

Nieuwe richtlijn voor succesvol vloerconcept

In de verdiepingbouw is de laatste jaren sprake van een sterke stijging van de toepassing van geïntegreerde stalen liggers in combinatie met betonnen kanaalplaten. Deze twee onderdelen van het vloersysteem werden tot nog toe afzonderlijk gedimensioneerd. Daarbij werd geen rekening gehouden met de invloed van de samenwerking tussen ligger en kanaalplaat, die zorgt voor extra schuifspanningen in de kanaalplaten. De nieuwste inzichten hierover zijn onlangs gepubliceerd in CUR/BmS- Aanbeveling 104^[1]. Dit artikel gaat in op de dimensionering van de geïntegreerde stalen liggers en het globale gedrag van de kanaalplaten. Cement^[2] publiceerde eerder een artikel over de achtergronden en het rekenmodel van de betonnen kanaalplaten.

dr.ir. A.F. Hamerlinck

ir. B. Potjes

Ralph Hamerlinck is senior adviseur bij Bouwen met Staal, Zoetermeer en brandveiligheidsadviseur bij Adviesbureau Hamerlinck, Roosendaal. Bennie Potjes is technisch adviseur bij Bouwen met Staal, Zoetermeer.

Vloeren die bestaan uit geïntegreerde stalen liggers met kanaalplaten hebben het kenmerk dat er een vlakke vloer ontstaat met een minimale constructiehoogte (*afb. 1*). Dit biedt de installateur de mogelijkheid om leidingen en installaties vrij van obstakels aan te leggen. Bovendien is de brandwerendheid van een geïntegreerde stalen ligger al vrij hoog, omdat de ligger vrijwel geheel in de vloer is opgenomen. De kanaalplaten liggen op de uitstekende onderflenzen van de stalen liggers. Na het aanbrengen van de vereiste koppel- en trekbandwapening en het aanstorten van de voegen tussen de kanaalplaten en de liggers werken beide constructief samen. Deze interactie maakt het nodig extra aandacht te besteden aan alle ontwerp- en uitvoeringsaspecten.

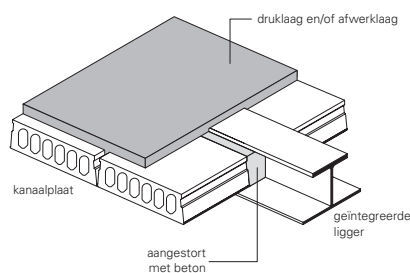
gingen van de liggers. Ook kan het voorkomen dat de stijfheid van de geïntegreerde liggers aan weerszijden van een vloerveld niet gelijk is, waardoor er torsie ontstaat in de kanaalplaten. In Nederland worden hoofdzakelijk de (originele) liggertypen uit *afbeelding 3* toegepast. De THQ- of hoedligger is samengesteld uit vier stalen platen: twee 5-6 mm dunne lijfplaten, een verbrede onderplaat van 10-20 mm en een meestal dikkere bovenplaat (tot 40 mm). De IFB-ligger is een gehalveerd HE-profiel met een ondergelaste plaat van 12 of 15 mm dikte. De SFB-ligger is een HE-profiel met een ondergelaste plaat. Dit artikel gaat niet in op de alternatieve geïntegreerde liggers die later zijn geïntroduceerd (*afb. 4*).

Economisch ontwerp

Bij het ontwerp van een vloersysteem met geïntegreerde stalen liggers en kanaalplaten is het uitgangspunt dat ligger en vloerplaat ongeveer even hoog zijn. Gezien de grote slankheid waarmee kanaalplaatvloeren kunnen worden uitgevoerd – als vuistregel geldt: $\ell_{\max} \approx 40d$ – is het voor een economisch vloerontwerp van belang om de kanaalplaat in de richting met de grootste overspanning te leggen en de geïntegreerde ligger in de richting met de kleinste overspanning. Voor statisch bepaalde liggers, met een veranderlijke belasting van 4 kN/m², geldt als vuistregel voor een economisch ontwerp:

