de gebruiksfunctie, waardoor het gebouw een hoge mate van flexibiliteit bezit. De staalconstructie (met in het kantoorgedeelte kanaalplaatvloeren) heeft zo weinig mogelijk kolommen, zodat de ruimten flexibel zijn in te delen (afb. 1.80). Het project ontving het certificaat 'outstanding' wat het hoogst haalbare is voor een BREEAM-NL label met een score van 91,2% over de negen hoofdcategoryën (zie tabel 1.78).

BREEAM-NL gaat echter veel verder dan slechts een beoordeling van de milieubelasting van de bouwkundige materialen en de constructie in het gebouw. Ter illustratie worden hier de credits toegelicht van de stalen onderdelen van de Tesla-assemblagefabriek (New Logic II) die bijdragen aan de totale BREEAM-NL score.

- **HEA10** (thermisch comfort). Op deze credit wordt het maximale aantal van 2 punten gehaald. Dat betekent dat het thermisch comfort van de gevel met stalen sandwichpanelen en het stalen dak uitstekend is. Dit is met een temperatuuroverschrijdingsberekening aangetoond. Verder moet na oplevering een analytische meting worden gedaan en het algemeen thermisch comfort worden geëvalueerd.
- **ENE1** (energie-efficiëntie of relatieve afwijking ten opzichte van de officiële EPC). Het gebouw scoort 11 van de maximaal 15 te halen punten. Dit betekent dat het distributiecentrum een energieprestatieverbetering haalt van meer



1.79 Tesla-assemblagefabriek (NewLogic II) in Tilburg: hallen met een kantoor.



1.80 Tesla-assemblagefabriek (NewLogic II) in Tilburg: de staalconstructie bevat zo min mogelijk kolommen.



2.6 Regelmatig onderhoud verlengt de levensduur van de gevel.

Onderhoud

Het onderhoud van stalen gevel- en daksystemen is van belang om de levensduur te verlengen en om de esthetische kwaliteit (glans en kleur) op peil te houden (afb. 2.6). Onder weersinvloeden komen stof, zand en soms agressieve stoffen op de coating (of de waterdichte laag) terecht. Na verloop van tijd ontstaat hierdoor vuilaanhechting. Op plaatsen waar geen of nauwelijks natuurlijke bewassing plaatsvindt (afspoelen van het oppervlak door regenwater), bestaat een grote kans dat zich daar vuil gaat ophopen. Dit vuil houdt vocht lang vast met corrosieschade als mogelijk gevolg.

Wanneer het (planmatig) onderhoud van gevels en daken tijdig plaatsvindt, zijn eenvoudige en neutrale reinigingsmiddelen voldoende. In het algemeen mag worden gerekend op een periode van tien tot veertig jaar tot groot onderhoud, afhankelijk van het type coating. Periodiek onder-

houd – lees: het jaarlijks één- tot driemaal wassen van de gevel, afhankelijk van de afstand tot de kust – is daarbij aan te bevelen. De fabrikant geeft doorgaans onderhoudsrichtlijnen voor zijn systeem.

Zorg er voor dat regenwater snel kan aflopen, zowel van de gevel als van het dak. Daken met een kleine hellingoek zijn extra gevoelig voor vervuiling: kies dan een coating die hier goed tegen bestand is. Dakhellingen mogen niet kleiner zijn dan 5°, afhankelijk van de detaillering (afdichting); pas bij voorkeur hellingen toe groter of gelijk aan 10°. Ook opspattend water tegen de gevel kan extra vervuiling veroorzaken. Zorg daarom voor extra onderhoud en voorkom het opspatten van hemelwater of gebruik coatings die minder gevoelig zijn voor vuil.

Het vervangen van afzonderlijke sandwichpanelen of buitenbeplating is niet altijd eenvoudig, afhankelijk van de wijze van bevestiging. Meestal is het onvermijdelijk om meerdere panelen of platen te demonteren. Bij vervanging en/of uitbreiding moet echter altijd rekening worden gehouden met kleurverschillen tussen bestaande en nieuwe panelen of platen.

Brandveiligheid

Gevels en daken van hallen moeten voldoen aan bepaalde eisen van brandveiligheid, afhankelijk van onder meer de gebruiksfunctie(s). De eisen die het Bouwbesluit stelt aan gevels en daken (en eventuele brandwanden) hebben betrekking op het voorkomen van brand of een brandgevaarlijke situatie (brandgedrag) én dat een brand zich uitbreidt naar andere gebouwen of brandcompartimenten (scheidende functie). Er worden dan bijvoorbeeld eisen gesteld aan het brand- en rookgedrag van de toegepaste materialen en aan de detaillering. Zie voor meer informatie *Hallen 5* (Brandveiligheid), paragraaf 5.6 (Gevels en daken).

2.2 Opbouwsystemen (voor gevels)

Een opbouwstelsel bestaat uit een stalen binnendoos, een isolatiepakket van minerale wol en een stalen of aluminium buitenbeplating. Gebruikelijk is om de binnendoos horizontaal te monteren op de stalen (tussen)kolommen (afb. 2.7). Daarna wordt de isolatie aangebracht. Tenslotte wordt de buitenbeplating aangebracht: verticaal of horizontaal. Verticale beplating wordt direct bevestigd op de flenzen van de binnendoos. Bij een horizontale buitenbeplating wordt op de (horizontaal gemonteerde) binnendozen eerst verticaal een zogeheten omega-profiel bevestigd, waarop de buitenbeplating dan horizontaal kan worden geschroefd.

De buitenbeplating heeft een grote verscheidenheid aan profielvormen: rond, hoekig, puntig en zelfs vierkante vormen en kan worden afgewerkt met verschillende coating-systemen.

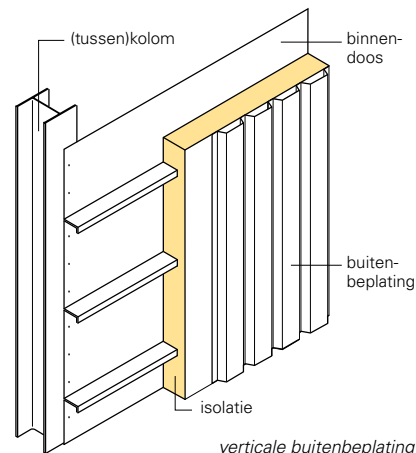
2.2.1 Kenmerken

Opbouwsystemen vinden in de hallenbouw voornamelijk een toepassing in geïsoleerde gevels. Tabel 2.8 bevat de belangrijkste kenmerken van een opbouwstelsel.

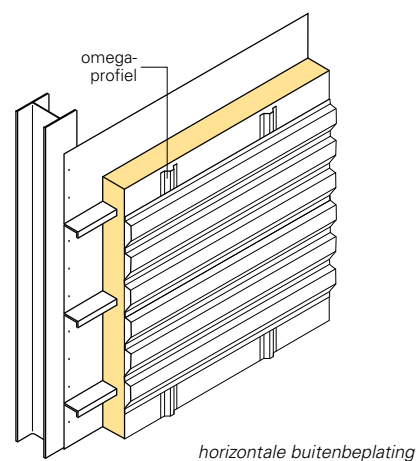
Binnendoos

Een binnendoos is een gezet U-vormig, zelfdragend profiel (of cassette) van verzinkt staal, dat meestal is afgewerkt met dunne coating. Het plaatmateriaal is licht geprofileerd en varieert in dikte van ongeveer 0,75 mm tot 1,50 mm.

