

Interactiekrommen

SectionPro Tutorial: klassieke 2D-interactiediagrammen met verificatie van belastingcombinaties

BridgeKernel · 2026

Inleiding

De module voor interactiekrommen berekent klassieke 2D-interactiediagrammen voor gewapend betonnen doorsneden. Door één krachtcomponent (N , M_z of M_y) vast te zetten, berekent SectionPro de weerstandsgrens in het vlak van de twee overige componenten. Belastingcombinaties worden als punten weergegeven: belastingen binnen de kromme in **groen** (veilig), buiten in **rood** (onvoldoende). Dit geeft een directe visuele controle zonder numerieke veiligheidsfactoren.

Er zijn twee modi beschikbaar. In de modus met vaste component wordt één component op een specifieke waarde ingesteld (bijv. $N = 0$) en wordt de interactiekromme getekend in het resterende vlak. De vaste waarde moet binnen het weerstandsdomein van de doorsnede liggen, anders bestaat er op dat niveau geen kromme.

In de envelop-modus tekent SectionPro twee krommen: één bij de maximale waarde van de vaste component over alle belastingcombinaties, één bij de minimale. Zo worden meerdere belastinggevallen met verschillende vaste-componentwaarden in één figuur gevalideerd. De vaste-componentwaarden van alle belastingcombinaties moeten binnen het weerstandsdomein liggen. In deze modus geldt een derde kleur:

- **Groen**: binnen beide krommen, veilig bij beide uitersten van de vaste component.
- **Rood**: buiten beide krommen, onvoldoende bij beide uitersten.
- **Grijs**: tussen de twee krommen, onzeker. De belasting kan veilig of onvoldoende zijn afhankelijk van de werkelijke waarde. Nauwkeuriger controle is vereist: de component vastzetten op de werkelijke waarde, het 3D-oppervlak raadplegen, of de interne oplosser gebruiken.

Berekende resultaten

Interactiekromme

Vaste component (N , M_z of M_y)
Gesloten 2D-weerstandsgrens
Envelop-modus (min/max)

Visuele verificatie

Belastingpunten uitgezet op het diagram
Groen (veilig) / Rood (onvoldoende) / Grijs (onzeker)

Exports

PDF: 2D-kromme + uitgezette belastingen
XLS: kromme-coördinaten
TXT: tabellarische resultaten (kolommen)

Achthoekige doorsnede (Eurocode 2)

Invoergegevens

De doorsnedgeometrie, wapening en materiaalwetten zijn identiek aan die uit artikelen #4-6:

Beton

- Achthoekige dwarsdoorsnede
- $b_1 = 2\{, \}00$ m, $b_2 = 0\{, \}50$ m
- $h_1 = 1\{, \}00$ m, $h_2 = 0\{, \}60$ m

Wapening

- 48 staven, gelijkmatige tussenafstand 150 mm
- Diameter $\varphi = 32$ mm, dekking 50 mm

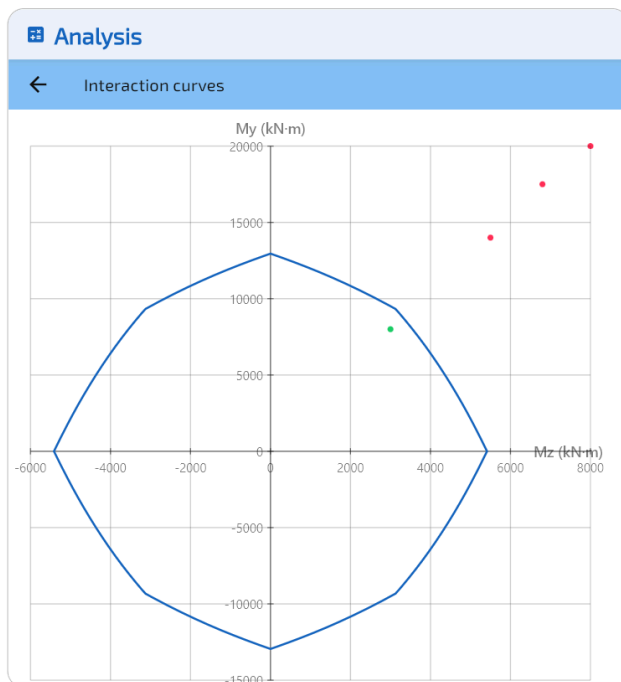
Materiaalwetten (EC2)

