

Hoe definieer je de samenwerking tussen een balk en een plaat?

1. Wat doen excentriciteiten?

De bedoeling van excentriciteiten is om het gedrag van een rekenmodel (= Diamonds model) zo goed mogelijk te laten overeenstemmen met het reële gedrag van de structuur. De bedoeling van excentriciteiten is NIET om het rekenmodel hetzelfde uitzicht te geven als het architectuurmodel.

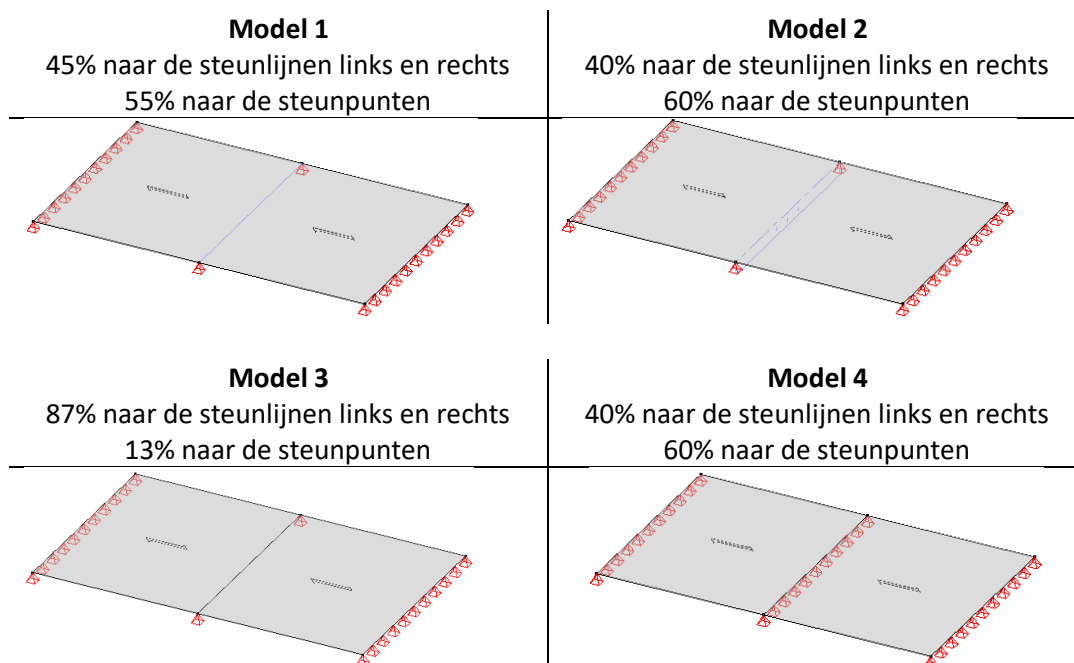
Excentriciteiten hebben invloed op hoe de stijfheid van de elementen (plaat en balk) worden samengesteld:

- Als een balk geen excentriciteit heeft (zie Model 1 hieronder): dan wordt de stijfheid van de plaat plaatselijk vermeerderd met de stijfheid van de balk (= de som van de stijfheden).
- Als een balk wel een excentriciteit heeft (zie Model 2 hieronder): dan zullen de balk en de plaat samenwerken als één monoliet geheel. Als een T-doorsnede. De stijfheid van deze samengestelde doorsnede is meer dan de som van hun stijfheden.

Om dit te illustreren, vergelijk ik de lastenspreiding in vier plaat modellen¹.

- Model 1: er loopt een balk door het midden van de plaat. Geen excentriciteiten.
- Model 2: er loopt een balk door het midden van de plaat. Wel excentriciteiten.
- Model 3: er loopt geen balk door het midden van de plaat (of een balk met een heel lage stijfheid in verhouding tot de stijfheid van de plaat)
- Model 4: er loopt een steunlijn door het midden van de plaat (of een balk met een heel hoge stijfheid in verhouding tot de stijfheid van de plaat)

Resultaat:



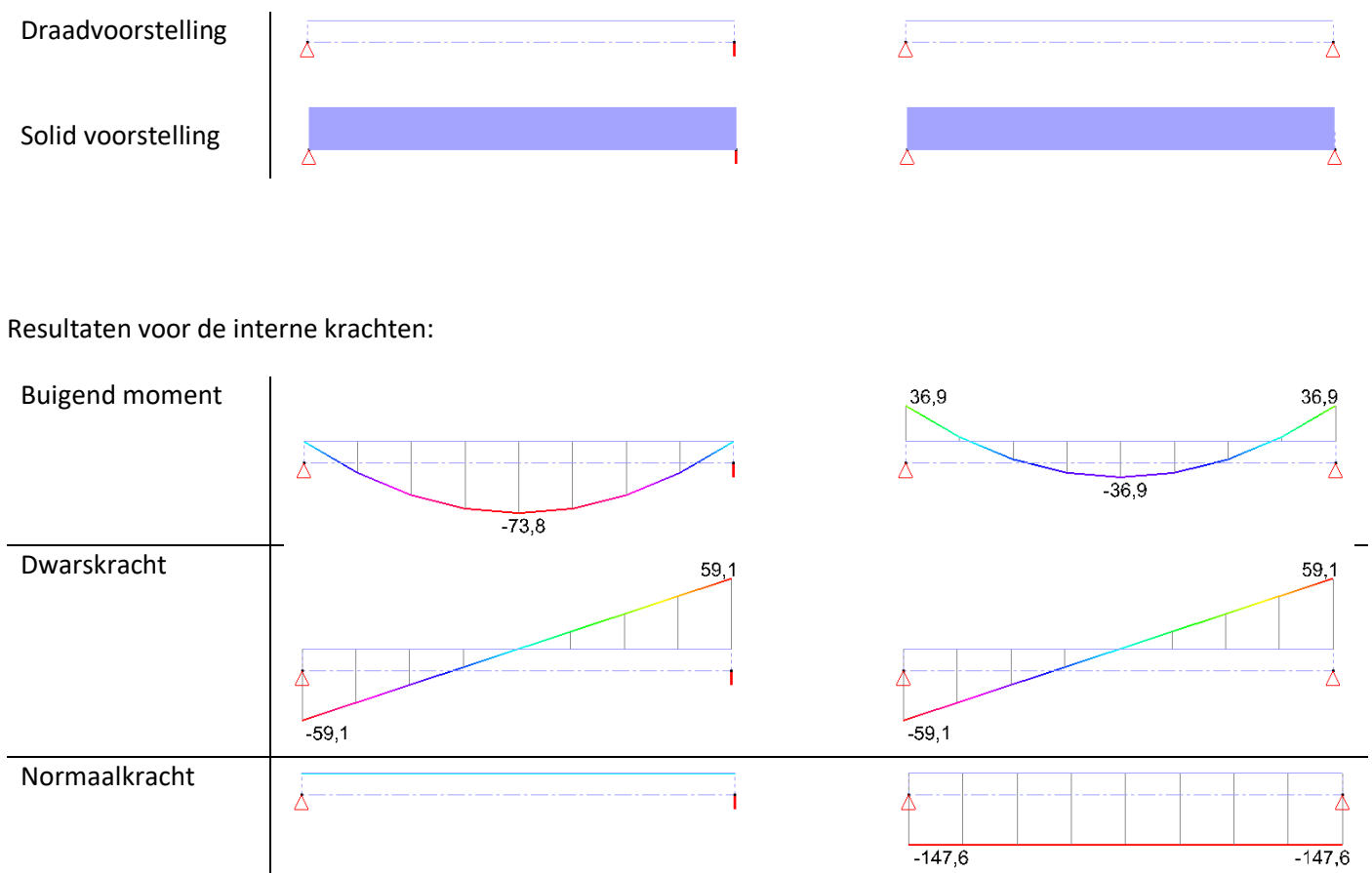
¹ 9 x 5.5m, plaat dragend in één richting van 0.2m dik, scharnierend ondersteund in de twee kortste plaatranden, 10kN/m²

Conclusie:

- Zoals verwacht, gedraagt de balk in Model 2 zich stijver dan die in Model 1. De balk in Model 2 trekt meer krachtswerking naar zich toe dan die in Model 1.
- Als de stijfheid van de balk toeneemt, zullen de balken in Model 1 en 2 zich meer gedragen zoals de balk in Model 4.
Als de stijfheid van de balk afneemt, zullen de balken in Model 1 en 2 zich meer gedragen zoals de balk in Model 3.
- De percentages variëren afhankelijk van de lengte/ breedte verhouding van de platen en het gedrag van de plaat (één richting, twee richtingen, prédallen, ...).