De horizontaal gemonteerde binnendoos overspant ongeveer 5-6 m direct van kolom naar kolom (afb. 2.9) en loopt bij voorkeur door over twee of drie velden. Het toepassen van geperforeerde binnendozen verhoogd de geluidabsorptie van de gevel, waardoor de akoestiek van de binnenruimte verbeterd.



verticale buitenbeplating



horizontale buitenbeplating

2.7 Opbouwstelsel met een stalen binnendoos, een isolatiepakket van minerale wol en een stalen buitenbeplating (verticaal of horizontaal gemonteerd).

afmetingen	binnendoos	lengte	≤ 18 m
		breedte	400-600 mm
		hoogte	90-160 mm
	buitenbeplating	lengte	≤ 12 m
breedte		250-1100 mm	
hoogte		18-70 mm	
eigen gewicht compleet systeem			20-50 kg/m ²
geluidisolatie R _a			39-50 dB(A)
warmteweerstand R _c			2,5-5 m ² K/W
brandwerendheid			30-120 minuten

2.8 Algemene kenmerken van opbouwsystemen.



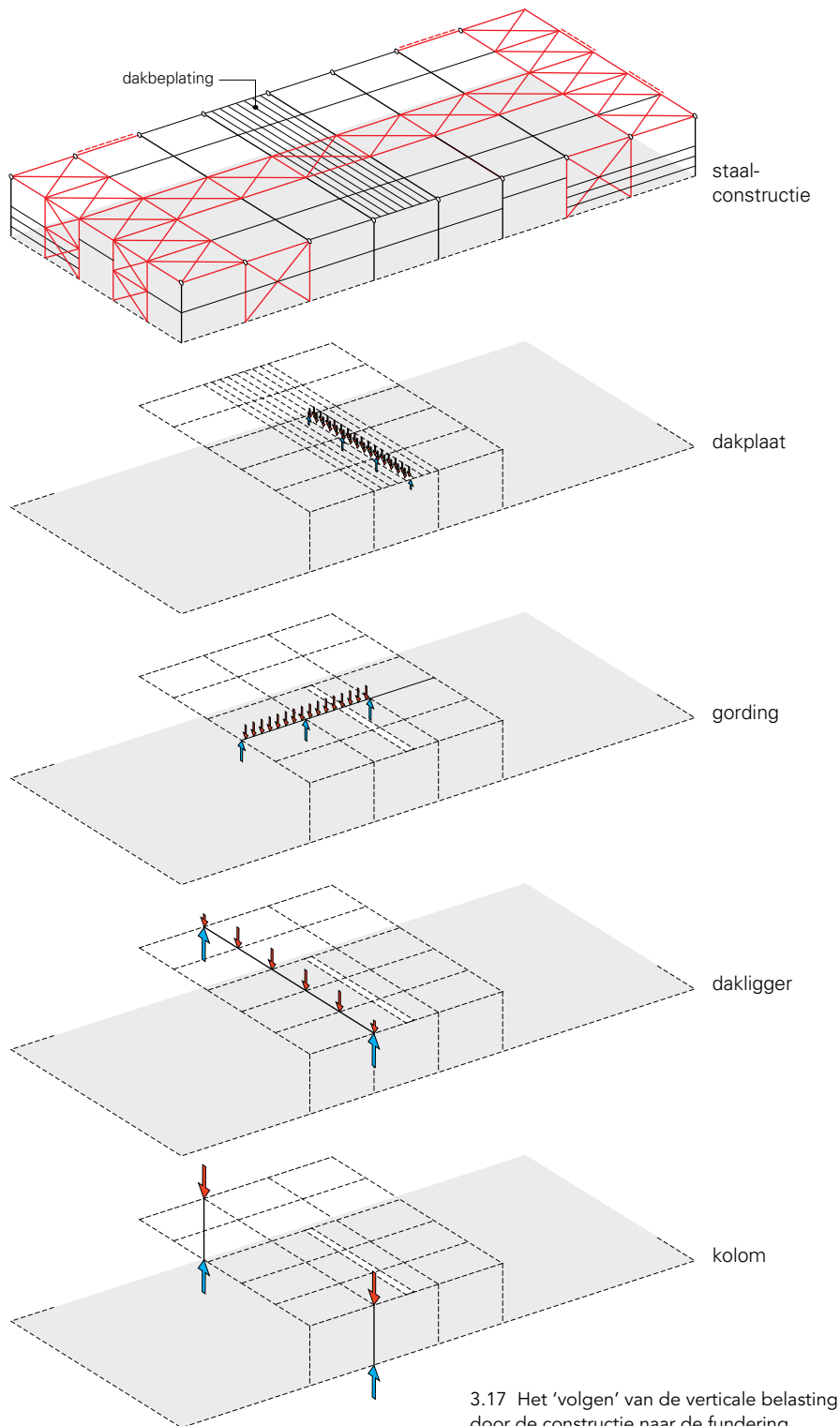
2.9 Binnendozen van een opbouwstelsel worden horizontaal gemonteerd en overspannen van kolom naar kolom.

3.2 Overdracht van verticale belastingen

Door de 'route' van de verticale belasting door de constructie te volgen – vanaf het onderdeel dat het eerst met de belasting in aanraking komt totdat de belasting wordt overgedragen aan de fundering – is systematisch na te gaan hoe de diverse onderdelen van de constructie worden belast. Beschouw bijvoorbeeld de neerwaarts gerichte verticale belasting door sneeuw op het dak van de hal van afbeelding 3.2. De dakplaten worden direct door de sneeuw belast en dragen de belasting af aan de gordingen, die de belasting vervolgens weer afdragen aan de dakliggers. Van de dakliggers gaat de belasting naar de kolommen, die de belasting tenslotte overdragen op de fundering (afb. 3.17).

De verticale belasting op de constructie is in het algemeen neerwaarts gericht. Echter door windzuiging op het dak en overdruk in de hal kunnen ook aanzienlijke opwaartse verticale krachten ontstaan. Deze opwaartse krachten kunnen maatgevend zijn wanneer het eigen gewicht van het dak te gering is, met name voor lichte daksystemen (geen dakisolatie) in windgebied I en II, zie ook Krachtswerking 2 (Belastingen en vervormingen), par. 2.4.3. Vooral een gedeeltelijk open hal met een stalen dak is gevoelig voor een opwaartse belasting, maar ook bij een gesloten hal kan deze belastingssituatie optreden, met name bij hallen met grote (deur) openingen.

Bij een resulterende opwaartse verticale belasting ontstaat druk in de onderrand van de dakligger. Wanneer de dakligger een walsprofiel of een gelaste ligger is, kan de gedrukte onderrand (de flens plus een deel van het lijf) zijdelings uitknikken, waardoor het profiel kipt. Er moet dan op kipstabiliteit worden getoetst, waarbij de gedrukte flens bestaat uit de flens zelf en 1/3 deel van het gedrukte deel van het lijf. Wanneer windzuiging dominant is en de dakligger een vakwerk is (zie bijvoorbeeld afb. 3.16) moet de gehele onderrand op knik in, maar vooral ook knik uit het vlak worden gecontroleerd.



3.3 Weerstand, stijfheid en stabiliteit

Nadat de stabiliteit van de constructie van de hal is gewaarborgd en de horizontale en verticale belastingen op de hal zijn aangebracht, moet worden nagegaan of deze belastingen door de constructie kunnen worden gedragen (weerstand, stabiliteit), zonder dat de constructie te veel vervormt (stijfheid). Daartoe worden eerst de krachtsverdeling en de vervormingen bepaald en wordt vervolgens de constructie via normen getoetst op weerstand, stijfheid en stabiliteit, zie *Krachtswerking 6* (Toetsen).