Invloed doorbuiging

De geïntegreerde ligger vormt voor de kanaalplaten een niet-starre ondersteuning. Bij een doorbuiging van de ligger ontstaan in de kanaalplaten trek- en drukspanningen in de dwarsrichting (*afb. 2*). Deze trekspanningen staan loodrecht op de richting van de voorspanstrengen en kunnen de aanhechting van de voorspanstrengen beperken. Bovendien ontstaan er – bij doorbuiging van de ligger – ook schuifspanningen door horizontale afschuiving tussen ligger en kanaalplaten. Deze schuifspanningen zijn maximaal bij de opleg-

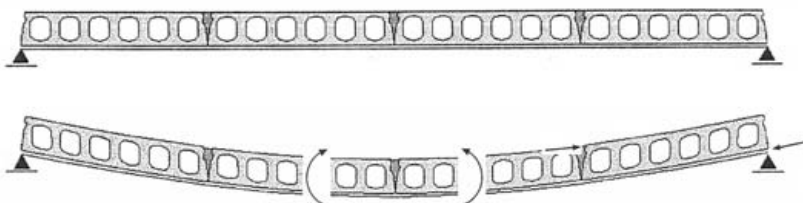


1. Het vloerconcept van stalen geïntegreerde liggers en betonnen kanaalplaten.

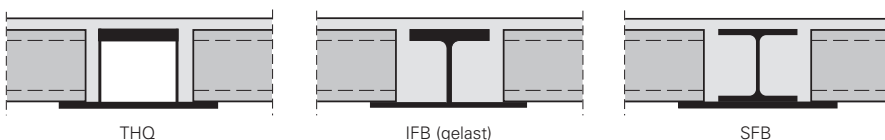


Literatuur

1. Vloeren van kanaalplaten met geïntegreerde liggers (CUR/BmS-Aanbeveling 104), Gouda/Zoetermeer 2006.
2. H.W. Bennen en R. Klein Holte, 'Niet-star ondersteunde kanaalplaten', *Cement* 58 (2006) 1, p. 63-67.
3. A.W.A.M.J. van de Bogaard en C.H. van Eldik, *Verdiepingbouw in staal en beton*, Staalbouw Instituut, Rotterdam 1995.
4. H. Bode en J. Stengel, *Untersuchung des Tragverhaltens bei Flachendecken-Systemen (Slim Floor Konstruktionen) mit verschiedener Ausbildung der Platten und Verschiedener Lage der Stahlträger* (Forschung für die Praxis P261), uitgave Studiengesellschaft Stahlanwendung, Düsseldorf 1997.
5. R. Hamerlinck en L. Twilt, 'Brandwerendheid éénzijdig verhitte staalconstructies', in: *Construeren A ((Over)spannend staal. Deel 2)*, Stichting Kennisoverdracht SG, Rotterdam 1995, p. 298-301.
6. A.J. Breunese en J.H.H. Fellingner, *Brandwerendheid van geïntegreerde liggers* (TNO-rapport 2002-CVB-R06136), TNO, Delft 2002.
7. A.J. Breunese, J.H.H. Fellingner en A.F. Hamerlinck, 'Geïntegreerde liggers 60 minuten brandwerend zonder bekleding!?', *Bouwen met Staal* 169 (2002), p. 46-53.

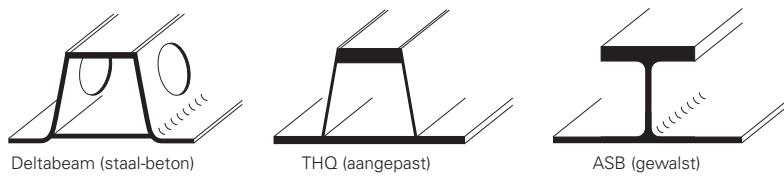


2. De kanaalplaat wordt in dwarsrichting belast op buiging en afschuiving. Beide mechanismen veroorzaken een horizontale schuifkracht in de lijven van de kanaalplaat.