- Beton C30/37: $f_{ck} = 30$ MPa
- Staal B500B: $f_{yk} = 500$ MPa

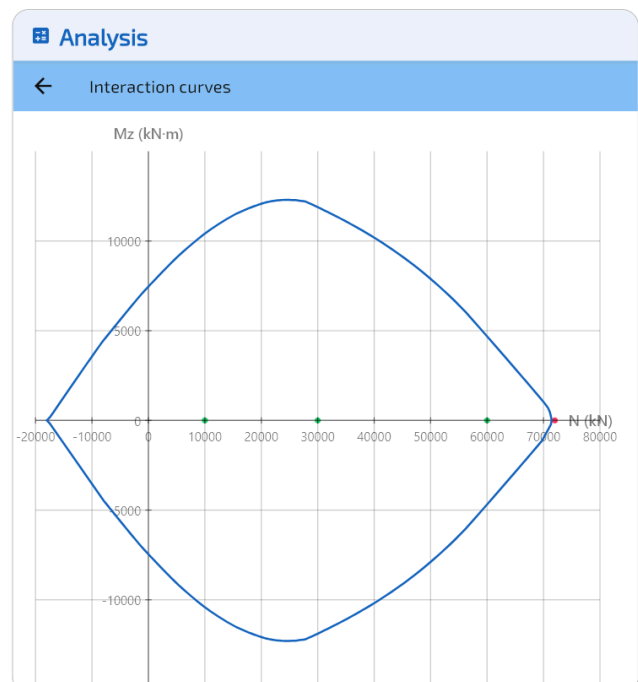
Figuur 1: Achthoekige dwarsdoorsnede.

Interactiekrommen

De eerste kromme toont de biaxiale buigcapaciteit bij $N = 0$ onder de gebruiksgrenstoestand (GGT-C), de tweede de normaalkracht-buigingsinteractie bij $M_y = 0$ onder de uiterste grenstoestand (UGT-F).



Figuur 2: Gebruiksgrenstoestand (karakteristiek): M_z - M_y bij $N = 0$.



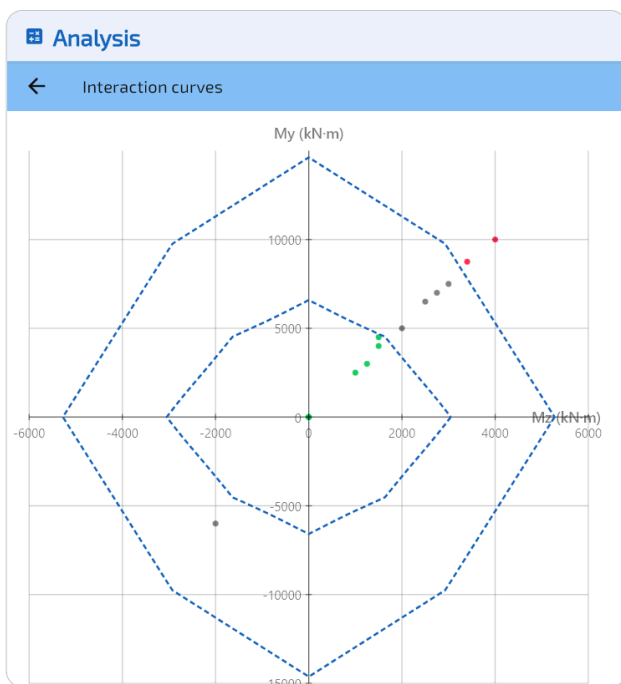
Figuur 3: Uiterste grenstoestand (fundamenteel): N - M_z bij $M_y = 0$.

De 30 belastingcombinaties zijn dezelfde als in het artikel over afstanden (15 UGT-F, 15 GGT-C). Alle groene belastingen hadden $\eta < 1$ in de 3D-analyse, en alle rode belastingen hadden $\eta > 1$: de 2D-krommen zijn volledig consistent met de 3D-afstandsresultaten.