2. Wanneer zorgen excentriciteiten voor normaalkracht?

Om te onderzoeken wanneer excentriciteiten voor normaalkracht zorgen, maken we een balkmodel met volgende gegevens: 200x500mm, 5m overspanning, eigengewicht + 15kN/m permanente last, excentrisch zodat de as van de balk samenvalt met de onderkant van de balk. We bekijken een isostatische en hyperstatische oplegging.



Conclusie:

- Normaalkrachten ontstaan enkel wanneer het balkelement hyperstatisch is opgelegd. De normaalkrachten treden niet op wanneer de balk isostatisch is opgelegd.
Helaas zijn de meeste structuren hyperstatisch, en komen normaalkrachten t.g.v. excentriciteiten vaak voor.
- Mochten we dezelfde oefening maken voor een ophangende balk (as van de balk valt samen met de bovenkant van de balk), bekomen dezelfde conclusie.

3. Hoe groot is de normaalkracht dan?

Je kan een uitgewerkt voorbeeld vinden op bij de validatie-voorbeelden op [buildsoftsupport.com](https://support.buildsoft.eu/knowledge-base/sll-08-axial-force-in-eccentric-beam/). De link naar het artikel is de volgende: <https://support.buildsoft.eu/knowledge-base/sll-08-axial-force-in-eccentric-beam/>

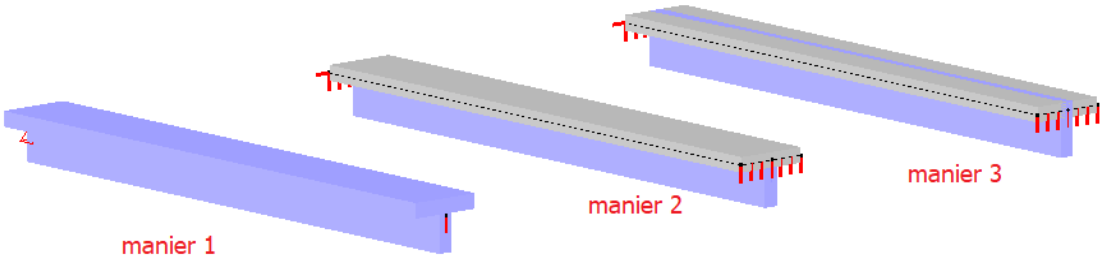
4. Hoe verhoudt de krachtswerking in een excentrische balk zich t.o.v. een niet-excentrische balk

Wanneer we een balk excentrisch zetten t.o.v. een plaat, verschuift de aslijn van de balk t.o.v. het asvlak van de plaat. Hierdoor ontstaat een heel andere krachtswerking:

- Wanneer een balk **niet excentrisch** staat ten opzichte van een plaat, dan worden beiden belast met een buigend moment. Er zit geen axiaal kracht in het systeem.
- Wanneer een balk **excentrisch** staat ten opzichte van een plaat, dan ontstaat zowel een buigend moment als een axiaal kracht. Bevindt de balk zich onder de plaat, dan ontstaat (meestal) druk in de plaat en trek in de balk. Bevindt de balk zich boven de plaat, dan ontstaat (meestal) trek in de plaat en druk in de balk.

Hoewel de krachtswerking in systemen met excentrische balken anders is dan bij systemen zonder excentrische balken, blijft de totale hoeveelheid moment in het systeem gelijk. Om dit verschil te illustreren, modelleren we een T-doorsnede op 3 verschillende manieren: §4.1 beschrijft de geometrie en de lasten van de verschillende modellen en §4.2 vergelijkt de krachtswerking. In §5.2.4.1 komen we nog eens terug op deze 3 manieren m.b.t. de wapening en gescheurde doorbuiging.

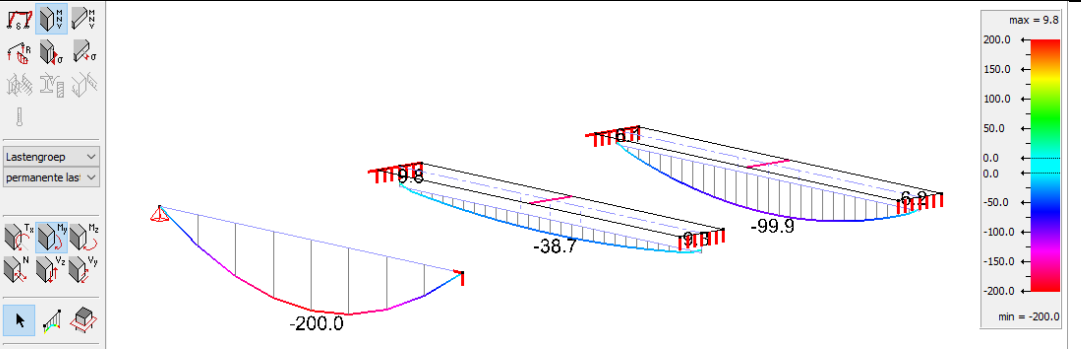
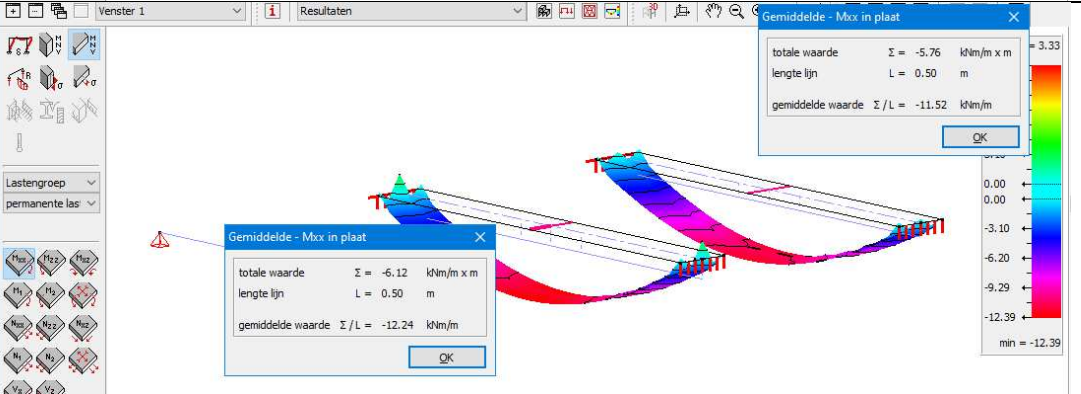
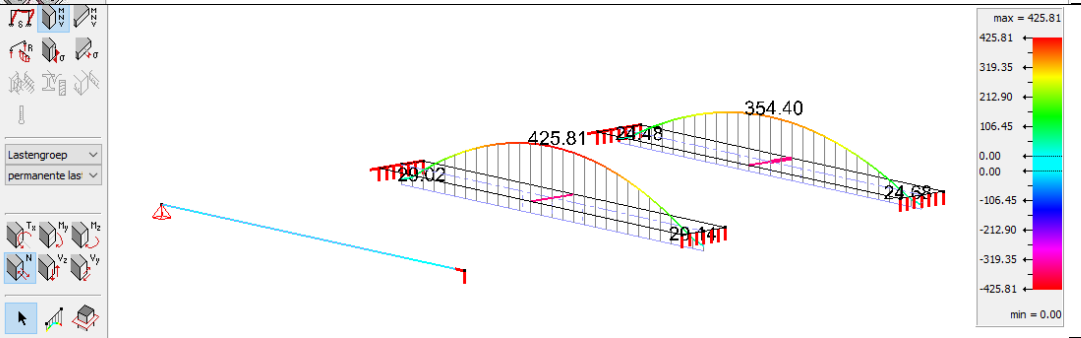
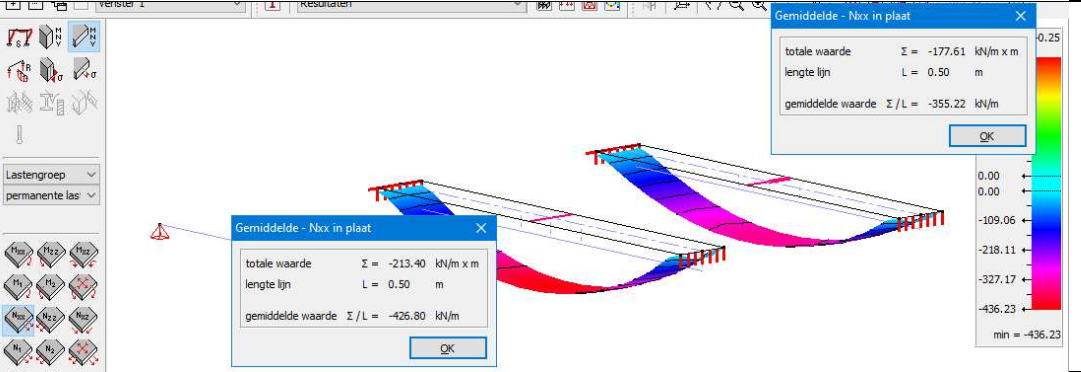
4.1. Geometrie + lasten

