

Handboeken staalconstructies

# Staal-betonconstructies

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

René Maquoi, Rik Debruyckere, Jean-François Demonceau en Lincy Pyl



# Colofon

Teksten: René Maquoi, Rik Debruyckere, Jean-François Demonceau en Lincy Pyl

Gebaseerd op: Staal-beton - Toepassing en berekening van staal-beton constructies voor gebouwen volgens Eurocode 4 bij normale temperatuur en brand - door prof.ir. J.W.B. Stark ing. R.J. Stark - een uitgave van Bouwen met Staal ([www.bouwenmetstaal.nl](http://www.bouwenmetstaal.nl)).

#### Illustraties:

Alle niet-genoemde foto's en de basis van de meeste tekeningen en tabellen komen uit het archief van Bouwen met Staal ([www.bouwenmetstaal.nl](http://www.bouwenmetstaal.nl)).

Foto cover: Studwelders/Composite Metal Flooring

Tom de Rooij Vakfotografie 1-1a

ABT 1-1b, 4-1

Infosteel 1-8, 1-29, 1-33, p.3-1

Studwelders/Composite Metal Flooring p.1-1, 1-15

Corus 1-16

Vercruysse & Dujardin 1-20

Studiebureau Mouton 1-32

Thilges-C.F.L. 1-34

C.H. van Eldik 1-7, 1-26

Ingenieursbureau SmitWesterman p.2-1

Diane Heirend & Philippe Schmit s.à r.l. p.4-1

Fas Keuzenkamp p.6-1, 6-2

Uitgave: Infosteel

ISBN: 978-90-807555-05



Arianelaan 5

B-1200 Brussel

t. +32-2-509 15 01

f. +32-2-511 12 81

e. [info@infosteel.be](mailto:info@infosteel.be)

[www.infosteel.be](http://www.infosteel.be)

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.

#### Verwittinging

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.

# Voorwoord

Dit boek handelt over en becommentarieert de rekenregels van Eurocode 4, van toepassing op staal-betonconstructies.

Hoofdstuk 1 beschrijft de bijzonderheden van staal-betonconstructies en behandelt de algemene principes met betrekking tot het berekenen en het uitvoeren van verschillende types van samenstellende elementen in gebouwen: staal-betonliggers, staalplaat-betonvloeren, staal-betonkolommen en staal-betonverbindingen.

De hoofdstukken 2 tot 5 behandelen in detail de berekening van deze elementen bij normale temperatuur en bij brand. De rekenmethoden en toepassingsregels zijn conform NBN EN 1994-1-1 en NBN EN 1994-1-2. Ze worden uiteengezet in een groot aantal uitvoerig gedocumenteerde rekenvoorbeelden.

Hoofdstuk 6 geeft een volledige berekening van de staal-betonconstructie van een bioscoopcomplex opgericht te Rotterdam.

Door zijn vorm en zijn inhoud vormt dit boek een zeer nuttig hulpmiddel voor studiebureaus en controlebureaus evenals een gids voor alle betrokkenen in de bouw-wereld.

J.W.B. Stark en R.J. Stark die tegelijkertijd lesgevers (TU Delft en TU Eindhoven) zijn en ontwerpingenieurs, hebben de originele Nederlandse versie voorbereid voor Bouwen met Staal die instaat voor de verspreiding in Nederland. Op basis van een volgens de regels opgesteld contract heeft Bouwen met Staal de uitgifrechten overgedragen aan Infosteel die een uitgave afgestemd op het Belgische publiek wilde voorbereiden, zowel in het Nederlands als in het Frans. De voorbereiding van deze werd aldus toevertrouwd aan R. Debruyckere (SECO) en L. Pyl (Lessius Mechelen, Campus De Nayer) voor de Nederlandstalige aanpassing, en aan J.F. Demonceau en R. Maquoi (Universiteit van Luik), voor de Franstalige aanpassing. Zij is evenwel tot stand gekomen in nauwe symbiose teneinde de grootste samenhang tussen de twee teksten te garanderen.

Jo Naessens  
General Manager, Infosteel

# Inhoud

<b>1.</b>	<b>Inleiding tot staal-betonconstructies</b>	<b>1-1</b>
<b>1.1</b>	<b>Staal-betonliggers</b>	<b>1-3</b>
1.1.1	Opbouw	1-3
1.1.2	Ontwerp	1-6
1.1.3	Verbindingen	1-7
1.1.4	Gedrag bij brand	1-8
<b>1.2</b>	<b>Staalplaat-betonvloeren</b>	<b>1-9</b>
1.2.1	Opbouw	1-9
1.2.2	Ontwerp	1-10
1.2.3	Gedrag bij brand	1-12
<b>1.3</b>	<b>Staal-betonkolommen</b>	<b>1-12</b>
1.3.1	Opbouw	1-12
1.3.2	Ontwerp	1-13
1.3.3	Gedrag bij brand	1-13
1.3.4	Fabricatie	1-14
<b>1.4</b>	<b>Voordelen en nadelen van staal-betonconstructies</b>	<b>1-15</b>
1.4.1	Architectuur	1-15
1.4.2	Economie	1-15
1.4.3	Maakbaarheid	1-16
1.4.4	Vergelijking met andere materialen	1-16
<b>1.5</b>	<b>Toepassingen</b>	<b>1-17</b>
1.5.1	Complexe projecten	1-18
1.5.2	Renovatie	1-18
1.5.3	Hoogbouw	1-18
<b>1.6</b>	<b>Uitgevoerde projecten in staal-betonconstructies</b>	<b>1-19</b>
<b>1.7</b>	<b>Normen</b>	<b>1-21</b>
1.7.1	Eurocode 4	1-21
1.7.2	Nationale bijlagen bij NBN EN 1994	1-22
1.7.3	Referenties	1-24
<b>2</b>	<b>Staal-betonliggers</b>	<b>2-1</b>
<b>2.1</b>	<b>Uitgangspunten van de berekening</b>	<b>2-2</b>
2.1.1	Partiële factoren	2-2
2.1.2	Materiaaleigenschappen	2-2
2.1.3	Eigenschappen van verbindingsmiddelen	2-4
2.1.4	Classificatie van doorsneden	2-6
2.1.5	Meewerkende breedte	2-8
<b>2.2</b>	<b>Eigenschappen van staal-betondorsneden</b>	<b>2-10</b>
2.2.1	Plastische momentweerstand $M_{pl,Rd}^+$ bij positieve buiging	2-10
2.2.1.1	Staalprofiel van sterkteklasse tot en met S355	2-10

