

Stalen hallen

Ontwerpgrafieken voor portalen met
scharnierende en flexibele verbindingen



foto omslag: Fas Keuzenkamp

COLOFON

auteur ir. J.P. den Hollander / Bouwen met Staal
eindredactie ir. C.H. van Eldik / Bouwen met Staal
vormgeving Bouwmeester van Leeuwen
ISBN 978-90-72830-70-8

De technische inhoud van deze publicatie is vooraf beoordeeld en van commentaar voorzien door prof.ir. F.S.K. Bijlaard (TU Delft), prof.ir. H.H. Snijder (TU Eindhoven) en ir. H.M.G.M. Steenberg (TNO B&O).

De grafieken in hoofdstuk 3 zijn gegenereerd door ICCS op basis van een door hen ontwikkeld computerprogramma. Daarbij verleende prof.ir. J. Blaauwendraad ondersteuning. Dit programma is ook on-line te raadplegen op www.bouwenmetstaal.nl/portaal.

Deze uitgave is tot stand gekomen dankzij financiële ondersteuning van de Staal Federatie Nederland.

© BOUWEN MET STAAL 2007

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd, 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.

1	Stalen hallen	2
2	Uitgangspunten voor de grafieken	6
2.1	Constructieve opbouw	6
2.2	Belastingen en belastingcombinaties	6
2.3	Vervormingseisen	7
2.4	Toetsing profielen	8
2.5	Daksystemen	8
2.6	Keuze van de verbinding	9
2.7	Ontwerp van de verbinding	10
3	Ontwerpgrafieken	12
	Windgebied I	14
	Windgebied II	22
	Windgebied III	30
4	Kosten	38
4.1	Investeringskosten	38
4.2	Staalverbruik in de constructie	38
4.3	Kostenkengetallen	39
4.4	Invloed geometrie op kosten	40
4.5	Invloed verbinding op kosten	41
4.6	Staalprijzen en integraal ontwerpen	42
5	Wateraccumulatie	44
6	Brandveiligheid	46
6.1	Eisen aan de hoofddraagconstructie	46
6.2	Brandcompartimentering	46
6.3	Brandoverslag	49
6.4	Vluchtroutes en vluchtafstanden	50

1 • Stalen hallen

Kenmerkend voor hallen is dat ze bestaan uit één bouwlaag: de lengte en de breedte van het gebouw zijn vaak (veel) groter dan de hoogte. Hallen worden gebruikt voor uiteenlopende functies: van een eenvoudige opslagloods, werkplaats of landbouwschuur tot een distributiecentrum, sporthal of ontvangsthuis op een vliegveld (afb. 1.1). Elke functie stelt specifieke eisen aan bijvoorbeeld het bouwkundig stramien en de minimale overspanning. De staalconstructie voor elke hal wordt exact op deze eisen toegesneden. Soms wordt extra flexibiliteit ingebouwd voor toekomstige veranderingen in het gebruik en vaak speelt de esthetica een minder belangrijke rol. Afhankelijk van de functie van de hal volgt uit het programma van eisen een minimaal benodigde vrije overspanning. Hiervoor kan de constructeur kiezen uit verschillende constructiesystemen, waarbij elk constructiesysteem economisch toepasbaar is binnen een bepaald overspanningsbereik. Daarnaast kan de architect een voorkeur hebben voor een staalconstructie die zich duidelijk manifesteert in de architectuur om het gebouw meer 'smoel' te geven. Dit is bijvoorbeeld het geval bij tuiconstructies en bij spantconstructies die boven het dak lopen. Een aparte brochure van Bouwen met Staal besteedt meer aandacht aan de mogelijkheden van deze constructiesystemen in de hallenbouw⁽¹⁾.

Deze publicatie behandelt uitsluitend portaalconstructies die in beide richtingen zijn geschoord én zijn opgebouwd uit walsprofielen. Voor overspanningen tussen de 10 m en 24 m kan de ontwerper uit grafieken aflezen welk profiel hij voor de ligger en de kolommen moet kiezen en wat het eigen gewicht van het portaal is per vierkante meter.

Op www.bouwenmetstaal.nl is een uitgewerkt rekenvoorbeeld te downloaden vanaf het bepalen van de belastingen op het portaal tot de volledige toetsing volgens de TGB 1990. Hiermee kan de constructeur de berekeningsmethodiek en toetsing volgen die zijn gebruikt om de profielen te bepalen.

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 staan de uitgangspunten voor de grafieken. Dit zijn de constructieve uitgangspunten (belastingen, vervormingseisen) en een toelichting op de opbouw van de dakconstructie. Verder beschrijft dit hoofdstuk de twee verbindingen tussen ligger en kolom die de ontwerper kan kiezen: een scharnierende of een flexibele verbinding. Hoofdstuk 3 bevat vierentwintig ontwerpgrafieken met een handleiding voor het gebruik. Hoofdstuk 4 geeft informatie om van een portaal de kosten te kunnen bepalen. Voor verschillende typen hallen wordt een prijsindicatie gegeven voor de prijs per kilogram staal. De hoofdstukken 5 en 6 behandelen twee ontwerpaspecten die (indirect) invloed kunnen hebben op de constructie of het ontwerp van de totale hal, namelijk: wateraccumulatie respectievelijk brandveiligheid.



1.1 Enkele voorbeelden van hallen met verschillende functies.

Kiezen voor staal

Bijna 90% van alle hallen in Nederland heeft een draagconstructie in staal. Ontwerpers kiezen in de hallenbouw voor staal, omdat het niet alleen een economische oplossing is, maar ook vanwege een aantal kenmerkende ontwerpaspecten:

- laag eigen gewicht;
- minimale constructie-afmetingen;
- snelle (de)montage;
- grote flexibiliteit;
- duurzame oplossing.

Laag eigen gewicht

Een staalconstructie heeft een gering eigen gewicht vergeleken met constructies in een steenachtig materiaal. Dat heeft voordelen voor de fundering, maar bijvoorbeeld ook voor het transport. Bij een kleine hal kan de constructie vaak in één transport op het werk worden geleverd (afb. 1.2). Dit zorgt voor minder overlast, sneller bouwen en is gunstig voor het milieu.



1.2 Door het geringe eigen gewicht is voor een kleine hal vaak één transport naar de bouwplaats voldoende.

Minimale constructie-afmetingen

Met staal zijn grote overspanningen mogelijk bij een geringe constructiehoogte. Zo bedraagt bij een overspanning van 20 m de hoogte van de ligger ongeveer 0,5 m. Wanneer de vrije hoogte in het gebouw vast ligt, betekent dit dat het gebouw niet hoger wordt dan nodig is, met een minimaal geveleppervlak. Wanneer de gebouwhoogte gelimiteerd is, betekent een geringe constructiehoogte een maximale vrije hoogte. Stalen kolommen hebben altijd een minimale doorsnede. Dat levert niet alleen meer nuttig vloeroppervlak op, maar ook – indien gewenst – een transparant gebouw waar het daglicht diep kan doordringen (afb. 1.3).

Ook is het mogelijk de portalen verder uit elkaar te zetten en minder kolommen te gebruiken. Deze brochure gaat uit van kolomafstanden van 5, 7 en 8 m, maar grotere afstanden zijn mogelijk wanneer een vrije indeelbaarheid een belangrijk ontwerpaspect is of het inspelen op toekomstige, andere gebruiksfuncties.



1.3 Slanke constructies nemen weinig ruimte in en zorgen voor een transparant gebouw met veel daglicht.

Snelle (de)montage

Een staalskelet wordt vooraf in een staalconstructiebedrijf in zo groot mogelijke onderdelen vervaardigd – zonodig al voorzien van de gewenste conservering – en op de bouwplaats geleverd. Door de hoge maatvastheid en eenvoudige boutverbindingen is het daarna snel en foutloos te monteren (afb. 1.4). Niet alleen de montage gebeurt snel en efficiënt, maar daarna ook een eventuele demontage van het skelet. Overlast voor omwonenden blijft zo tot een minimum beperkt.

Grote flexibiliteit

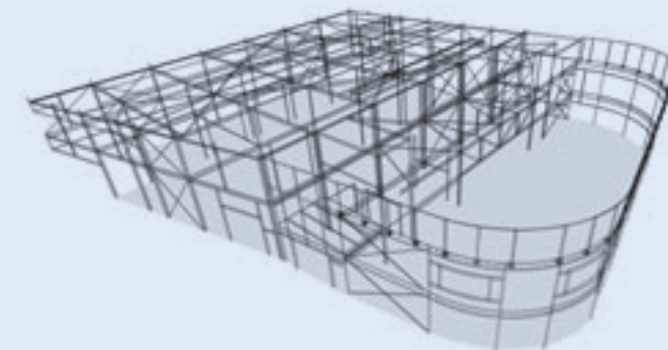
Een staalconstructie is uitermate flexibel; niet alleen tijdens het ontwerp en de fabricage, maar ook daarna in het gebruik. Dankzij de geautomatiseerde productie in de constructiewerkplaats is een staalconstructie voor een onregelmatige plattegrond of voor een gekromde gevel net zo gemakkelijk te fabriceren als die voor een standaardhal (afb. 1.5). Aanpassingen aan de constructie door ander of gewijzigd gebruik zijn in staal makkelijk uit te voeren. Denk daarbij aan het naderhand aanbrengen van extra verbindingen of het (plaatselijk) verzwaren van bestaande profielen. Dit alles maakt een staalconstructie flexibel en geschikt om precies die hal te bouwen die de opdrachtgever voor ogen heeft.

Duurzame oplossing

Staal is een bouwmaterial dat volledig uit gerecycled staal is te vervaardigen, zonder kwaliteitsverlies^[2]. Schroot vormt inmiddels de grondstof voor bijna 50% van de wereldproductie van staal (afb. 1.6). Stalen bouwproducten worden geprefabriceerd onder gecontroleerde omstandigheden; bouwafval bestaat hier nauwelijks. Tijdens gebruik is een staalconstructie eenvoudig aan te passen. Na de gebruiksperiode is een staalconstructie te demonteren en worden de afzonderlijke liggers en kolommen vaak hergebruikt door de profielen te bewerken en in te zetten in een ander project. Uiteindelijk wordt 95% van het gebruikte staal in de wereld opnieuw gebruikt.



1.4 Eenvoudige boutverbindingen en 'custom made' onderdelen zorgen voor een snelle montage.



1.5 Een rechthoekige of een onregelmatige plattegrond: beide zijn in staal eenvoudig te maken. De opdrachtgever krijgt een maatpak voor iets meer dan de prijs van confectie.

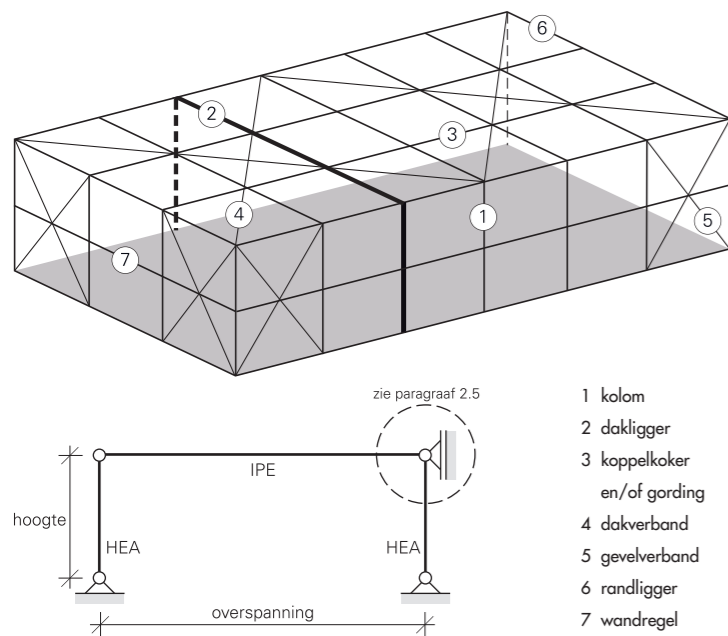


1.6 Schroot vormt voor 50% de grondstof voor al het geproduceerde staal.

2 • Uitgangspunten voor de grafieken

2.1 Constructieve opbouw

Uitgegaan is van een hal met portalen in dwarsrichting. De hal wordt in twee richtingen geschoord door windverbanden in het dak en in de gevels (afb. 2.1). Ongeveer 80% van alle hallen in Nederland zijn zo gebouwd. Elk portaal is opgebouwd uit warmgewalste profielen met kolommen uit de HEA-serie en liggers uit de IPE-serie. De staalsoort van de profielen is S235. In de meeste gevallen immers is de doorbuiging maatgevend. Een staalsoort met een hogere sterkte – bijvoorbeeld S355) heeft weliswaar een hogere treksterkte, maar de stijfheid (elasticiteitsmodulus) blijft gelijk. Wanneer de stijfheid maatgevend is, heeft het toepassen van een staalsoort met een hogere sterkte daarom geen effect. De verbinding tussen kolom en ligger wordt uitgevoerd als een scharnierende of als een flexibele verbinding. De ontwerper kiest de verbinding die het meest praktisch is voor zijn situatie (zie de toelichting in paragraaf 2.6). Het dak is van boven naar beneden als volgt opgebouwd: bitumineuze dakbedekking, isolatiemateriaal en daaronder een trapeziumvormige stalen dakplaat. Het type dakplaat hangt af van de afstand hart-op-hart van de portalen.



2.1 Constructieprincipe van een geschoorde hal.

De dakplaten worden gebruikt als kipsteun voor de ligger. Het eigen gewicht van de dakconstructie varieert van 0,45–0,51 kN/m² (zie ook paragraaf 2.5). Hierbij is rekening gehouden met aanwezige leidingen en lichtarmaturen. De gevels bestaan uit stalen binnendozen met isolatie. Daartegen komt een stalen trapeziumvormige buitenplaat. Voor het eigen gewicht voor de gehele gevel is 0,25 kN/m² aangehouden. De gevelbeplating wordt niet gebruikt als knik- en kipsteun voor de kolommen.

2.2 Belastingen en belastingcombinaties

Belastingen

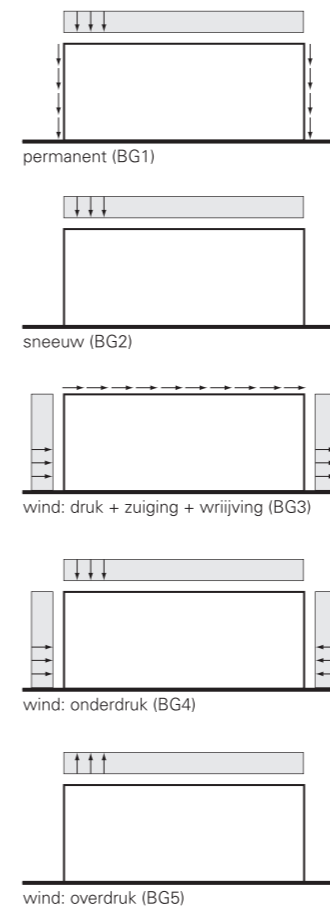
De permanente belasting (eigen gewicht) en de veranderlijke belastingen (personen, wind en sneeuw) zijn bepaald volgens NEN 6702^[3]. Uitgegaan is van een hal met een industriefunctie in veiligheidsklasse 2 met een referentieperiode van vijftig jaar. Tabel 1 van NEN 6702 geeft een overzicht van alle gebruiksfuncties en bijbehorende veiligheidsklasse. Zo valt een sporthal in veiligheidsklasse 3, evenals bijvoorbeeld een hal met een gedeelte dat bestemd is voor bezoekers. Belastingen door een kraanbaan zijn niet meegenomen. Afbeelding 2.2 geeft een overzicht van de maatgevende belastinggevallen (BG).

Belastingcombinaties

Voor de uiterste grenstoestanden en voor de bruikbaarheidsgrenstoestanden zijn de diverse belastingcombinaties bepaald volgens NEN 6702. Voor de bruikbaarheidsgrenstoestanden is uitgegaan van een belastingfactor $\gamma_{f,g;ser} = 1,0$. Voor de uiterste grenstoestanden is gerekend met:

- $\gamma_{f,g;u} = 1,2$ permanente belasting werkt ongunstig;
- $\gamma_{f,g;u} = 0,9$ permanente belasting werkt gunstig;
- $\gamma_{f,g;u} = 1,35$ combinatie met uitsluitend permanente belasting;
- $\gamma_{f,q;u} = 1,3$ voor alle veranderlijke belastingen.

Voor de portalen in deze publicatie zijn de volgende fundamentele (FC) en incidentele (IC) belastingcombinaties aangehouden voor belastingen in het vlak van het portaal:



2.2 Overzicht van de maatgevende belastinggevallen in het vlak van het portaal.

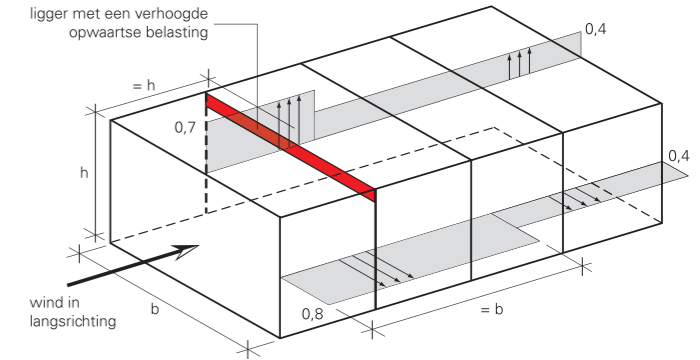
Uiterste grenstoestanden

- FC1 = 1,2·BG1 + 1,3·BG2 (permanent + sneeuw)
- FC2 = 1,2·BG1 + 1,3·BG3 + 1,3·BG4
(permanent + wind horizontaal)
- FC3 = 1,35·BG1 (alleen permanent)
- FC4 = 0,9·BG1 + 1,3·BG5 (permanent + wind opwaarts)

Bruikbaarheidsgrenstoestanden

- IC1 = 1,0·BG2 (sneeuw)
- IC2 = 1,0·BG3 + 1,0·BG4 (wind horizontaal)

Wind in langsrichting van de hal is niet beschouwd. Dit kan gevolgen hebben voor de portalen in of nabij de kopgevels van de hal. Voor deze portalen moet de ontwerper controleren of opwaartse windbelasting niet maatgevend is voor de ligger.

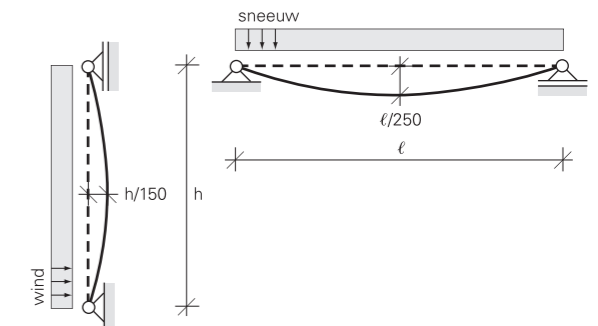


2.3 Combinatie van Figuur A.4 en A.6 uit bijlage A van NEN 6702 voor wind in langsrichting (exclusief wind overdruk).

Voor opwaartse windbelasting op de liggers vlakbij de kopgevels geldt over de gehele lengte een windvormfactor $C_{pe} = 0,7$ en dat is exclusief de windvormfactor $C_{pi} = 0,3$ voor windoverdruk. Vooral bij hoge hallen met een hoge windbelasting (windgebied I) kan wind in langsrichting maatgevend worden voor de ligger (afb. 2.3).

2.3 Vervormingseisen

Alle liggers krijgen een zeeg ter grootte van de doorbuiging door de permanente belasting plus de benodigde zeeg voor het afschot (zie ook hoofdstuk 5). De doorbuiging door verticale, neerwaartse veranderlijke belasting mag in dat geval niet groter zijn dan $\ell/250$ (afb. 2.4). NEN 6702 geeft een eis aan de scheefstand van een gebouw van maximaal $h/150$. Een geschoorde constructie van een hal voldoet gemakkelijk aan deze eis. Voor de horizontale doorbuigingseis voor de kolommen wordt in de praktijk vaak $h/150$ gebruikt. Deze eis is ook aangehouden voor de portalen in deze publicatie.



2.4 Vervormingseisen voor ligger en kolom.

2 • Uitgangspunten voor de grafieken

2.4 Toetsing profielen

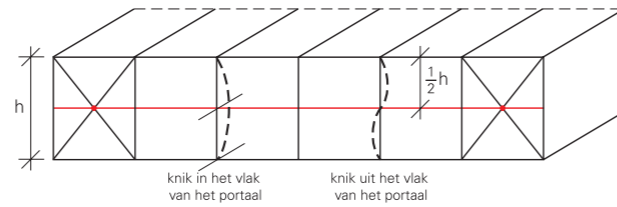
Toetsing ligger

De toetsing van de portalen verloopt volgens NEN 6770^[4] en NEN 6771^[5].

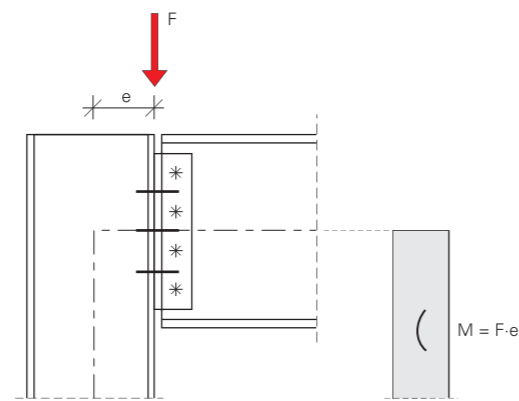
De dakplaten dienen als kipsteun voor de dakligger voor neerwaartse belasting conform de RMBS 2000^[6]. Bij een opwaartse belasting door windzuiging op het dak kan de onderrand van de dakligger wegdraaien door kip. Daarom moeten kipsteunen worden aangebracht die de onderrand van de ligger zijdelings steunen. Deze steunen hebben een maximale afstand hart-op-hart van 5 m (dit is een veilige aanname in de ontwerpfase), waardoor alle liggers uit deze publicatie voldoende tegen kip worden gesteund. Op de website van Bouwen met Staal is een rekenprogramma te raadplegen dat voor elke willekeurige overspanning controleert of daadwerkelijk kipsteunen moeten worden aangebracht.

Toetsing kolom

- Voor knik *in het vlak* van het portaal is voor de kniklengte van de kolom (over de sterke as) de systeemlengte h aangehouden (afb. 2.5). Deze aanname is conservatief, omdat de ontwerper enige inklemming mag ontlenuen aan de kolomvoet waardoor de kniklengte korter wordt (NEN 6770, art. 12.1.1.3). De aansluiting van de ligger veroorzaakt een klein kopmoment in de kolom (afb. 2.6). In de praktijk mag er echter vanuit worden gegaan dat de excentriciteiten in scharnierende verbindingen niet leiden tot het verzwaren van de kolommen.
- Voor knik *uit het vlak* van het portaal (over de zwakke as) wordt de halve systeemlengte als kniklengte genomen (afb. 2.5), omdat de wandregel als kniksteun wordt gebruikt. Daarom moet de wandregel zijn gekoppeld aan de windverbanden in de gevel. Verder dient de wandregel als kipsteun voor de kolom. Geen rekening is gehouden met de kipsteun die de gevelbeplating eventueel aan de kolom levert.



2.5 De wandregel (rood) steunt de kolom op knik en op kip.



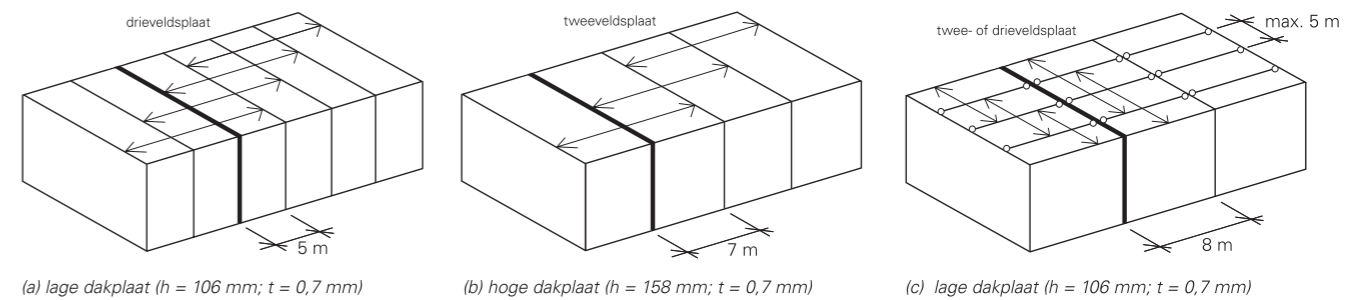
2.6 Een excentriciteit van de aansluiting veroorzaakt een (klein) kopmoment op de kolom.