	Manier 1	Manier 2	Manier 3
Doorsnede balk	T-balk met afmetingen: B=200mm H=700mm bf=1000mm hf=200mm	R-balk met afmetingen: B=200mm H=500mm	R-balk met afmetingen: B=200mm H=700mm
Doorsnede plaat	geen	B=1000mm	H=200mm
Excentriciteit e	geen	Bovenzijde balk = onderzijde plaat $e=0,35m$	Bovenzijde balk = bovenzijde plaat $e=0,25m$
Permanente last	25kN/m ² , wat voor <i>Manier 1</i> neer komt op een lijstlast van 25kN/m (T-balk is 1m breed).		
	 manier 1 manier 2 manier 3		

4.2. Vergelijking interne krachten

We bekijken de interne krachten voor de lastengroep ‘permanent’ (niet UGT FC) omdat *Manier 3* iets meer eigengewicht bevat dan de andere 2.

	Manier 1	Manier 2	Manier 3
--	----------	----------	----------

Buigend moment M_y in de balk			
Gemiddeld buigend moment M_{xx} in het midden van de plaat			
Normaalkracht N in de balk			
Gemiddelde normaalkracht N_{xx} in het midden van de plaat			
Totale hoeveelheid moment $= M_y + M_{xx} + N_{xx} \cdot e$	200kNm	$38,7\text{kNm} + 12,2\text{kNm} + 426,8\text{kN} \cdot 0,35\text{m}$ $= 199,9\text{kNm}$	$99,9\text{kNm} + 11,5\text{kN} + 345,4\text{kN} \cdot 0,35\text{m}$ $= 199,9\text{kNm}$

Conclusie: de totale hoeveelheid moment die in het systeem zit, is gelijk. Ze wordt enkel op een andere manier verdeeld.

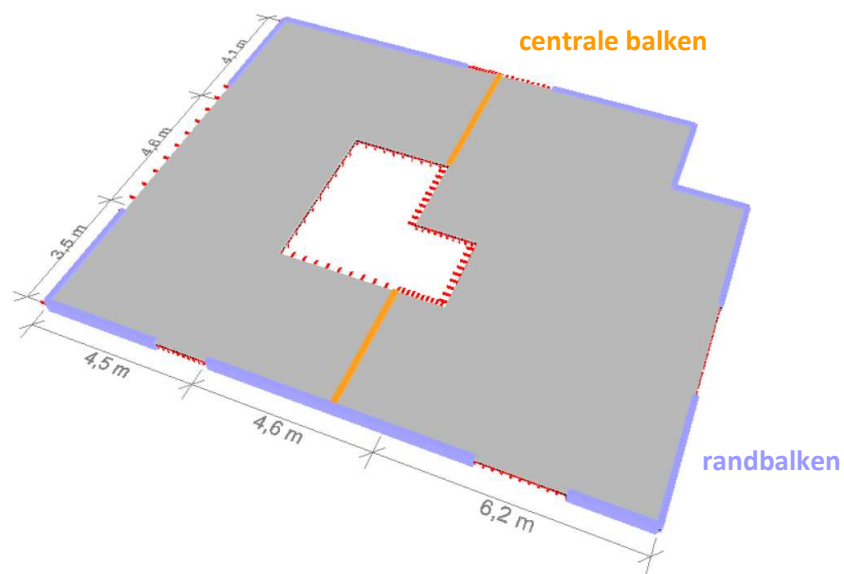
5. Samenwerking beton balk - plaat

5.1. Doelstelling

Beschouw onderstaand 2D-plaatmodel (preslabs 200/50, balken R150/350, 15kN/m²). De balk-plaat aansluitingen kunnen op de werf op verschillende manieren uitgevoerd worden:

- continue plaat, eenvoudig opgelegd op de balk
- discontinue plaat, eenvoudig opgelegd op de balk
- balk en plaat worden samen gestort

Deze uitvoering bepaald de modellering in Diamonds, want de modellering moet het reële gedrag van de structuur zo goed mogelijk beschrijven.



5.2. In Diamonds

Deze paragraaf bekijkt hoe de verschillende manieren van uitvoering gemodelleerd worden in Diamonds: met en zonder excentriciteiten. Werken met of zonder excentriciteiten heeft voor- en nadelen. Je zal merken dat de ene situatie zich beter leent tot het gebruik van excentriciteiten dan de andere.

5.2.1. Continue versus discontinue wapening

Alvorens te duiken in de verschillende gevallen, willen we even het concept van 'discontinue' en 'continue' plaat aanhalen.

- In een '**continue**' plaat, wordt de wapening doorgetrokken over de verschillende plaatoppervlakken. M.a.w. tussen de verschillende plaatoppervlakken kan alle krachtswerking overgedragen worden.
- In een '**discontinue**' plaat, wordt de wapening niet doorgetrokken over de verschillende plaatoppervlakken. M.a.w. tussen de verschillende plaatoppervlakken kan geen moment worden overgedragen.

Dat continue of discontinu gedrag kan je niet loskoppelen van de geometrie/lasten op de plaat. Diamonds berekent de wapening op basis van de krachtswerking in het element. En de krachtswerking volgt uit de geometrie (de **randvoorwaarden!**) en de lasten.

Op een discontinue plaat, staan er scharnierlijnen op de plaatranden. Die scharnierlijnen verhinderen dat moment overgedragen kan worden tussen de verschillende plaatoppervlakken. Die scharnierlijnen gelden dus voor zowel de boven- als onderwapening.

Op een continue plaat, staan geen scharnierlijnen op de plaatranden. Alle krachtswerking kan overgedragen worden.