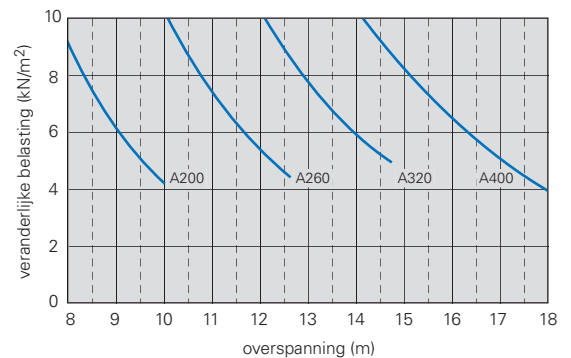


3. De meest gangbare typen geïntegreerde stalen liggers in Nederland.

4. Alternatieve typen geïntegreerde stalen liggers.



5. Ontwerpgrafiek voor kanaalplaten met een brandwerendheid van 60 minuten (bron: Handboek VBI Plaatvloeren).



$$\ell_{\text{ligger}} = 0,75 \ell_{\text{kanaalplaat}}$$

Dit leidt bijvoorbeeld tot de volgende 'ideale' combinaties van vloerdikte d en stramienmaten:

$$\begin{aligned} d = 200 \text{ mm: } \ell_{\text{kanaalplaat}} &= 7,2 \text{ m en} \\ \ell_{\text{ligger}} &= 5,4 \text{ m;} \\ d = 260 \text{ mm: } \ell_{\text{kanaalplaat}} &= 9,0 \text{ m en} \\ \ell_{\text{ligger}} &= 7,2 \text{ m.} \end{aligned}$$

Bij gebouwen met een beperkt aantal bouwlagen is het mogelijk om – als alternatief voor de ingehangen ligger met doorgaande kolommen over meerdere bouwlagen – te werken met doorgaande liggers (of Gerber-liggers) en verdiepinghoge kolommen. Daarbij kan de liggeroverspanning uit oogpunt van economie in de orde grootte van de overspanning van de kanaalplaat worden gekozen [3]. De meeste fabrikanten van kanaalplaten hebben in hun documentatie grafieken waarmee op basis van de vloeroverspanning en veranderlijke belasting het juiste vloertype is te kiezen (afb. 5).

Geïntegreerde liggers zijn standaard gemaakt van S355 met een vloeigrens van 355 N/mm². Deze vloeigrens is de helft hoger dan die van S235. Het is mogelijk de hogere vloeigrens te benutten door ingehangen liggers met een toeg uit te voeren, waardoor de totale door-

buiging ($\delta_{\text{tot}} \leq 0,004\ell$) niet het maatgevende criterium is. Er hoeft slechts op bijkomende doorbuiging te worden getoetst ($\delta_{\text{bij}} \leq 0,003\ell$). In veel gevallen worden 'sterkte' en 'bijkomende doorbuiging' ongeveer gelijktijdig maatgevend. De toeg is zo te kiezen dat de ligger na het leggen van de kanaalplaten weer horizontaal komt.