- Toetsen op weerstand (sterkte) is het nagaan of de doorsneden van de onderdelen (kolommen, dakliggers, gordingen, diagonalen, enz.) en de verbindingen van de constructie weerstand kunnen bieden aan alle optredende snedekrachten.
- Toetsen op stijfheid houdt in dat de vervormingen aan bepaalde criteria moeten voldoen. Bij ongeschoorde portalen is de horizontale (zijdelingse) verplaatsing vaak maatgevend voor het ontwerp.
- Toetsen op stabiliteit is het nagaan of op druk belaste onderdelen van de constructie bij toenemende belasting niet plotseling gaan vervormen in een richting loodrecht op de richting van de belasting. Er worden verschillende vormen van instabiliteit onderscheiden, namelijk: knik, kip, plooi, torsie en torsieknik. Bij de meeste hallen zijn met name knik- en kipinstabiliteit relevant. Deze beide instabiliteitsvormen worden hierna behandeld.

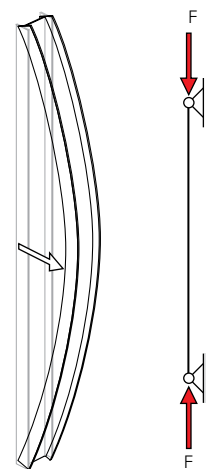
3.3.1 Knik

Essentieel voor het toetsen op knik van op druk belaste kolommen (afb. 3.18) is de grootte van de kniklengte, zie ook *Stabiliteit 1* (Staven belast op druk). De kniklengte van een kolom van een hal hangt af van de manier waarop de kolom wordt gesteund door de omringende constructie.

In twee richtingen geschoorde hal

Beschouw een gevelkolom in de langsgewel en een hoekkolom van de volledig geschoorde hal van afbeelding 3.2.

- Voor de *gevelkolom* (afb. 3.19a) geldt dat de kniklengte *uit het vlak* van (loodrecht op) de gevel gelijk is aan de hoogte van de kolom ($L_{cr} = h$): de kolom is immers aan de boven- en onderzijde scharnierend gesteund en de kolomuiteinden kunnen niet ten opzichte van elkaar verplaatsen in de richting loodrecht op het vlak van de gevel. De wandregel levert voor knik uit het vlak immers géén steun aan de kolom. *In het vlak* van (evenwijdig aan) de gevel is de kniklengte van de gevelkolom gelijk aan de halve hoogte ($L_{cr} = h/2$): de kolom is aan de boven- en onderzijde én in het midden gesteund. De steun in het midden wordt verzorgd door de wandregel die wordt vastgehouden door de vormvaste driehoek van de windbok. De wandregel moet dan wel aan de windbok zijn verbonden op het punt waar de diagonalen elkaar kruisen. Ook moet de regel weerstand kunnen bieden aan de axiale steunkracht, in combinatie met de andere (horizontale en verticale) belastingen. Wanneer er geen verbinding of koppeling is tussen de wandregel en de diagonalen in de windbok, is de kniklengte *in het vlak* van de gevel gelijk aan de hoogte ($L_{cr} = h$).



3.18 Knikinstabiliteit van een I-vormige kolom.

4

Constructiesystemen voor hallen

Dit hoofdstuk behandelt constructiesystemen die bruikbaar zijn voor hallen. De nadruk ligt hierbij op hallen met een plat of licht hellend dak: het meest voorkomende daktype in Nederland (afb. 4.1) met name in de industriële sector. In de agrarische sector worden meestal hallen met een zadeldak voorgeschreven. Andere dakvormen – zoals een gebogen dak, een zaagdak of een schaaldak – zijn tegenwoordig uitzonderingen. Bij de verdere uitwerking is voor de eenvoud meestal gekozen voor constructiesystemen voor een éénbeukige langshal.

Echter de systemen voor het overspannen van een kolomvrije ruimte zijn uiteraard ook geschikt voor andere haltypen.

Voor langshallen met platte daken met een vrije overspanning van zo'n 20-25 m is een constructie met scharnierend aangesloten liggers en kolommen in combinatie met windverbanden en windbokken in twee richtingen vaak de meest economische oplossing; zie *Hallen 3* (Stabiliteit van hallen), afb. 3.2).

Bij grotere overspanningen kan de ligger stijf of flexibel worden verbonden aan de kolom om de doorbuigingen te beperken: er ontstaan dan portalen, gewoonlijk in de dwarsrichting van de hal. Bij grotere overspanningen zijn ook bogen een alternatief: een boog draagt de belasting hoofdzakelijk af via druk en is daarom een efficiënte constructievorm. Uiteraard moet de gebogen dakvorm wel passen bij de functie van de hal. Zodra de functie van de hal vraagt om afmetingen die in langs- en dwarsrichting niet te veel van elkaar verschillen (centraalhallen), komen ruimte-

4.1 De meeste industriehallen in Nederland hebben een plat dak.



lijke constructies zoals balkroosters, ruimtevakwerken of zelfs schalen in aanmerking.

Hang- en tuiconstructies voor platte daken zijn, door de vereiste zorgvuldige uitvoering van de trekstaven en de verankeringsconstructie en de nodige dak- en wanddoorvoeren, duurder dan een draagconstructie zonder tuien. Getuide liggers kunnen wel economisch zijn voor constructies met grote overspanningen en wanneer er zware installaties aan het dak moeten worden opgehangen.

De constructiesystemen voor hallen^[1, 2] worden in dit hoofdstuk verdeeld in:

- kolom/ligger-systemen;
- portalen;
- bogen;
- ruimtelijke draagconstructies;
- hang- en kabelconstructies.

4.1 Kolom/ligger-systemen

Kolom/ligger-systemen worden toegepast voor de draagconstructie van een in twee richtingen geschoorde hal. De kolommen en liggers zijn scharnierend aangesloten, waarbij de stabiliteit wordt gewaarborgd door windverbanden en windbokken zowel in de langs- als dwarsrichting van de hal (afb. 4.2). De dakbeplating ligt op gordingen óf rust direct op de dakliggers. Wanneer gordingen worden toegepast, worden deze vaak uitgevoerd als doorgaande liggers over meerdere steunpunten om de doorbuiging en de buigende momenten te beperken.

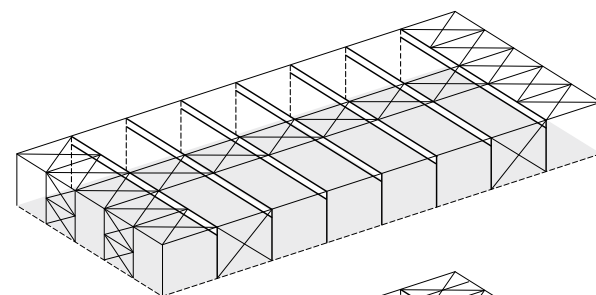
De kolomvoeten worden bij voorkeur uitgevoerd als een scharnierende verbinding, zodat de fundering eenvoudig kan blijven en geen momenten hoeft op te nemen.

Bij hoge hallen (met een grote kniklengte van de kolommen) óf wanneer windbokken in de kopgevels niet mogelijk zijn, kan worden overwogen om in dwarsrichting portalen toe te passen en/of de kolommen in de fundering in te klemmen.