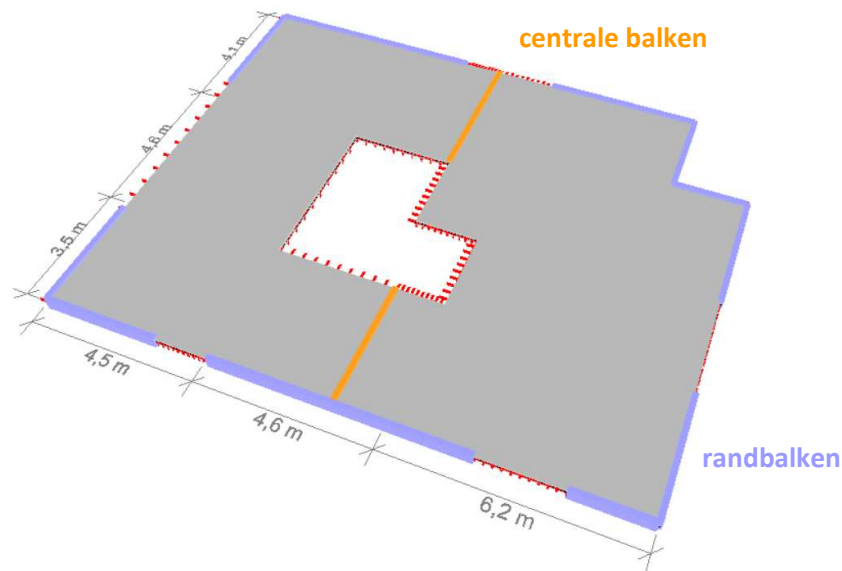
Binnen Diamonds, bestaat de randvoorwaarde 'continue bovenwapening en discontinue onderwapening' (of visa versa) niet. Er bestaat enkel 'continue boven- en onderwapening' of 'discontinue boven- en onderwapening'.

Als uit de wapeningsberekening volgt dat ter hoogte van een plaatrand: continue bovenwapening, discontinue onderwapening, dan is dat een gevolg van de lasten die op de plaat staan. Niet het gevolg van de randvoorwaarden die toegepast werden, want er is geen speciale randvoorwaarden die dat gedrag kan forceren.

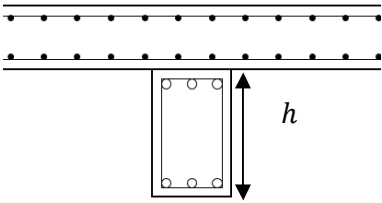
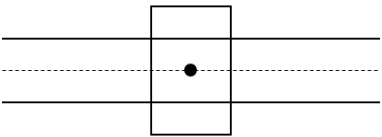
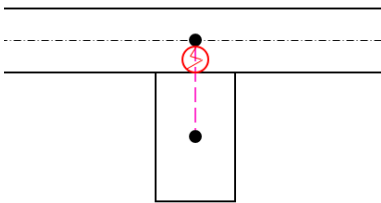
5.2.2. Geval 1: continue plaat, eenvoudig opgelegd op de balk

De platen in het 2D-plaatmodel worden uitgevoerd als continu, eenvoudig (koud) opgelegd op de centrale balken.

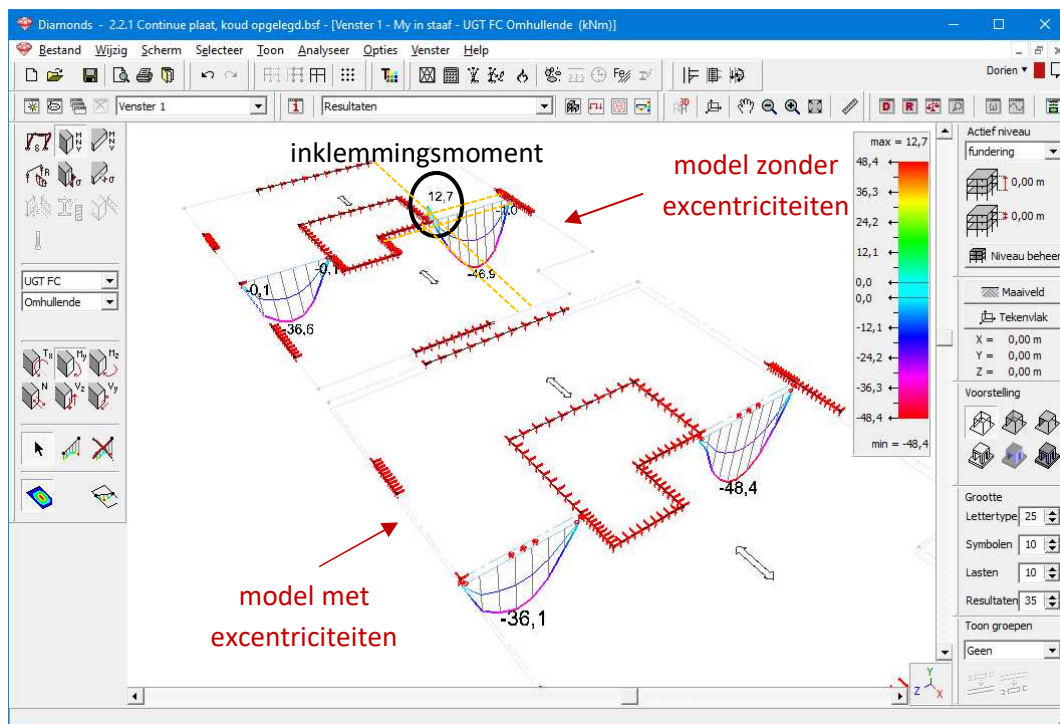
Voor de oplegging van de platen op de randbalken, zie geval 2.



Onderstaande tabel somt per modellering op, welke aannames gemaakt werden.

REALITEIT	DIAMONDS	
	MODEL ZONDER EXCENTRICITEITEN	MODEL MET EXCENTRICITEITEN
Geval 1: continue plaat, eenvoudig opgelegd op de balk  Opmerking: deze configuratie is enkel zinvol voor een balk die zich tussen twee platen bevindt. Als een balk enkel een plaat links of rechts heeft, kijk dan bij Geval 2.	 Licentie 2D slabs vereist	 Licentie 2D slabs + 2D plates vereist
		
	 -	 - Bovenkant balk = onderkant plaat - Laat enkel de overdracht van N toe in de rigid links.
	 Balkhoogte = h	 Balkhoogte = h
	 Niet mogelijk om specifiek de momentoverdracht naar de balk uit te zetten.	 Zet momentoverdracht aan balkeinden uit voor eenvoudig opgelegd gedrag.
	 - Eenvoudige modellering - Tussen balk en plaat kunnen nog steeds momenten worden overgedragen → torsie in de balken. De torsiestijfheid I_t van de balken op een héél kleine waarde zetten, zal de torsie elimineren, maar met een hoger risico op grote vervormingen (hoekverdraaiingen).	 Complexe modellering
	wapening in zowel de pla(a)t(en) als balk(en) moet geplaatst worden	wapening in zowel de pla(a)t(en) als balk(en) moet geplaatst worden