	<b>Voorbeeld 2.1</b>	<b>2-12</b>
	<b>Voorbeeld 2.2</b>	<b>2-13</b>
2.2.1.2	Asymmetrische staalligger	2-14
2.2.1.3	Staalprofiel van sterkteklasse S420 of S460	2-14
2.2.2	Plastische momentweerstand $M_{pl,Rd}^-$ bij negatieve buiging	2-15
	<b>Voorbeeld 2.3</b>	<b>2-16</b>
2.2.3	Elastische momentweerstand $M_{el,Rd}^+$ en buigstijfheid bij positieve buiging	2-18
2.2.4	Elastische momentweerstand $M_{el,Rd}^-$ en buigstijfheid bij negatieve buiging	2-19
2.2.5	Dwarskrachtweerstand	2-19
2.2.6	Interactie van dwarskracht en buiging	2-20
2.2.7	Gedeeltelijk omstorte staal-betonliggers	2-21
<b>2.3</b>	<b>Draagvermogen van statisch bepaalde liggers</b>	<b>2-22</b>
2.3.1	Criteria voor de beoordeling	2-22
2.3.2	Toetsing van de momentweerstand	2-23
2.3.3	Toetsing van de verbinding met betrekking tot afschuifkracht in langsricting voor een volledig schuifsterke verbinding	2-23
	<b>Voorbeeld 2.4</b>	<b>2-27</b>
2.3.4	Toetsing van de verbinding met betrekking tot afschuifkracht in langsricting voor een niet-volledig schuifsterke verbinding	2-28
	<b>Voorbeeld 2.5</b>	<b>2-31</b>
<b>2.4</b>	<b>Draagvermogen van statisch onbepaalde liggers</b>	<b>2-32</b>
2.4.1	Criteria van de weerstand	2-32
2.4.2	Star-plastische analyse	2-33
	<b>Voorbeeld 2.6</b>	<b>2-34</b>
2.4.3	Lineair-elastische analyse met herverdeling van momenten	2-35
	<b>Voorbeeld 2.7</b>	<b>2-36</b>
2.4.4	Toetsing van de weerstand van de afschuifkracht in langsricting in geval van een volledig schuifsterke verbinding	2-36
2.4.5	Toetsing van de weerstand van de afschuifkracht in langsricting in geval van een niet-volledig schuifsterke verbinding	2-37
	<b>Voorbeeld 2.8</b>	<b>2-38</b>
	<b>Voorbeeld 2.9</b>	<b>2-39</b>
2.4.6	Zijdelingse stabiliteit van niet gesteunde gedrukte flenzen (kip)	2-40
<b>2.5</b>	<b>Doorbuiging van statisch bepaalde liggers</b>	<b>2-41</b>
2.5.1	Kruip en krimp van het beton	2-41
2.5.2	Vervorming van de deuvels	2-42
	<b>Voorbeeld 2.10</b>	<b>2-43</b>
<b>2.6</b>	<b>Doorbuiging van statisch onbepaalde staal-betonliggers</b>	<b>2-45</b>
<b>2.7</b>	<b>Scheuren van beton</b>	<b>2-46</b>
2.7.1	Algemeen	2-46
2.7.2	Nominale wapening zonder controle van de scheurwijdte	2-46
2.7.3	Vereenvoudigde methode volgens NBN EN 1994-1-1	2-47
2.7.3.1	Minimale wapening	2-47
2.7.3.2	Scheuren onder directe belasting	2-48
	<b>Voorbeeld 2.11</b>	<b>2-49</b>
<b>2.8</b>	<b>Berekening van staal-betonliggers bij brand</b>	<b>2-51</b>
2.8.1	Inleiding	2-51

2.8.2	Materiaaleigenschappen	2-51
2.8.3	Eenvoudige rekenmethode voor de staal-betonliggers bestaande uit een niet-omstort staalprofiel	2-53
2.8.3.1	Thermische analyse	2-53
2.8.3.2	Mechanische analyse	2-54
	<b>Voorbeeld 2.12</b>	<b>2-56</b>
2.8.4	Eenvoudige rekenmethode voor staal-betonliggers bestaande uit gedeeltelijk omstorte liggers	2-61
2.8.5	Toetsing met behulp van ontwerptabellen	2-63
	<b>Voorbeeld 2.13</b>	<b>2-64</b>
<b>3</b>	<b>Staalplaat-betonvloeren</b>	<b>3-1</b>
<b>3.1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>3-2</b>
<b>3.2</b>	<b>Belastingen en ontwerpstoelstanden</b>	<b>3-3</b>
3.2.1	Uitvoeringsstadium	3-3
3.2.2	Gerede toestand	3-4
<b>3.3</b>	<b>Principe van de samenwerking tussen staalplaat en beton</b>	<b>3-4</b>
<b>3.4</b>	<b>Eigenschappen van de doorsneden van staalplaat-betonvloeren</b>	<b>3-8</b>
3.4.1	Momentweerstand bij positieve buiging	3-8
3.4.1.1	Geval waarbij de neutrale lijn gelegen is boven de geprofileerde plaat	3-8
3.4.1.2	Geval waarbij de neutrale lijn gelegen is binnen de hoogte van de geprofileerde plaat	3-9
	<b>Voorbeeld 3.1</b>	<b>3-10</b>
3.4.2	Momentweerstand bij negatieve buiging	3-11
3.4.3	Buigstijfheid bij positieve buiging	3-11
3.4.4	Buigstijfheid bij negatieve buiging	3-12
3.4.5	Dwarskracht en pons	3-12
	<b>Voorbeeld 3.2</b>	<b>3-14</b>
<b>3.5</b>	<b>Draagvermogen</b>	<b>3-14</b>
3.5.1	Uitvoeringsstadium	3-14
3.5.2	Gerede toestand	3-14
3.5.3	Toetsing van de weerstand met betrekking tot afschuiving in langsricting	3-16
3.5.3.1	Basismethoden	3-16
	<b>Voorbeeld 3.3</b>	<b>3-19</b>
3.5.3.2	Bijkomende mogelijkheden bij de $\tau_u$ -methode	3-20
<b>3.6</b>	<b>Doorbuiging</b>	<b>3-21</b>
	<b>Voorbeeld 3.4</b>	<b>3-22</b>
<b>3.7</b>	<b>Berekening van het gedrag bij brand van staalplaat-betonvloeren</b>	<b>3-23</b>
3.7.1	Inleiding	3-23
3.7.2	Onbeschermdde staalplaat-betonvloeren	3-23
3.7.2.1	Toepassingsdomein	3-23
3.7.2.2	Thermisch gedrag	3-24
3.7.2.3	Thermische isolatie (criterium "I")	3-24
3.7.2.4	Mechanisch gedrag bij brand	3-25
3.7.2.5	Mechanische weerstand (criterium "R")	3-26
	<b>Voorbeeld 3.5</b>	<b>3-29</b>
	<b>Voorbeeld 3.6</b>	<b>3-30</b>
3.7.3	Beschermdde staalplaat-betonvloeren	3-32