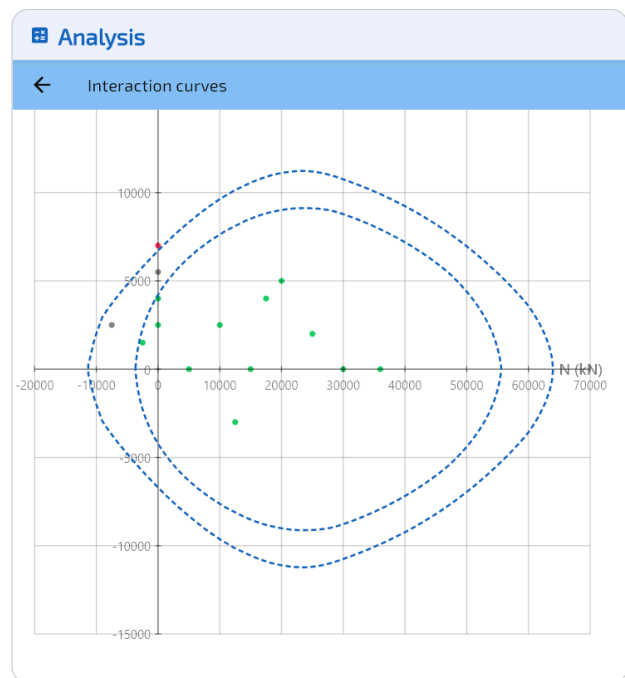
Envelop-modus

De envelop-modus vereist dat alle belastingcombinaties hun vaste-componentwaarde binnen het weerstandsdomein hebben. Enkele van de 30 oorspronkelijke belastingen overschrijden de doorsnede-capaciteit: belasting #4 bij UGT-F heeft $N = 72000$ kN bij een normaalkrachtweerstand van circa 70700 kN. Deze belastingen zijn niet bruikbaar, zodat een gereduceerde interne belastingset wordt gebruikt.

De twee figuren tonen de envelop voor de GGT (N als vaste component, M_z-M_y in het diagram) en de UGT (M_y als vaste component, $N-M_z$). Elke envelop bestaat uit twee krommen: één bij de minimale en één bij de maximale waarde.



Figuur 4: Gebruiksgrenstoestand: envelop op N .



Figuur 5: Uiterste grenstoestand: envelop op M_y .

De groene markeringen liggen binnen beide krommen: veilig bij beide uitersten van de vaste component. De rode markeringen liggen buiten beide krommen en overschrijden de doorsnede-capaciteit bij beide uitersten. De grijze markeringen liggen ertussen: veilig bij het ene uiterste maar niet bij het andere. Hun status is onzeker: verifieer individueel via de modus met vaste component op de werkelijke waarde, of gebruik het 3D-oppervlak of de interne oplosser voor een definitief oordeel.

Elliptische doorsnede (ACI 318)

Invoergegevens

Beton

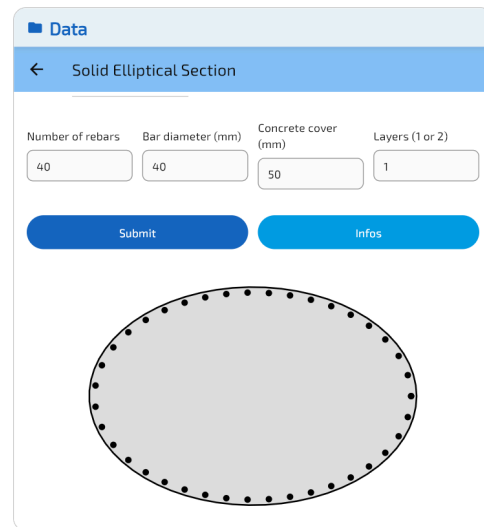
- Elliptische dwarsdoorsnede
- Breedte = 3{,}00 m, Hoogte = 2{,}00 m

Wapening

- 40 staven langs de omtrek
- Diameter $\varphi = 40$ mm, dekking 50 mm

Materiaalwetten (ACI 318)

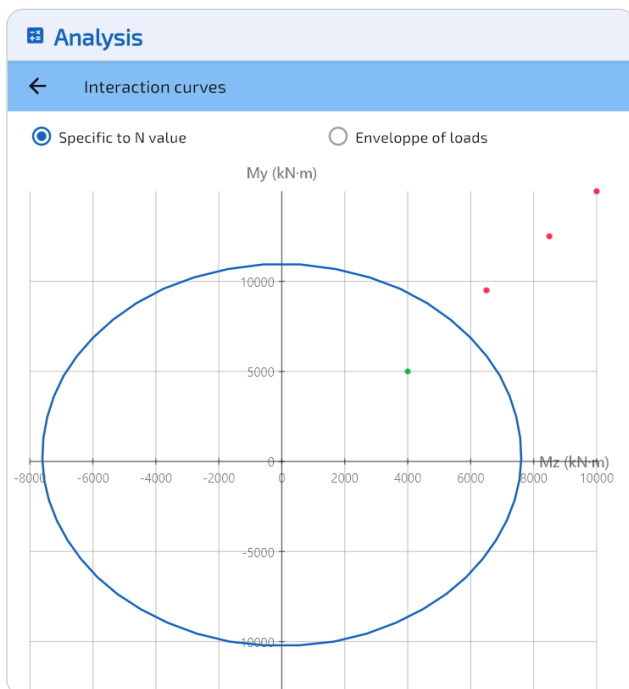
- Beton: $f'_c = 30$ MPa
- Staal: $f_y = 500$ MPa