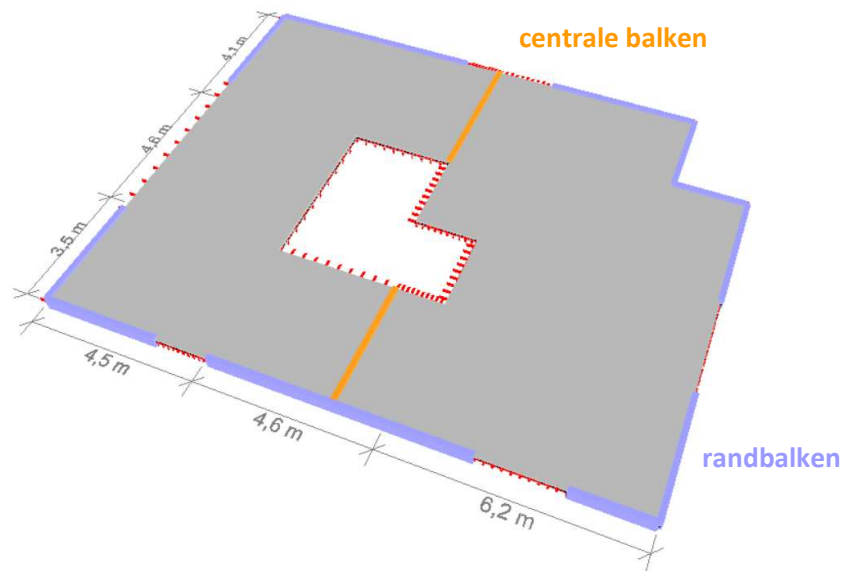
Resultaat:



- Het buigend moment in het veld van de platen is vergelijkbaar.
- Tegen de verwachting in, ontstaat er in het model zonder excentriciteiten een inklemningsmoment. Dit moment ontstaat enerzijds omdat de platen nog steeds krachten kunnen overdragen naar de balk en anderzijds door de compatibiliteit der vervormingen. Met de compatibiliteit der vervormingen bedoelingen we het volgende: de plaat draagt in twee richtingen, dus de plaat vervormt ook in twee richtingen. De vervorming die de plaat ondergaat ter hoogte van de vier oranje lijnen moet compatibel blijven. Dat is niet altijd even eenvoudig, resulterend in 'rarigheden' in de interne krachten. 'Rarigheden' staat tussen aanhalingstekens omdat het inklemningsmoment niet verwacht wordt, maar wel normaal is dit type modellering. De enige modellering waarbij dit inklemningsmoment niet ontstaat, is 1D modellering en een eenvoudige lastendaling. Zeg maar: handberekeningen. Maar handberekeningen maken veel vereenvoudigingen waardoor de modellering soms niet meer aansluit bij de werkelijkheid.

5.2.3. Geval 2: discontinue plaat, eenvoudig opgelegd op de balk

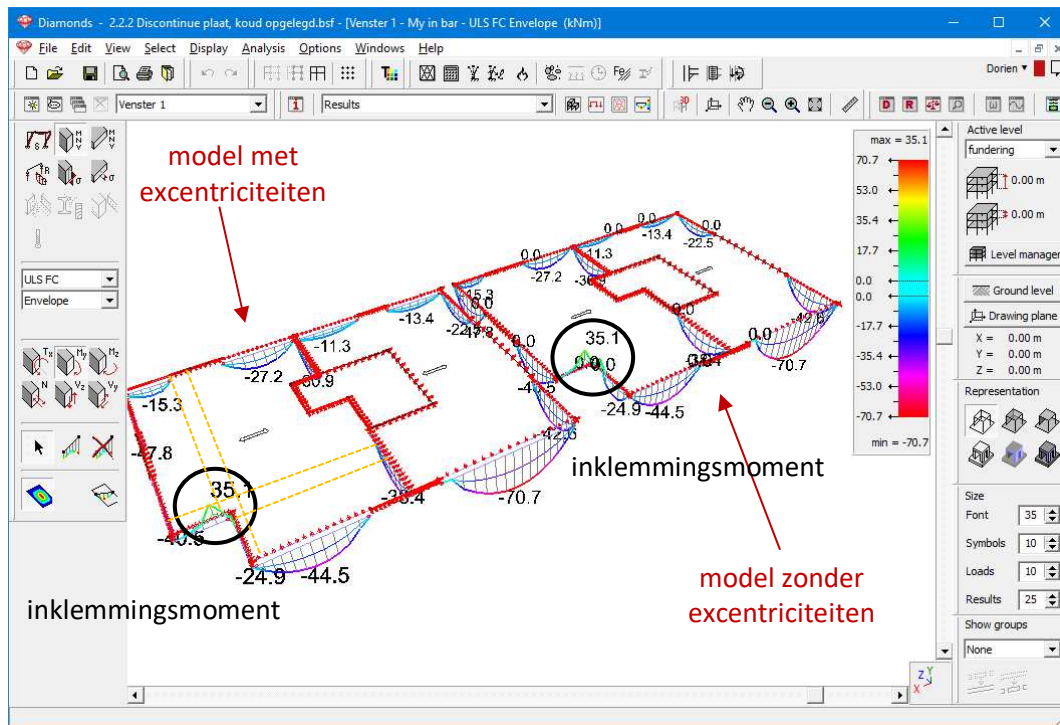
De platen in het 2D-plaatmodel worden uitgevoerd als discontinu, eenvoudig (koud) opgelegd op de **centrale** balken. De platen in het 2D-plaatmodel worden uitgevoerd als eenvoudig (koud) opgelegd op de **randbalken**.



Onderstaande tabel somt per modellering op, welke aannames gemaakt werden.

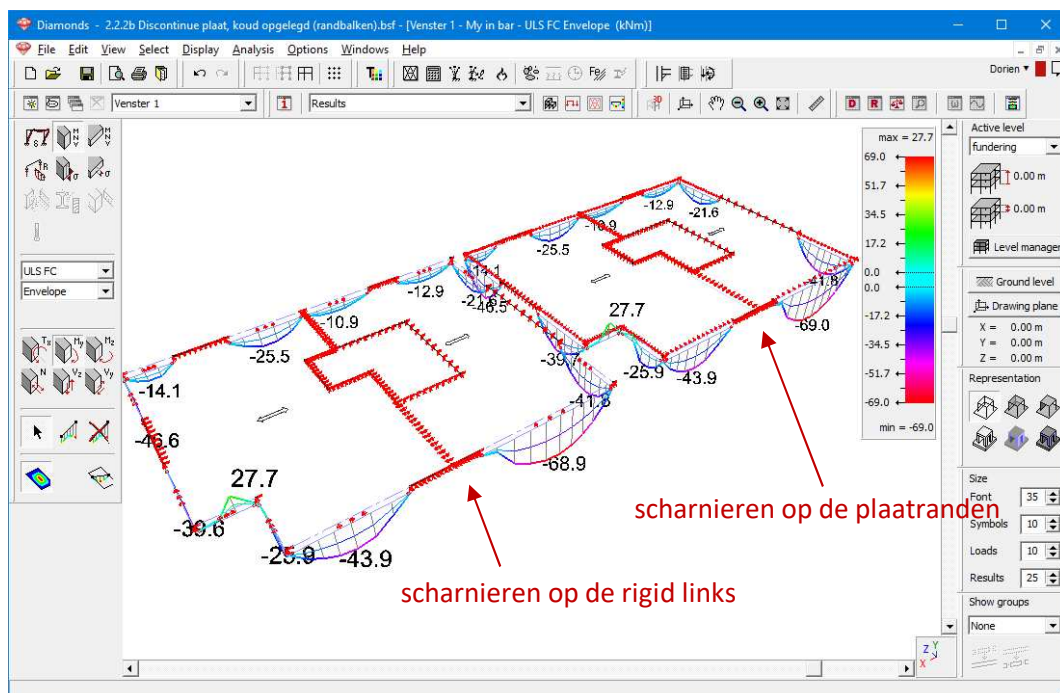
REALITEIT	DIAMONDS	
	MODEL ZONDER EXCENTRICITEITEN	MODEL MET EXCENTRICITEITEN
Geval 2: discontinue plaat, eenvoudig opgelegd op de balk	Licentie 2D slabs vereist	Licentie 2D slabs + 2D plates vereist
		- Bovenkant balk = onderkant plaat - Optie 1: laat enkel de overdracht van N toe in de rigid links.
	Balkhoogte = h	Balkhoogte = h
	Laat enkel de overdracht van dwarskracht toe langs de plaatranden	Laat enkel de overdracht van dwarskracht toe langs de plaatranden
	Zet momentoverdracht aan balkeinden uit voor eenvoudig opgelegd gedrag.	Zet momentoverdracht aan balkeinden uit voor eenvoudig opgelegd gedrag.
	- Eenvoudige modellering - Rand effecten	- Complexe modellering - Rand effecten - Hoger risico op grote vervormingen (hoekverdraaiingen).
	wapening in zowel de pla(a)t(en) als balk(en) moet geplaatst worden	wapening in zowel de pla(a)t(en) als balk(en) moet geplaatst worden

Resultaat:



- Het buigend moment in het veld van de platen is vergelijkbaar.
- In beide modellen zien we nu een inklemningsmoment. De platen kunnen dan wel geen moment meer overdragen naar de balken, maar de platen blijven dragend in twee richtingen. Dus hier zorgt de compatibiliteit van de vervormingen voor een inklemningsmoment.