<b>4</b>	<b>Staal-betonkolommen</b>	<b>4-1</b>
4.1	Inleiding	4-2
4.2	Beginnelen van de berekening	4-2
4.3	Weerstand van een staal-betonddoorsnede	4-3
4.3.1	Weerstand bij axiale druk	4-3
4.3.2	Weerstand van de doorsnede bij druk en buiging	4-4
4.3.2.1	Interactiekromme	4-4
4.3.2.2	Invloed van de dwarskracht	4-8
4.4	<b>Knikweerstand van een staal-betonkolom</b>	<b>4-8</b>
4.4.1	Kolom onderhevig aan axiale druk	4-8
	<b>Voorbeeld 4.1</b>	<b>4-10</b>
4.4.2	Kolom onderhevig aan gecombineerde axiale druk en enkelvoudige buiging	4-12
4.4.2.1	Berekeningsmethode	4-12
4.4.2.2	Gelijke kop- en voetmomenten	4-12
4.4.2.3	Ongelijke kop- en voetmomenten	4-15
	<b>Voorbeeld 4.2</b>	<b>4-16</b>
4.4.3	Kolom onderhevig aan gecombineerde axiale druk en samengestelde buiging	4-18
4.5	<b>Krachtsinleiding</b>	<b>4-18</b>
4.6	<b>Berekening van staal-betonkolommen bij brand</b>	<b>4-21</b>
4.6.1	Inleiding	4-21
4.6.2	Gedrag bij brand	4-21
4.6.3	Eenvoudige rekenmodellen voor staal-betonkolommen	4-21
4.6.4	Staal-betonkolom bestaande uit volledig omstorte staalprofielen	4-22
4.6.5	Staal-betonkolom bestaande uit gedeeltelijk omstorte staalprofielen	4-23
4.6.5.1	Ontwerptabel	4-23
4.6.5.2	Rekenmodel	4-24
	<b>Voorbeeld 4.3</b>	<b>4-26</b>
	<b>Voorbeeld 4.4</b>	<b>4-26</b>
4.6.6	Onbeschermde met beton gevulde buisprofielen	4-27
4.6.6.1	Vulling met ongewapend beton	4-27
4.6.6.2	Vulling met gewapend beton	4-28
4.6.6.2.1	Ontwerptabel	4-29
4.6.6.2.2	Rekenmodel	4-30
	<b>Voorbeeld 4.5</b>	<b>4-32</b>
<b>5.</b>	<b>Staal-betonverbindingen</b>	<b>5-2</b>
5.1	<b>Typen staal-betonverbindingen en ontwerpuitgangspunten</b>	<b>5-2</b>
5.1.1	Modellering van de constructie	5-2
5.1.2	Ontwerp en berekening	5-8
5.1.3	Normen en rekenregels	5-8
5.2	<b>Algemene berekening</b>	<b>5-9</b>
5.2.1	Invloed van verbindingen op de respons van de constructie	5-9
5.2.2	Idealisatie van het $M-\phi$ diagram van een verbinding	5-10
5.2.3	Modellering	5-11
5.2.4	Classificatie	5-11
5.3	<b>Bepaling van de karakteristieken van verbindingen</b>	<b>5-13</b>
5.3.1	Methode van de componenten	5-13

5.3.2	Berekeningsmethodiek	5-15
5.3.2.1	Principe	5-15
5.3.2.2	Berekening van de momentweerstand van een staal-betonverbinding met contactplaat	5-16
5.3.2.3	Berekening van de momentweerstand van een staal-betonverbinding met kopplaat	5-16
5.3.2.4	Berekening van de stijfheid van een staal-betonverbinding met contactplaat	5-17
5.3.2.5	Berekening van de stijfheid van een staal-betonverbinding met kopplaat	5-18
<b>5.4</b>	<b>Toepassingsvoorbeeld</b>	<b>5-19</b>
<b>6.</b>	<b>Rekenvoorbeeld</b>	<b>6-2</b>
<b>6.1</b>	<b>Vloerconstructie en ontwerpgegevens</b>	<b>6-2</b>
<b>6.2</b>	<b>Zaalligger</b>	<b>6-5</b>
6.2.1	Toetsing bij normale temperatuur	6-5
6.2.2	Toetsing bij brand	6-13
<b>6.3</b>	<b>Raveelligger</b>	<b>6-17</b>
6.3.1	Toetsing bij normale temperatuur	6-17
6.3.2	Toetsing bij brand	6-22
<b>6.4</b>	<b>Kolom</b>	<b>6-22</b>
6.4.1	Toetsing bij normale temperatuur	6-22
6.4.2	Toetsing bij brand	6-24



# 1

## Inleiding tot staal-betonconstructies



# 1

## Inleiding tot staal-betonconstructies

Een staal-betonconstructie ontleent zijn draagvermogen aan de constructieve samenwerking van staal en beton. Door deze samenwerking wordt optimaal gebruik gemaakt van de gunstige eigenschappen van staal en beton. Hoewel deze materialen heel verschillend van aard zijn, vullen ze elkaar goed aan:

- beton kan goed drukkrachten opnemen terwijl staal beter is voor het opnemen van trekkrachten;
- stalen onderdelen zijn slank en gevoelig voor knik, kip en plooi. Met beton kunnen deze instabiliteitsvormen worden voorkomen;
- beton dat staal omhult, beschermt dit tegen corrosie;
- beton geeft een goede bescherming tegen brand. Dankzij de grotere thermische traagheid van beton warmt het staal minder snel op en een herverdeling van krachten treedt op van het (warmere) staal naar het (koelere) beton;
- dankzij zijn ductiliteit verleent het staal aan de staal-betonconstructie een zeer goede plastische vervormingscapaciteit.

In het programma van de Eurocodes is een speciale Eurocode, namelijk Eurocode 4, gewijd aan de berekening van staal-betonconstructies. NBN EN 1994-1-1 (Eurocode 4: Ontwerp en berekening van staal-betonconstructies – Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen) behandelt hoofdzakelijk de dimensionering bij normale temperatuur van constructie-elementen voor gebouwen, namelijk liggers, vloeren en kolommen (figuur 1-1). In deel 1-2 van Eurocode 4, NBN EN 1994-1-2 genaamd, vindt men algemene regels voor de berekening van het gedrag bij brand met toetsing volgens tabellen of volgens eenvoudige rekenmethoden of geavanceerde rekenmethoden. De staal-betonbruggen vormen het onderwerp van deel 2 (NBN EN 1994-2).