2.5 Daksystemen

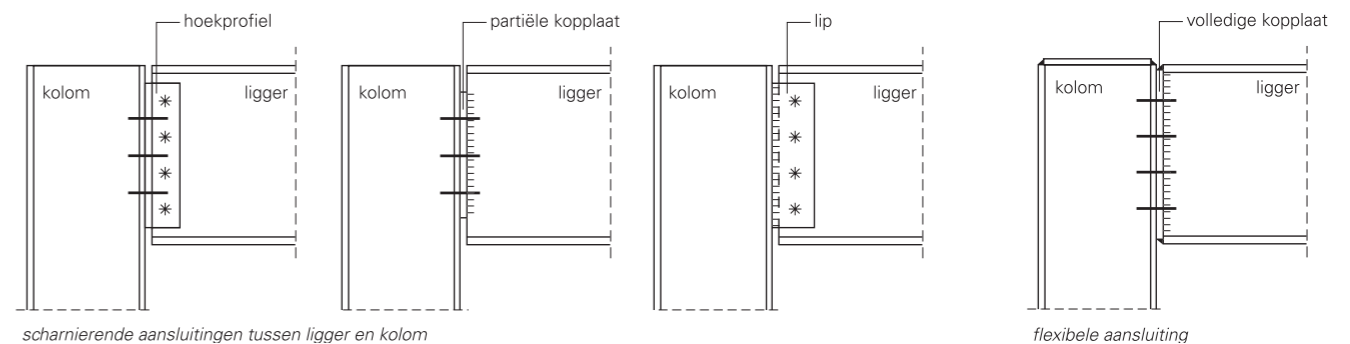
In de praktijk wordt de afstand hart-op-hart van de portalen meestal gekozen op basis van het dakstelsysteem.

In deze publicatie is uitgegaan van de volgende drie afstanden: 5 m, 7 m en 8 m (afb. 2.7).

- Bij een afstand van 5 m worden lage dakplaten ($h = 106$ mm; $t = 0,7$ mm) gebruikt die over drie velden doorlopen. De dakplaten moeten in een schaakbordpatroon worden gelegd om alle portalen even zwaar te belasten.
- Bij een afstand van 7 m worden hoge dakplaten ($h = 158$ mm; $t = 0,7$ mm) gebruikt die over twee velden doorlopen. Ook de tweeveldsplaten moeten in een schaakbordpatroon worden gelegd.
- Bij een afstand van 8 m komen gordingen (IPE 220) tussen de portalen en worden lage dakplaten ($h = 106$; $t = 0,7$ mm) gebruikt die evenwijdig aan de portalen lopen. De maximale afstand hart-op-hart van de gordingen is 5 m.



2.7 De drie verschillende daksystemen.



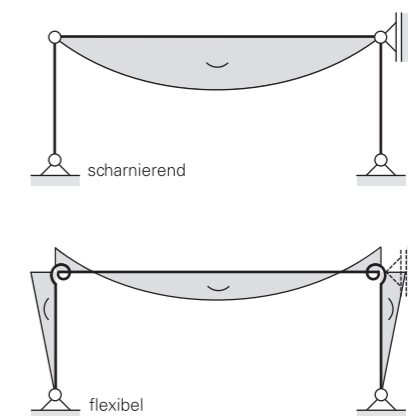
2.8 De verschillende typen verbindingen.

In de grafieken in hoofdstuk 3 is voor de drie verschillende portaalafstanden aangegeven wat de bijbehorende profielafmetingen zijn voor de ligger en voor de kolom.

2.6 Keuze van de verbinding

Voor de aansluiting tussen de ligger en de kolom kan de ontwerper kiezen tussen een scharnierende en een flexibele verbinding. Een scharnierende verbinding kan worden gemaakt met een dubbel hoekprofiel, een partiële kopplaat of een lip. Bij een flexibele verbinding wordt een kopplaat over de volledige hoogte van het profiel zowel aan het lijf als aan de flenzen van de ligger gelast (afb. 2.8).

Een kopplaatverbinding is in het algemeen duurder dan een verbinding met hoekprofielen of met een lip. Daar staat echter tegenover dat de ligger vaak één profiel lager uitvalt dankzij een gunstiger momentenverdeling (afb. 2.9). Deze besparing kan opwegen tegen de duurdere verbinding (zie ook paragraaf 4.5).



2.9 Vergelijk van de momentenverdeling met een scharnierende verbinding en een flexibele verbinding.

2 • Uitgangspunten voor de grafieken

Voor de grafieken van de flexibele verbindingen in hoofdstuk 3 is de krachtsverdeling in het portaal met een computerprogramma berekend op basis van de eindige-elementenmethode. De ontwerper kan voor invoer in zijn raamwerkprogramma de stijfheid van de verbinding inschatten met onderstaande formule, ontleend aan de publicatie *Momentverbindingen*^[7]:

$$C_{v,ini;ben;d} = \frac{E_d z^2 t_{f,c}}{k_f} \quad (\text{Nmm/rad})$$

Hierin is:

E_d elasticiteitsmodulus ($E_d = 210.000 \text{ N/mm}^2$);

z 2/3 van de hoogte van de ligger (mm);

$t_{f,c}$ dikte van de kolomflens (mm);

k_f stijfheidsfactor ($k_f = 11,5 \text{ rad}$).

2.7 Ontwerp van de verbinding

Scharnierende verbinding

Voor het ontwerp van een scharnierende verbinding kan de publicatie *Dwarskrachtverbindingen* worden gebruikt^[8]. Het is daarvoor niet nodig de dwarskracht in de verbinding te kennen. De optredende dwarskracht is namelijk lager dan de dwarskrachtcapaciteit van de verbinding. De reden is dat de portalen een relatief geringe verticale belasting combineren met een relatief grote overspanning. De werkwijze verloopt als volgt:

- Kies het type scharnierende verbinding (afb. 2.8).
- Ga uit van een IPE-profiel zonder raveling.
- Kies de toe te passen bout: M16 of M20.
- Kies de boutplaatsing (hoe ver de bouten uit elkaar geplaatst kunnen worden): compact, standaard of ruim (afb. 2.10).
- Lees de gegevens van de verbinding af.

boutplaatsing	M16	M20
compact	45 mm	55 mm
standaard	55 mm	70 mm
ruim	70 mm	85 mm

2.10 Verticale afstand tussen de boutrijen.

De tabellen in de publicatie *Dwarskrachtverbindingen* geven het aantal bouten, de afmeting van het hoekprofiel, de partiële kopplaat of de lip, de minimale dikte van de flens van de kolom en (indien van toepassing) de minimale lasdikte. De tabellen zijn te gebruiken voor staalsoort S235 en boutkwaliteit 8.8. In een kader is een voorbeeld uitgewerkt van een verbinding met hoekprofielen.

De scharnierende verbinding die op bovenstaande wijze is ontworpen, voldoet bij nadere uitwerking aan de toetsing op sterkte en stijfheid. Ook de vervormingscapaciteit van de verbinding is voldoende.

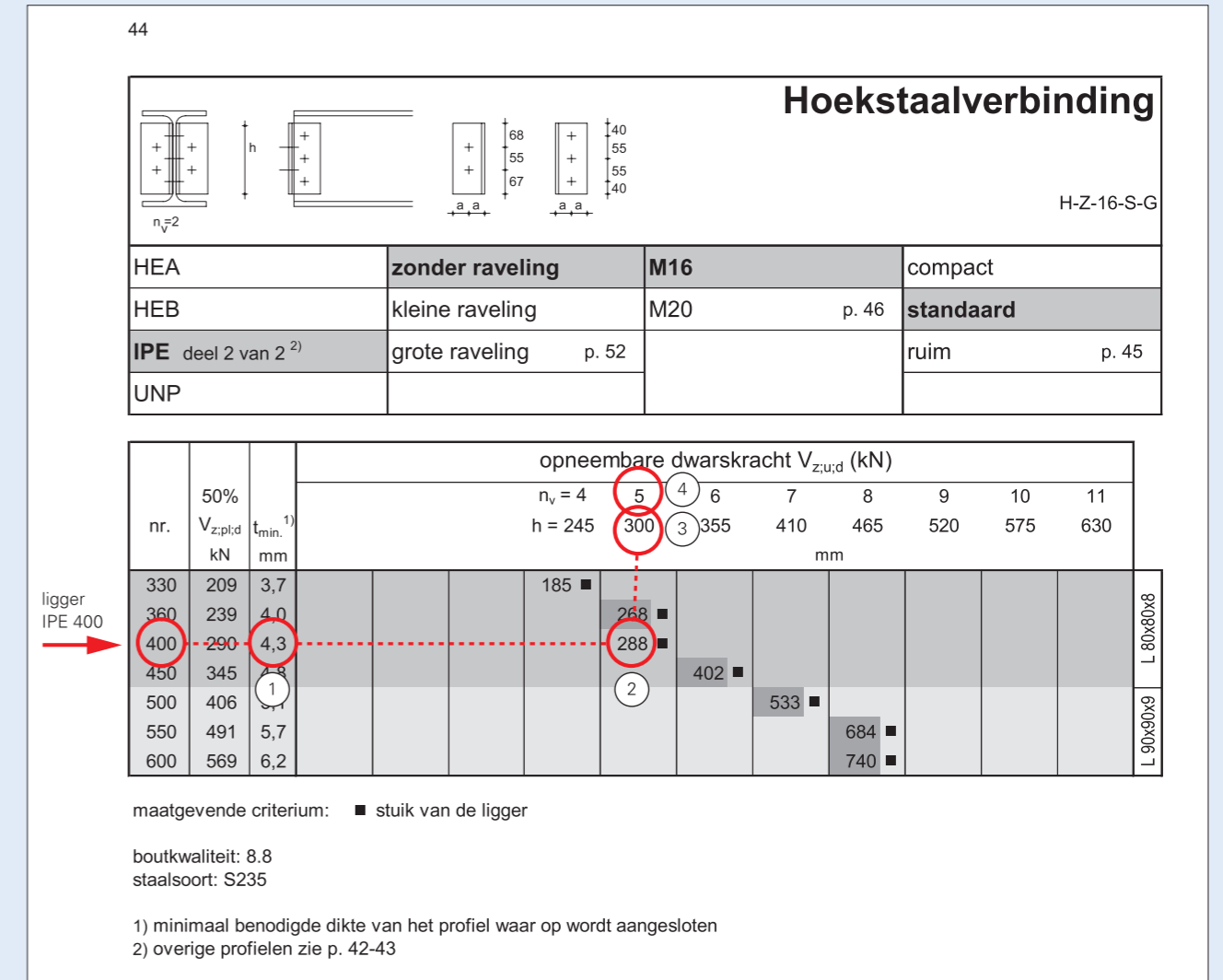
Flexibele verbinding

Voor het ontwerp van een flexibele verbinding bestaan (nog) geen ontwerptabellen. De ontwerper moet zelf een verbinding ontwerpen en toetsen op sterkte, stijfheid en vervormingscapaciteit. Hiervoor wordt onder meer verwezen naar de publicatie *Construeren B*^[9].

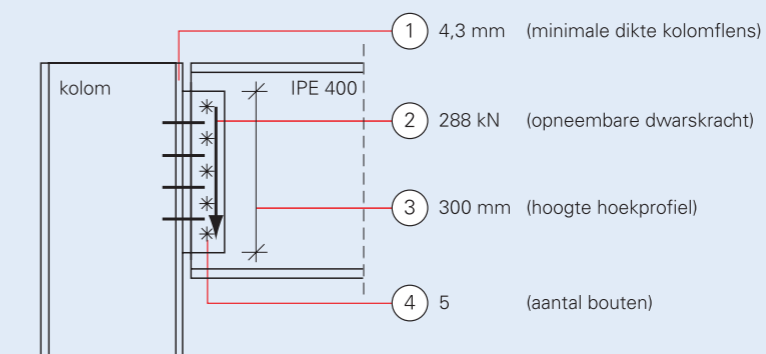
Voorbeeld ontwerp scharnierende verbinding

Gekozen is een verbinding met dubbele hoekprofielen. De bovenregel van het portaal is een IPE 400 die zonder raveling op de kolommen aansluit. De ontwerper heeft

gekozen voor bouten M16 in een standaard plaatsing. Lees horizontaal de minimale dikte van de kolomflens af en vervolgens (bij de opneembare dwarskracht) verticaal de hoogte van het hoekprofiel en het aantal bouten.



Blz. 44 uit de publicatie *Dwarskrachtverbindingen van Bouwen met Staal*.



3 • Ontwerpgrafieken

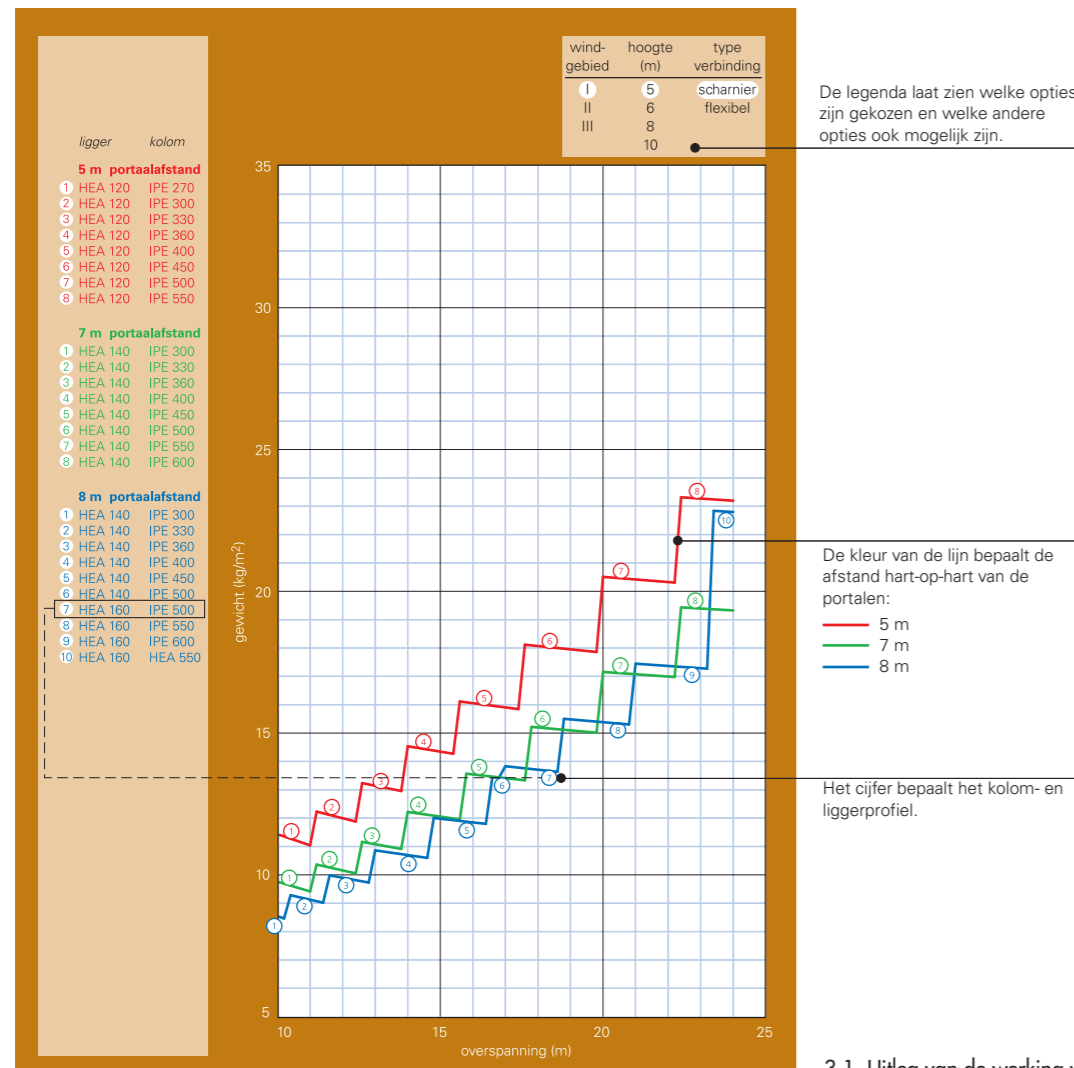
Toelichting bij de grafieken

Dit hoofdstuk bevat vierentwintig grafieken voor het bepalen van het eigen gewicht en van de afmetingen van portalen met een overspanning van 10-24 m. De uitgangspunten van de berekening staan in hoofdstuk 2, inclusief de keuze van de verbinding. Voor de berekeningsmethodiek wordt verwezen naar het rekenvoorbeeld in de bijlage.

De grafieken kennen de volgende vier variabelen:

- **Windgebied.** Het windgebied hangt af van de geografische ligging van de hal. De aangegeven windgebieden I, II en III komen overeen met NEN 6702.

- **Hoogte van het portaal.** Voor de hoogte van het portaal wordt uitgegaan van de syteemlijnen. Er zijn vier hoogten beschikbaar: 5, 6, 8 en 10 m.
- **Type verbinding.** Gekozen kan worden voor een scharnierende of voor een flexibele verbinding.
- **Afstand hart-op-hart van de portalen.** Elke grafiek bevat gekleurde lijnen voor de drie verschillende hart-op-hart afstanden van de portalen, afhankelijk van het gekozen daksysteem (zie paragraaf 2.4):
 - rood** h.o.h. 5 m (lage dakplaat; h = 106 mm);
 - groen** h.o.h. 7 m (hoge dakplaat; h = 158 mm);
 - blauw** h.o.h. 8 m (lage dakplaat met gordingen; h = 106 mm met IPE 220).

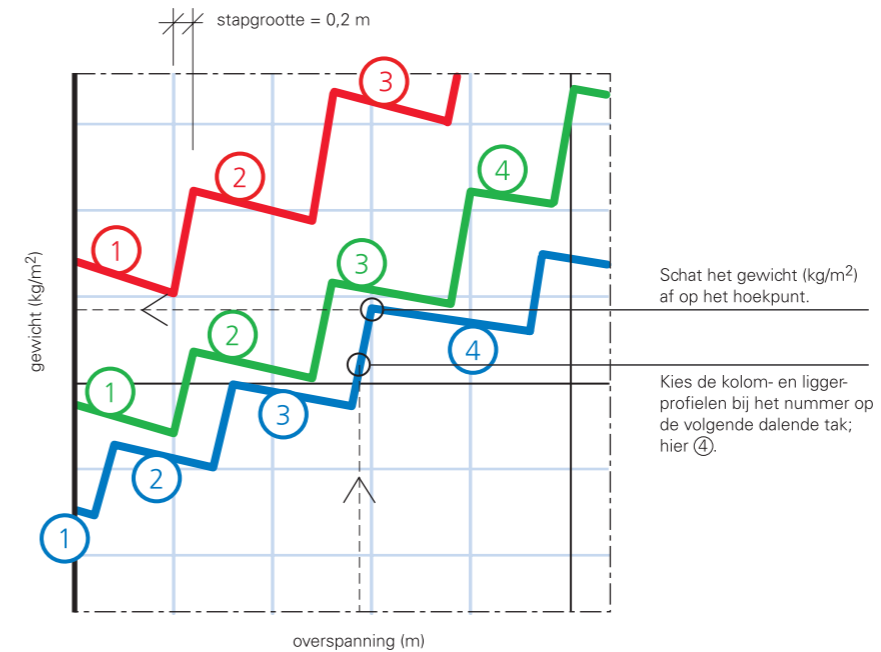


3.1 Uitleg van de werking van de grafieken.

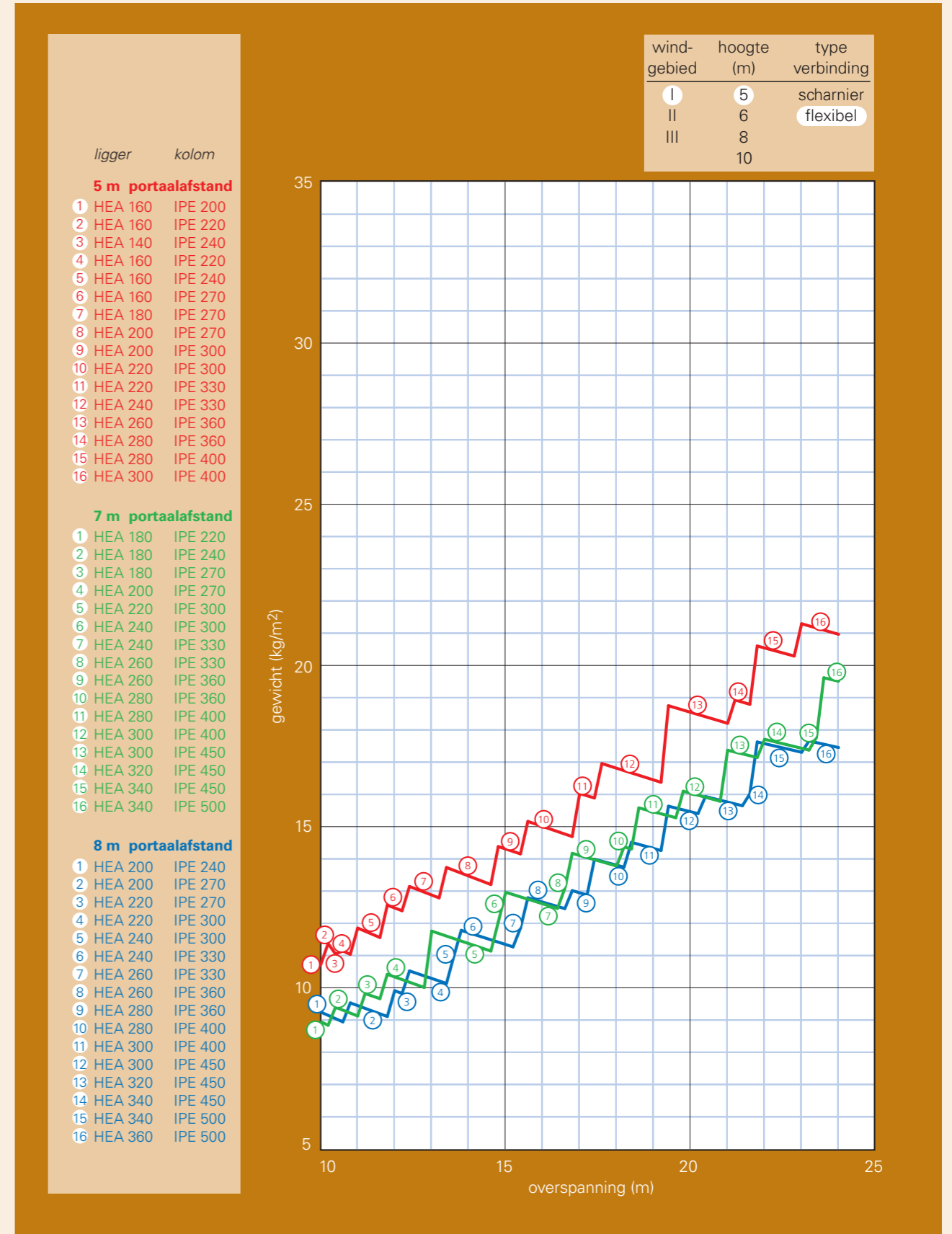
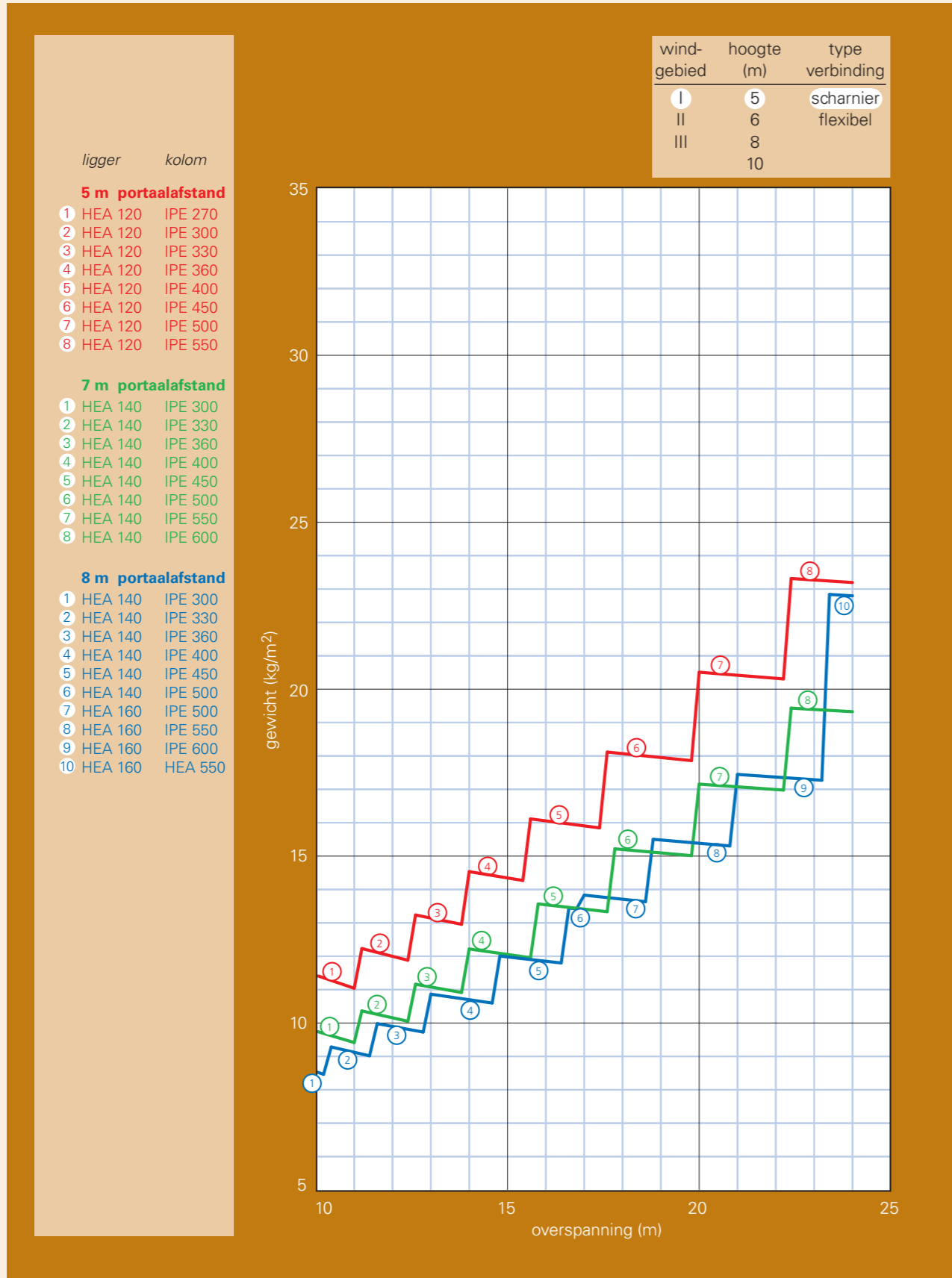
Elke lijn geeft voor overspanningen van 10-24 m aan wat het eigen gewicht (kg/m²) is van het portaal, bestaande uit één ligger en twee kolommen (afb. 3.1). Op basis hiervan is een schatting te maken van de kosten (zie hoofdstuk 5). Het gewicht van bouten, moeren, hoekprofielen, kopplaten en/of lippen is niet meegenomen. Bij elk aflopend lijnstuk staat een omcirkeld getal, dat verwijst naar de opbouw van de portalen met kolommen uit de HEA-serie en liggers uit de IPE-serie. Bovendien staat bij elke grafiek een overzicht van alle variabelen, waarbij is aangegeven welke variabelen voor de getoonde grafiek gelden. Zo kan de gebruiker direct zien welke andere opties mogelijk zijn.