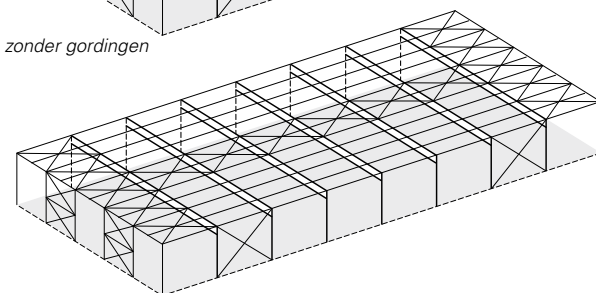
De volgende liggertypen worden hierna besproken (afb. 4.3):

- gewalste liggers;
- plaatliggers;
- geprofileerde-lifplaatliggers;
- liggers met liffopeningen;
- onderspannen liggers;
- vlakke vakwerkliggers;
- ruimtelijke vakwerkliggers;
- vierendeelliggers;
- getuide liggers.

Bij de liggertypen worden vuistregels gegeven voor de liggerhoogte h , afhankelijk van de overspanning L . Deze vuistregels gelden voor liggers op twee steunpunten (scharnierend opgelegd) met een gelijkmatig verdeelde (normale) belasting.



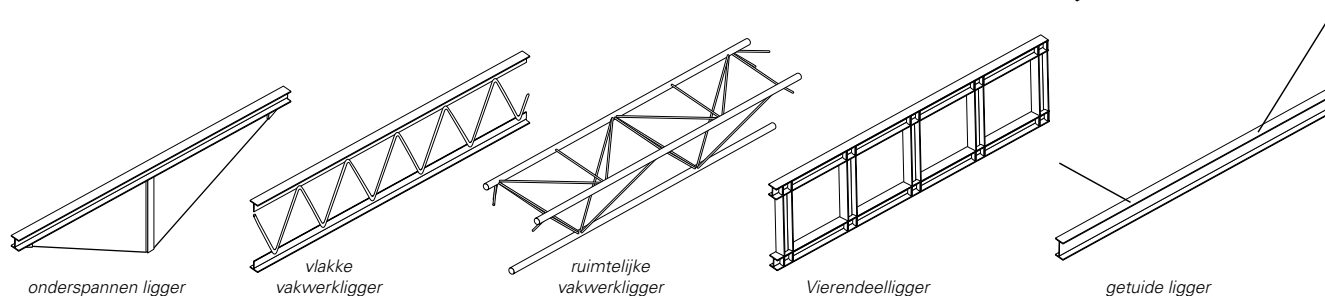
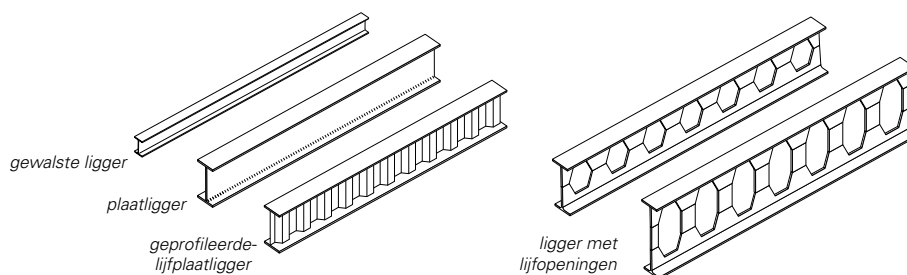
zonder gordingen

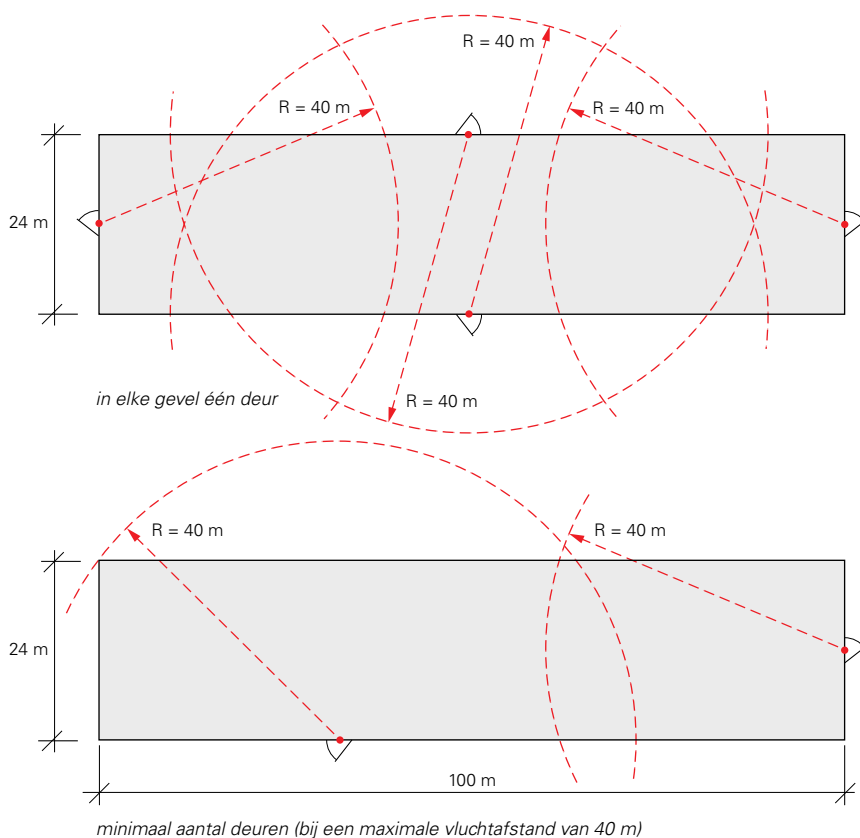


met gordingen

4.2 Kolom/ligger-systemen.

4.3 Liggertypen.





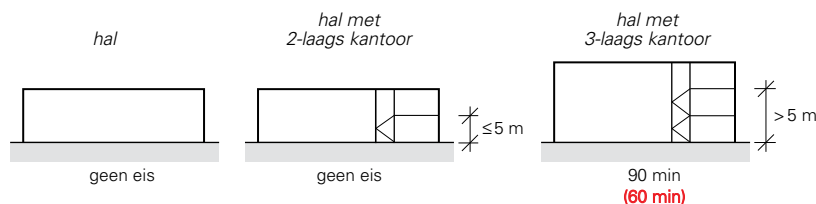
5.5 Ontwerp van de (nood)uitgangen in een hal van 24x100 m² op basis van een maximale afstand in een rechte lijn van 40 m (gecorrigeerde loopafstand: $1,5 \cdot 40 = 60$ m).

vormen (afb. 5.5). Door de uitgangen zorgvuldig te positioneren kan vaak eenvoudig aan de eis aan de maximale lengte van de vluchtroute worden voldaan: de hal hoeft dan niet te worden opgedeeld in subbrandcompartimenten en ook gelden er dan geen eisen aan de brandwerendheid van de draagconstructie. Bij hallen met een grote oppervlakte is het moeilijker om aan deze afstandseis te voldoen en biedt een gelijkwaardige oplossing mogelijkheden om een opdeling in subbrandcompartimenten te voorkomen (zie par. 5.3.3). Bij een hogere bezetting (minder dan 30 m² gebruiksoppervlakte per persoon) is een kleinere maximale loopafstand van toepassing. Bijvoorbeeld bij een kantoor (kantoorfunctie) met een gebruiksoppervlakte per persoon van 12-30 m² geldt een loopafstand van maximaal 45 m en bij een kantine (bijeenkomstfunctie) met een gebruiksoppervlakte van minder dan 12 m² per persoon geldt een loopafstand van maximaal 30 m. Bij een 'slimme' ontsluiting van deze functies (deur dichtbij de trap en/of dichtbij de nooduitgang op de begane grond) hoeven deze functies echter niet in een apart subbrandcompartiment te worden ondergebracht. Behalve de eis aan de maximale loopafstand is er nog één eis bij het vluchten, namelijk wanneer er méér dan 4 m hoogteverschil moet worden overbrugd. In dat geval moet de trap in een apart subbrandcompartiment liggen. Deze eis geldt echter niet voor de industrie functie, maar wél voor de andere gebruiksfuncties, zoals de kantoor-, bijeenkomst-, onderwijs-, sport- en winkelfunctie.