Figuur 1-1 : Constructie-elementen van een staal-betonconstructie



a. Staal-betonligger

b. Staal-betonkolom

c. Staal-betonvloer

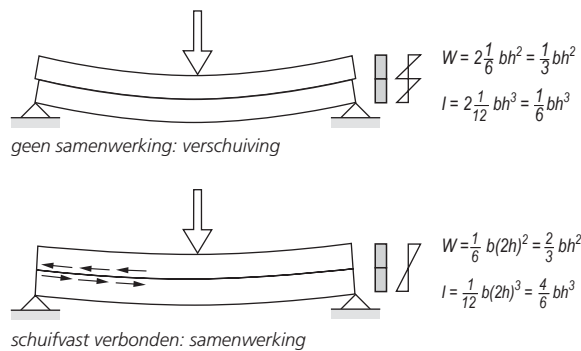
# 1.1 Staal-betonliggers

## 1.1.1 Opbouw

Een staal-betonligger bestaat uit drie onderdelen:

- een deel in beton dat doorgaans bestaat in de vorm van een betonflens bij het bovenste deel van de doorsnede;
- een staalprofiel;
- een verbinding, meestal bewerkstelligd door deuvels.

De verbinding heeft tot doel dat het betondeel en het staaldeel samenwerken om het gedrag te benaderen van een monoliete doorsnede. Dit principe wordt bij houtconstructies al van oudsher toegepast; een mooi voorbeeld is de verbinding van twee houten balken (hoogte  $h$  en breedte  $b$ ) met deuvels tot één ligger.

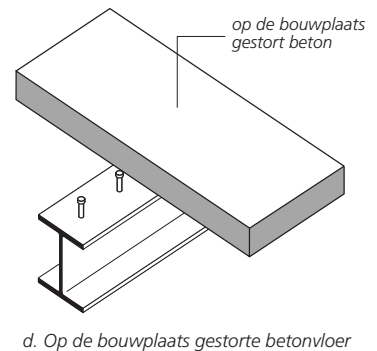
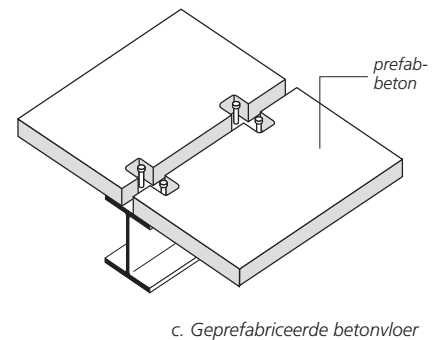
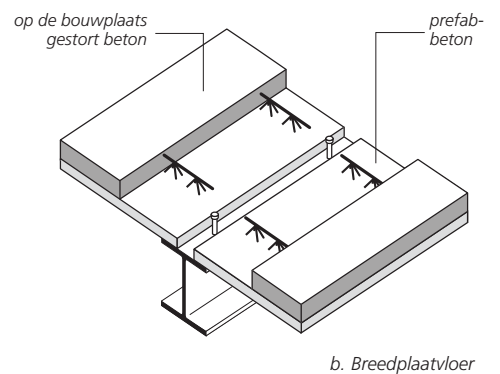
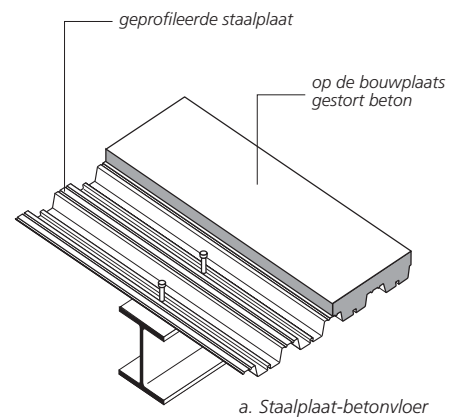


Figuur 1-2 : Gevolg van een volledig schuifvaste verbinding tussen twee identieke rechthoekige liggers op het weerstandsmoment  $W$  en het traagheidsmoment  $I$

Figuur 1-2 illustreert het gevolg van de aanwezigheid van een verbinding op de statische karakteristieken van een dwarsdoorsnede. Door de constructieve samenwerking tussen de samenstellende elementen is het weerstandsmoment, maatgevend voor de sterkte, tweemaal groter dan in het geval zonder samenwerking. Het traagheidsmoment, maatgevend voor de stijfheid en de doorbuiging, is viermaal groter.

De betonflens van een staal-betonligger, doorgaans vloerplaat genoemd, maakt meestal deel uit van een betonvloer; hij komt tussen in het gedrag van de ligger via een beperkte breedte, "meewerkende breedte" genoemd. In de praktijk kan de betonvloer één van de volgende typen zijn:

- een staalplaat-betonvloer bekomen door het storten van beton op een staalplaat, die achtereenvolgens de rol vervult van bekisting en onderwapening (figuur 1-3a);
- een breedplaatvloer (figuur 1-3b);
- een geprefabriceerde betonvloer (of welfsel) (figuur 1-3c);
- een op de bouwplaats gestorte betonvloer (figuur 1-3d).



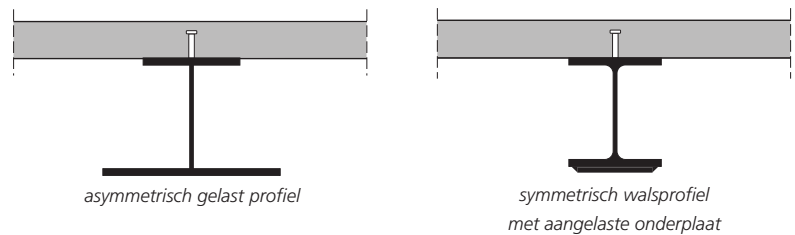
Figuur 1-3 : Geprefabriceerde betonvloeren of breedplaatvloeren

Als staalprofiel komt in aanmerking:

- een gewalst I- of H-profiel;
- een gelaste plaatligger;
- een geïntegreerde ligger, dit wil zeggen verzonken in de dikte van de betonplaat;
- een raatligger, ook cellenligger genoemd;
- een vakwerkligger.

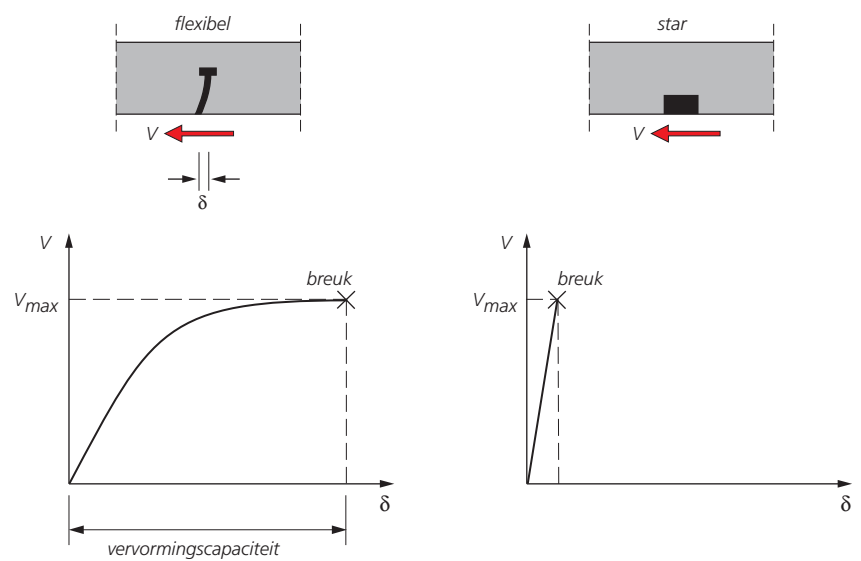
Doordat na het verharden van het beton de betonflens meestal de rol vervult van bovenflens van de staal-betondoorsnede, kan het zinvol zijn om een staalprofiel te gebruiken dat asymmetrisch is ten opzichte van zijn horizontale as. Daartoe kan men het gebruik overwegen van een gelaste plaatligger, een asymmetrisch gewalst profiel<sup>1)</sup> of een profiel dat asymmetrisch is gemaakt door het toevoegen van een gelaste versterkingsplaat op één van de flenzen van een symmetrisch profiel (figuur 1-4).