Interactie ligger en vloer

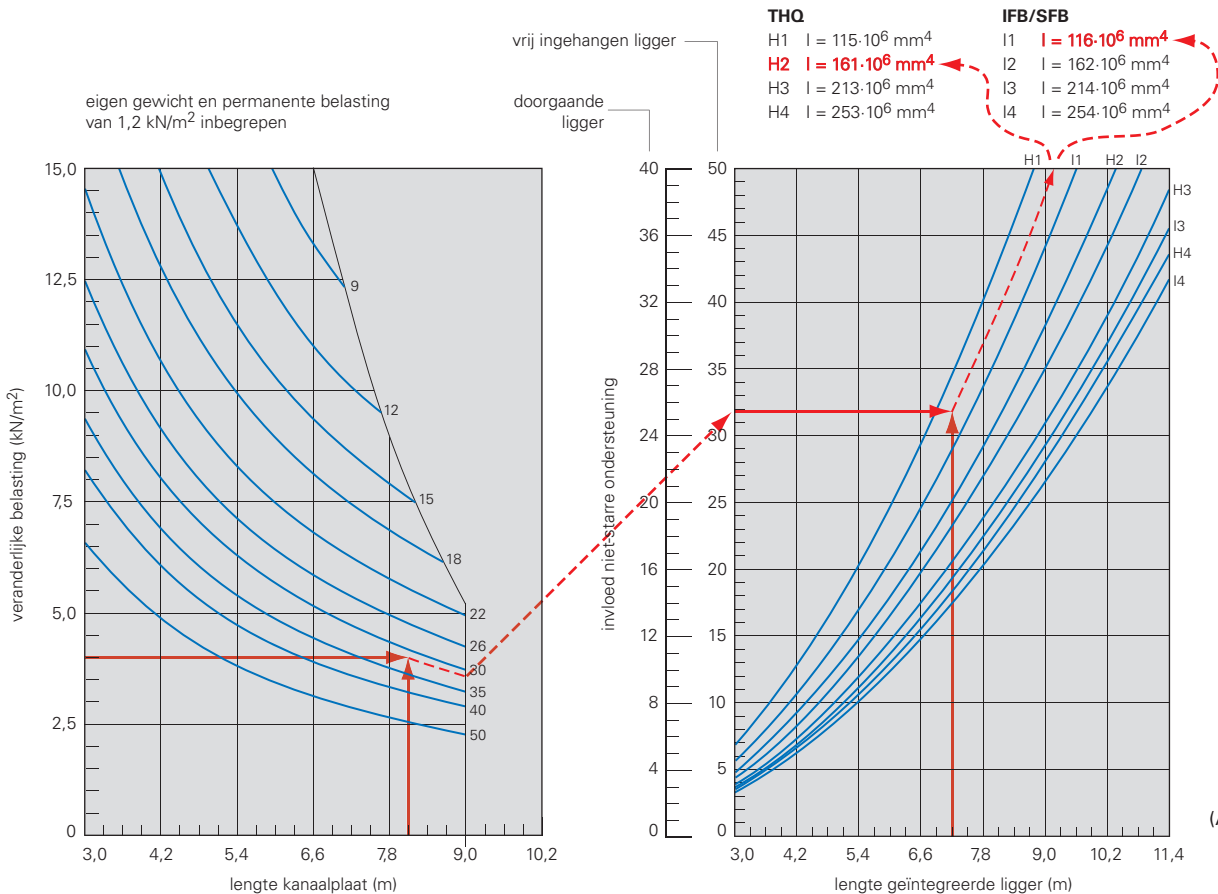
Door de constructieve samenwerking van staal en beton moeten de betonnen kanaalplaten ook de vervorming van de stalen ligger volgen. Dat betekent dat de kanaalplaten worden belast op dubbele buiging. De lijven tussen de kanalen worden daarbij zowel belast op verticale afschuiving (door de oplegreactie van de kanaalplaten) als op horizontale afschuiving (door de samenwerking met de ligger). Voor de geïntegreerde ligger is de interactie met de kanaalplaten en de aangestorte voegen (en een eventuele druklaag) gunstig. Het verwaarlozen van dit effect is voor de ligger dus veilig. De sterkte van de ligger door de bijdrage van het beton tussen de ligger en de kanaalplaat blijkt een fractie hoger te worden. De stijfheid kan aanzienlijk toenemen, zo blijkt uit Duits onderzoek[4].

Voor de kanaalplaat mag de interactie met de stalen ligger echter niet zonder meer worden verwaarloosd. Immers bij een minder stijve

ligger wordt de dwarskrachtcapaciteit van de kanaalplaat lager dan bij een starre oplegging. Door de vervorming van de ligger ontstaan in de kanaalplaat evenwijdig aan de oplegging buigspanningen. Deze spanningen treden in de kleinste doorsnede van de kanaalplaat (de lijven of de dammen) gelijktijdig op met de verticale schuifspanningen door de dwarskracht. Uit proeven is gebleken dat de schuifoverdracht in de lijven van de kanaalplaat in het algemeen het maatgevende bezwijkcriterium is en niet de schuifverbinding tussen de stalen ligger en het beton.

Voor de toetsing van de kanaalplaat wordt daarom uitgegaan van een volledig samenwerkende constructie met een meewerkende breedte die op basis van proeven is vastgesteld. De overdracht van de langsschuifkracht tussen de stalen ligger en de kanaalplaat wordt begrensd tot de capaciteit van de lijven van de kanaalplaat belast op dubbele afschuiving, rekening houdend met de eerder genoemde meewerkende breedte. Op de combinatie van de genoemde spanningen moet de kanaalplaat worden getoetst. CUR/BmS-Aanbeveling 104 geeft hiervoor een rekenmodel met toetsingsformules, waarvoor verwezen wordt naar het artikel in *Cement*[2].

Leveranciers van kanaalplaten verstrekken ontwerpgrafieken waarmee de aanpassing van de dwarskrachtcapaciteit kan worden bepaald.