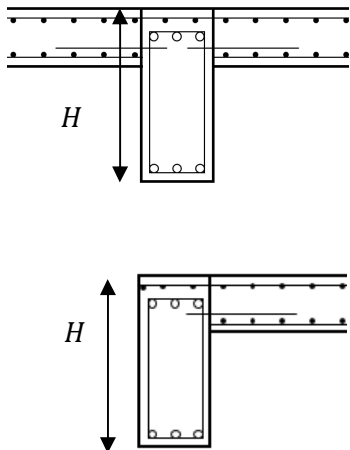
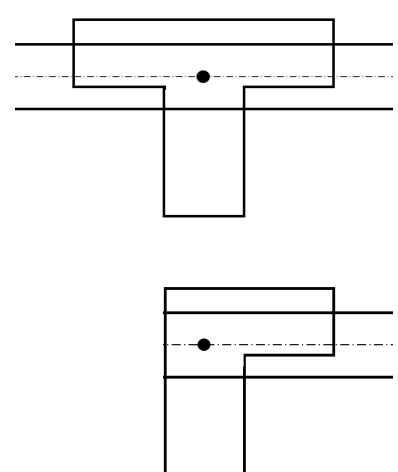
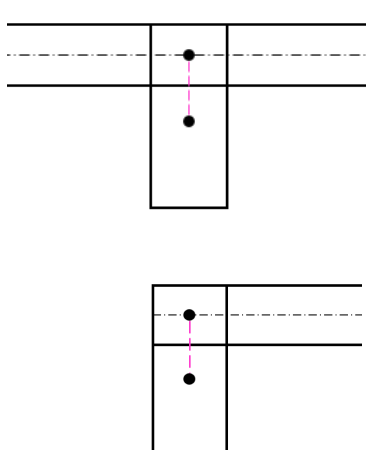
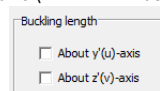
Opmerking: voor balken langs een plaatrand maakt het niet uit of je de scharnieren nu op de rand van de plaat zet, of op de rigid links. Beiden geven vergelijkbare resultaten zoals hieronder te zien.



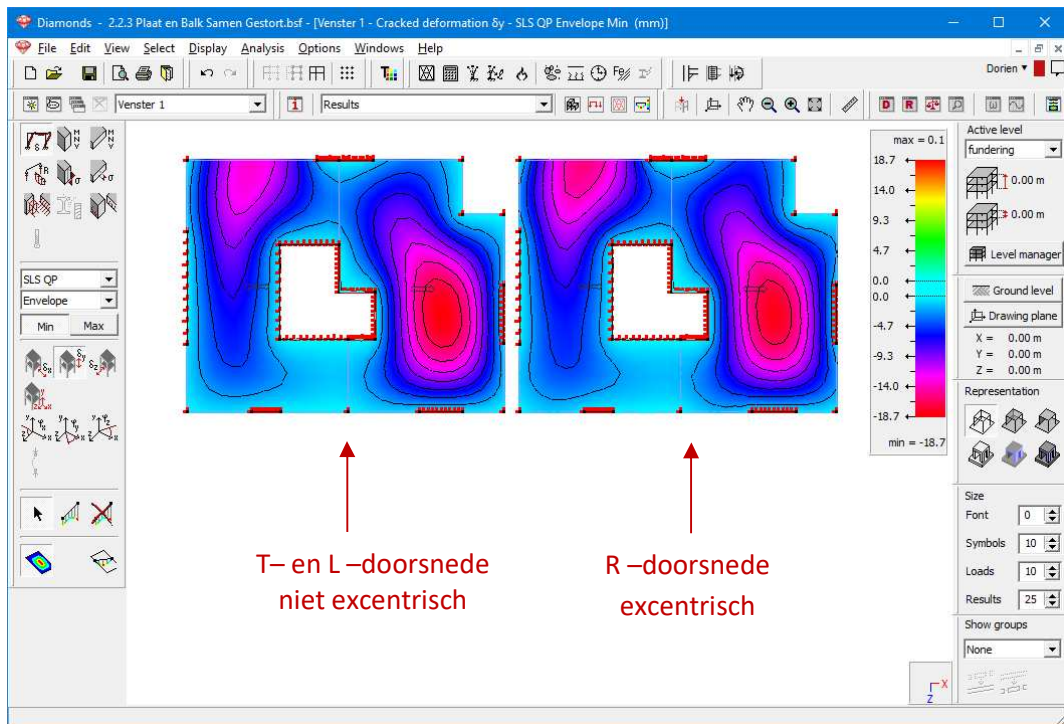
5.2.4. Geval 3: balk en plaat worden samen gestort

De platen in het 2D-plaatmodel worden samen gestort met de centrale balken en die aan de plaatranden. Balken en platen zullen samenwerken als één monoliet geheel.

Onderstaande tabel somt per modellering op, welke aannames gemaakt werden.

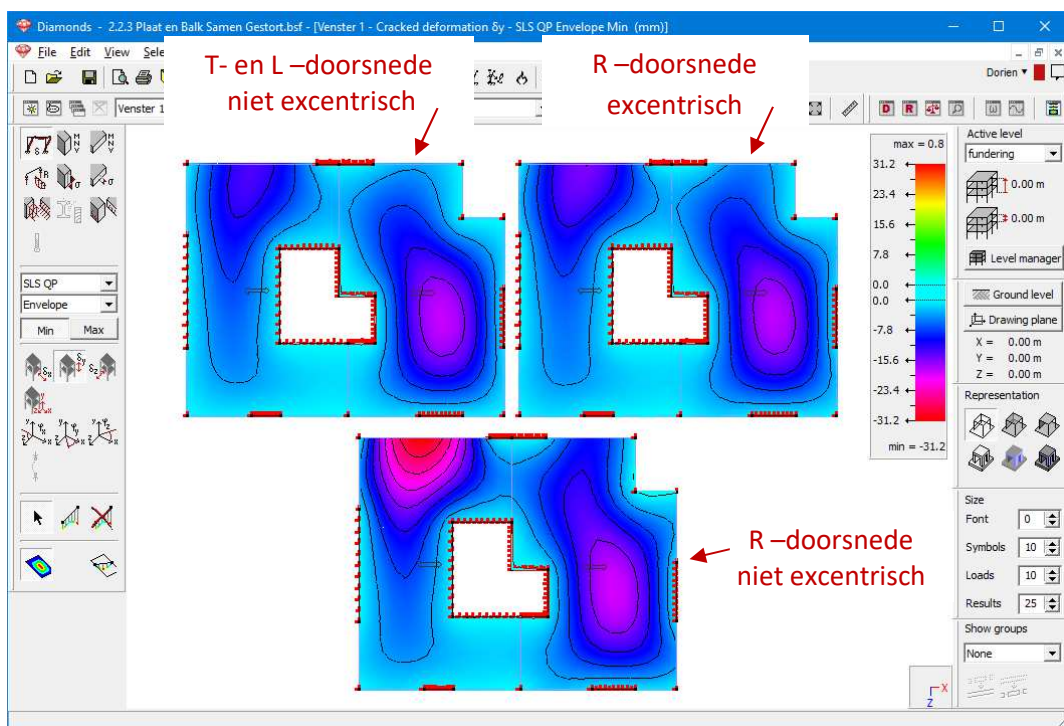
REALITEIT	DIAMONDS	
	MODEL ZONDER EXCENTRICITEITEN	MODEL MET EXCENTRICITEITEN
Geval 3: balk en platen worden samen gestort 	 Licentie 2D slabs vereist	 Licentie 2D slabs + 2D plates vereist
		