5.2.2 'Hoofd'draagconstructie

Bij brand in een bepaald brandcompartiment moet de 'hoofd'draagconstructie van de hal gedurende een zekere tijdsduur in staat zijn de belasting te weerstaan om voortschrijdende instorting te voorkomen van de constructie in andere brandcompartimenten (dus die waarin geen brand heerst).

Bouwbesluit 2012 kent de term 'hoofd'draagconstructie' niet, maar hanteert in plaats daarvan een bijna cryptische omschrijving in woorden in de vorm van een eis: 'Een bouwconstructie van een gebruiksfunctie met een vloer van een gebruiksgebied hoger dan 5 m boven het meetniveau of lager dan 5 m onder het meetniveau bezwijkt bij brand in een brandcompartiment waarin de bouwconstructie niet ligt, niet binnen 90 minuten door het bezwijken van een bouwconstructie binnen of grenzend aan het brandcompartiment'. Dit hoofdstuk gebruikt hierna vanwege de duidelijkheid en de eenvoud niettemin de term 'hoofd'draagconstructie met in gewoon Nederlands dezelfde



5.6 Brandwerendheidseisen voor de 'hoofd'draagconstructie van een nieuw te bouwen hal. De rode waarde is de gereduceerde eis bij een lage permanente vuurbelasting.

betekenis als de omschrijving in het Bouwbesluit: 'de constructie waarvan het bezwijken leidt tot het bezwijken van constructies in een ander brandcompartiment'.

Veel constructeurs zijn doorgaans snel geneigd bij brand vrijwel de gehele constructie tot de 'hoofd'draagconstructie te rekenen, en dat is meestal niet correct. Bij brand moet namelijk worden gekeken naar het effect van het bezwijken van de constructie op het niveau van brandcompartimenten.

De constructie van een brandend compartiment mag bezwijken, zolang andere brandcompartimenten (waar geen brand heerst en mits uiteraard aanwezig) maar intact blijven. Is dit laatste niet het geval, dan geldt de hogere brandwerendheidseis van 60 minuten of meer. Dit betekent dat een (relatief) kleine hal met maar één brandcompartiment óf een grote hal waar de brandcompartimenten constructief zijn ontkoppeld géén brandwerendheidseisen hebben in het kader van voortschrijdend bezwijken (afb. 5.6). In de situatie dat de hal een kantoorgedeelte omvat dat geen zelfstandige draagconstructie heeft, hangt de brandwerendheidseis voor de 'hoofd'draagconstructie dan af van de ligging van de hoogste verdiepingvloer boven het aansluitende terrein, gemeten ter plaatse van de hoofdtoegang:

< 5 m: geen eis;

≥ 5 m: 90 min (of 60 min).

In de laatste situatie kan de 'basiseis' van 90 minuten worden gereduceerd met 30 minuten, wanneer kan worden aangetoond dat de permanente vuurbelasting lager is dan 500 MJ of 26 kg vurenhout per vierkante meter vloeroppervlak. Bij het vaststellen van de hoogte van de brandwerendheidseisen is rekening gehouden met de veranderlijke vuurbelasting en een permanente vuurbelasting. Wanneer de permanente vuurbelasting in het ontworpen gebouw minder is dan 500 MJ/m² is sprake van een kortere brandduur en is een lagere eis gerechtvaardigd. Het bepalen van de permanente vuurbelasting is met NEN 6090 een eenvoudige berekening^[8].

Hoewel er dus vaak geen brandwerendheidseisen gelden voor de draagconstructie van een hal in het kader van voortschrijdend bezwijken, betekent dat niet dat er helemaal geen eisen gelden. Er kunnen namelijk ook brandwerendheidseisen aan de constructie worden gesteld in verband met het veilig ontvluchten (zie par. 5.2.1) óf het voorkomen van uitbreiding van de brand naar andere compartimenten (zie par. 5.2.3) óf naar andere gebouwen (zie par. 5.2.4). Deze eisen bedragen in het algemeen niet meer dan 30 minuten. Voor meer informatie over de brandveiligheidseisen in het Bouwbesluit wordt verwezen naar [10].

6.2.2 Verticale belastingen

Om de belastingen die de (bovenloop)kraan uitoefent op de constructie zo nauwkeurig mogelijk te kunnen bepalen is het van belang de uitgangspunten met betrekking tot de kraan (of kranen) zo goed mogelijk vast te stellen. Deze uitgangspunten worden voor een belangrijk deel bepaald door de gebruiker van de bedrijfshal. Hiertoe behoren bijvoorbeeld de eis ten aanzien van nuttige hijslast (kraancapaciteit), het werkgebied, de hijshoogte, de gebruikintensiteit, de overspanning en de voortloopsnelheid van zowel loopkat als kraan.

Aan de hand van deze gegevens levert een kraanfabrikant een kraan die aan de gebruikseisen voldoet. De kraanbouwer berekent aan de hand van de verstrekte gegevens door de klant alle krachten die de ontworpen kraan op de constructie van de bedrijfshal uitoefent. De kraan kan een model uit het standaardleveringsprogramma zijn, waarbij bijvoorbeeld de motoren en de overspanning aan de klanteisen zijn aangepast. Maar het kan ook een specifiek voor het project ontworpen kraan zijn. De meeste kraanfabrikanten hebben voor kranen uit hun standaardleveringsprogramma tabellen met de belangrijkste kraanafmetingen en de (dynamische) krachten uit de kraan, zowel verticaal als horizontaal. Deze informatie is voor het maken van een voorontwerp van de hal goed bruikbaar. Voor het definitieve ontwerp van de kraanbaan moeten de definitieve belastinggegevens van de kraanleverancier worden gebruikt.

NEN-EN 1991-3, art. 2.6 geeft aan hoe de dynamische factoren φ_1 t/m φ_4 voor verticale belastingen moet worden bepaald (tabel 6.15).

Bij het bepalen van de factor φ_2 is de hijsklasse HC van de kraan van belang (tabel 6.16). Deze hijsklasse is gerelateerd aan het type kraan. NEN-EN 1991-3, tabel B.1 geeft een overzicht van alle mogelijke kraantypen met de daarbij horende hijsklasse HC en vermoeiingsklasse S. Een bovenloopkraan (workshop crane) in een productiehal kan worden ingedeeld in hijsklasse HC2 of HC3, afhankelijk van de vermoeiingsklasse S_3 of S_4 .

Wanneer bij een bovenloopkraan de last met een geborgde (vaste) haak in de kraan hangt, is hijsklasse HC2 van toepassing, omdat de snelheid waarop de last wordt losgelaten hierin bepalend is. Een geborgde haak is een haak waarvan de last gedurende de hijsbeweging niet ongewild en plotseling kan loskomen. Bij een magneetkraan is dit wel het geval, maar bij een haak waarin uitsluitend een kettingoog past en die bovendien voorzien is van een geveerde borging niet, zodat de laatste in klasse HC2 valt.