<sup>1)</sup> Dit product is pro memorie vermeld gezien de pogingen tot commercialisering van de asymmetrische profielen niet volledig hebben beantwoord aan de verwachtingen.



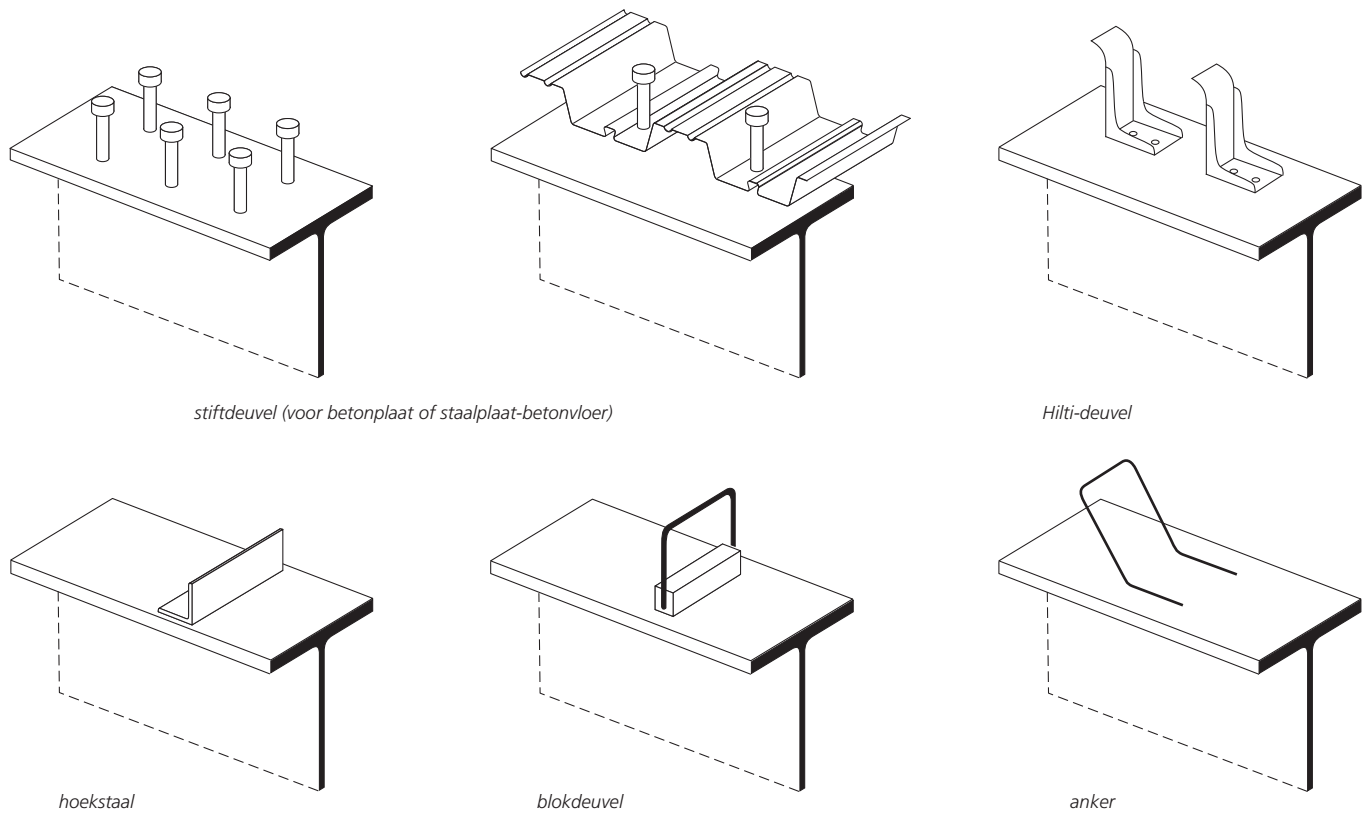
Figuur 1-4 : Asymmetrische staaldoorsneden

Het verbindingsmiddel is essentieel voor het overbrengen van de schuifkracht in de langsricting, ook scheerkracht genoemd, in het vlak tussen het staalprofiel en het betondeel. De verbindingsmiddelen zijn, volgens de manier dat ze zijn geconcipeerd, star of flexibel (figuur 1-5). Deze twee typen onderscheiden zich in een zeer verschillende vervormingscapaciteit: klein voor de starre verbindingsmiddelen en groot voor de flexibele verbindingsmiddelen.



Figuur 1-5 : Verschillend gedrag van (links) flexibele en (rechts) starre deuvels

Er bestaan verschillende typen verbindingsmiddelen waarvan sommige zijn geïllustreerd in figuur 1-6. De stiftdeuvels zijn de deuvels die het vaakst worden gebruikt in West-Europa (figuur 1-7); deze zijn doorgaans flexibel.

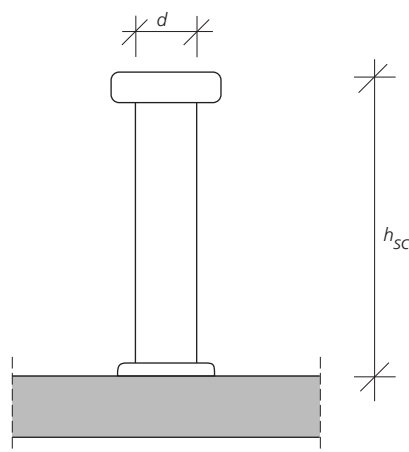


Figuur 1-6 : Typen verbindingsmiddelen

Deuvels zijn in verschillende lengten en diameters verkrijgbaar in de handel. De deuvel met diameter 19 mm is het meest courant. De deuvels worden gelast met het pistool op de buitenkant van de flens van het profiel en/of eventueel op het lijf indien het gedeeltelijk is omstort (beton tussen de flenzen); ze kunnen gelast worden doorheen de staalplaat van een staalplaat-betonvloer op voorwaarde dat de dikte van de plaat niet groter is dan 1,25 mm, dat de totale zinklaag niet dikker is dan 0,03 mm (30  $\mu\text{m}$ ) en dat het vlak van het staalprofiel waarop de deuvels komen vrij is van verf.