	 - Balk = T of L-sectie met totale hoogte H. Een R-sectie is een onderschatting van de stijfheid. - Meewerkende breedte bepalen met EN 1992-1-1 §5.3.2.1.	 Bovenkant balk = bovenkant plaat (waarom: zie §5.2.4.1)
	 - Complexere modellering - Tussen balk en plaat kunnen nog steeds momenten worden overgedragen → "torsie in de balken. De torsiestijfheid I_t van de balken op een héél kleine waarde zetten, zal de torsie elimineren, maar met een hoger risico op grote vervormingen (hoekverdraaiingen). - Hoger eigengewicht door de dubbele sectie, maar wordt gecompenseerd door de grotere drukzone. 	 Balkhoogte = H - Eenvoudige modellering - Er zal normaalkracht in de balken en platen ontstaan! Zet de knikcontrole voor excentrische balken uit beams ( > vink de checkboxes ). m.b.t. knik uit 
	wapening in zowel de pla(a)t(en) als balk(en) moet geplaatst worden	wapening in zowel de pla(a)t(en) als balk(en) moet geplaatst worden

Bij deze modellering is het moeilijk om de interne krachten te vergelijken. Beide modelleringen hebben niet hetzelfde eigengewicht en normaalkrachten ontstaan in het model met excentriciteiten. Daarom gebruiken we de gescheurde vervorming (incl. kruip en theorie uitbreiden naar axiaal krachten) om beide modellen te vergelijken.



In bovenstaande afbeelding kunnen we afleiden dat beide modelleringen (met of zonder excentriciteiten) vergelijkbare resultaten geven, maar niet helemaal hetzelfde. Dit is omdat het moeilijk is om de effectieve breedtes van de T- en L-doorsneden te schatten/ te berekenen.

Uit nieuwsgierigheid, berekenen we ook een niet excentrische R-doorsnede. Terwijl we daarnet een gescheurde doorbuiging na kruip van 18,7mm (zie vorige afbeelding), nu vinden we een maximum van 31,2mm. Dit bevestigt de stelling dat het gebruik van een niet excentrische R-doorsnede om een samenwerkende balk-plaat te modelleren de stijfheid zal onderschatten.

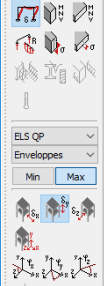
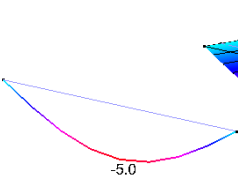
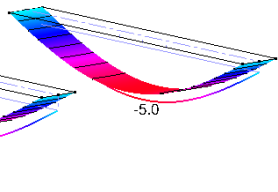
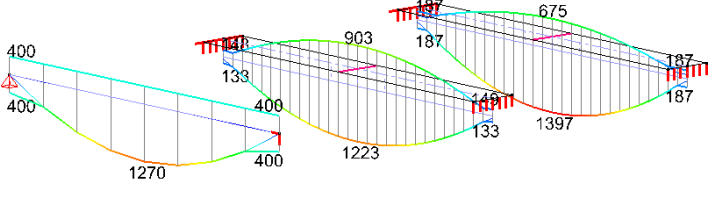
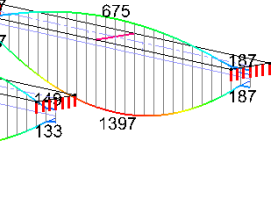
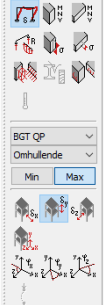
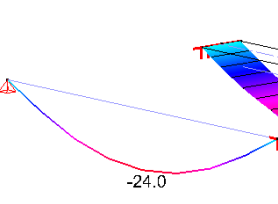
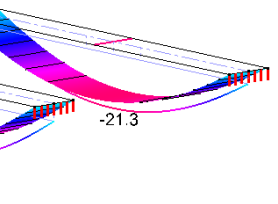
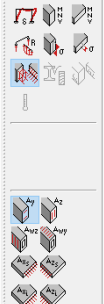
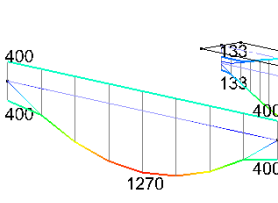
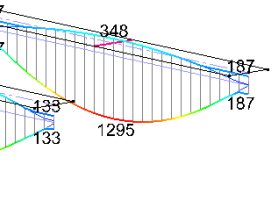


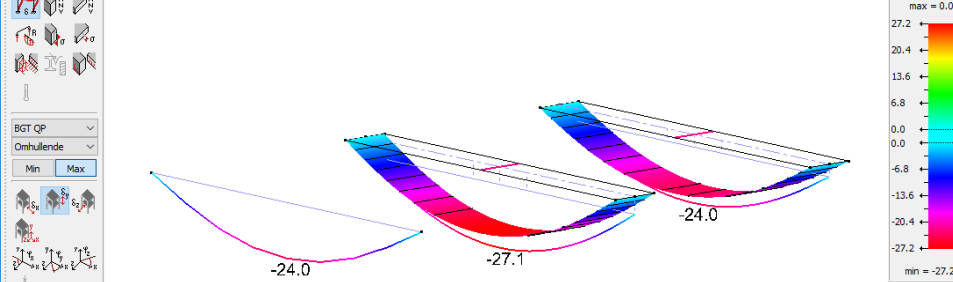
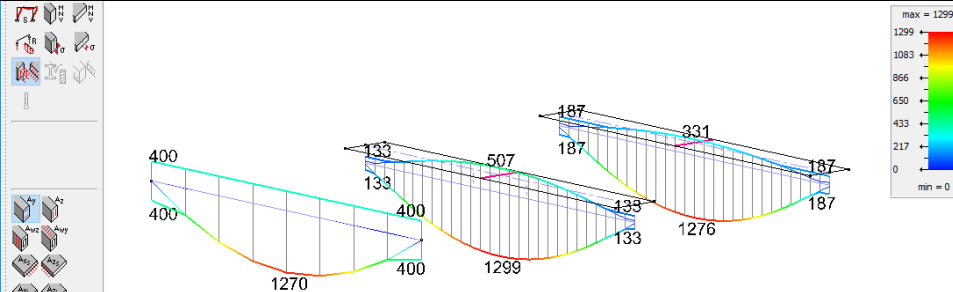
5.2.4.1. Waarom bovenkant balk = bovenkant plaat voor Geval 3?