6.15 Dynamische factoren φ_i voor verticale belastingen.

factor	waarde	opmerking
φ_1	$0,9 < \varphi_1 < 1,1$	
φ_2	$\varphi_2 = \varphi_{2,min} + \beta_2 v_h$	v_h = constante hijsnelheid (m/s) $\varphi_{2,min}$ en β_2 ; zie tabel 6.16
φ_3	$\varphi_3 = 1 - \frac{\Delta m}{m} (1 + \beta_3)$	Δm = deel van het hijsgewicht dat loslaat of afvalt m = totale hijsgewicht β_3 = 0,5 voor kranen met een mechanische grijper β_3 = 1,0 voor kranen met een magneetgrijper
φ_4	$\varphi_4 = 1,0$	mits de toleranties van de kraanrail voldoen aan NEN-EN 1993-6

hijsklasse	β_2	$\varphi_{2,min}$
HC1	0,17	1,05
HC2	0,34	1,10
HC3	0,51	1,15
HC4	0,68	1,20

6.16 Waarden voor β_2 en $\varphi_{2,min}$.

Voorbeeld 6.1

• **Gegeven.** Een bovenloopkraan (met 2x2 kraanwielen en 2x2 loopkatwielen, zie afb. 6.8) in een werkplaats heeft een geborgde haak met een maximale hijslast $Q_h = 63 \text{ kN}$ (6,3 ton = 6300 kg) en een maximale hijsnelheid van 5 m/min. De kraan overspant 24 m en heeft een aanrijmaat aan beide kanten van $e_{\min} = 0,67 \text{ m}$. Het eigen gewicht van de kraan bedraagt $Q_{c,kraan} = 76,8 \text{ kN}$ en dat van de loopkat $Q_{c,kat} = 5,63 \text{ kN}$.

• **Gevraagd.** Bepaal de verticale statische en dynamische wiellasten van de kraan.

• **Uitwerking.** De maximale en minimale wiellasten treden op wanneer de loopkat zich in de uiterste positie bevindt, dus bijvoorbeeld links tegen de buffer op de kraanbaanligger (afb. 6.17). De maximale verticale statische wiellasten volgen uit de geometrie wanneer de loopkat de maximale last hijst:

$$\begin{aligned} Q_{1,1,\max} = Q_{1,2,\max} &= \frac{Q_{c,kraan}}{4} + \frac{24 - 0,67}{24} \cdot \frac{1}{2} \cdot (Q_{c,kat} + Q_h) \\ &= \frac{76,8}{4} + \frac{23,33}{24} \cdot \frac{1}{2} \cdot (5,63 + 63) \\ &= 19,2 + 2,7 + 30,6 = 52,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\Sigma Q_{r,\max} = Q_{1,1,\max} + Q_{1,2,\max} = 2 \cdot 52,5 = 105 \text{ kN}$$

$$\Sigma Q_{r,(max)} = Q_{c,kraan} + Q_{c,kat} + Q_h - Q_{r,\max} = 76,8 + 5,63 + 63 - 105 = 40,4 \text{ kN}$$

Merk op dat in deze uiterste stand het eigen gewicht van de kraan door vier wielen wordt gedragen en de belasting uit de loopkat (eigen gewicht en hijslast) hoofdzakelijk ($23,33/24 = 97\%$) door twee wielen.

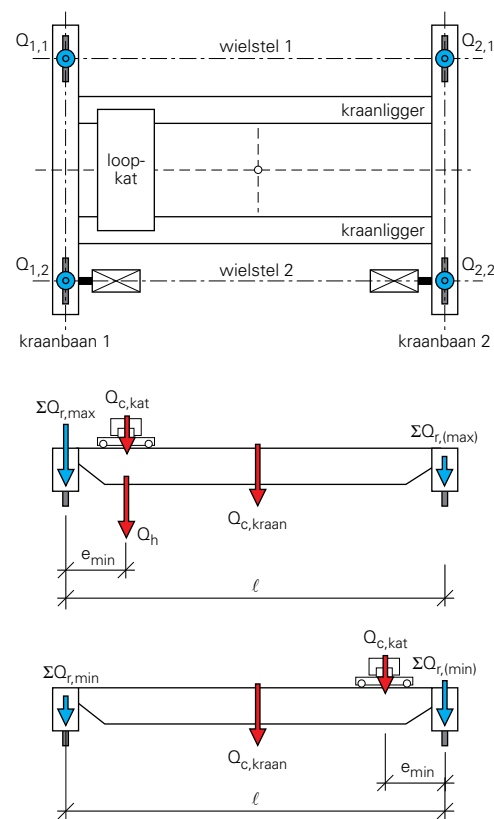
De minimale verticale statische wiellasten treden dan op wanneer de loopkat zonder hijslast rechts tegen de buffer staat:

$$\begin{aligned} Q_{1,1,\min} = Q_{1,2,\min} &= \frac{Q_{c,kraan}}{4} + \frac{0,67}{24} \cdot \frac{1}{2} \cdot Q_{c,kat} = \frac{76,8}{4} + \frac{0,67}{24} \cdot \frac{1}{2} \cdot 5,63 \\ &= 19,2 + 0,1 = 19,3 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\Sigma Q_{r,\min} = Q_{1,1,\min} + Q_{1,2,\min} = 2 \cdot 19,3 = 38,6 \text{ kN}$$

Voor de verticale dynamische wiellasten zijn de dynamische factoren φ_1 , φ_2 en φ_4 van belang. De factor φ_3 is voor een geborgde haak niet van toepassing.

• **Factor φ_1 .** Voor de dynamische factor φ_1 (van toepassing op het eigen gewicht) mag volgens tabel 6.15 een waarde worden aangehouden tussen 0,9 en 1,1. Deze waarde hangt onder meer af van de stijfheid van de kraanligger, loopkat en wielkasten en neemt toe naarmate de overspanning van de kraan groter wordt. Het is verstandig bij overspanningen vanaf 20 m een waarde van $\varphi_1 = 1,1$ aan te houden.



6.17 Maximale und minimale vertikale wiellasten bij een dubbelligger bovenloopkraan.

Voor elk dwarswindverband geldt:

- de randliggers op as A en F zijn de eindverticaal in de vakwerkligger;
- de randligger in de kopgevel en de naastgelegen hoofdligger vormen de randstaven;
- de koppelstaven en de diagonalen vormen de wandstaven.

Het moment $M_{\max} = 615$ kNm levert een kracht $N_{\text{eindverticaal}} = N_{\text{randligger}} = M_{\max}/h_{\text{ligger}} = 615/25 = 24,6$ kN op as A en F. Omdat er geen dwarsbelasting op het dwarswindverband aanwezig is geldt: $N_{\text{verticaal}} = N_{\text{eindverticaal}} = N_{\text{koppelstaaf}} = 24,6$ kN. De maximale kracht in de diagonaal bedraagt dan: $N_{\text{diagonaal}} = N_{\text{verticaal}} \sqrt{2} = 24,6 \cdot \sqrt{2} = 34,8$ kN.

Voor de maximale drukkracht in de hoofdligger geldt: $N_{\text{hoofdligger}} = R + F_{\text{wind}} = 104 + 18,9 = 123$ kN (as 2 en 14). Het verloop van de normaalkracht in de hoofdligger kan worden bepaald met de aanname van een gelijkmatige afdracht van $R + F_{\text{wind}}$ over de vijf diagonalen van het dwarswindverband tussen as A en F. In het voorontwerp is hiervan afgezien en wordt uitgegaan van een constante normaalkracht in de hoofdligger van 123 kN.

Door het betrekken van de dwarswindverbanden in het krachtenschema van het langswindverband neemt de kracht in de randstaaf van de langswindligger af van 461 kN naar 341 kN.