Figuur 1-7 : Stiftdeuvel



## 1.1.2 Ontwerp

Voor de uitvoering van een staal-betonligger zijn twee gevallen te onderscheiden:

- de bekisting voor de betonplaat en/of de stalen ligger wordt afgestempeld op de begane grond of op de onderliggende verdiepingvloer. De onderstempeling wordt pas verwijderd nadat het beton voldoende is verhard;
- noch de bekisting voor de betonvloer, noch de stalen ligger worden afgestempeld. De bekisting van de betonvloer rust aldus tijdens de uitvoering op de stalen liggers.

Het tweede geval heeft als voordeel dat tijdens de bouw geen hinder van stempels wordt ondervonden en daardoor in principe meerdere verdiepingen gelijktijdig kunnen worden gestort (figuur 1-8). De stalen liggers dragen het totale eigen gewicht, inclusief de nog onverharde betonspecie. Deze fase is vaak maatgevend voor de benodigde afmetingen van de stalen ligger.

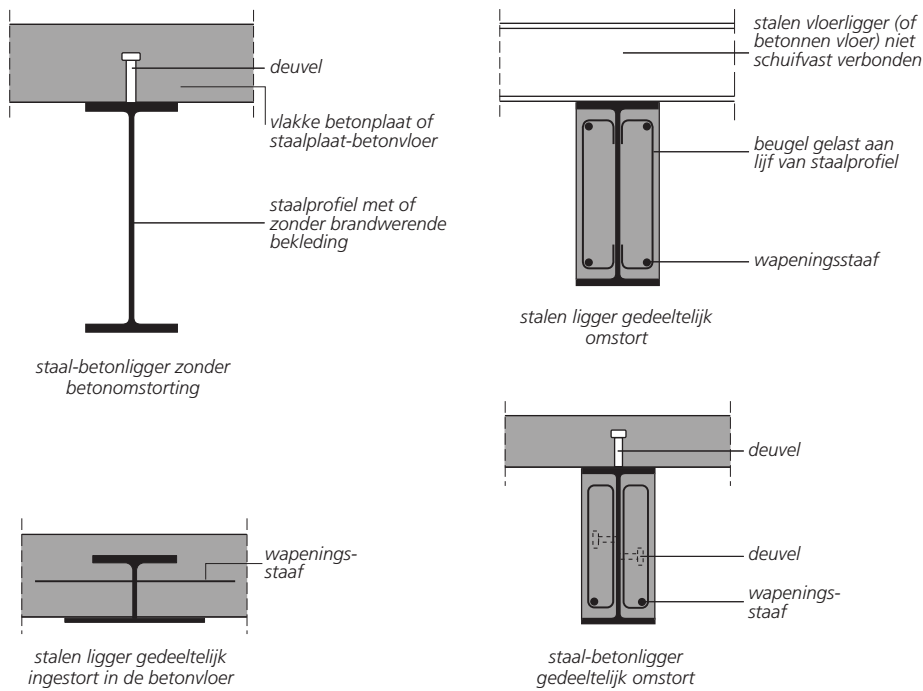
De wijze van uitvoering beïnvloedt de doorbuiging van staal-betonliggers. Wanneer de staal-betonddoorsnede haar plastische weerstand kan ontwikkelen, hangt het draagvermogen niet af van de wijze van uitvoering.



Figuur 1-8 : Voorbeeld van constructie met niet-onderstempelde staalplaat-betonvloer

Naast een onderscheid naar uitvoering (onderstempeld of niet-onderstempeld) kan ook een onderscheid gemaakt worden naar het type. Verschillende varianten van staal-betonliggers zijn geïllustreerd in figuur 1-9.

Trouwens, afhankelijk van de ontwerp wensen binnen een project kan worden gekozen voor vrij opgelegde liggers, dus isostatisch, of doorgaande liggers, dus hyperstatisch.



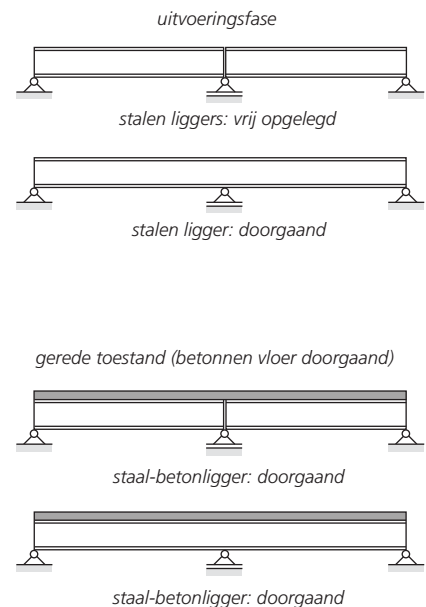
Figuur 1-9 : Enkele typen staal-betonliggers

Men kan kiezen om de liggers van een verdiep te schikken volgens één richting (evenwijdige liggers) of in twee richtingen (rooster van liggers, vaak orthogonaal). In dit laatste geval kruisen de liggers zich door stapeling (gestapelde liggers) of bevinden ze zich in eenzelfde horizontaal vlak. Het constructiesysteem met gestapelde liggers vergemakkelijkt de integratie van technische installaties maar verhoogt daarentegen de benodigde hoogte.