6. Ontwerpgrafiek voor geïntegreerde liggers met 200 mm hoge kanaalplaten (A200) zonder druklaag (bron: Handboek VBI Plaatvloeren).

Er zijn grafieken voor de verschillende kanaalplaatdikten en voor de situatie mét of zónder druklaag. Voor de praktijk blijkt de invloed van de niet-starre oplegging van de kanaalplaat doorgaans van weinig betekenis. Bij de gebruikelijke combinaties van vloerdikte, vloer- en liggeroverspanningen, stijfheden en ontwerpbelastingen blijft de momentcapaciteit van de kanaalplaat meestal maatgevend. Uit de toetsing blijkt dat ook met de (aangepaste) dwarskrachtcapaciteit wordt voldaan aan het dwarskrachtcriterium. De veiligheidsmarge is – hoewel minder dan voorheen – nog steeds voldoende.

Ontwerpgrafiek

Afbeelding 6 toont een ontwerpgrafiek voor een kanaalplaatvloer zonder druklaag, ontleend aan de documentatie van VBI. In het rechterdeel van de grafiek is de relatie aangegeven tussen overspanning, stijfheid, statisch systeem en invloed van de niet-starre oplegging van de ligger. Er zijn twee verschillende geïntegreerde liggers weergegeven: de THQ-ligger en de IFB/SFB-ligger met bijbehorende gangbare stijfheden, aangegeven als respectievelijk H1 t/m H4 en I1 t/m I4. In het linkerdeel van de grafiek is – bij de overspanning van de kanaalplaat en de belasting op het vloerveld – de (toelaatbare) invloed van de niet-starre oplegging te lezen.

De grafiek kan als volgt worden afgelezen.

Lees in het linkerdeel het toelaatbare invloedsgetal van de niet-starre ondersteuning af. Lees vervolgens in het rechterdeel de benodigde stijfheid van de geïntegreerde ligger af. Bij het opstellen van de grafieken is er vanuit gegaan dat de geïntegreerde liggers en de kanaalplaten tijdens de bouwfase niet zijn ondersteund.

Eenvoudige brandwerendheid

Bij een vloer met geïntegreerde stalen liggers en betonnen kanaalplaten is de ligger in de dikte van de vloer opgenomen en steekt uitsluitend nog de onderflens onder de vloer uit. De kanaalplaten liggen op een verbrede onderflens van 10-15 mm dikte. Doordat de stalen ligger aan drie zijden door beton wordt omsloten, verloopt de opwarming tijdens brand aanzienlijk trager dan wanneer de stalen liggers onder de vloer lopen. De brandwerendheid bedraagt standaard 30 minuten en voor sommige typen geïntegreerde liggers zelfs 60 minuten. Deze laatste waarde is de gebruikelijke eis voor hoofddragconstructies in de utiliteitsbouw van drie bouwlagen tot 70 m. Met een eenvoudige brandwerende bekleding is aan een hogere brandwerendheidseis te voldoen. Bij de open typen geïntegreerde liggers, waar het beton in de ligger wordt gestort, is de brandwerendheid te vergroten door het aanbrengen van extra wapeningstaven. De

dunst verkrijgbare brandwerende bekleding, bespuiting of verf is vaak al voldoende voor een brandwerendheid van 120 minuten^[5]. De kosten voor brandwerende bekleding zijn bij geïntegreerde liggers een factor vijf lager dan bij een traditionele staalconstructie. Dit verklaart, samen met de geringe constructiehoogte en de vrijheid voor installaties, het succes van deze bouwwijze.

Spreadsheet

In 2002 heeft Bouwen met Staal opdracht gegeven aan TNO voor het uitvoeren van een onderzoek naar het brandgedrag van onbeschermde geïntegreerde stalen liggers^[6]. Hieruit bleek dat de brandwerendheid hoger is dan de brandwerendheid die volgt uit een berekening op basis van NEN 6072. Het eindrapport van TNO bevat tabellen waarmee de sterkte van de stalen geïntegreerde ligger bij brand kan worden bepaald. De berekeningsmethode is uitgelegd in *Bouwen met Staal* 169^[7]. In het najaar brengt Bouwen met Staal een spreadsheet uit waarmee een snelle en eenvoudige toetsing van geïntegreerde stalen liggers kan worden uitgevoerd bij brand én onder normale omstandigheden. ●