Staafkrachten bij hoge 'inhangligger'

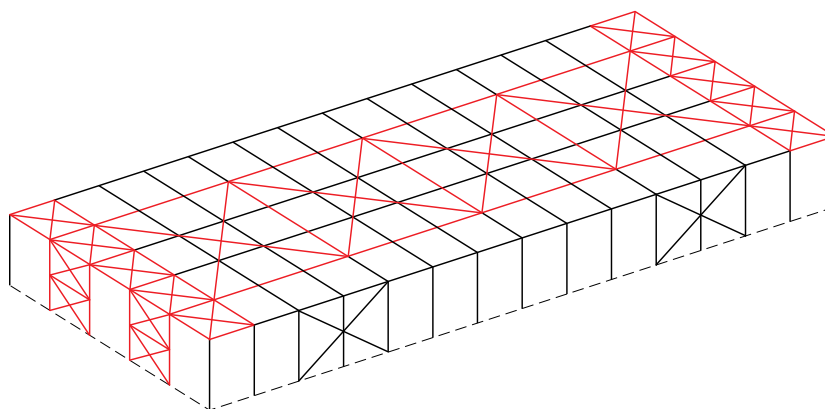
Er bestaat nóg een manier om de staafkrachten in de randen (= koppelstaven) van het langswindverband te reduceren, en dus economischer te ontwerpen. De breedte van de hal biedt namelijk de mogelijkheid een langswindverband te formeren met een constructiehoogte van 15 m in plaats van 5 m. Ook deze hoge windligger wordt 'ingehangen' tussen de beide dwarswindverbanden achter de kopgevels (afb. 7.17). Omdat nog steeds wordt uitgegaan van diagonalen die uitsluitend trek kunnen opnemen, ontstaat er nu een ander rekenschema (afb. 7.18).

Uit het evenwicht van bijvoorbeeld knoop a (snijpunt van as E en as 2) volgt voor de kracht in de diagonaal N_{d1} en de kracht in de randstaaf N_{r1} :

$$N_{d1} = R\sqrt{2} = 5,5F_{\text{wind}}\sqrt{2} = 5,5 \cdot 18,9 \cdot \sqrt{2} = 147 \text{ kN}$$

$$N_{r1} = R = 5,5F_{\text{wind}} = 5,5 \cdot 18,9 = 104 \text{ kN}$$

7.17 Hoge 'inhangligger'.

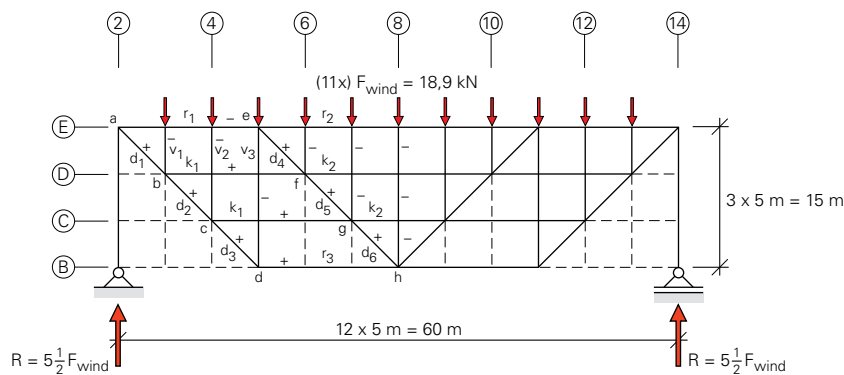


Uit het evenwicht van knoop e (snijpunt van as E en as 5) wordt op gelijke wijze gevonden:

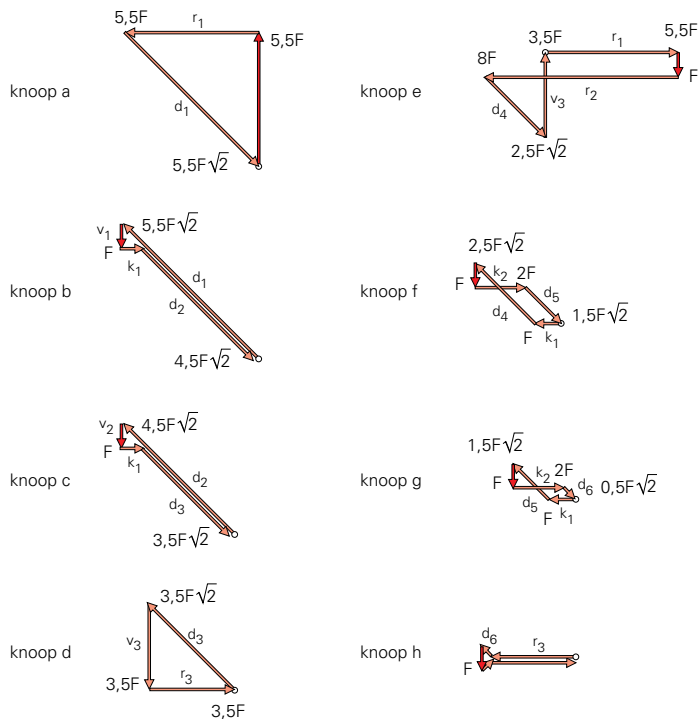
$$N_{d2} = (R - 3F_{\text{wind}})\sqrt{2} = 2,5F_{\text{wind}}\sqrt{2} = 2,5 \cdot 18,9 \cdot \sqrt{2} = 66,8 \text{ kN}$$

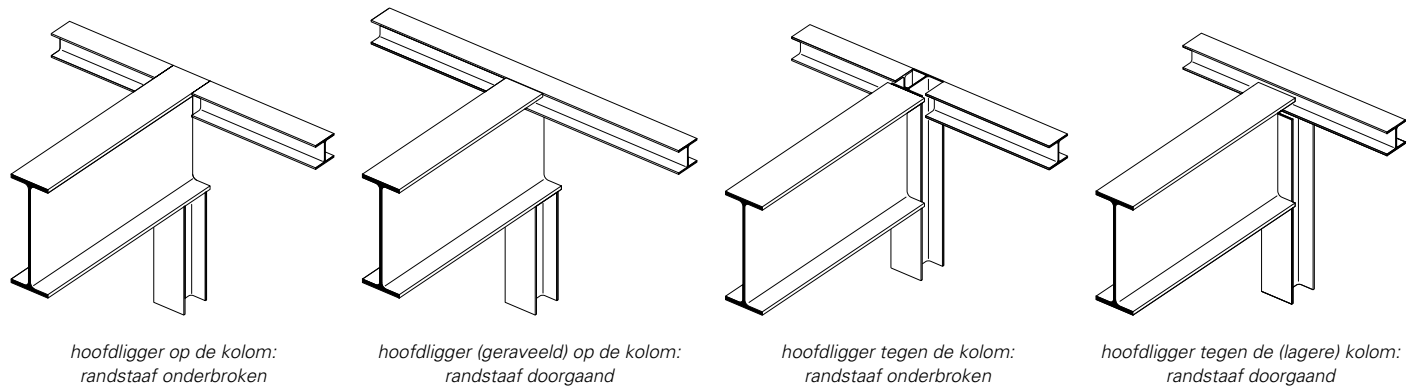
$$N_{r2} = N_{r1} + (R - 3F_{\text{wind}}) = N_{r1} + 2,5F_{\text{wind}} = 104 + 2,5 \cdot 18,9 = 151 \text{ kN}$$

De kracht N_{r2} in de randstaaf is groter dan zou volgen uit het moment gedeeld door de onderlinge afstand van de randstaven: $N_{\text{randstaaf}} = M_{\text{midden}}/15 = 1703/15 = 114 \text{ kN}$. De reden hiervan is dat de windligger zich door het patroon van de wandstaven niet meer als een zuiver vakwerk gedraagt.