In geval 3 wordt *bovenkant balk* = *bovenkant plaat* gekozen. Hierdoor moet de plaatdikte bij de balkhoogte geteld worden en ontstaat extra eigengewicht. Iets wat we (begrijpelijk) als contradictorisch ervaren. Maar die extra balkhoogte is nodig om voldoende stijfheid te ontwikkelen. We nemen opnieuw de balk-modellen uit §4.1 erbij:

- *Manier 1* uit §4.1 stemt overéén met *Geval 3* gemodelleerd zonder excentriciteiten.
- *Manier 3* uit §4.1 stemt overéén met *Geval 3* gemodelleerd met excentriciteiten
(= plaatdikte opgeteld bij balkhoogte = de modellering die wat contradictorisch aanvoelt)
- *Manier 2* uit §4.1 stemt overéén met *Geval 3* gemodelleerd met excentriciteiten
(= plaatdikte NIET opgeteld bij balkhoogte = de modellering die we in eerste instantie zouden verwachten)

Het uiteindelijke doel van Diamonds is dimensioneren, daarom focussen we ons nu op de wapening en gescheurde doorbuiging. We gaan het model verschillende malen doorrekenen en bekijken hoe de wapeningshoeveelheden gescheurde doorbuiging evolueert voor de 3 modellen:

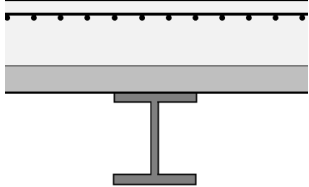
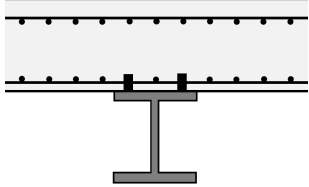
	Manier 1	Manier 2	Manier 3
Elastische doorbuiging 			
Wapening  : 1 ^e iteratie			
Gescheurde doorbuiging  (met kruip en axiaalkrachten): 1 ^e iteratie			
Elastische analyse  (rekening houdend met scheurvorming en axiaalkrachten) onmiddellijk gevold door een wapeningberekening  : 2 ^e iteratie			

Gescheurde doorbuiging (met kruip en axiaalkrachten): 2 ^e iteratie	
Elastische analyse (rekening houdend met scheurvorming en axiaalkrachten) onmiddellijk gevolgd door een wapeningsberekening : 3 ^e iteratie	

Conclusie: Manier 1 en 3 sluiten het best bij elkaar aan als het aankomt op gescheurde doorbuiging en wapeningshoeveelheden. Manier 2 komt in de buurt, maar is iets minder stijf, wat resulteert in een grotere doorbuiging en meer wapening.

6. Samenwerking stalen balk - plaat

Analoog aan beton, bekijken we in deze paragraaf een aantal gevallen met een stalen balk tussen een betonnen plaat.

REALITEIT	DIAMONDS
Geval 4: prédallen (of ander plaattype) koud opgelegd op stalen balk 	Zie geval 1 bij beton.
Geval 5: stalen balken via deuvls verbonden met een plaat 	Zie geval 3 bij beton. Kies  onderkant plaat = bovenkant balk.

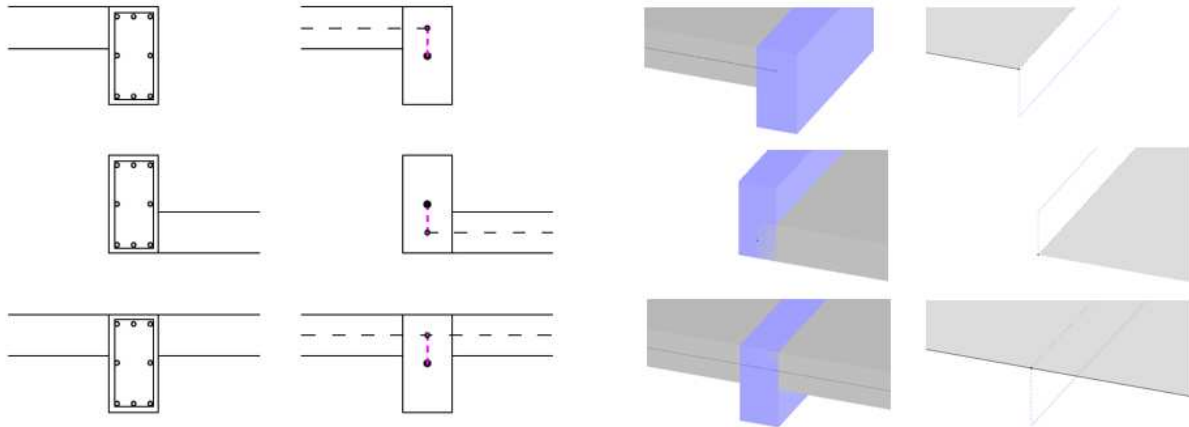
Opmerking: **Diamonds ondersteund controle volgens EN 1994 (Ontwerp van staal-betonconstructies) niet!** Je kan met Diamonds de interne krachten in de betonvloer/ stalen ligter bepalen, maar bij de controle zal hij op het beton EN 1992 toepassen en op het staal EN 1993.

7. Niet-standaard gevallen

Excentriciteiten worden in Diamonds gecreëerd door rigid links. Rigid links zijn oneindig stijve elementjes, die geen sectie of materiaal hebben. Hun functie is krachten tussen elementen doorgeven.

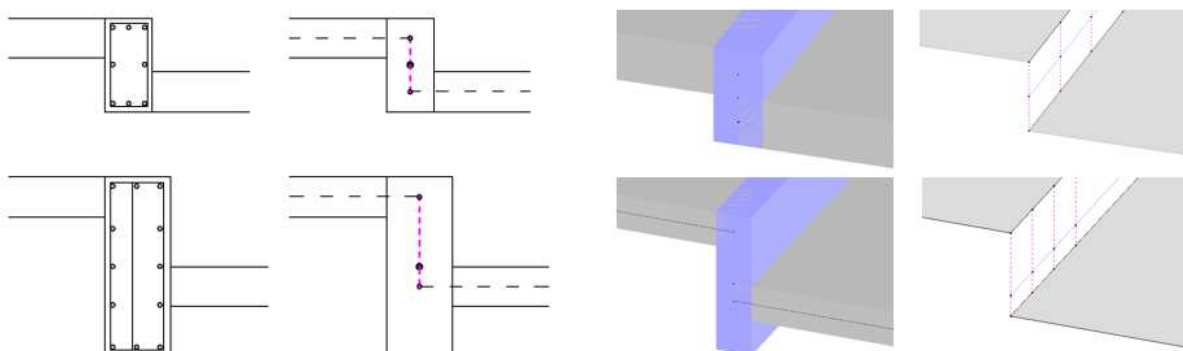
Als je balken excentrisch definieert met de knop , dan genereert Diamonds automatisch de rigid links. De uitlijning (bovenkant balk = bovenkant plaat, onderkant balk = onderkant plaat, ...) bepaalt de lengte van de rigid link.

Onderstaande figuren tonen voorbeelden van standaard gevallen. In de figuren, wordt de rigid link voorgesteld als een fuchsia staafje. In Diamonds, wordt de rigid link (gegenereerd via ) voorgesteld door een stippellijn in dezelfde kleur als de balk.



In niet-standaard gevallen, zoals de voorbeelden hieronder, moet je de rigid links zelf toevoegen. Dat gaat als volgt:

- Teken de elementen (pla(a)t(en) en balk) in Diamonds op het correcte niveau (Y-coördinaat). Gebruik de as van de plaat en balk om het juiste niveau te bepalen. Het verschil in niveau is gelijk aan de lengte van de rigid link.
- Op de locaties waar de rigid links moeten komen: moet je zelf een lijn teken, daarna de lijnen selecteren en op de knop . De zwarte volle lijn die je getekend had, zal veranderen naar een fuchsia stippellijn (= een rigid link).
- Het torsie effect zit in de rigid links en zal verloren gaan.
- Deze manier van modelleren wordt enkel geadviseerd voor kleinere modellen, niet in grotere 3D projecten.



Opmerking: als de platen op een verschillend niveau liggen, heb je de licentie 2D Plates + 3D Plates nodig.