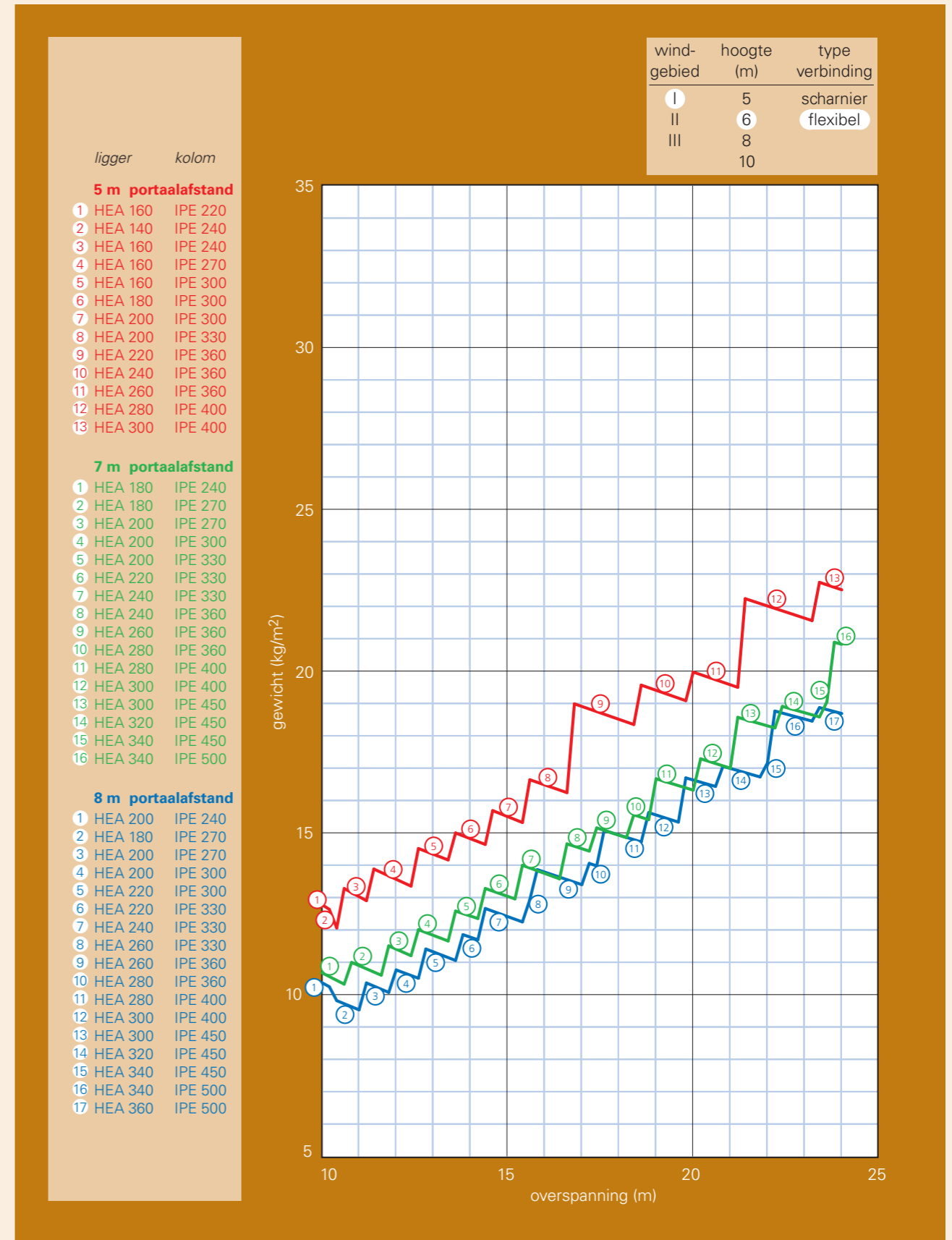
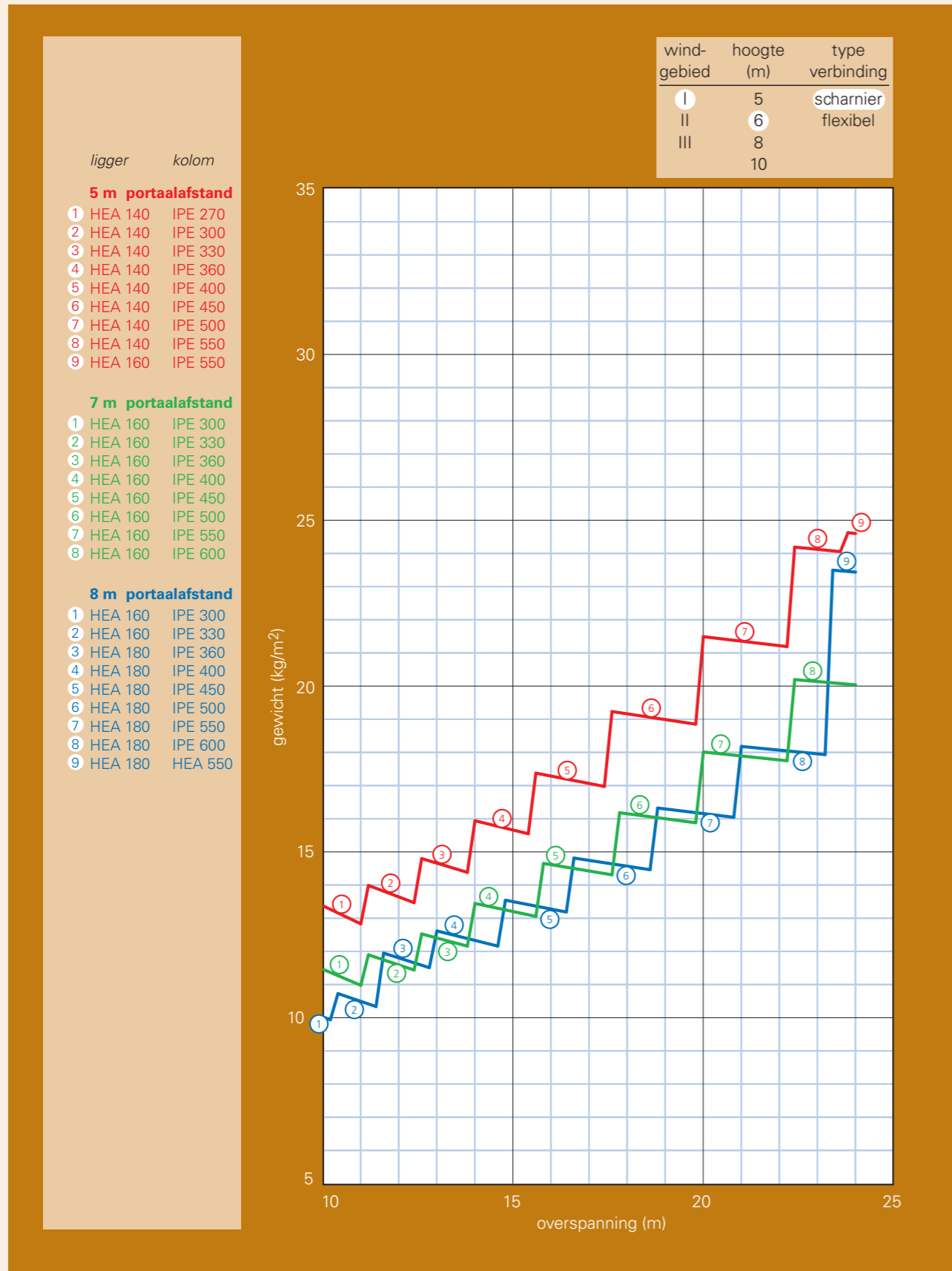
Hoe om te gaan met sprongen in de grafieken

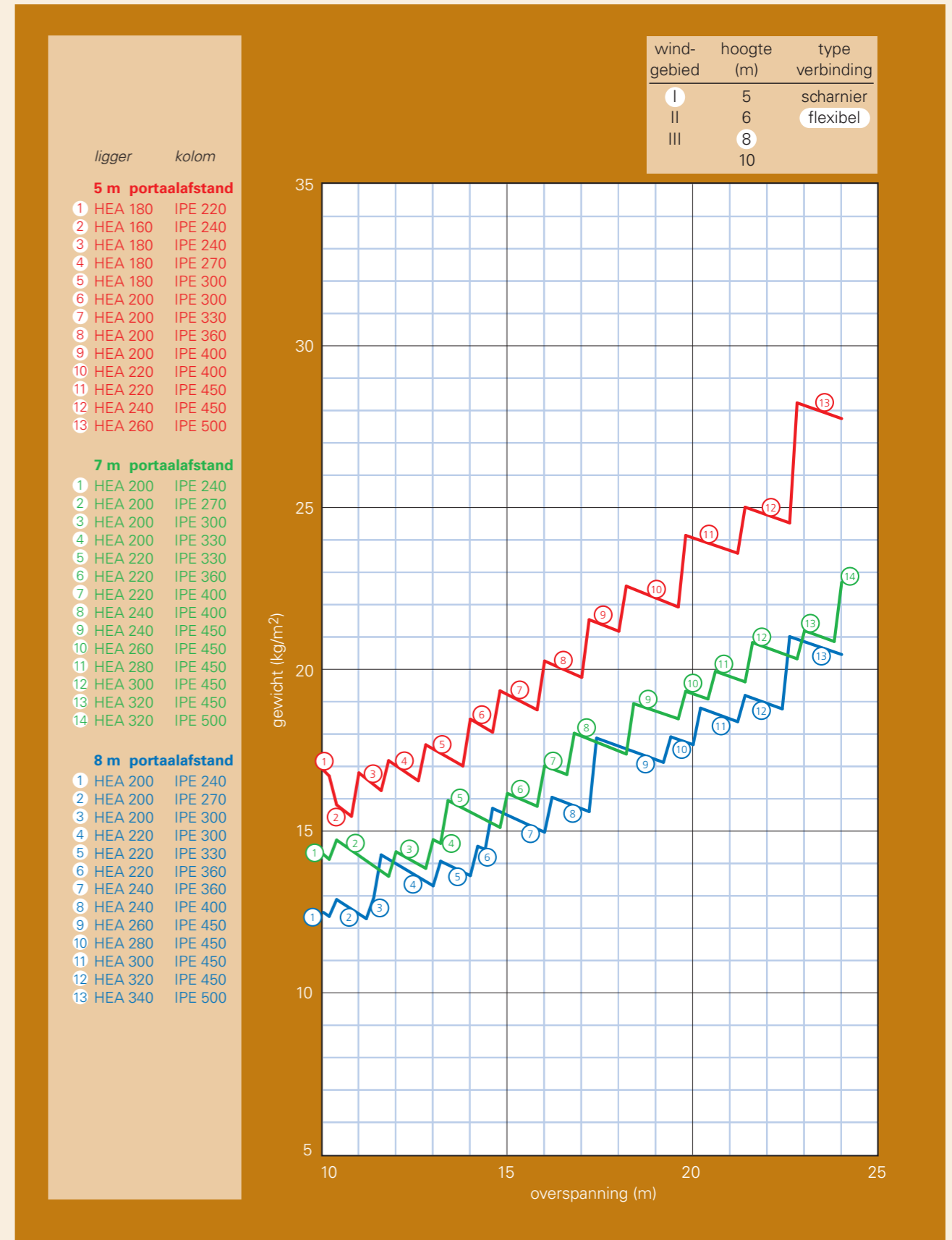
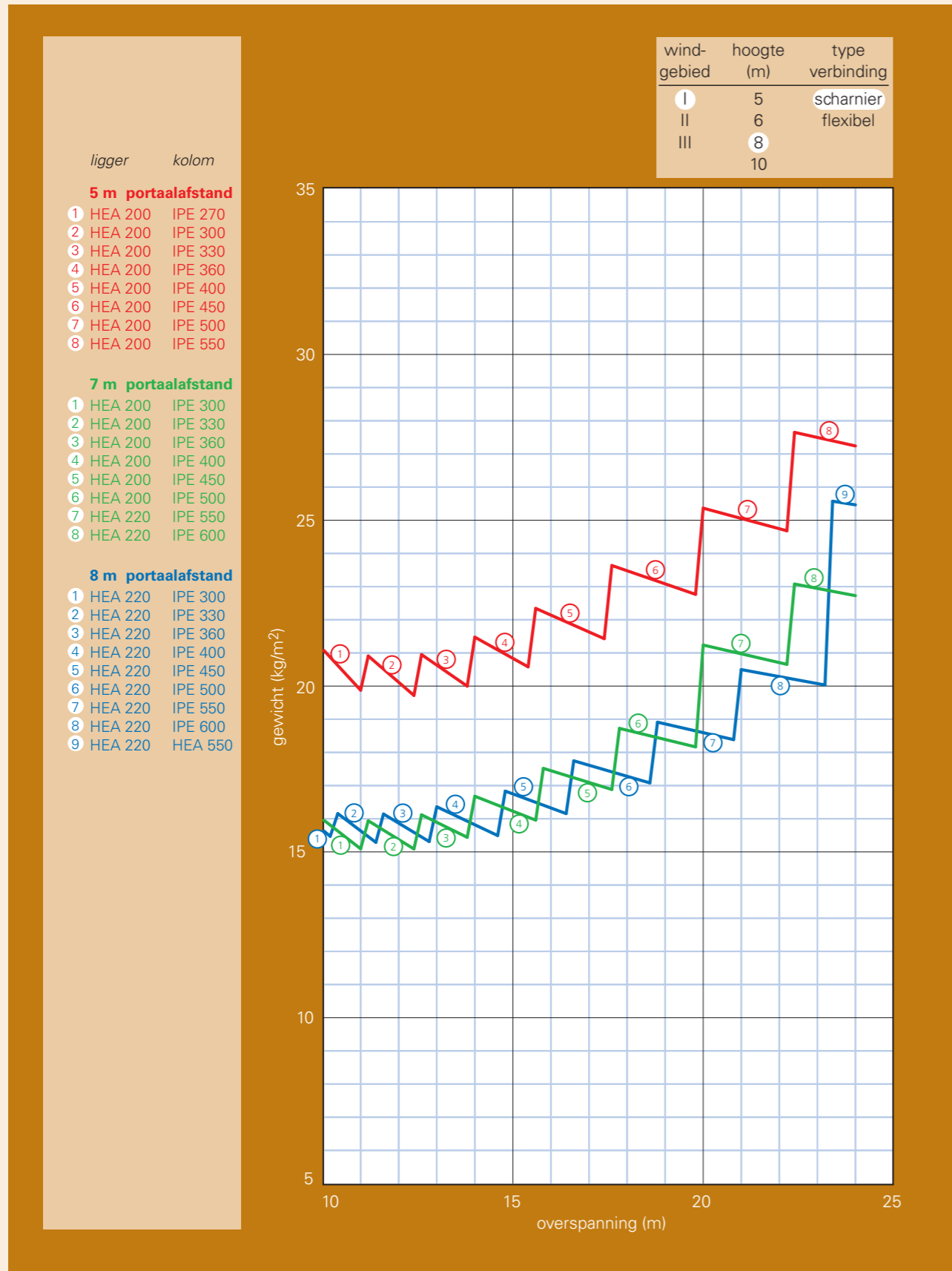
De sprongen in de grafieken zijn niet loodrecht, maar verlopen met een scherpe, schuine opwaartse lijn (afb. 3.2). Dit komt doordat de ligger- en de kolomlengte is berekend met een stapgrootte van 0,2 m. Bepaal bij het aflezen – in een opwaarts lijnstuk – het kolom- en liggerprofiel en het bijbehorende eigen gewicht op het hoogste punt van het lijnstuk. Na elke sprong daalt de lijn, doordat de ligger bij een grotere overspanning efficiënter wordt uitgenut. Nadat de ligger zijn capaciteit heeft bereikt, volgt een nieuwe sprong.

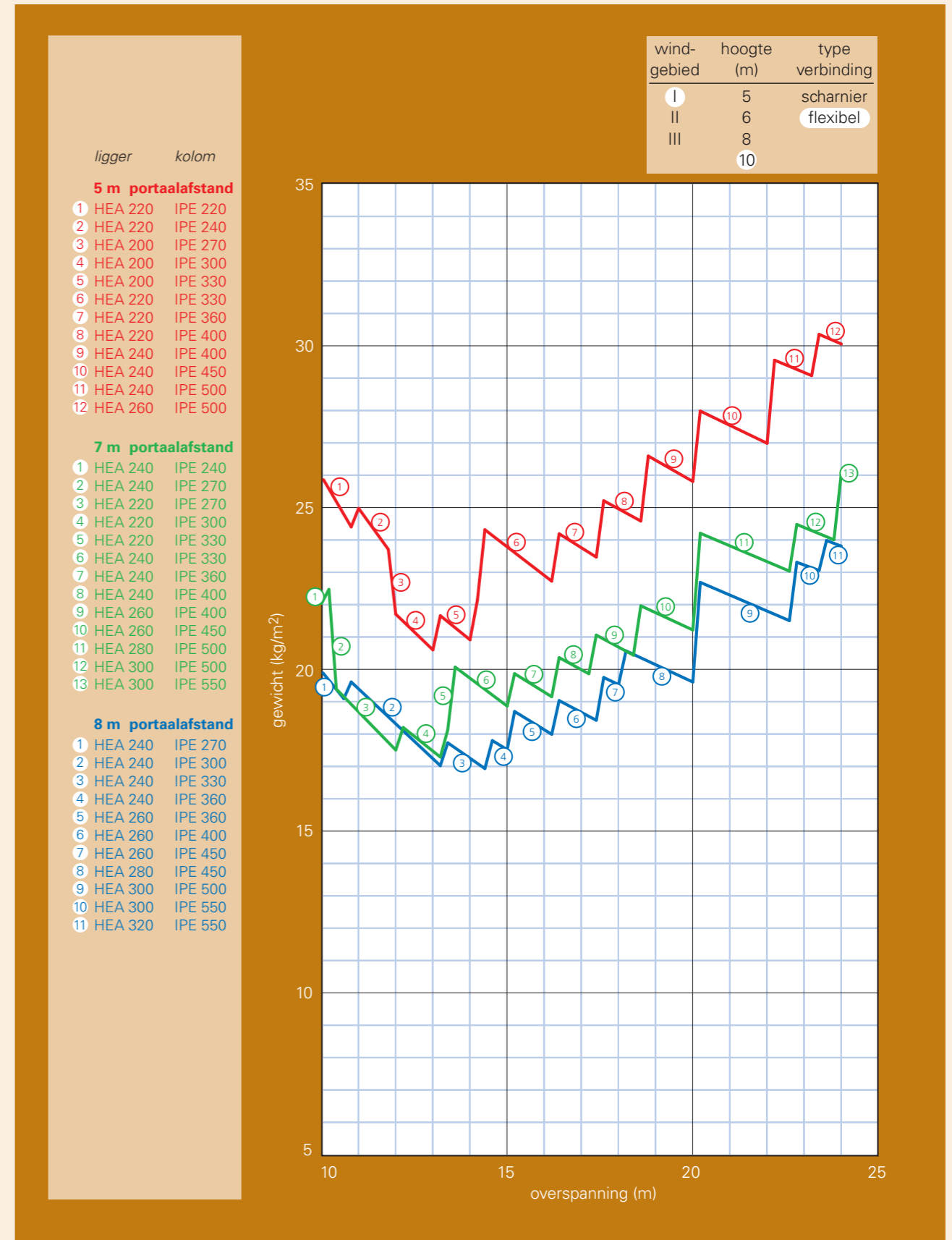
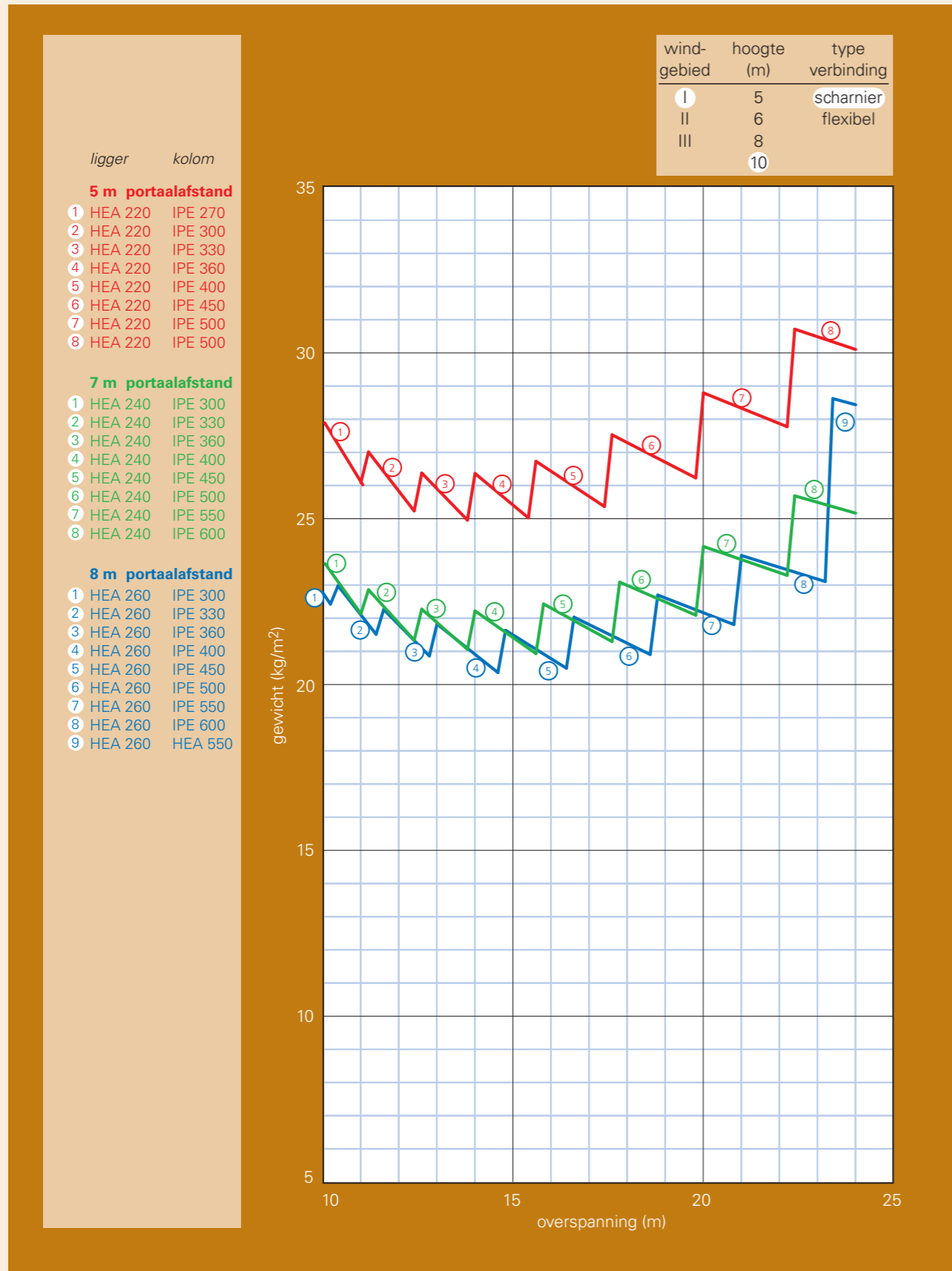