7.18 Rekenschema voor de hoge 'inhangligger'.





7.29 Vier alternatieven voor de aansluiting tussen hoofdligger, kolom en randliggers.

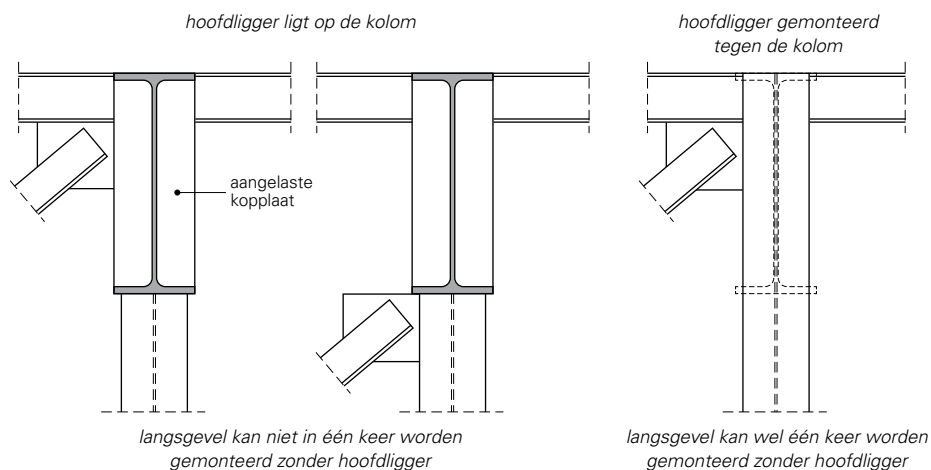
Uit de eerder bepaalde belastingcombinaties blijkt dat de combinatie van ongunstig werkende blijvende belasting én wind een (weliswaar geringe) opwaartse belasting oplevert. De ongesteunde onderflens van de hoofdligger komt daardoor onder druk te staan, waardoor het aanbrengen van kipsteunen noodzakelijk kan zijn. Deze kipsteunen kunnen worden afgesteund tegen bijvoorbeeld de windverbanden, die daarmee een tweede functie krijgen. De krachten die nodig zijn om de kipstabiliteit van de hoofdliggers te garanderen zijn over het algemeen dermate gering dat deze extra belasting zonder meer door de windverbanden kan worden opgenomen.

Voor de aansluiting van de hoofdligger met de gevelkolom is gekozen voor een scharnierende verbinding (zie par. 7.4.1). Voor meer informatie over dit type verbinding wordt verwezen naar *Knopen 2* (Scharnierende verbindingen in raamwerken).

Een scharnierende verbinding kan dwarskrachten en normaalkrachten overdragen. Afhankelijk van eventuele excentriciteiten in de verbinding kunnen daarbij ook beperkte momenten ontstaan. Merk op dat een dwarskracht in de hoofdligger een normaalkracht in de kolom oplevert (en omgekeerd). De ligger/kolom-verbinding wordt integraal beschouwd in combinatie met de aansluitende randstaaf. In principe zijn er dan vier uitvoeringen mogelijk (afb. 7.29):

- hoofdligger op de kolom, randstaaf onderbroken;
- hoofdligger op de kolom, randligger doorgaand (hoofdligger geraveeld);
- hoofdligger tegen de kolom, randstaaf onderbroken;
- hoofdligger tegen de kolom, randstaaf doorgaand (kolom lager).

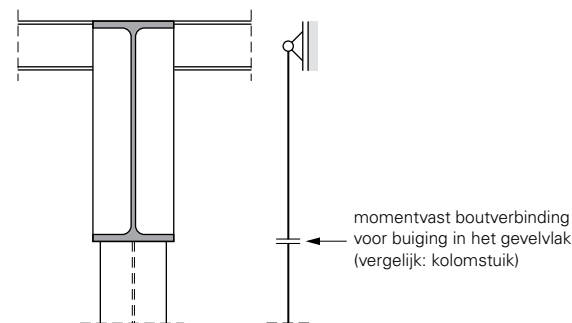
Aan de eerste twee alternatieven kleven een aantal bezwaren die te maken hebben met de (constructieve) uitvoering. In de eerste plaats moet de oplegging altijd een gaffeloplegging zijn, met andere woorden: het profiel mag niet om z'n as kunnen draaien en een translatie loodrecht op het lijf moet worden voorkomen. Tevens moet er over de liggerhoogte een aanslag zijn voor de gevelbeplating (binnendozen). Aan deze beide voorwaarden kan worden voldaan door het aanbrengen een kopplaat op het liggeruiteinde. Echter deze oplossing is strijdig met het uitgangs-



7.30 Aansluiting van de hoofdligger op de kolom óf tegen de kolom.

punt dat er niet aan de ligger wordt gelast. Maar ook wanneer er wel zou zijn gekozen om aan de hoofdligger te lassen, is een oplegging op de kolom montage-technisch gezien minder wenselijk. Immers bij een hoofdligger die op de kolom ligt kunnen randstaaf en verticaal verband (windbokken) niet vooraf tot een in het vlak stabiele gevel worden gemonteerd (afb. 7.30). Meestal loopt namelijk de montage van de langsgevel (kolommen, inclusief randstaaf en windbokken) vóór op de montage van de hoofdliggers.

Wanneer de hoofdligger op de kolom ligt, moet bij een relatief hoge ligger constructief gezien de boutverbinding tussen de ligger en de op de kolom gelaste kopplaat momentvast zijn. Immers de kolom is op dit punt in het vlak van de gevel niet gesteund (afb. 7.31). Bij een niet-momentvaste verbinding bestaat het risico dat de liggeroplegging zijdelings instabiel wordt en daardoor 'wegkapt'.

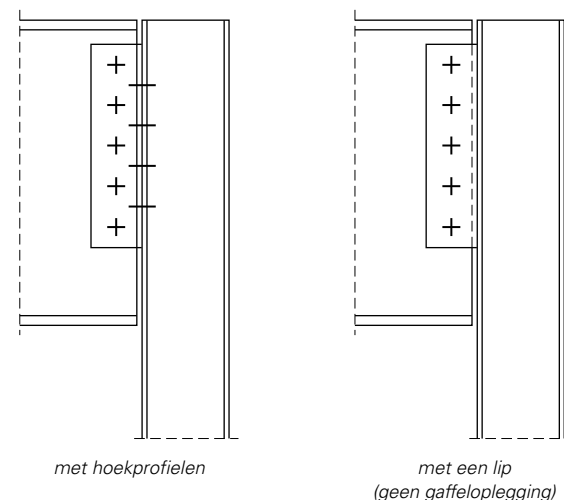


7.31 Hoofdligger opgelegd óp de kolom.

Bij een hoofdligger die tegen de kolom aansluit kan bij een geboute oplossing worden gekozen voor een verbinding met een lip of met hoekprofielen (afb. 7.32). Bij de toetsing van de kolommen moet rekening worden gehouden met een excentriciteit, zie *Knopen 2*, afb. 2.5. In dit stadium is het voldoende te kiezen voor een doorgaande kolom en een al of niet doorgaande randstaaf.

7.6.2 Randliggers van de kopgevels

De randliggers van de kopgevels hebben een functie die vergelijkbaar is met die van de hoofdliggers: behalve het dragen van de dakplaten maken de randliggers ook deel uit van de windverbanden. Op as 1 en 15 is de randligger een randstaaf in het dwarswindverband achter de kopgevel, maar tevens de bovenrand van de windbok op die assen. Daardoor wordt de randligger belast op druk en buiging. De randliggers worden niet belast door de horizontale windbelasting op de gevel. Immers de horizontale bindendozen voeren de windbelasting op de gevel direct af naar de kolommen.



7.32 Twee opties voor een scharnierende ligger/kolomverbinding.