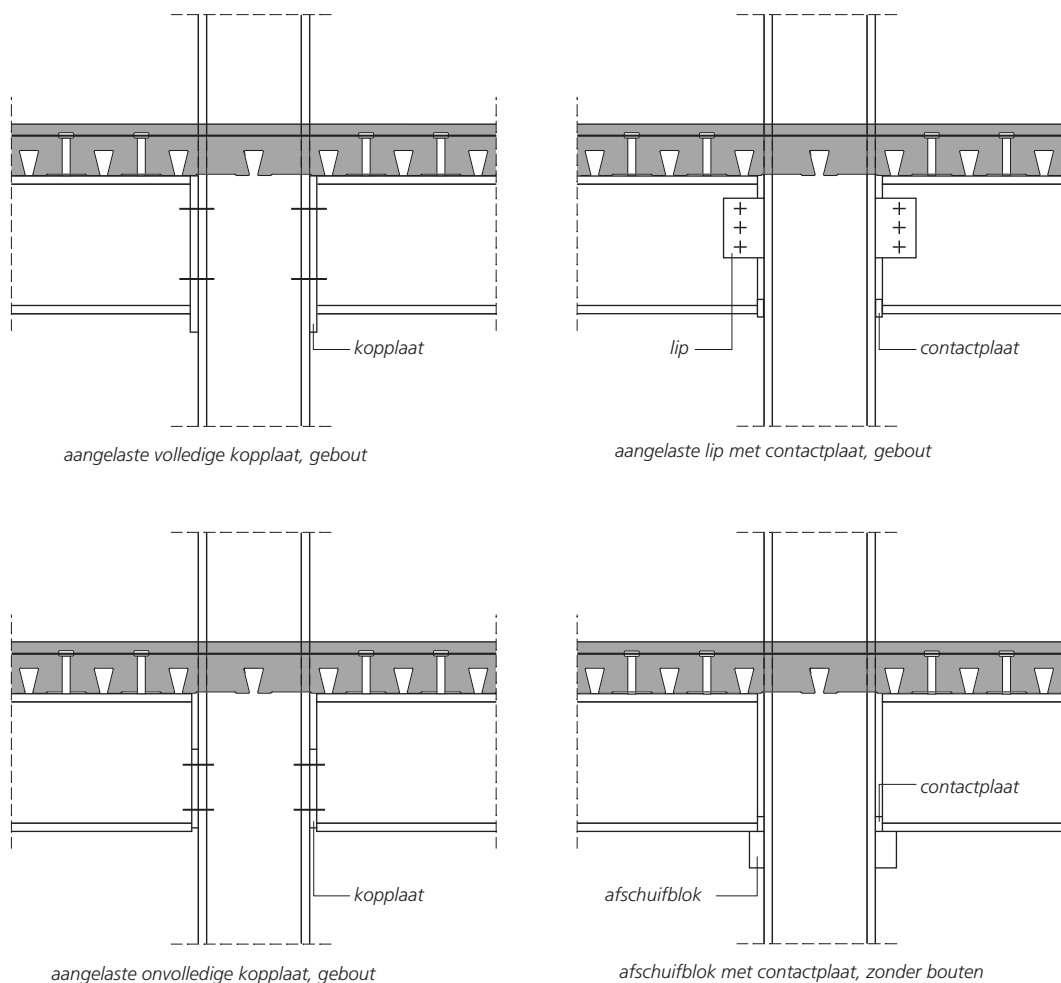
Bij het ontwerpen van een ligger kan men starten met het berekenen van een stalen profiel alleen waarbij de kiptoetsing doorgaans niet nodig is vanwege de zijdelingse steun en de rotatiesteun van de betonplaat. Het stalen profiel dat benodigd is in de staal-betonligger zal dan ongeveer twee nummers lager uitvallen dan deze die hiervoor werd bepaald. Het is aan te bevelen om in een vroeg stadium te toetsen of het benodigd aantal deuvels past op de ligger, zeker in het geval van een staalplaat-betonvloer vermits de verbindingsmiddelen slechts kunnen geplaatst worden in de onderste golven van de staalplaat. Omdat vele factoren een rol spelen (aantal deuvels, dikte betonplaat, massiviteit van het profiel) bij het zoeken van de optimale staal-betonligger, is het nuttig om het onderzoek van de verschillende varianten uit te voeren met behulp van geschikte software.

### 1.1.3 Verbindingen

In het domein van de gebouwen spelen de verbindingen tussen ligger en kolom een belangrijke rol, in het bijzonder wanneer de staal-betonliggers doorgaand zijn. De verdeling van de inwendige krachten in een doorgaande staal-betonligger hangt af van de eigenschappen van deze verbindingen. Het is mogelijk om een verbinding zo te ontwerpen dat de ligger tijdens de uitvoering werkt als een vrij opgelegde ligger terwijl dezelfde ligger in de gerede toestand werkt als een doorgaande ligger (figuur 1-10). Omdat voegen in de betonvloer ter plaatse van de tussensteunen voor staal-betonliggers meestal niet gewenst zijn worden deze voor de gerede toestand als doorgaand ontworpen.



Figuur 1-10 : Statische schema's van een staal-betonligger



Figuur 1-11 : Enkele voorbeelden van verbindingen tussen ligger en kolom bij staal-betonconstructies

Door de grote variatie aan typen van verbindingen is het essentieel om het type van verbinding te kiezen vanaf het begin van het project. Figuur 1-11 toont enkele typen van verbindingen tussen ligger en kolom die men tegenkomt in gebouwen bestaande uit staal-betonconstructies.

#### 1.1.4 Gedrag bij brand

Staal-betonliggers gedragen zich bij brand beter dan stalen liggers. In NBN EN 1994-1-2 die gewijd is aan de brandwerendheid van staal-betonconstructies worden volgende typen van staal-betonliggers behandeld (figuur 1-9):

- staal-betonligger met een niet-omstorte stalen ligger;
- gedeeltelijk omstorte stalen ligger;
- stalen ligger gedeeltelijk ingestort in de vloerplaat;
- staal-betonligger met gedeeltelijk omstorte stalen ligger.

De beoordeling van deze typen van liggers met betrekking tot hun brandwerendheid volgens NBN EN 1994-1-2 is gebaseerd op de plasticiteitstheorie.

De verhoging van de brandwerendheid afkomstig van de staal-betonwerking kan nog verhoogd worden door de stalen ligger te bekleden met een brandwerende beplating of te bedekken met een gespoten isolatiemateriaal of een zwellende verf.



## 1.2 Staalplaat-betonvloeren

### 1.2.1 Opbouw

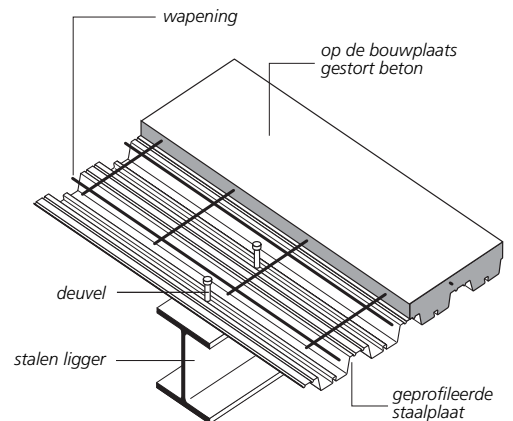
Een staalplaat-betonvloer bestaat uit een geprofileerde dunne staalplaat die ontworpen is om op een efficiënte manier constructief samen te werken met het beton van de vloerplaat dat erin komt. Staalplaat-betonvloeren zijn zeer geschikt voor toepassing in de staalbouw waarbij zij, middels een verbinding, kunnen samenwerken met de stalen vloerliggers (figuur 1-12).

Staalplaat-betonvloeren kunnen samenwerken met liggers van andere materialen zoals bijvoorbeeld gewapend beton of hout.