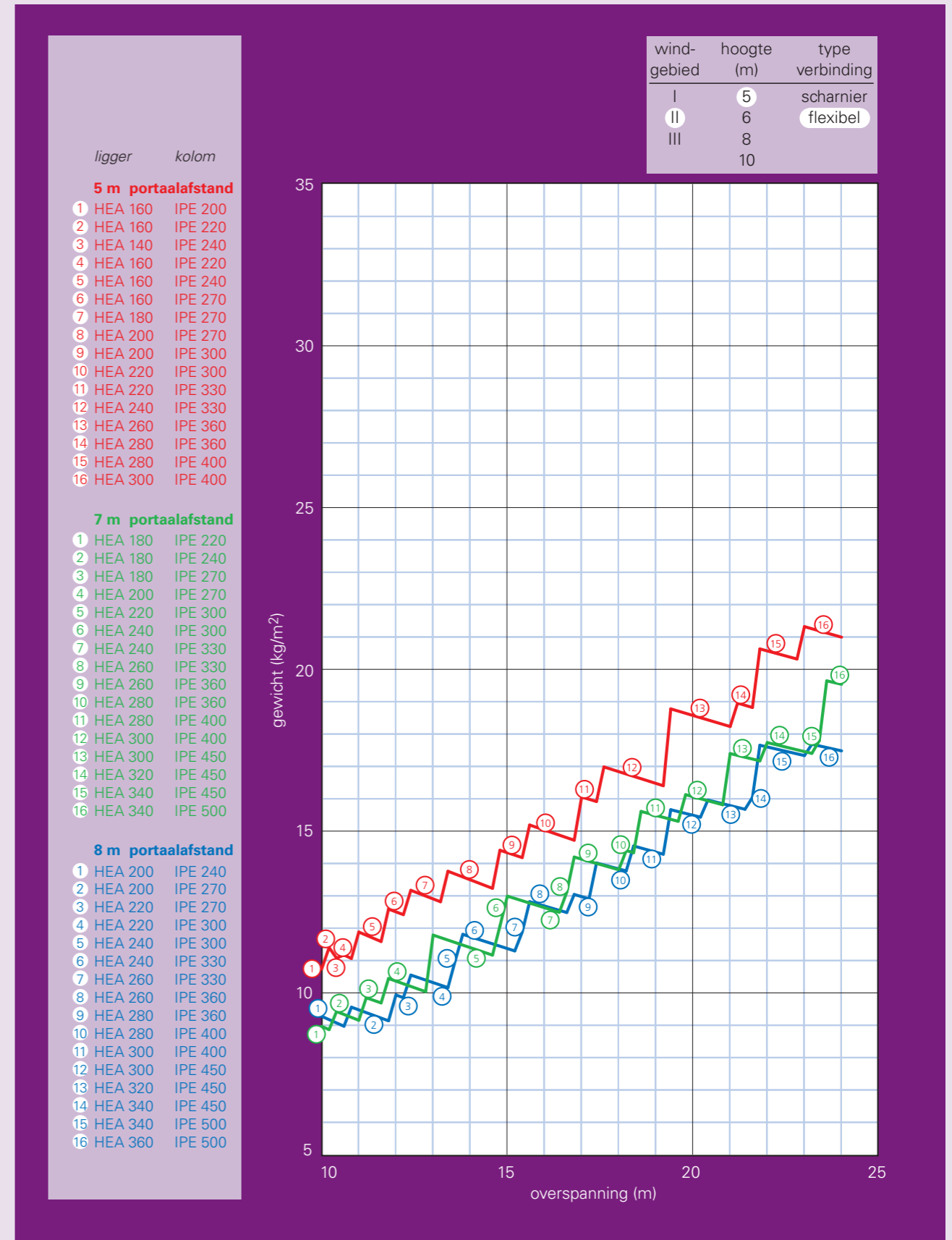
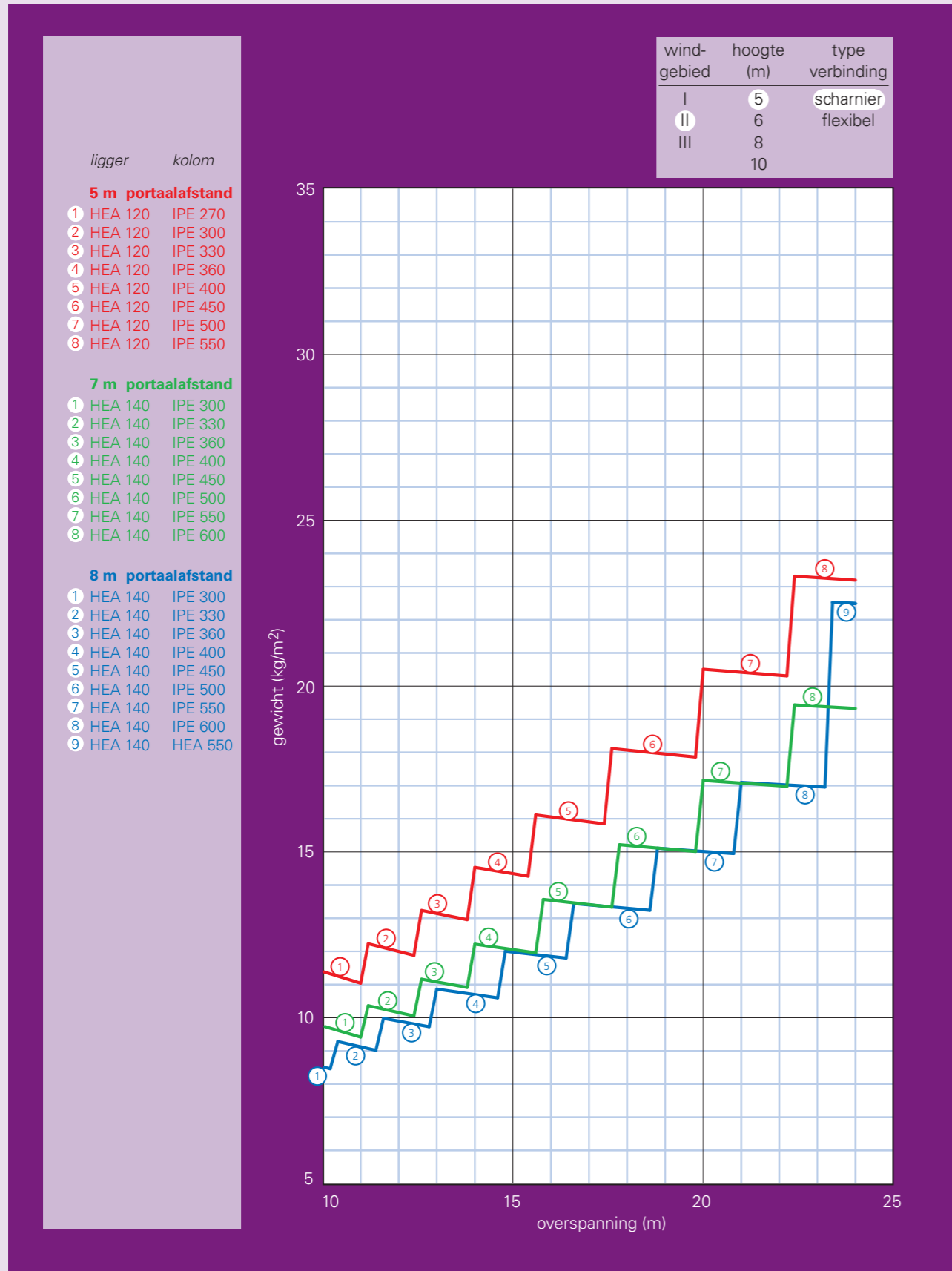
3.2 Detail van de sprongen in de grafiek.

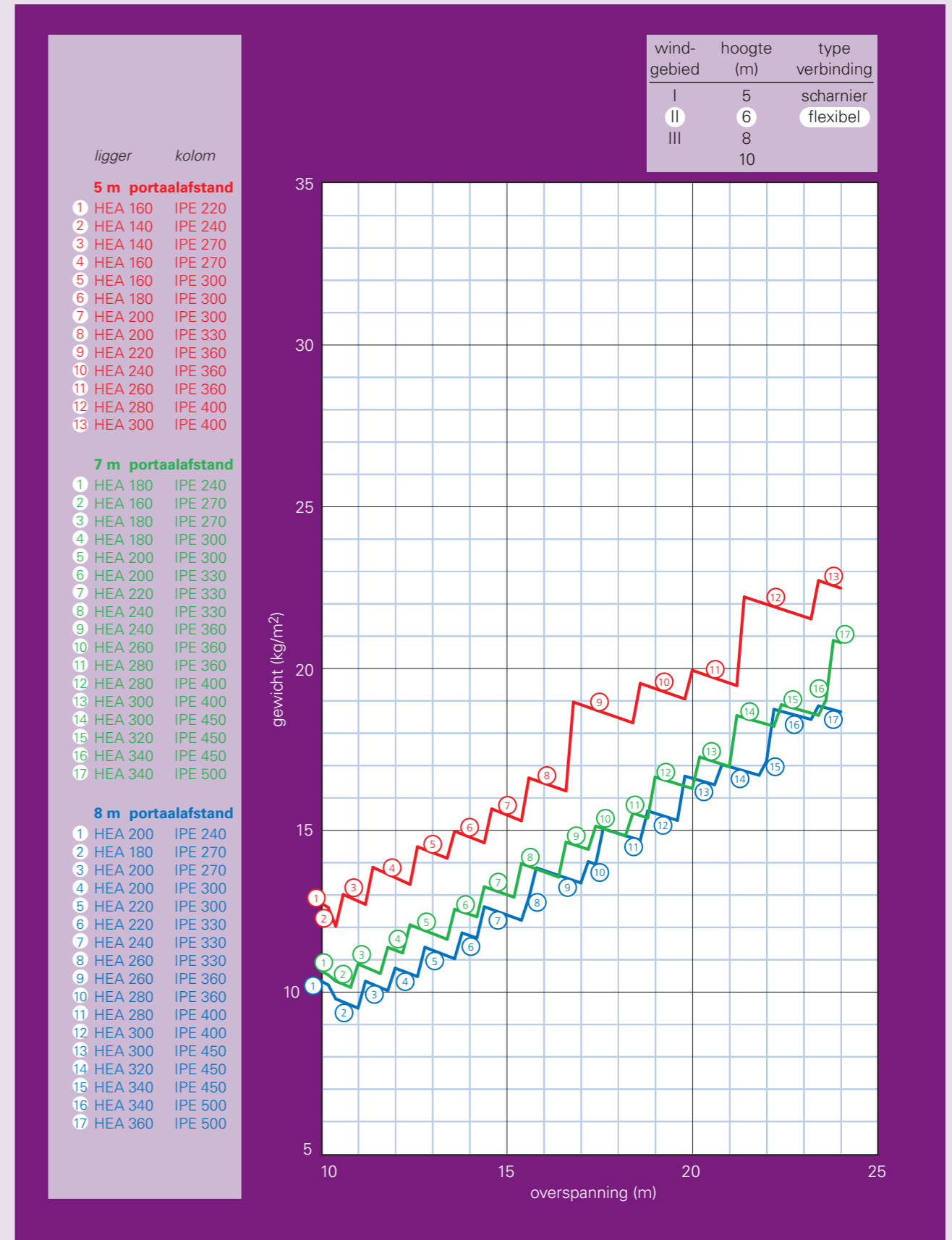
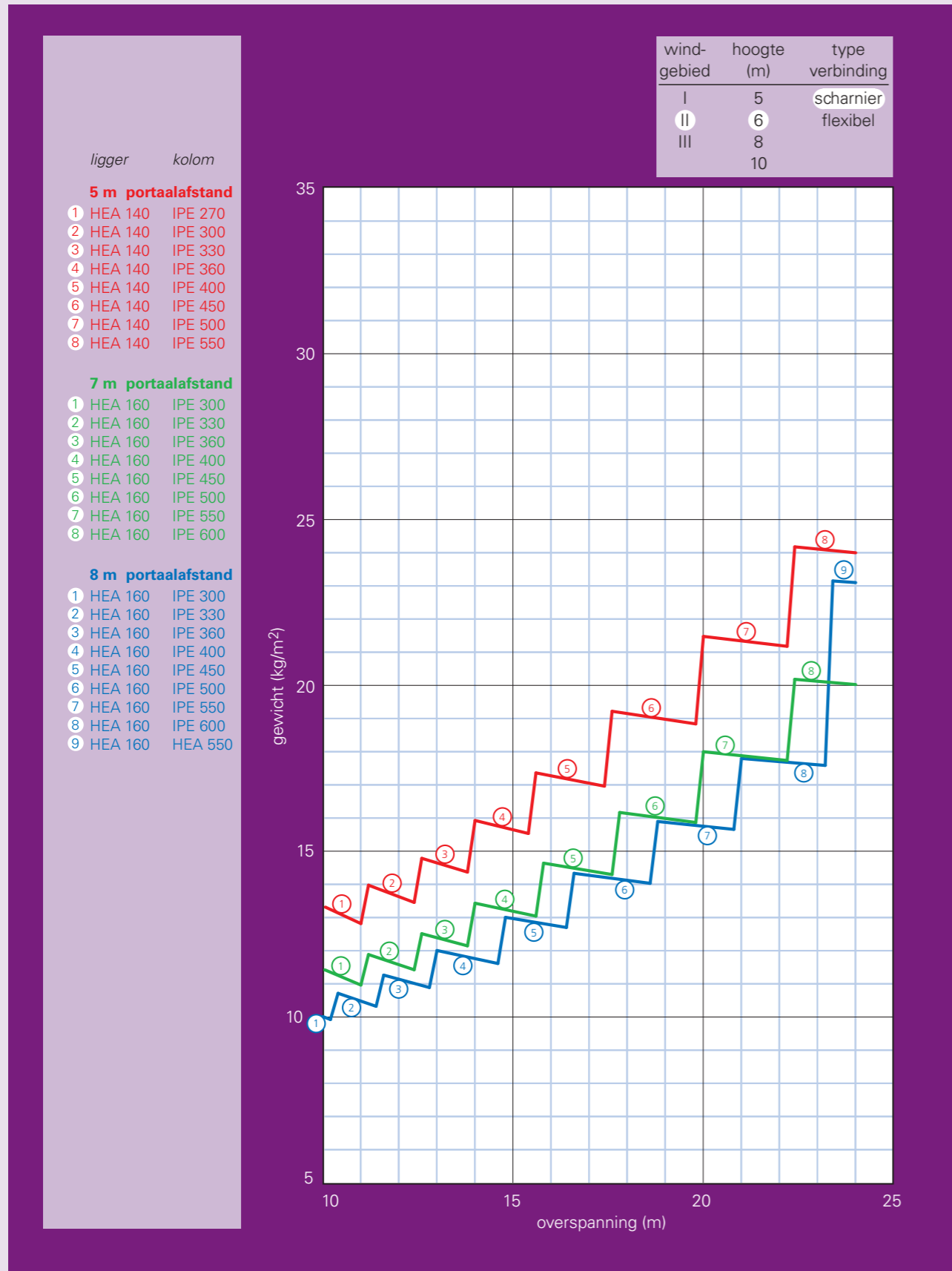


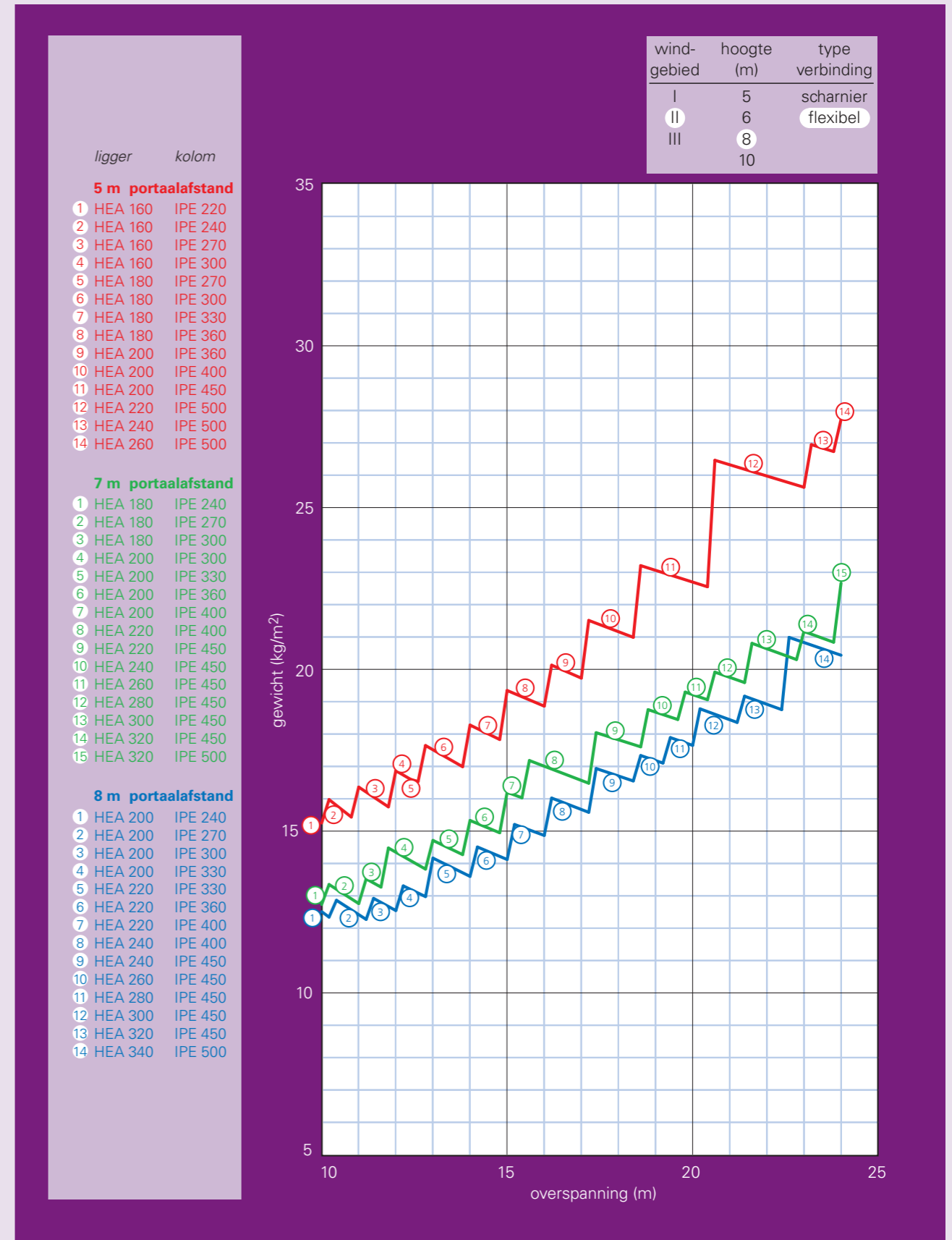
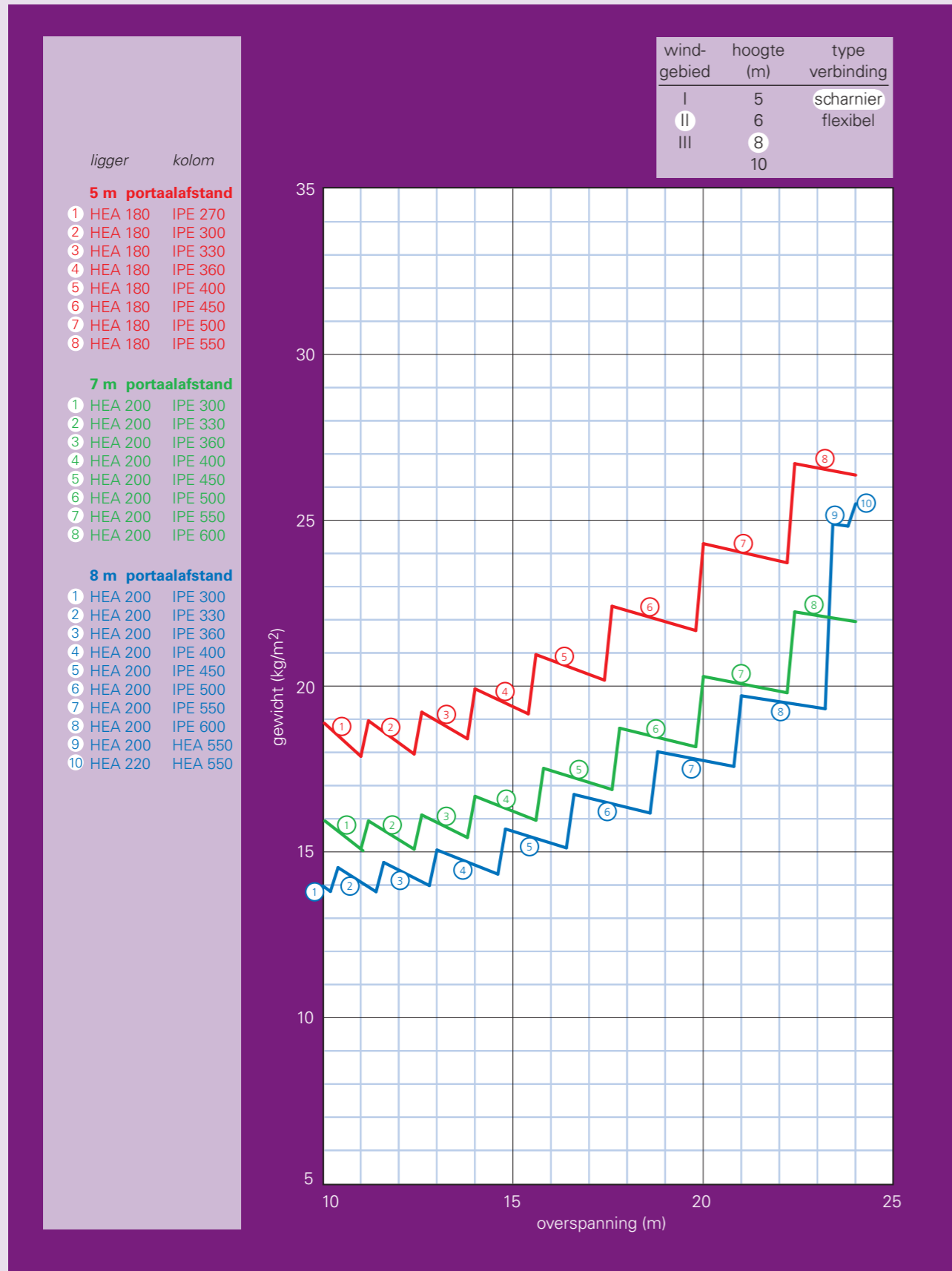


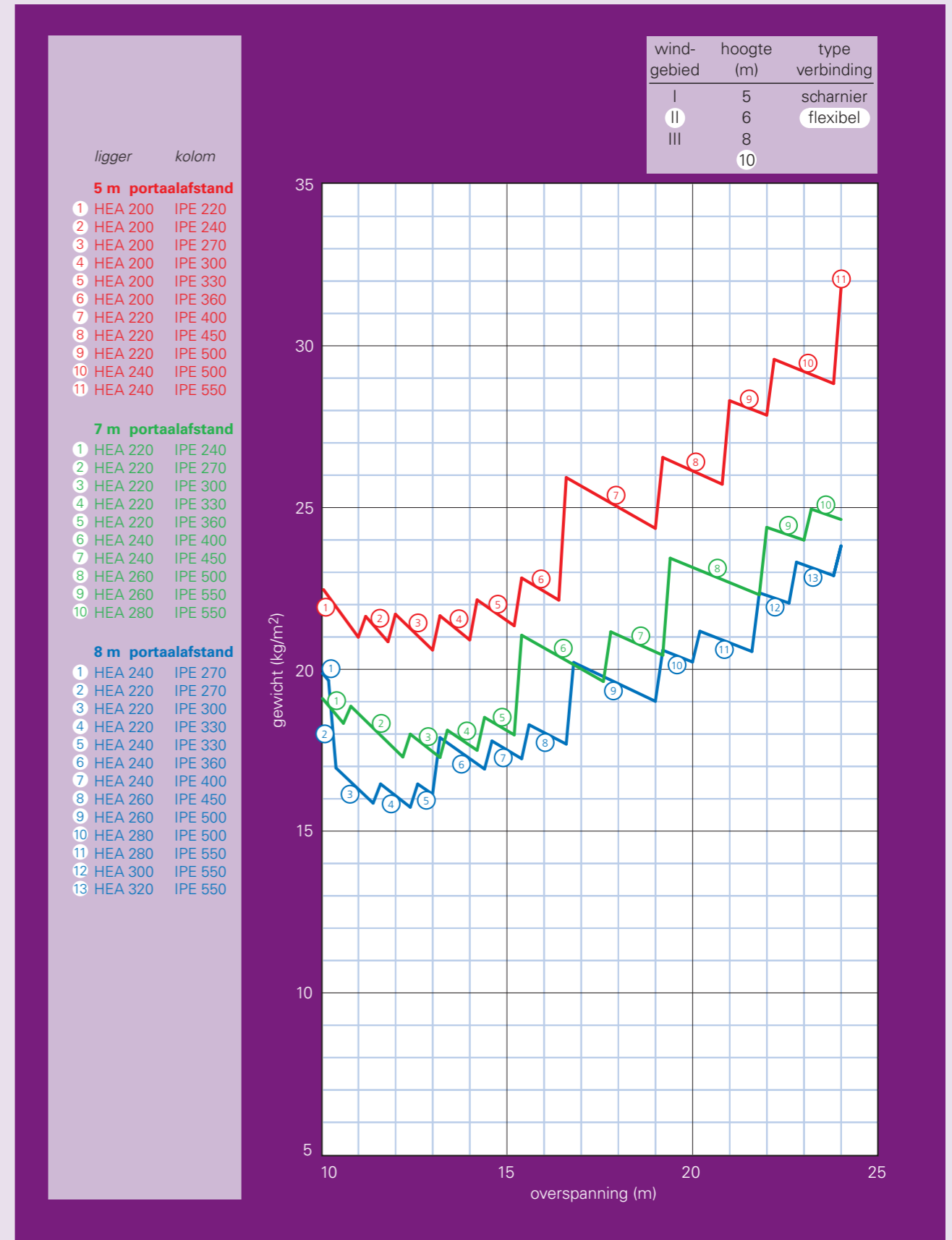
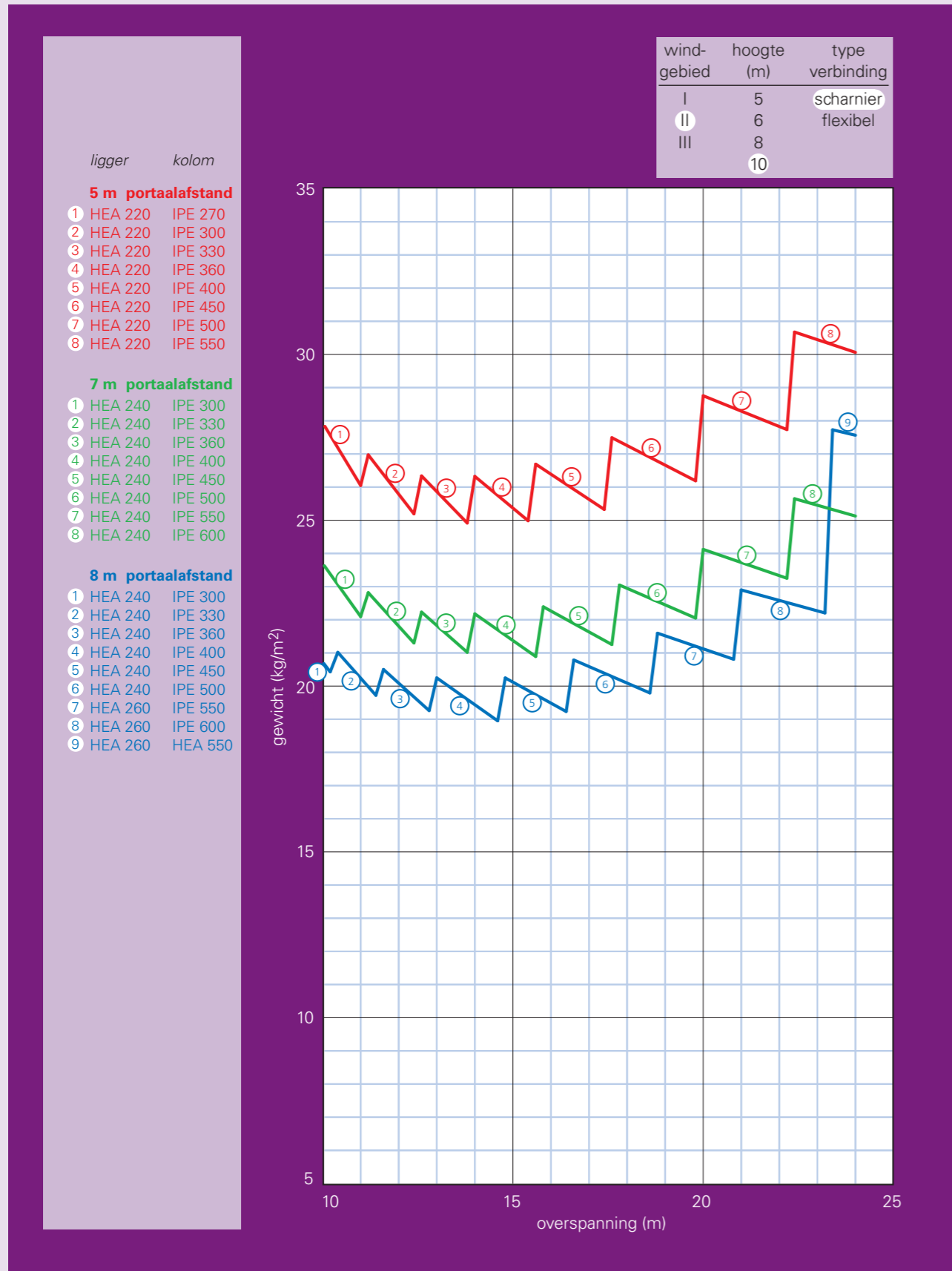


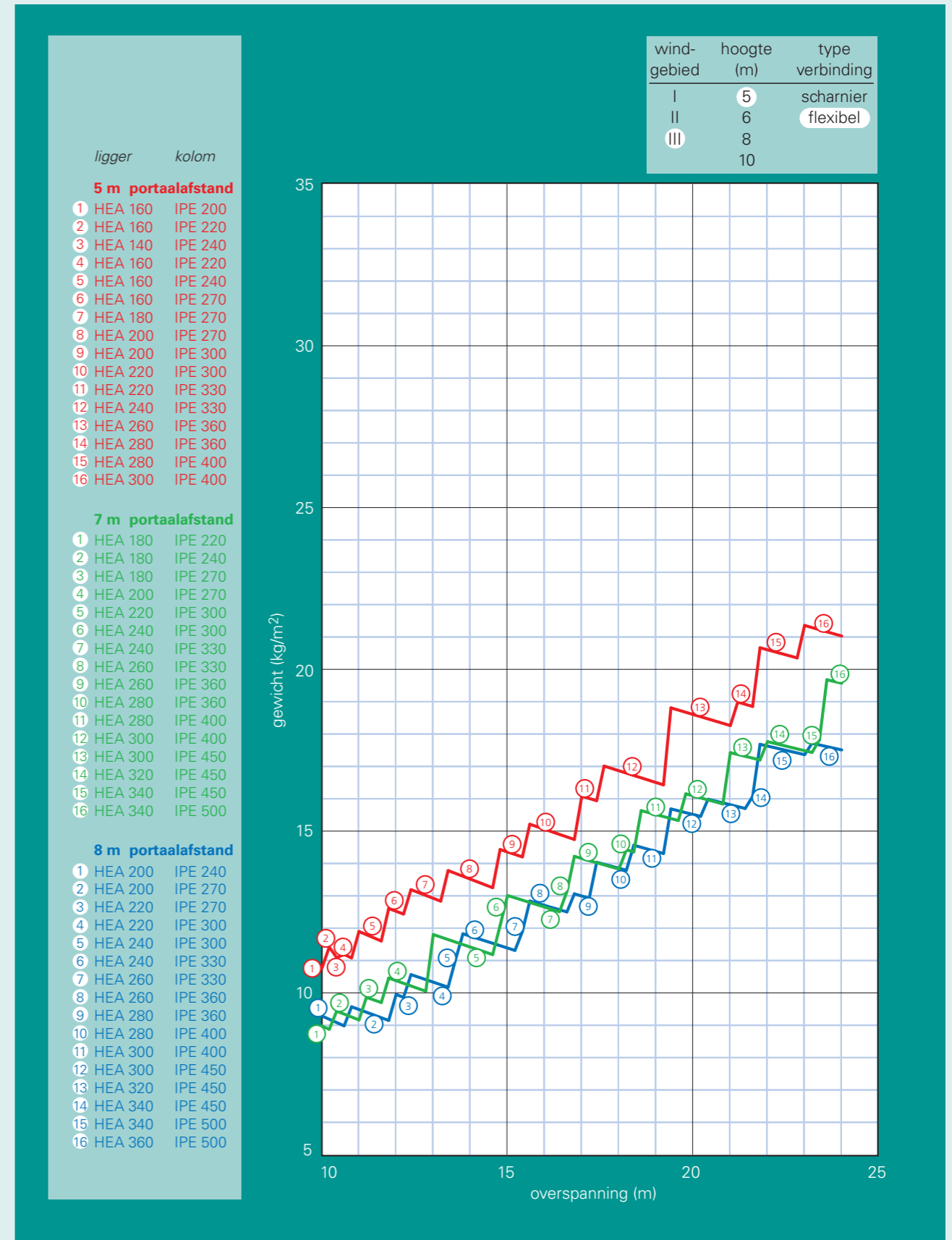
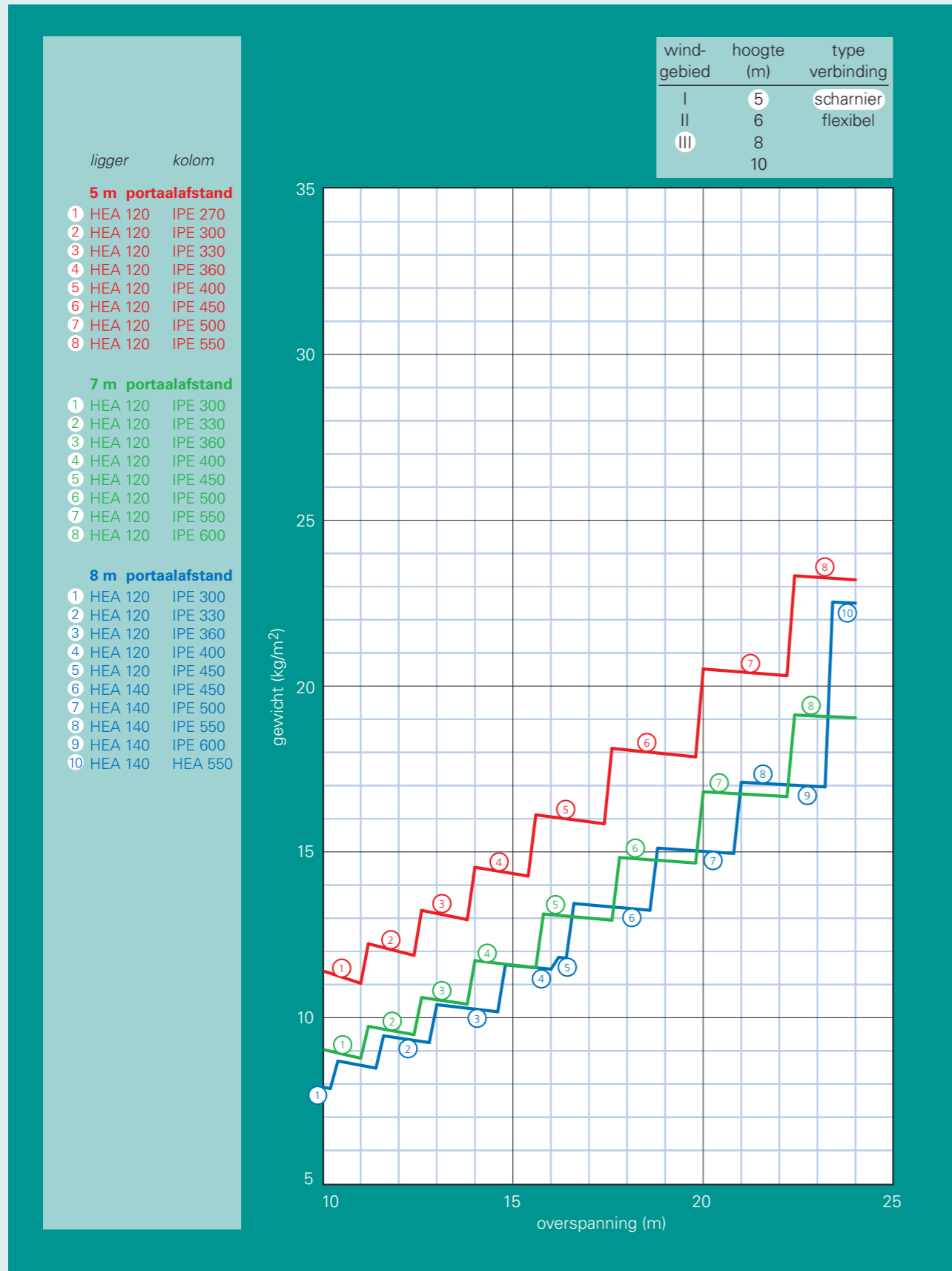


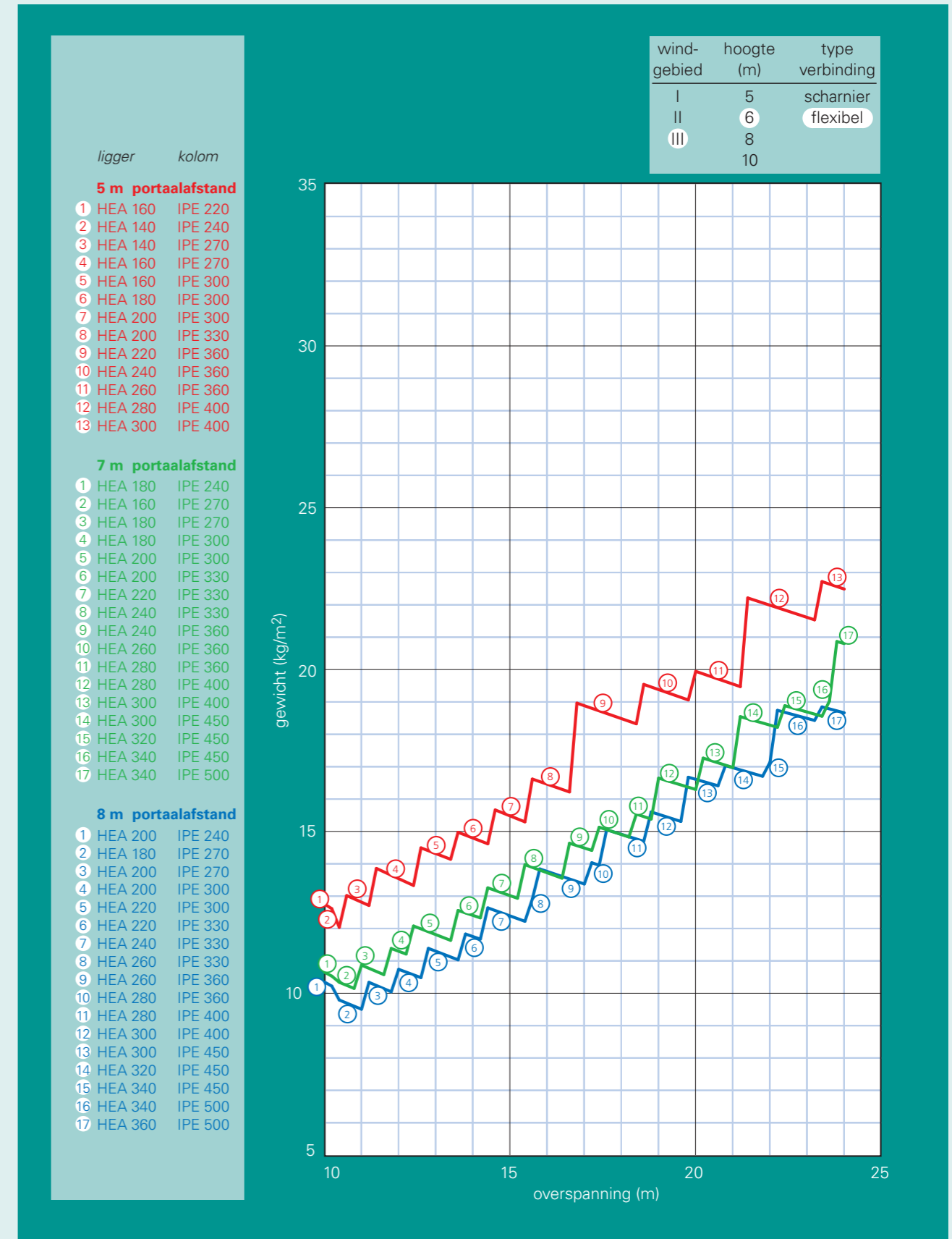
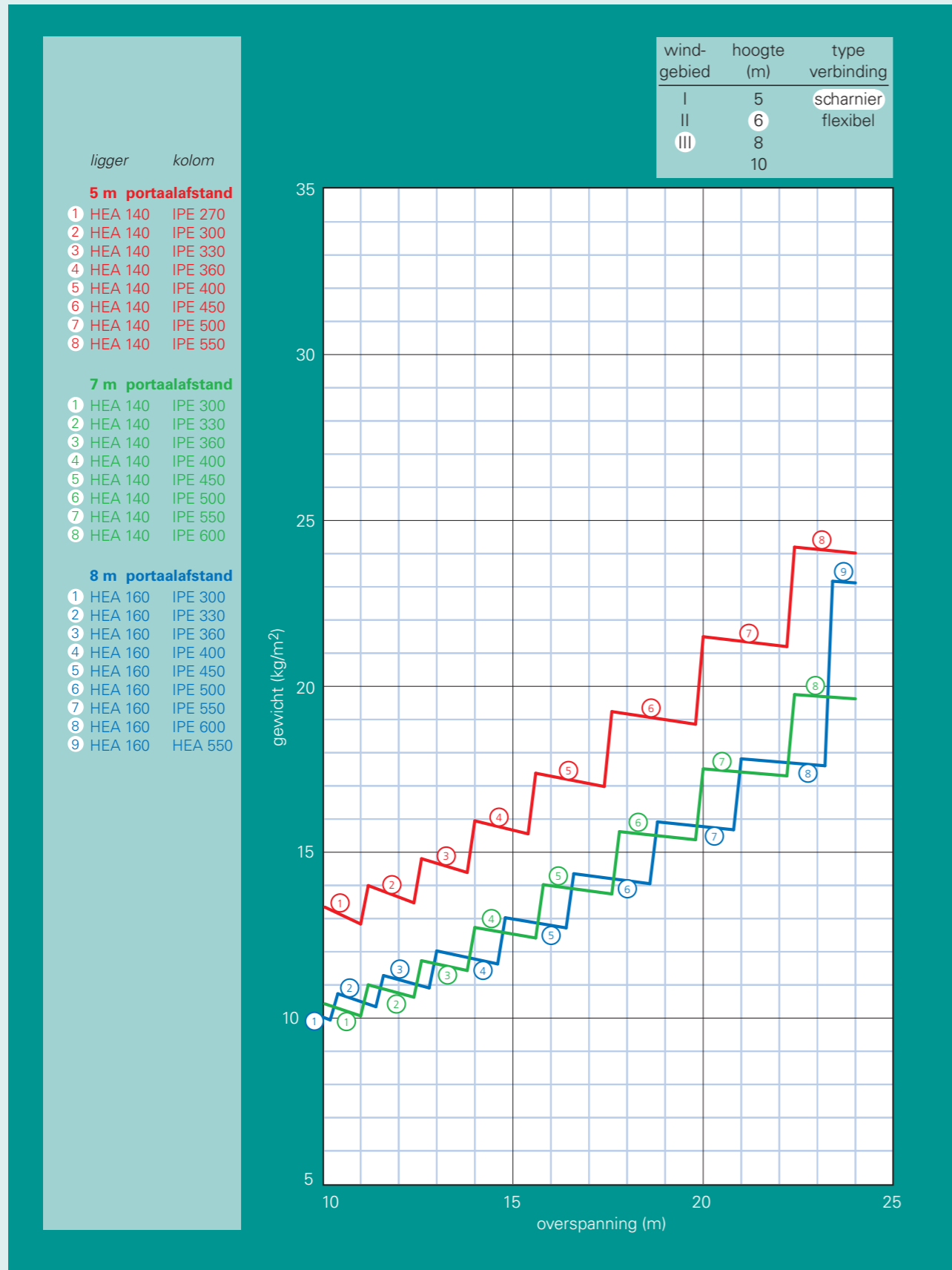