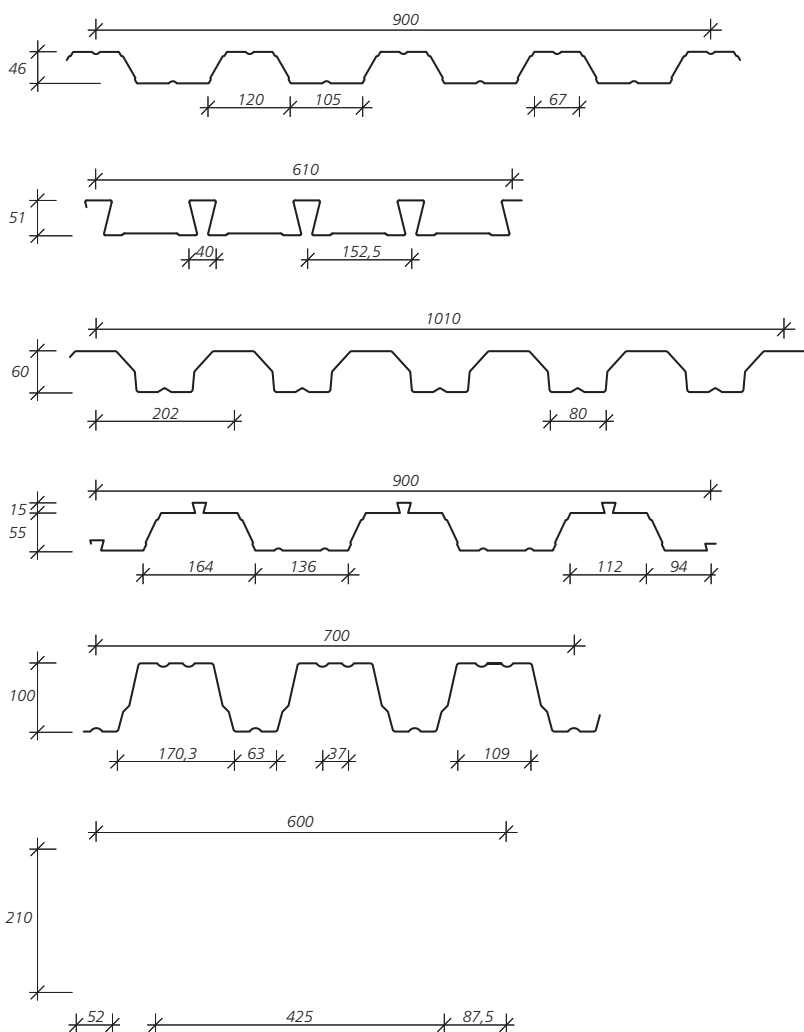
De geprofileerde staalplaat vervult verschillende functies:

- ze biedt een werkvloer tijdens de uitvoering;
- ze dient als bekisting bij het betonneren van de vloerplaat;
- ze vervult de rol van onderwapening voor het beton van de vloerplaat.

Er bestaat een grote verscheidenheid aan geprofileerde staalplaten in de handel (figuur 1-13). Deze platen onderscheiden zich door hun vorm, hun hoogte, de afstand tussen de golven, de verstijving van hun wanden, de wijze van overlapping wanneer naast mekaar liggend en de manier waarop de samenwerking met het beton wordt verzekerd.



Figuur 1-12 : Voorbeeld van een staalplaat-betonvloer

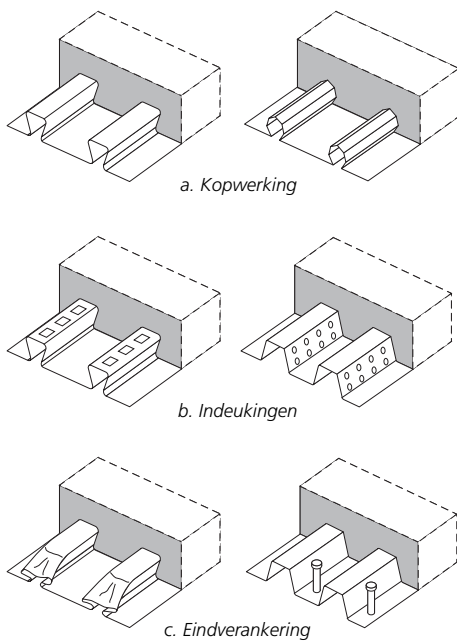


Figuur 1-13 : Enkele typen van geprofileerde platen voor staalplaat-betonvloeren

De dikte van de geprofileerde platen varieert van 0,75 mm tot 1,5 mm; in de praktijk kiest men ze doorgaans tussen 0,75 mm en 1,2 mm. Omwille van corrosiebescherming zijn de twee zijden doorgaans verzinkt; de totale zinklaag (voor de twee zijden) bedraagt om en bij de 275 g/m<sup>2</sup>. Dit komt overeen met een gemiddelde laagdikte van ongeveer 20 µm voor elke zijde van de plaat. Stiftdeuvels kunnen gelast worden doorheen de plaat mits bepaalde hogervermelde maatregelen. In de praktijk spreekt men over lage en hoge platen. De hoogte van de eerste varieert van 16 mm tot 100 mm; ze laten een overspanning toe van 3,6 m (ongestempeld) tot 6,5 m (gestempeld). Met de hoge platen (hoogte ongeveer 200 mm) zijn, zonder onderstempeling, overspanningen tot 5,5 m mogelijk.

Over het algemeen is het beton van de vloerplaat normaal beton. Het gebruik van lichtbeton is toegestaan en is een interessante oplossing wanneer licht gewicht een belangrijke zorg is; de belangrijkste nadelen van lichtbeton zijn de hogere kostprijs en de levertermijn.

Doorgaans wordt een verdeelwapening, meestal in de vorm van netten, toegepast aan de bovenkant van de betonplaat in de zones van de tussensteunpunten van de vloerplaten. Zij heeft een dubbele functie: ze verzekert de opname van het negatieve moment op het tussensteunpunt en ze beperkt de opening van de scheuren aan de bovenzijde. In sommige gevallen voorziet men bijkomende wapening in het veld vlakbij bij de geprofileerde plaat of in de zones van geconcentreerde lasten op de vloerplaat ten behoeve van een toereikende lastspreiding. Extra wapening kan ook nodig zijn in het beton van de ribben ter verbetering van de brandwerendheid van de staalplaat-betonvloer.



Figuur 1-14 : Typische verbindingwijzen in staalplaat-betonvloeren

## 1.2.2 Ontwerp

De samenwerking tussen de staalplaat en het beton berust op één of meerdere van de volgende fenomenen (figuur 1-14):

- wrijving wanneer de ribben van de plaat zwaluwstaartvormig zijn;
- mechanische werking door de vervormingen in de wanden (indeukingen, uitstulpingen);
- eindverankering door gelaste deuvells doorheen de plaat (figuur 1-15) of door de vervorming van de uiteinden van de geprofileerde plaat (figuur 1-16).



Figuur 1-15 : Verankering door stiftdeuvels gelast doorheen de plaat