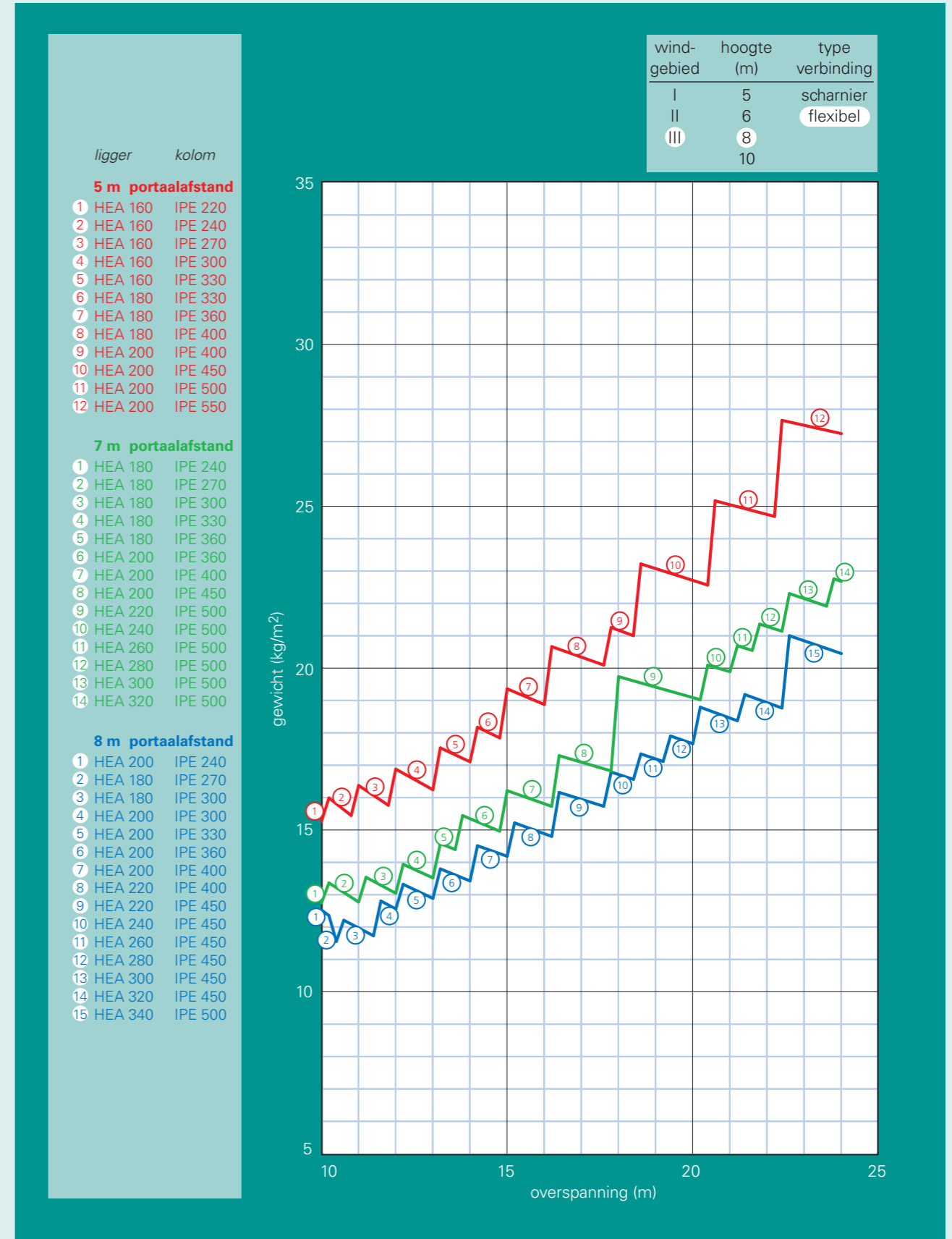
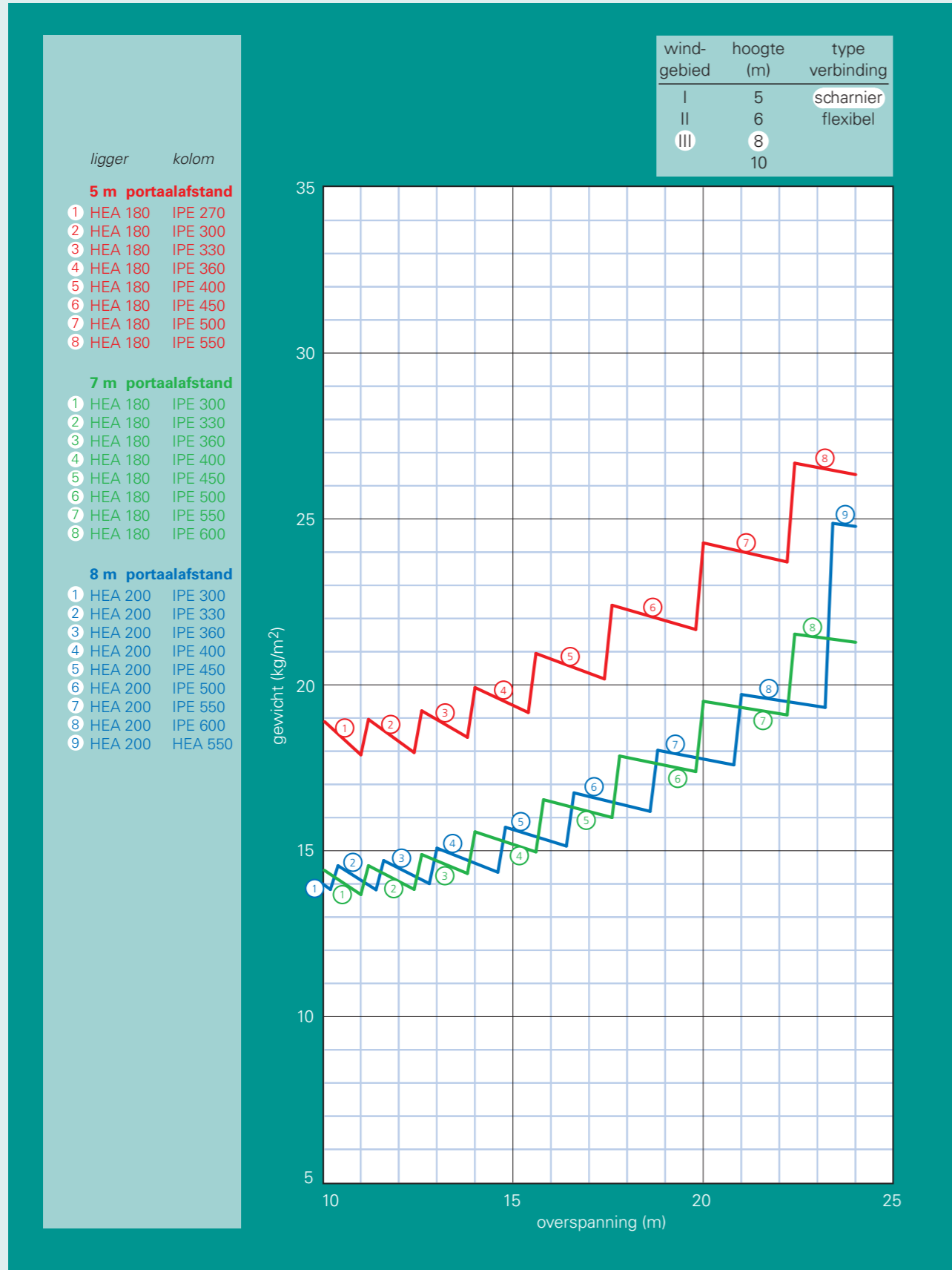


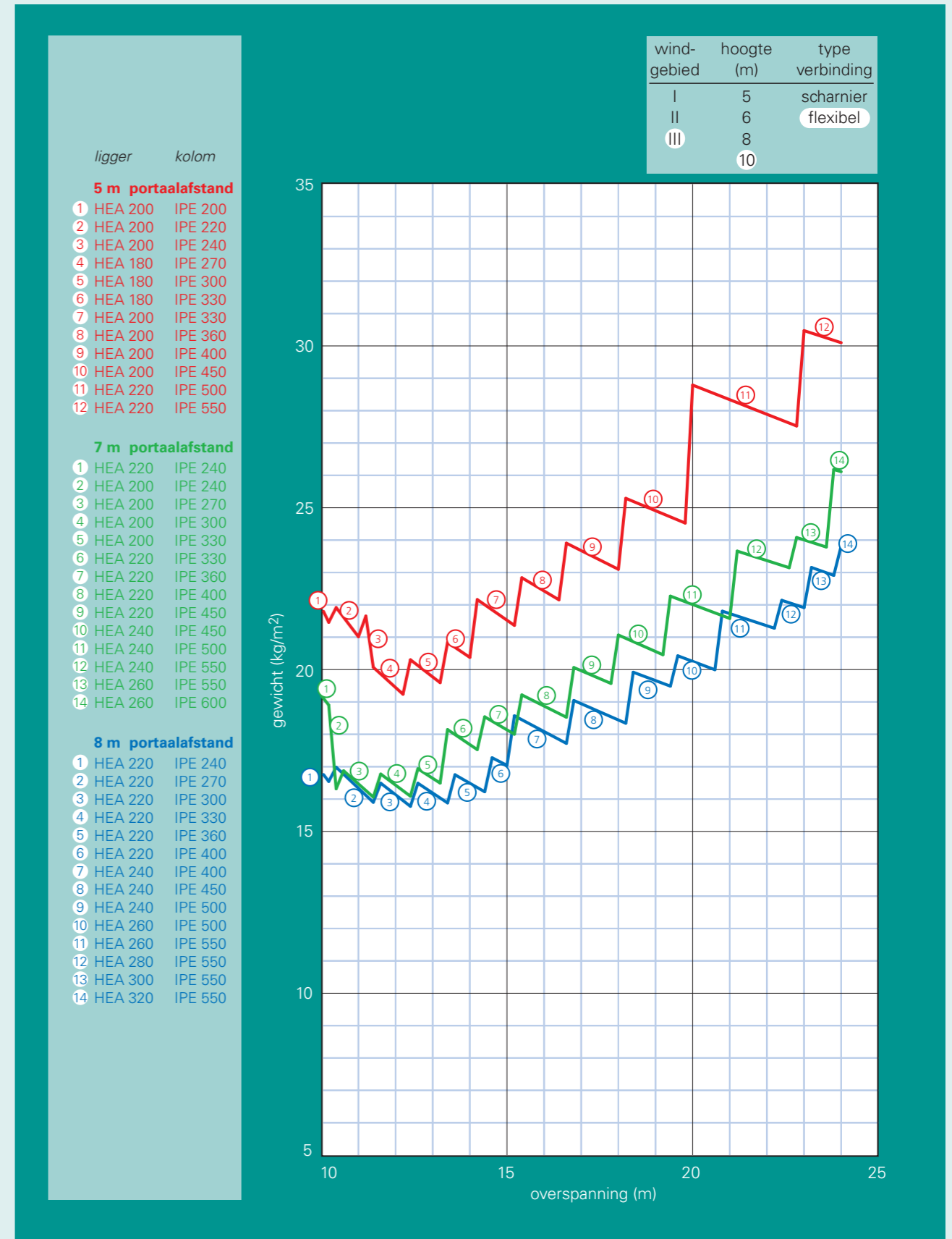
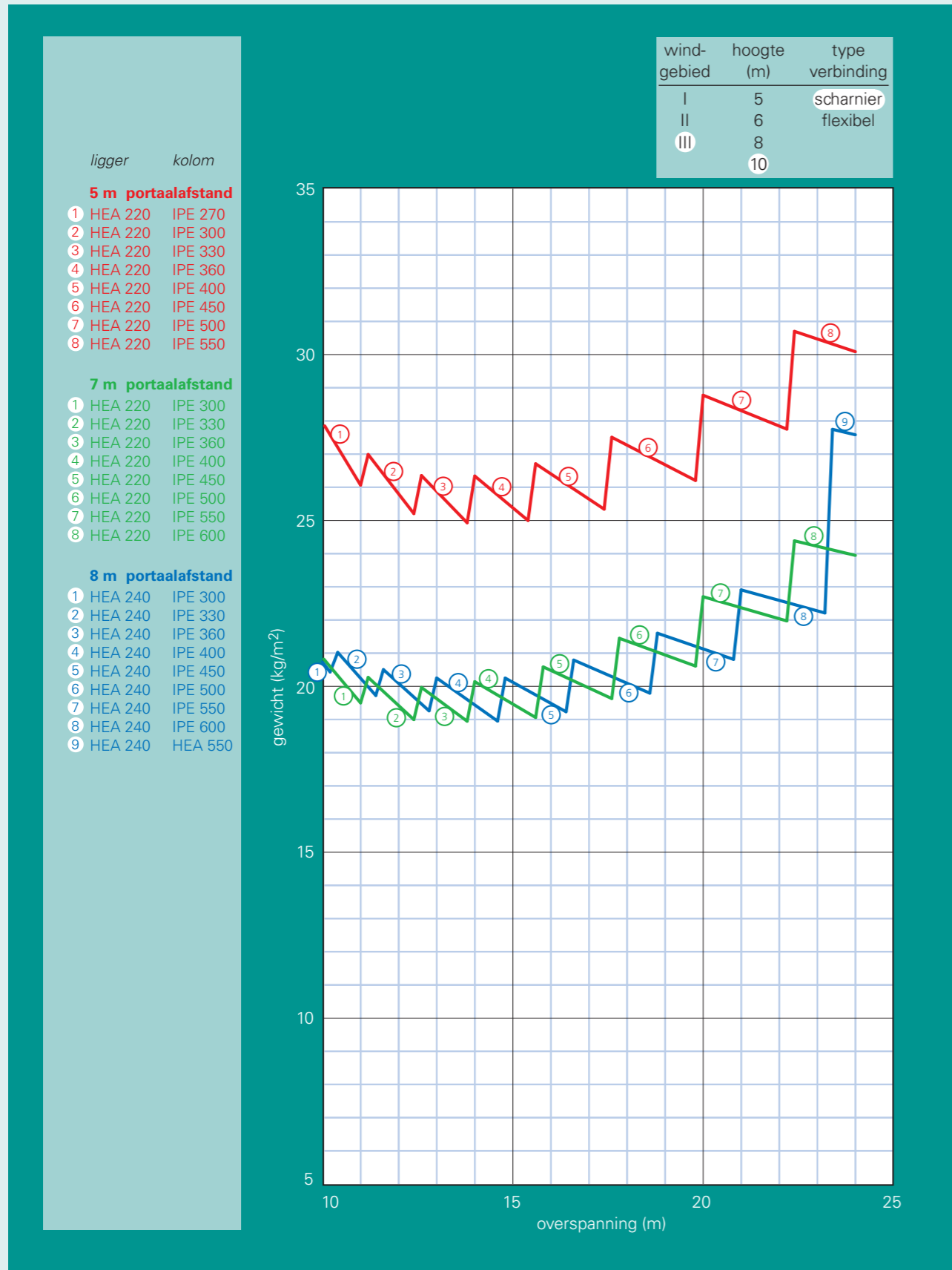












4.1 Investeringskosten

Voor de opdrachtgever zijn vaak de totale investeringskosten van de hal van belang en niet uitsluitend de kosten van de staalconstructie zelf. De investeringskosten zijn opgebouwd volgens de Elementenmethode in NEN 2631^[10] en bestaan uit vier onderdelen:

- 1 grondkosten (verwerving, bouwrijp maken, infrastructurele voorzieningen, sloopkosten, winst en risico);
- 2 bouwkosten (bouwkundige werken, installaties, vaste inrichtingen);
- 3 inrichtingskosten (bedrijfsinstallaties, losse inrichtingen);
- 4 bijkomende kosten (honoraria).

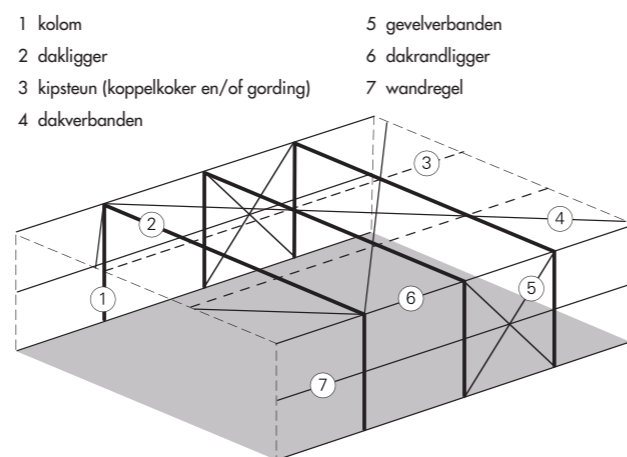
In de hallenbouw bedragen de kosten van de staalconstructie ongeveer 7,5% van de investeringskosten (afb. 4.1). Dit percentage geldt voor een normale marktsituatie met een gemiddelde grondprijs. Op een dure locatie (bijvoorbeeld Den Haag) liggen de investeringskosten hoger door de hoge grondprijs. Het procentuele aandeel van de bouwkosten, die redelijk vastliggen, daalt in dat geval. Het tegenovergestelde treedt op in een regio met lage grondprijzen (bijvoorbeeld Friesland).

4.2 Staalverbruik in de constructie

In de grafieken uit hoofdstuk 3 zijn de gewichten (in kg/m²) en profielen bepaald voor kolommen en dakliggers van een geschoorde hal. De kosten voor de portalen zelf vormen slechts een deel van de totale kosten van de staalconstructie van de hal. Andere onderdelen zijn bijvoorbeeld de wind-

verbanden in het dak en de gevel, de kipsteunen en de wandregels (afb. 4.2).

Grofweg bepalen de kolommen en de dakliggers het merendeel van het staalverbruik. Dit is te zien in afbeelding 4.3, waarin het staalverbruik is uitgesplitst voor een kleine en een grote hal. Voor beide hallen is ongeveer 77% van het staal nodig voor de portalen (kolommen en liggers). Op basis van de aanname dat 60-70% van de totale kosten voor rekening komen van de kolommen en liggers is een inschatting te maken van de totale kosten van de staalconstructie. Het gaat dan om de kosten voor een 'standaard' geschoorde hal; dus zonder 'accessoires' zoals kraanbanen, magazijnstellingen, verdiepingvloeren en ophangconstructies voor sprinklers. Deze onderdelen zijn niet meegenomen in het staalverbruik. Hetzelfde geldt voor het bouwkundige staal.



4.2 Kostenbepalende elementen van een staalconstructie voor een hal.

4.3 Opbouw van het staalverbruik voor twee verschillende hallen.

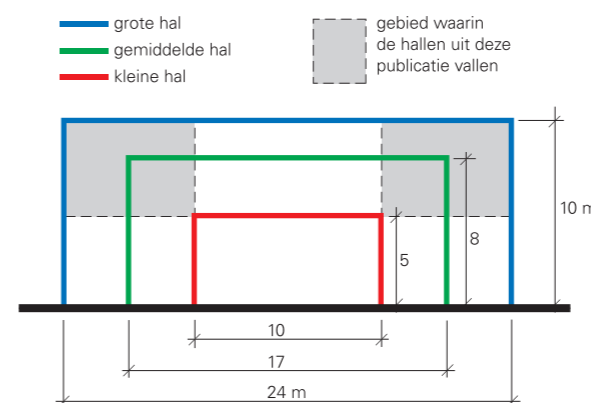
onderdeel	plattegrond: 20x45 m oppervlakte: 900 m ²	plattegrond: 15,6x31,2 m oppervlakte: 450 m ²
1 kolommen	29%	31%
2 dakliggers	48%	46%
3 kipsteunen	6%	3%
4 dakverbanden	4%	3%
5 gevelverbanden	2%	2%
6/7 dakrandliggers/ wandregels	11%	15%
totaal	100%	100%

4.3 Kostenkengetallen

Kostenkengetallen zijn bedoeld als een indicatie van de kosten van de staalconstructie. Omdat elk project anders is, is het niet mogelijk 'de' kosten voor de hallen in deze publicatie te bepalen. Het prijspeil voor de kengetallen (in euro per kilogram staal) is juni 2006. Bouwen met Staal actualiseert deze kostenkengetallen periodiek op de website www.bouwenmetstaal.nl.

Voor de drie typen hallen uit deze publicatie – namelijk: klein, gemiddeld en groot (afb. 4.4) – is met behulp van de kostenkengetallen een schatting gemaakt van de kosten per kg staal. De kostenkengetallen zijn gegenereerd met een methode die is ontwikkeld door het Australian Institute of Steel Construction (AISC, zie kader). Bouwen met Staal heeft deze methode voor de Nederlandse situatie uitgewerkt. Uitgangspunt is een spantafstand van 5 m en scharnierende verbindingen. Voor elk van de drie haltypen geeft tabel 4.5 een kostenkengetal. In het algemeen geldt dat de kosten per kg staal (constructie) afnemen naarmate de hal breder en/of hoger wordt. Uiteraard is voor een grotere overspanning en/of een grotere hoogte meer staal nodig per m² vloeroppervlak. Vaak is de toename van het staalverbruik groter dan de afname van de kosten per kg staal.

Voor flexibele verbindingen liggen de kostenkengetallen in tabel 4.5 zo'n 4-8% hoger. Echter doordat bij flexibele verbindingen het staalverbruik afneemt, kan de prijs per m² per saldo lager liggen dan bij scharnierende verbindingen. Voor elk project moet dat worden onderzocht.



	kostenkengetal (€/kg)
kleine hal (5x10 m)	1,8 – 2,0
gemiddelde hal (8x17 m)	1,5 – 1,7
grote hal (10x24 m)	1,3 – 1,5

4.5 Kostenkengetallen voor drie afmetingen van hal met scharnierende verbindingen.

Kostenmodel AISC

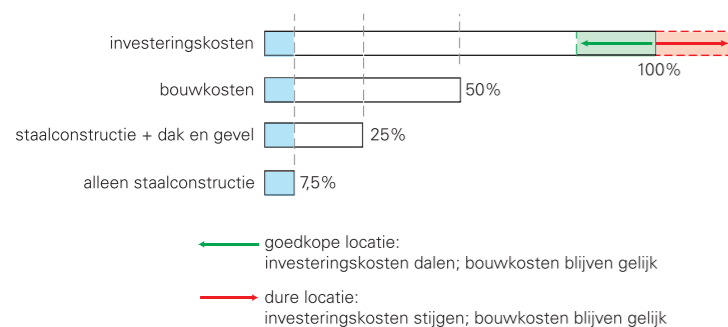
De kostenkengetallen zijn bepaald volgens de methode^[11] van het Australian Institute of Steel Construction (AISC). Deze methode bepaalt de kosten als de som van de vier onderdelen: materiaal, fabricage, afwerking en montage. Daardoor krijgt de ontwerper inzicht in het effect van constructieve alternatieven (bijvoorbeeld een andere detaillering) op de totale kosten. Ook is het model geschikt om de staalconstructie te optimaliseren.

Voor deze publicatie is uitsluitend gebruik gemaakt van de kostenkengetallen voor hallen. Het model is echter ook te gebruiken voor verdiepinggebouwen. Meer informatie over het model is te krijgen bij Bouwen met Staal.

De uitgangspunten voor de bepaling van de kostenkengetallen voor de Nederlandse situatie zijn:

materiaal	staalsoort S235, prijspeil juni 2006, inclusief schroefvoetslag, inclusief bouten/moeren, hulpstaal en verbindingmateriaal
fabricage	inclusief tekenwerk en aanbrengen zeeg
afwerking	éénlaags verfsysteem
montage	transportafstand naar de bouwplaats is maximaal 100 km

4.4 Overzicht van de drie typen hallen voor de kostenbepaling.



4.1 Kosten van de staalconstructie van een hal als onderdeel van de investeringskosten.

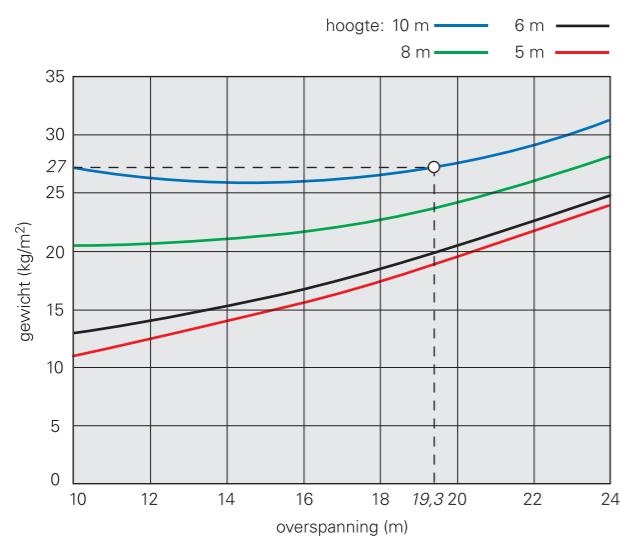
4.4 Invloed geometrie op kosten

De volgende geometrische parameters hebben invloed op de kosten van een staalconstructie voor een hal:

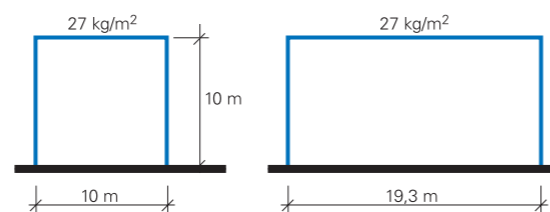
- hoogte van het portaal;
- overspanning van het portaal;
- afstand hart-op-hart van de portalen.

Hoogte portaal

De hoogte van het portaal beïnvloedt het gewicht van de kolommen. Niet alleen worden de kolommen langer, maar ook neemt de windbelasting toe met de gebouwhoogte waardoor de kolommen zwaarder worden belast. Afbeelding 4.6 laat voor windgebied I de relatie zien tussen het staalgebruik en de overspanning voor portalen met een afstand hart-op-hart van 5 m en scharnierende verbindingen. Voor windgebied II en windgebied III is de belasting wat lager, maar is eenzelfde verband aanwezig tussen gewicht en overspanning. Het verschil in staalverbruik bij een portaalhoogte van 5 m of 6 m is niet erg groot (ongeveer 2,5 kg/m²). Het kan dan aantrekkelijk zijn voor de opdrachtgever iets meer te investeren in een hogere hal voor meer flexibiliteit. In een latere fase kan dan eventueel een tussenverdieping worden ingebouwd, terwijl



4.6 Invloed van de hoogte van de hal op het staalverbruik voor portalen met scharnierende verbindingen en een afstand hart-op-hart van 5 m (windgebied I).



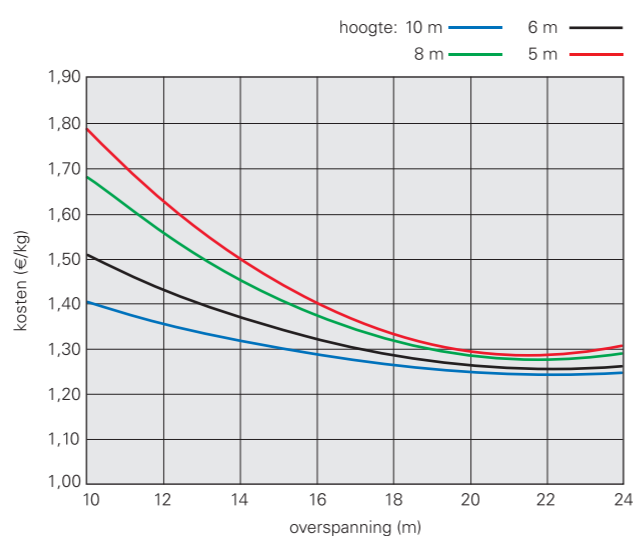
4.7 Een relatief hoge hal heeft een minder efficiënt staalverbruik.

dat bij een hoogte van 5 m niet mogelijk is. Op een locatie met hoge grondprijzen kan dit een interessante optie zijn. Uit afbeelding 4.6 blijkt ook dat kostentechnisch gezien een relatief hoge hal minder efficiënt is dan een relatief brede hal (afb. 4.7). Dit komt door het relatief hoge aandeel van de kolommen in het totale staalverbruik.

Overspanning portaal

Afbeelding 4.8 toont (voor windgebied II) het verband tussen kosten van de staalconstructie en de overspanning voor portalen met een afstand hart-op-hart van 5 m en scharnierende verbindingen. Voor de andere windgebieden is het prijsverloop identiek.

Naarmate de overspanning groter wordt daalt de prijs per kilogram staal. Deze prijs is opgebouwd uit de kosten voor

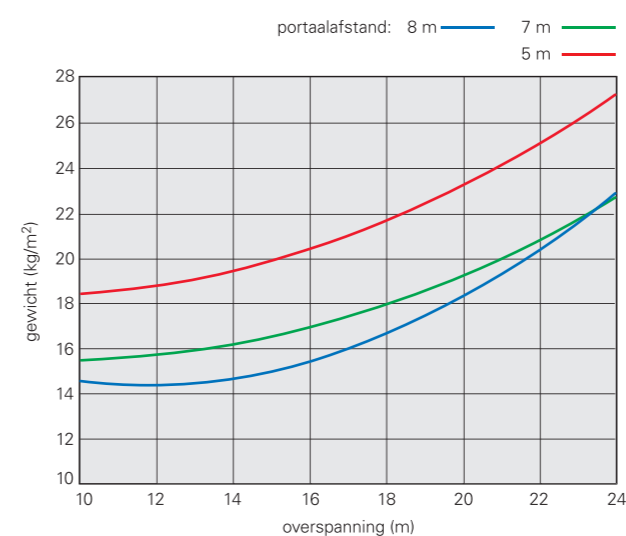


4.8 Invloed van de overspanning op de kosten voor portalen met scharnierende verbindingen en een afstand hart-op-hart van 5 m (windgebied II).

materiaal, fabricage, afwerking en montage. In het algemeen blijven bij een toenemende overspanning de materiaalkosten gelijk, maar dalen de kosten voor fabricage, afwerking en montage. Voor een zwaardere ligger nemen de kosten van de verbinding immers niet evenredig toe met het gewicht. Hetzelfde geldt voor de afwerking en de montage.

Afstand hart-op-hart portaal

Een grotere portaalafstand resulteert in een lager gewicht per m² en dus in een goedkopere staalconstructie per m². Afbeelding 4.9 illustreert dit voor een hal met een hoogte van 8 m en scharnierende verbindingen (windgebied II). In het algemeen geldt dat de prijs per kilogram staal daalt bij een toenemende overspanning. Daarbij is er weinig verschil tussen de verschillende afstanden hart-op-hart. Bij een portaalafstand van 5 m is de daling net zo groot als bij een portaalafstand van 7 m. Boven op het gewicht van de blauwe lijn (grootste portaalafstand) moeten nog extra kilo's staal worden opgeteld voor het gewicht van de gordingen. Het portaal wordt dan wat duurder dan die met een afstand hart-op-hart van 7 m. Een grotere portaalafstand zorgt echter wel voor meer vrijheid in de gevelindeling en dus voor een hal



4.9 Invloed van de afstand hart-op-hart op het gewicht van portalen met scharnierende verbindingen en een hoogte van 8 m (windgebied II).

die flexibeler is aan te passen aan de (veranderende) wensen van de opdrachtgever. Andere voordelen van grotere afstanden tussen de portalen zijn bijvoorbeeld minder onderdelen voor de montage en een reductie van het aantal poeren, met als resultaat een goedkopere fundering.

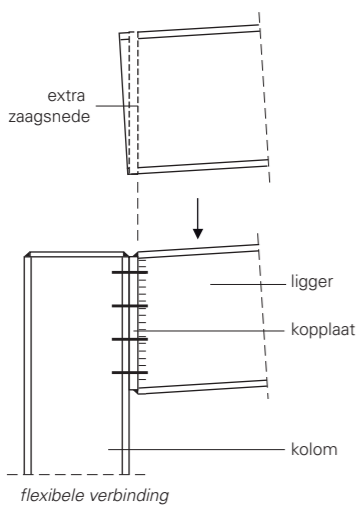
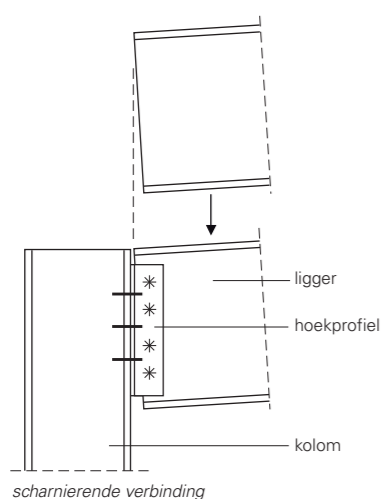
4.5 Invloed verbinding op kosten

De ontwerper kan kiezen uit portalen met scharnierende of met flexibele verbindingen.

- De *scharnierende verbinding* is gemaakt met hoekprofielen die aan het lijf van de ligger en aan de flens van de kolom wordt gebout. Alternatieven voor een scharnierende verbinding zijn uitvoeringen met een partiële kopplaat of met een lipverbinding.

- De *flexibele verbinding* bestaat uit een volledige kopplaat die aan de boven- en onderflens van de ligger wordt gelast. Doordat de ligger een zegg heeft lopen de uiteinden schuin weg wanneer het profiel haaks is afgezaagd. De gezeegde ligger moet daarom aan de uiteinden schuin worden afgezaagd (dat zorgt voor extra kosten), zodat de kopplaat recht aansluit op de kolomflens. Bij de hoekstaalverbinding wordt dit opgevangen door de gaten in het lijf van de ligger op de juiste positie (in één schuine lijn) te boren (afb. 4.10). Dit soort zaken maken de flexibele verbinding duurder dan de scharnierende verbinding. De prijs van de constructie per kilogram staal is dan ook hoger (zie paragraaf 4.3). Een besparing in gewicht compenseert in het algemeen de hogere prijs per kilogram staal, doordat bij flexibele verbindingen de ligger doorgaans één profiel lichter kan uitvallen. De kolommen van het portaal worden wat zwaarder dan bij een scharnierende verbinding, maar vaak is de totale staalconstructie toch goedkoper.

Sommige staalconstructiebedrijven hebben een voorkeur voor de verbinding met hoekprofielen, omdat dan niet aan de ligger hoeft te worden gelast. Het staalconstructiebedrijf bestelt de profielen voorgeboord (= kanten-klaar) van de staalhandelaar en hoeft in de werkplaats dan geen extra bewerkingen meer uit te voeren. Het is verstandig hiermee als ontwerper rekening te houden. Dat geldt eveneens voor andere (voorkeuren van) productiewijzen die elk staalconstructiebedrijf heeft.



4.10 Bij een flexibele verbinding is een extra zaagsnede nodig om de kopplaat goed aan te kunnen sluiten.

4.6 Staalprijzen en integraal ontwerpen

Wat nu wanneer de prijs van staal in de markt fluctueert? Wanneer de staalconstructie bijvoorbeeld 20% duurder uitvalt door een (tijdelijke) verhoging van de staalprijs, dan zorgt deze kostenverhoging voor een stijging van de (totale) investeringskosten met ongeveer 1,5%. De staalconstructie kost immers 7,5% van de investeringskosten (zie afb. 4.1). Een toename van 20% voor de staalconstructie is op het totaal dan $0,2 \cdot 7,5\% = 1,5\%$ extra.

Hetzelfde geldt wanneer de staalconstructie 20% bijvoorbeeld meer kost door een duurder ontwerp dat is afgestemd op de installaties in het gebouw. Door een gunstiger ontwerp van de installaties kan dan 1,5% worden bespaard op de totale investeringskosten. Een vergelijkbare (integrale) ontwerpbenadering gaat ook op voor onder meer de afbouwconstructie en de fundering.



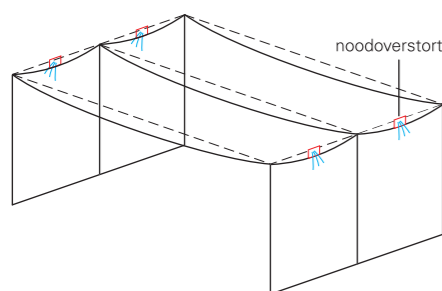
Wateraccumulatie leidt bij hallen met platte daken in principe niet tot problemen, indien in het constructieve ontwerp:

- de liggers een voldoende zeeg hebben, én
- het dak voldoende noodoverstorten heeft die zorgen dat het water kan wegstromen wanneer de reguliere afvoeren verstopt raken.

Daken met een grote overspanning verdienen tijdens het ontwerp extra aandacht om wateraccumulatie te voorkomen. Daarbij zijn portalen met een flexibele verbinding wat gevoeliger dan portalen met een scharnierende verbinding, omdat bij een flexibele verbinding doorgaans een kleinere ligger nodig is (zie ook paragraaf 2.5).

In het algemeen is aanbevolen de volgende ontwerperegels in acht te nemen, waardoor wateraccumulatie wordt voorkomen (zie ook NEN 6702, art. 8.7.1.5).

1. Neem per portaal aan weerszijden één noodoverstort.
De beste positie is midden tussen de kolommen (afb. 5.1).
2. Neem voor de noodoverstort een breedte b van minimaal 250 mm (afb. 5.2)
3. Neem voor de hoogte van de dakrand een hoogte h_{nd} van maximaal 40 mm (afb. 5.2).
4. Breng een parabolische zeeg aan met een pijl van 20 mm/m tot het midden van de ligger (afb. 5.3). Deze zeeg komt bovenop de zeeg die de zakking door permanente belasting compenseert. De waarde van 20 mm/m is een conservatieve bovengrens voor alle portalen uit deze publicatie en volgt uit een controleberekening.



5.1 Positie van de noodoverstort.

NPR 6703^[12] geeft aanwijzingen voor het berekenen van wateraccumulatie. Dit zijn benaderende methoden om het belastinggeval met de hand te controleren. Wanneer aan bovenstaande vier regels wordt voldaan kunnen alle portalen uit deze publicatie met de benaderende methode uit art. 6.3 van NPR 6703 worden berekend (zie hierna).

Voor de meer complexe iteratieve berekening uit NEN 6702^[3], art. 8.7.1.4 is het programma *Wateraccumulatie 1.1*^[3] beschikbaar. Dit programma is te bestellen bij Bouwen met Staal. De iteratieve berekening geeft een betere benadering van de belasting door wateraccumulatie.

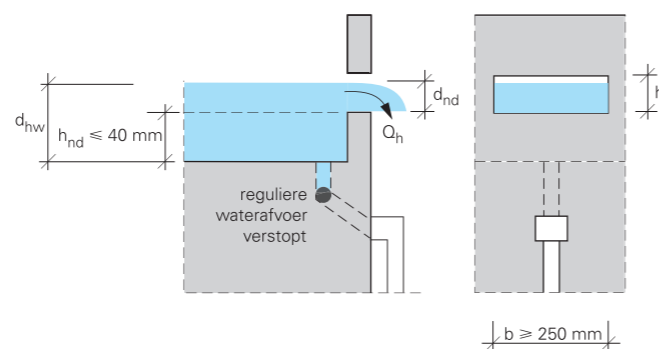
Rekenvoorbeeld

Dit rekenvoorbeeld gebruikt de bovengrens benaderingsmethode uit art. 6.3 van NPR 6703, waarbij met de hand de wateraccumulatie wordt berekend.

Als voorbeeld is een portaal genomen met een scharnierende verbinding. De spanten staan hart-op-hart 5 m en overspannen 20 m. De ligger is een IPE 500. De noodoverstorten (twee per stramien, zie afb. 5.1) hebben een breedte van 250 mm en een dakrandhoogte van 40 mm.

De werkwijze voor de berekening van de ligger, conform NPR 6703, is als volgt.

- Schat de maximale doorbuiging van het dakvlak u_{max} .
- Bepaal de belasting q_{rep} door regenwater.
- Bepaal de doorbuiging $u_{max;q;rep}$ behorende bij q_{rep} .
- Controleer of geldt $u_{max;q;rep} \leq u_{max}$.



5.2 Afmetingen van de noodoverstort volgens NEN 6702, art. 8.7.1.5.

Schat u_{max}

De maximale doorbuiging van het dakvlak u_{max} wordt gelijk genomen aan de zeeg van 20 mm/m. Dat betekent dat de ligger na belasting vlak ligt (afb. 5.4).

Bepaal q_{rep}

Uitgaande van $u_{max} = 20$ mm/m (= zeeg in de ligger) is het dak in de eindtoestand vlak. De bijbehorende belasting q_{rep} door regenwater is dan:

$$q_{rep} = \alpha \cdot p_{rep}$$

Hierin is:

$$\alpha = 5 \text{ m} \quad (\text{afstand hart-op-hart})$$

$$p_{rep} = \gamma_{rep} d_{hw}(x)$$

$$\gamma_{rep} = 10 \text{ kN/m}^3 \quad (\text{gewicht water})$$

$$d_{hw}(x) = d_{nd} + h_{nd} \quad (\text{NEN 6702, art. 8.7.1.5})$$

$$d_{nd} = 0,7(Q_h/b)^{2/3}$$

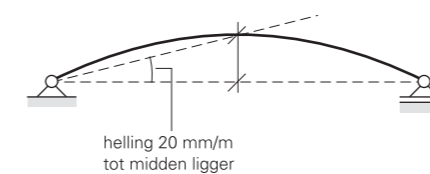
$$Q_h = A i_r$$

$$A = 5 \cdot 0,5 \cdot 20 = 50 \text{ m}^2 \quad (\text{dakoppervlak dat afvoert})$$

$$i_r = 0,047 \cdot 10^{-3} \text{ m/s} \quad (\text{regenintensiteit})$$

$$b = 0,25 \text{ m} \quad (\text{breedte noodoverstort})$$

$$q_{rep} = 5 \cdot 10 \cdot [0,7(50 \cdot 0,047 \cdot 10^{-3} / 0,25)^{2/3} + 0,04] = 3,6 \text{ kN/m}$$



5.3 Parabolische zeeg.

5.4 Benadering van de vervorming van het dak en de resulterende belasting.

Bepaal $u_{max;q;rep}$

De doorbuiging van de ligger door q_{rep} bedraagt:

$$u_{max;q;rep} = \frac{5q_{rep}l^4}{384E_dI} = \frac{5 \cdot 3,6 \cdot 20.000^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 4,82 \cdot 10^8} = 74 \text{ mm}$$

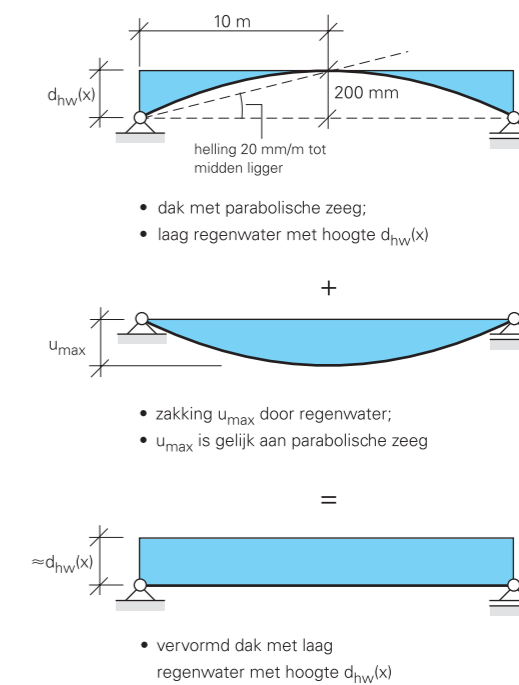
Controle

Controleer of de maximale doorbuiging door waterbelasting $u_{max;q;rep}$ niet groter is dan u_{max} :

$$u_{max;q;rep} = 74 \text{ mm} \leq u_{max} = \text{zeeg} = 0,5 \cdot 20 \cdot 20 = 200 \text{ mm}$$

Het portaal is dus voldoende stijf. Wanneer $u_{max;q;rep}$ groter is dan u_{max} , dan was de inschatting van u_{max} te laag en het portaal niet stijf genoeg.

Voor een flexibele verbinding verloopt de berekening op analoge wijze. Het enige verschil is dat de doorbuiging van de ligger door q_{rep} wordt benaderd met $3ql^4/384EI$; een benadering die voor de ontwerpfase voldoende nauwkeurig is. Bij een definitieve toetsing wordt de doorbuiging exact bepaald door de kolom- en liggereigenschappen én de stijfheid van de verbinding in de berekening mee te nemen.



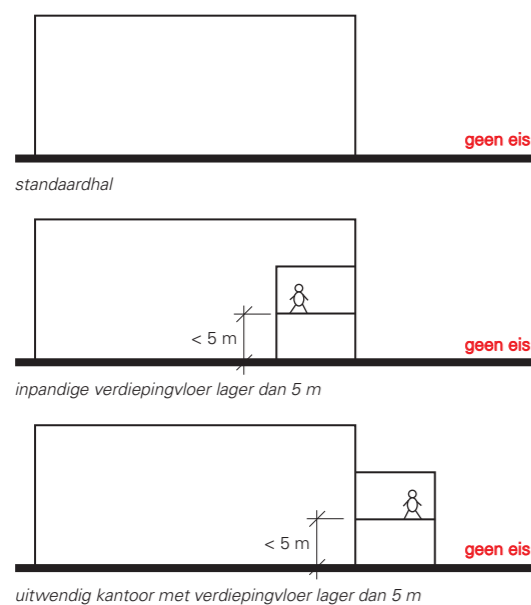
Bij het ontwerp van een hal speelt altijd het aspect brandveiligheid een rol. In dit hoofdstuk komen de volgende onderwerpen ter sprake:

- eisen aan de hoofdconstructie;
- brandcompartimentering;
- brandoverslag;
- vluchtroutes.

6.1 Eisen aan de hoofdconstructie

Voor hallen gelden geen eisen voor de brandwerendheid van de hoofdconstructie indien de hoogste in pandige verdiepingvloer lager ligt dan 5 m (afb. 6.1).

Toch kunnen er (indirect) eisen worden gesteld aan de brandwerendheid van de hoofdconstructie. Deze secundaire eisen hebben dan betrekking op het instandhouden van brandcompartimenten, het voorkomen van brandoverslag naar naastliggende hallen én het instandhouden van rookvrije vluchtroutes. In de volgende paragrafen worden deze eisen specifiek uitgewerkt voor de hallen uit deze publicatie. In het algemeen is het ontwerp van grote hallen (in deze publicatie met een overspanning tot maximaal 24 m) kritischer dan dat



6.1 Situaties waarbij geen eisen zijn gesteld aan de brandwerendheid van de hoofdconstructie van de hal.

van kleine hallen op het punt van brandcompartimentering en vluchtroutes. Toch leiden de secundaire eisen (meestal) niet tot eisen aan de brandwerendheid van de hoofdconstructie.

6.2 Brandcompartimentering

De eisen voor het bepalen van de maximale afmetingen van een brandcompartiment zijn onafhankelijk van het materiaal van de draagconstructie (staal, beton of hout). Of brandcompartimentering nodig is, hangt af van de grootte en de functie van de hal:

- voor een hal met een oppervlakte van minder dan 1.000 m² gelden geen eisen;
- voor een hal met een oppervlakte van meer dan 1.000 m² hangen de eisen af van de functie van de hal en met name van de gemiddelde vuurbelasting in de hal;
- met speciale maatregelen kan het brandcompartiment toch verder worden vergroot (afb. 6.2).

Hal groter dan 1.000 m²

Brandcompartimenten van meer dan 1.000 m² zijn toegestaan, maar dit hangt af van de vuurbelasting (hoeveelheid brandbaar materiaal) in de hal. Tabel 6.3 geeft een aantal voorbeelden van verschillende gebouwfuncties en de bijbehorende maximale compartimentgrootte^[14]. In het algemeen zijn voor productiehallen en fabrieken grote compartimenten toegestaan. Bij opslagloodsen zijn de compartimenten vaak kleiner. Het rekenvoorbeeld op de volgende pagina geeft aan hoe de maximale compartimentgrootte is te bepalen.

Speciale maatregelen

Het kan zijn dat uit een berekening van de maximale compartimentgrootte volgt dat de hal moet worden opgedeeld in brandcompartimenten (zie bijvoorbeeld het distributiecentrum in tabel 6.3). Wanneer dit voor de opdrachtgever een onpraktische hal oplevert, is het mogelijk met speciale maatregelen het compartiment te vergroten. Hierdoor kunnen compartimenteringswanden toch achterwege blijven. In de berekening van de compartimentgrootte wordt dan een

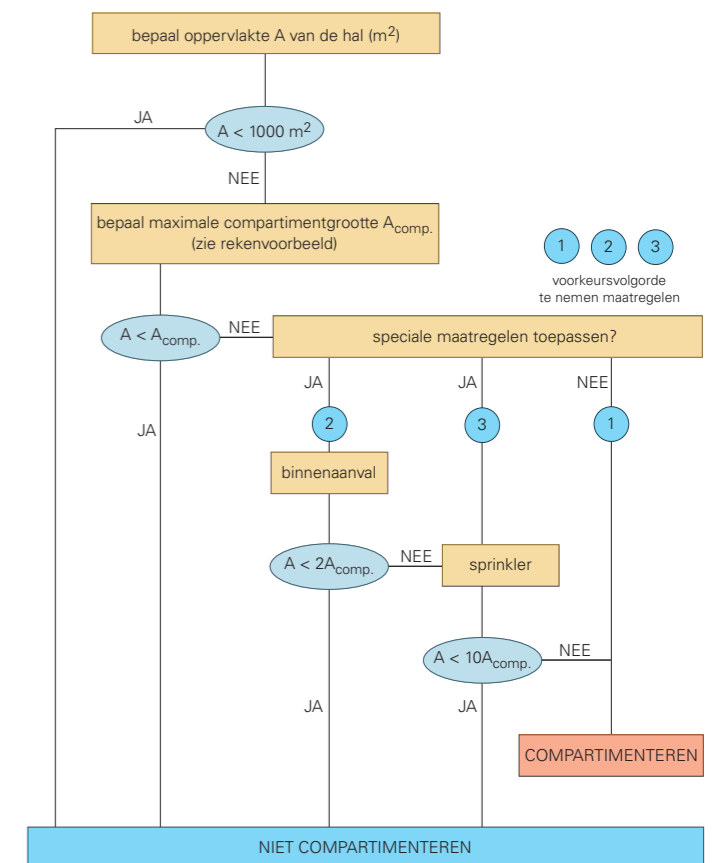
soort gebouw	opgeslagen materiaal	oppervlakte hal (m ²)	maximale grootte compartiment (m ²)
machinefabriek	olie (dagvoorraad)	3.000	onbeperkt
snoepfabriek	verpakte suikerwaren	4.000	6.000
houtfabriek	vuren, grenen, meranti	1.000	5.455
tricotagefabriek	textiel	5.000	onbeperkt
verfloods	verven en verdunningsmiddelen (60% brandbaar), verpakt in plastic en metaal	500*	1.538
	idem, op houten pallets	500*	1.250
opslagloods	suikerwaren verpakt in karton op houten pallets in metalen stellingen	1.000	2.000
	idem, zonder houten pallets	1.000	2.069
	levensmiddelen verpakt in karton op houten pallets in metalen stellingen	20.000	1.224 (compartimentering nodig)
distributiecentrum	idem, zonder houten pallets	20.000	1.277 (compartimentering nodig)

6.3 Maximale compartimentgrootte voor hallen met verschillende functies. (*) Deze oppervlakte is kleiner dan 1000 m² en daarom gelden geen eisen.

massafactor M ($M \leq 1$) ingevoerd, waarmee de genomen maatregel in rekening wordt gebracht. Er zijn twee maatregelen beschikbaar.

- *Mogelijkheid van een 'binnenaanval' door de brandweer.* Hiervoor geldt een massafactor $M = 0,5$ waardoor het brandcompartiment een factor 2 groter mag worden. Voorwaarde is een automatische brandmeldinstallatie met doormelding naar de brandweer. Vaak wordt ook een rook- en warmteafvoerinstallatie in het dak geëist.
- *Toepassen van een sprinklerinstallatie.* Hiervoor geldt een massafactor $M = 0,1$ waardoor het brandcompartiment een factor 10 groter mag worden.

Afbeelding 6.3 toont een stroomschema om te bepalen of brandcompartimentering nodig is. Hierin is ook het effect van de speciale maatregelen aangegeven.



6.2 Stroomschema om de maximale compartimentgrootte te bepalen.

Rekenvoorbeeld compartimentgrootte

Met de publicatie *Reken- en beslismodel beheersbaarheid van brand*^[15] kan op basis van de hoeveelheid brandbaar materiaal in de hal de maximale compartimentgrootte A worden bepaald (zie ook het stroomschema in afbeelding 6.2):

$$A = 300.000/qM \text{ (m}^2\text{)}$$

Hierin is:

- A maximale grootte van het brandcompartiment (m²);
- q gemiddelde vuurbelasting van alle brandbare materialen in en van het gebouw (kg vurenhout/m²), zie ook tabel 6.5;
- M massafactor voor eventuele speciale maatregelen.

De berekening wordt uitgevoerd voor een hal met een oppervlakte van 25x100 m = 2500 m². De hal wordt gebruikt voor de productie en opslag van polystyreen-blokken (eps). Daartoe is de hal opgedeeld in vier ruimten, met elk een hoeveelheid brandbaar materiaal (tabel 6.4)^[16]. De gemiddelde vuurbelasting wordt:

$$q = 3.558.890/2500 = 1424 \text{ MJ/m}^2$$

$$= 1424/19 = 75 \text{ kg vurenhout/m}^2$$

De maximale grootte van het brandcompartiment wordt dan:

$$A = 300.000/(75 \cdot 1) = 4004 \text{ m}^2$$

De oppervlakte van de hal is 2500 m², zodat geen indeling in brandcompartimenten nodig is.

ruimte	hoeveelheid	gewicht (kg)	netto-verbrandingswaarde (MJ/kg), zie tabel 6.5	vuurlast (MJ)
siloruimte	27.900 kg eps	27.900 kg	40	1.116.000
blokkenhal	1.800 m ³ eps	36.000 kg	40	1.440.000
grondstoffen	25.000 kg eps	25.000 kg	40	1.000.000
emballage	170 kg karton	170 kg	17	2.890
				3.558.890

6.4 Indeling van de hal met de hoeveelheden brandbaar materiaal per ruimte.

aluminium(poeder)		29
asfaltbitumen		40
board	zacht	17
	hard	19
huisbrandolie		42
hout	eiken	17
	vuren	19
houtwolcement		0,8-2
kapok		17
katoen		17
kunststof	fenolformaldehyde (pf)	28
	polyamide (nylon) (pa)	33
	onverzadigd polyester (up)	31
	polyethyleen (pe)	43
	polystyreen (ps)	40
	polyvinylchloride (pvc)	17
	epoxyhars (ep)	31
	polyproppeen (pp)	45
	polyurethaan (pur)	28
kurkplaat		20
linoleum		20
papier (karton)		17
petroleum		44
rubber		38
stro		15
wol		21
overige materialen		40

6.5 Netto verbrandingswaarde van een aantal materialen (MJ/kg) volgens NEN 6090, bijlage B^[17].

6.3 Brandoverslag

De bepalingsmethode voor de berekening van brandoverslag tussen hallen gaat uit van het principe dat de gevel van een hal fictief wordt gespiegeld ten opzichte van de perceelgrens. De gevel van de te berekenen hal plus die van een fictieve gespiegelde hal verzorgen – samen met de onderlinge afstand tussen beide gevels – de weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag (wbdbo). De wbdbo-eis tussen de te beschouwen hal en een belendend perceel bedraagt 60 minuten. Afhankelijk van het geveloppervlak is een afstand van 2,5-3,6 m tot de perceelgrens vereist om aan deze eis te voldoen zonder brandwerende eisen aan de gevel, zie afbeelding 6.6.

Gevel staat te dicht bij de perceelgrens

Wanneer de gevel op een kleinere afstand van de perceelgrens staat dan uit afbeelding 6.6 volgt, dan moet de gevel zelf brandwerend zijn om aan de eis van 60 minuten te voldoen. In dat geval worden er twee situaties onderscheiden:

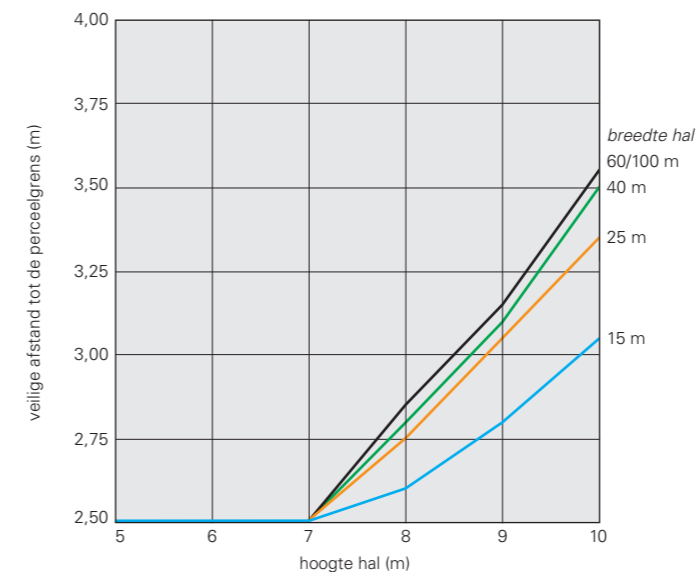
- de gevel staat meer dan 1 m (maar minder dan 2,5 m) van de perceelgrens;
- de gevel staat minder dan 1 m van de perceelgrens.

• *De gevel staat meer dan 1 m (maar minder dan 2,5 m) van de perceelgrens.* Om aan de wbdbo-eis te voldoen moet

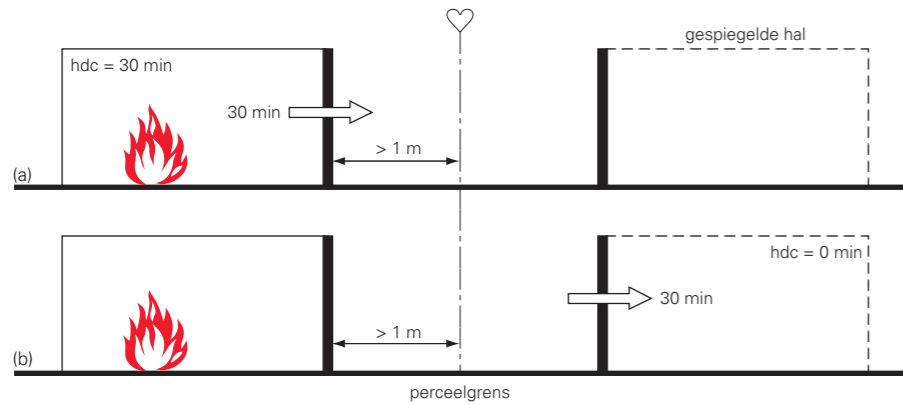
de gevel óf wel een brandwerendheid hebben van 30 minuten van binnen naar buiten (afb. 6.7a) óf wel van 30 minuten van buiten naar binnen (afb. 6.7b). In het eerst geval moet ook de staalconstructie die de gevel steunt 30 minuten brandwerend zijn en dus geldt voor de constructie een eis van 30 minuten.

- *De gevel staat minder dan 1 m van de perceelgrens.* Wanneer de afstand van de gevel tot de perceelgrens minder is dan 1 m, geldt een eis van 60 minuten voor de gevel. Aan deze eis kan op de volgende manieren worden voldaan:
 1. de gevel heeft een brandwerendheid van 60 minuten van binnen naar buiten (afb. 6.8a);
 2. de gevel heeft een brandwerendheid van 60 minuten van buiten naar binnen (afb. 6.8b);
 3. de gevel heeft een brandwerendheid 30 minuten van binnen naar buiten **plus** een brandwerendheid van 30 minuten van buiten naar binnen (afb. 6.8c).

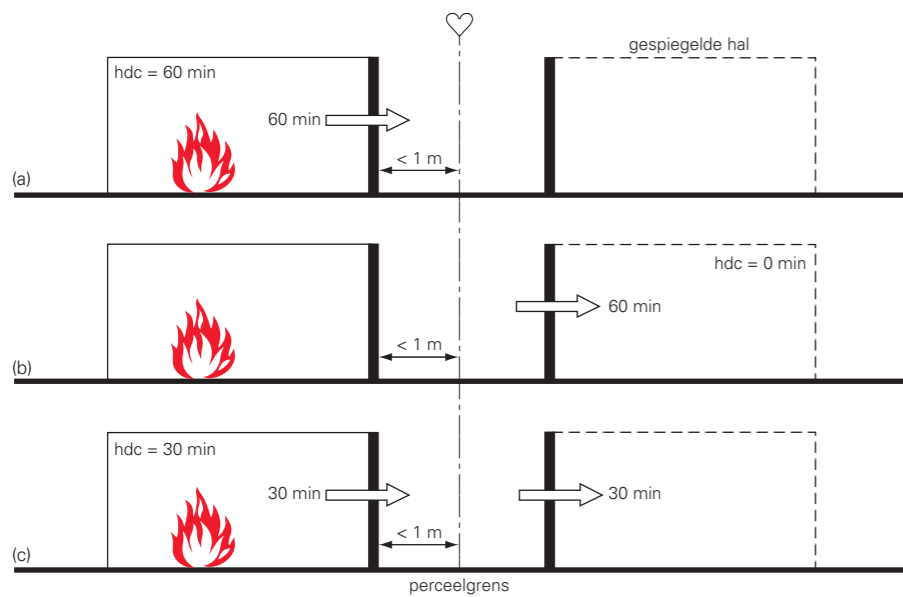
Afhankelijk van de geveltechnische oplossing geldt voor de gevelsteunende constructie een eis van 60 minuten (1) of een eis van 30 minuten (3). Bij (2) geldt geen eis voor de draagconstructie. Voor brandcompartimenten die groter zijn dan 1.000 m² is (3) de enige geaccepteerde eis.



6.6 Minimale afstand tot de perceelgrens voor een wbdbo-eis van 60 minuten, afhankelijk van de hoogte (h) en de breedte (b) van de gevel volgens NEN 6068^[18].



6.7 Eis aan de hoofddragconstructie (hdc) voor een weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag (wbdbo) van 30 minuten.

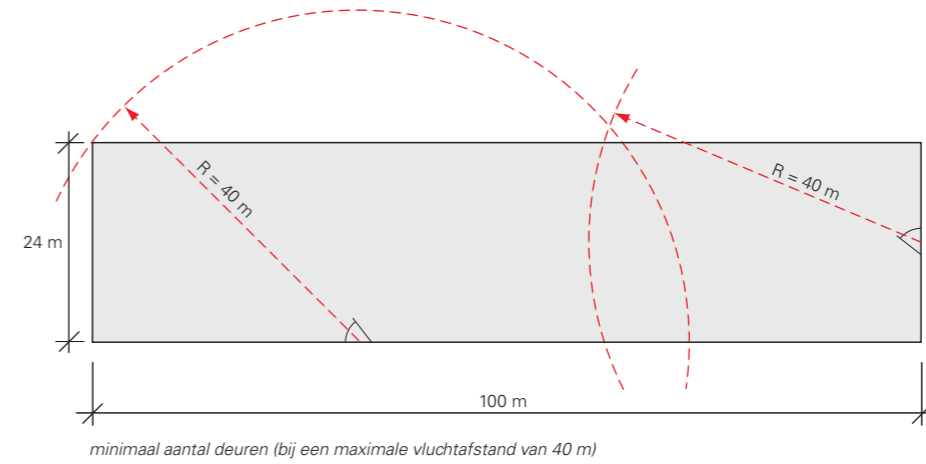
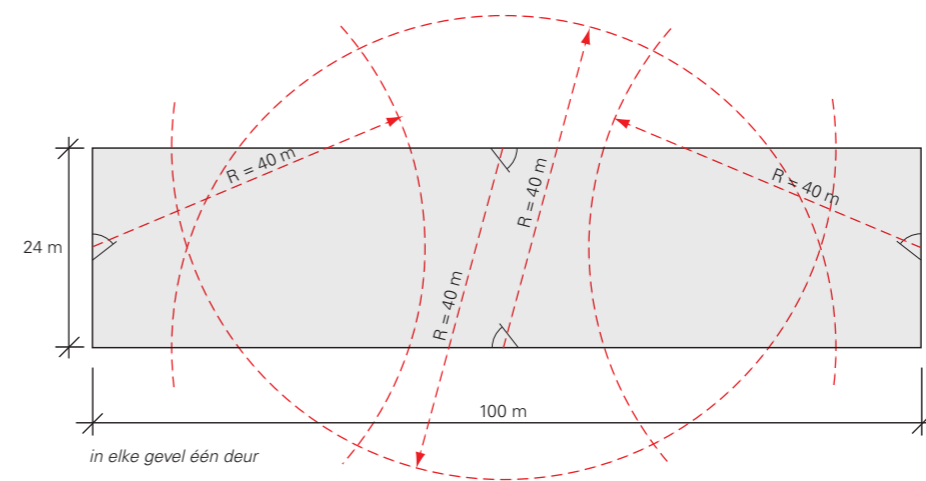


6.8 Eis aan de hoofddragconstructie (hdc) voor een weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag (wbdbo) van 60 minuten.

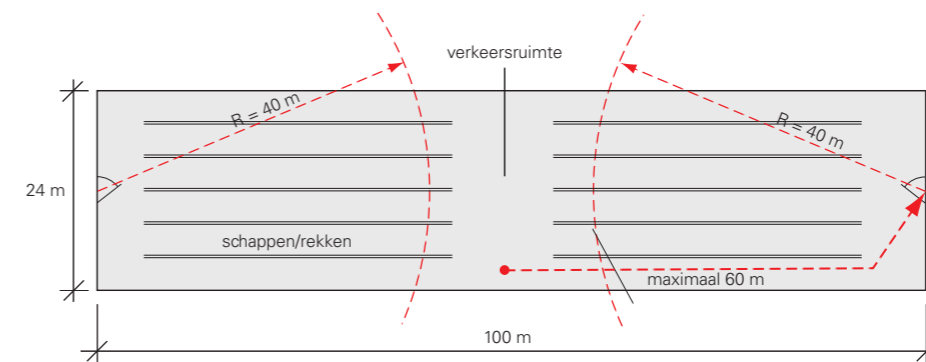
6.4 Vluchtroutes en vluchtafstanden

Het Bouwbesluit 2003 stelt eisen aan de maximale lengte van de vluchtroute in een hal. De vluchtroute hangt af van de bezettingsgraad. Voor een industrie functie moet hiervoor klasse B5 worden aangehouden en een loopafstand van maximaal 40 m. Deze afstand moet worden geprojecteerd in een rechte lijn (in vogelvlucht) tot aan de deur. Wanneer de kenmerkende functie van de hal is het opslaan van goederen, mag de lengte van de vluchtroute worden vermenigvuldigd met een factor 1,5. Bij deze langere afstand

moet echter wel rekening worden gehouden met de indeling van de opslag en de positionering van de opslagstellingen: het gaat hier dan om de werkelijke loopafstand (afb. 6.10). Door de uitgangen zorgvuldig te ontwerpen kan goed aan de eis aan de maximale lengte van de vluchtroute worden voldaan zonder dat aan de hoofddragconstructie brandwerende eisen worden gesteld. Afbeelding 6.9 en 6.10 laten dit zien voor een hal met een plattegrond van 24x100 m (de grootste uit deze publicatie). Hallen met een kleinere plattegrond voldoen uiteraard nog gemakkelijker aan de eis.



6.9 Ontwerp van de uitgangen in een opslaghal van 24x100 m op basis van een maximale loopafstand in een rechte lijn van 40 m.



6.10 Ontwerp van de uitgangen in een opslaghal van 24x100 m op basis van een maximale werkelijke loopafstand van $1,5 \times 40 = 60$ m.

1. A.F. Hamerlinck, M.C. Pauw en A. Dolsma (samenst.), *Brandveilige hallenbouw met staal*, Bouwen met Staal, Zoetermeer 2005 (2e druk). Gratis te downloaden op www.bouwenmetstaal.nl onder publicaties/downloads.
2. A.F. Hamerlinck, *Milieubewust bouwen met staal*, Bouwen met Staal, Zoetermeer 2006.
3. *NEN 6702* (Technische grondslagen voor bouwconstructies. TGB 1990. Belastingen en vervormingen), 2001 + A1, 2005.
4. *NEN 6770* (TGB 1990. Staalconstructies. Basiseisen en basisreken-regels voor overwegend statisch belaste constructies), 1997 + A1, 2001.
5. *NEN 6771* (Technische Grondslagen voor Bouwconstructies. TGB 1990. Staalconstructies. Stabiliteit), 2000 + A1, 2001.
6. *Richtlijnen voor de toepassing van metalen beplating als schijfconstructie (RMBS 2000)*, Bouwen met Staal, Zoetermeer 2004.
7. Commissie SG/TC-10a (Verbindingen), *Momentverbindingen*, Staalbouwkundig Genootschap, Rotterdam 1999.
8. *Dwarskrachtverbindingen. Tabellen voor het ontwerp van hoekstaal, kopplaat- en lipverbindingen volgens Eurocode 3*, Bouwen met Staal, Zoetermeer 2006.
9. C.M. Steenhuis, 'Flexibele ligger-kolomverbindingen', in: A. Rolloos en B.C.A. Spil (samenst.), *Construeren B* ((Over)spannend staal. Deel 3), Bouwen met Staal, Rotterdam 1996, p. 141-161.
10. *NEN 2631* (Investeringskosten van gebouwen. Begripsomschrijvingen en indeling), 1979.
11. 'Costing of steelwork from feasibility through to completion', *Steel Construction 30* (1996) 2, uitgave Australian Institute of Steel Construction.
12. *NPR 6703* (Wateraccumulatie. Aanvullende rekenregels en vereenvoudigingen voor het belastingsgeval regenwater in NEN 6702), 2006.
13. *Brawesta 3.1.1. Rekenprogramma voor Windows*, Bouwen met Staal, Zoetermeer 2005 (cd; versie 3.1.1).
14. A.F. Hamerlinck, F.P.H. Jakobs en J.T. Koudijs, 'Beheersbaarheid van brand bij hallen', *Bouwen met Staal 150* (1999), p. 66-73.
15. C.D.J. Cieraad, *Brandbeveiligingsconcept Beheersbaarheid van brand. Reken-/beslismodel*, Ministerie van Binnenlandse Zaken, Directie Brandweer en Rampenbestrijding, Afdeling Preventiebeleid, Den Haag 1995.
16. *Vuurbelastingen in industriegebouwen*, uitgave Nederlands Instituut voor Brandweer en Rampenbestrijding, Arnhem 1997.
17. *NEN 6090* (Bepaling van de vuurbelasting), 2006.
18. *NEN 6068* (Bepaling van de weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag tussen ruimten), 2004 + A4, 2005.

Stalen hallen

Ontwerpgrafieken voor portalen met scharnierende en flexibele verbindingen

Hallen worden gebruikt voor uiteenlopende functies: van een eenvoudige opslagloods, werkplaats of landbouwschuur tot een distributiecentrum, sporthal of ontvangsthuis op een vliegveld. Hallen bestaan meestal uit één bouwlaag waarvan de lengte en de breedte van het gebouw (veel) groter zijn dan de hoogte. Afhankelijk van de functie volgt uit het programma van eisen een minimaal benodigde vrije overspanning van de hal.

Deze publicatie – bedoeld voor architecten en constructeurs – behandelt uitsluitend portaalconstructies die in beide richtingen zijn geschoord én zijn opgebouwd uit walsprofielen. Voor overspanningen tussen de 10 m en 24 m kan de ontwerper uit grafieken aflezen welke profielen hij voor de ligger en de kolommen moet kiezen en wat het

eigen gewicht van het portaal is per vierkante meter.

In hoofdstuk 2 staan de constructieve uitgangspunten voor de grafieken. Verder beschrijft dit hoofdstuk de twee verbindingen tussen ligger en kolom die de ontwerper kan kiezen: een scharnierende of een flexibele verbinding.

Hoofdstuk 3 bevat de vierentwintig ontwerpgrafieken met een handleiding voor het gebruik. Hoofdstuk 4 geeft informatie om van een portaal de kosten te kunnen bepalen. Voor verschillende typen hallen wordt een prijsindicatie gegeven voor de prijs per kilogram staal.

De hoofdstukken 5 en 6 behandelen twee ontwerpaspecten die (indirect) invloed kunnen hebben op de constructie of het ontwerp van de totale hal: wateraccumulatie en brandveiligheid.



Bouwen met Staal

Boerhaavelaan 40
2713 HX Zoetermeer
Postbus 190
2700 AD Zoetermeer
tel. (079) 353 12 77
fax (079) 353 12 78
info@bouwenmetstaal.nl
www.bouwenmetstaal.nl



BOUWEN MET STAAL

Bouwen met Staal stimuleert het gebruik van staal in de bouw en is dé onafhankelijke kennisorganisatie, die alle partijen in de bouw ondersteunt bij het toepassen van staal. Bouwen met Staal initieert onderzoek voor de kwaliteitsverbetering van stalen bouwproducten en ontwerp- en bouwprocessen met staal en werkt mee aan de totstandkoming van regelgeving voor staaltoepassingen. Daarnaast verzorgt Bouwen met Staal de promotie, voorlichting en educatie voor een breder én beter gebruik van staal. Tot de producten en diensten behoren opleidingen en cursussen, studieboeken, het vakblad *Bouwen met Staal*, projectadvies en de Helpdesk, de Nationale Staalprijs en de Nationale Staalbouwdag.

Bouwen met Staal: platform en partner voor het bouwen met staal.