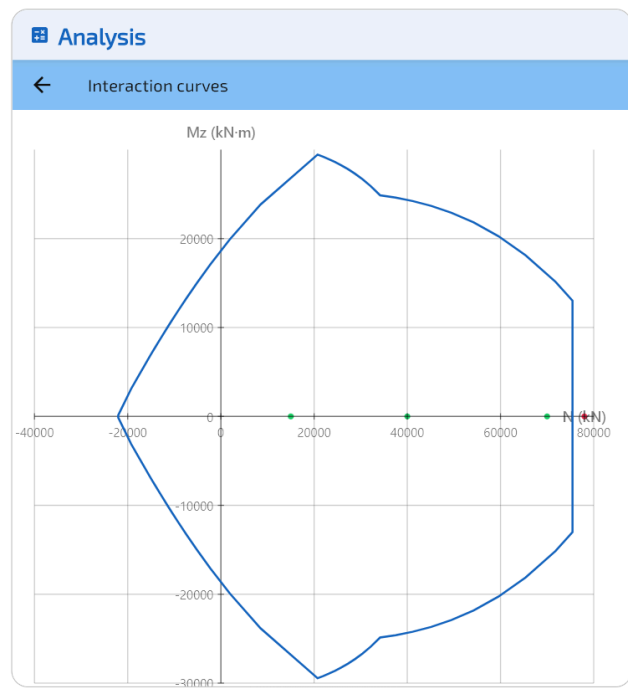
Figuur 6: Elliptische dwarsdoorsnede.

Interactiekrommen

De eerste kromme toont de biaxiale buigcapaciteit bij $N = 0$ onder de gebruiksgrenstoestand, de tweede de normaalkracht-buigingsinteractie bij $M_y = 0$ onder de uiterste grenstoestand. Het Whitney-drukblok en de φ -factoren worden natively toegepast op de UGT-curve.



Figuur 7: Gebruiksgrenstoestand: M_z - M_y bij $N = 0$.



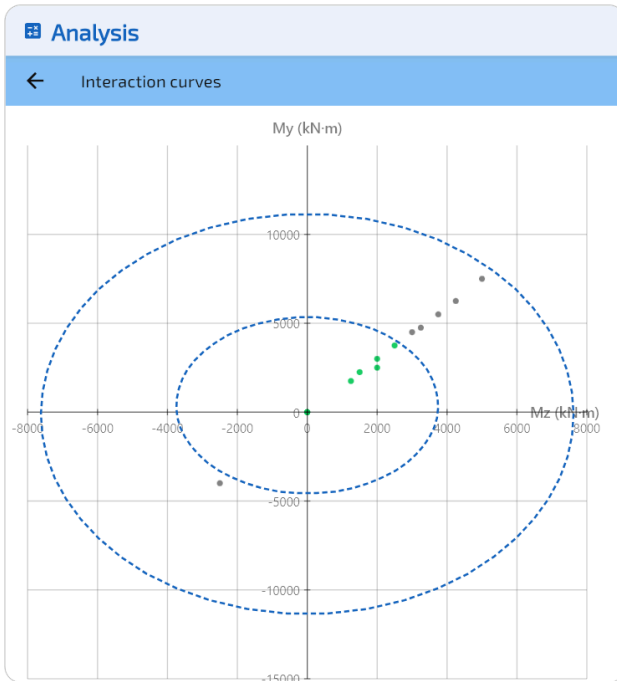
Figuur 8: Uiterste grenstoestand: N - M_z bij $M_y = 0$ (Whitney).

De UGT-curve (rechts) toont duidelijk de effecten van het ACI 318 Whitney-blok. De maximale drukkracht is begrensd op $\varphi P_{n,max}$: de vlakke verticale afkapping rechts, waar de kromme abrupt eindigt ($\varphi_c \times 0{,}80$ voor kolommen met beugels). De overgang tussen trekgecontroleerde ($\varphi = 0{,}90$) en

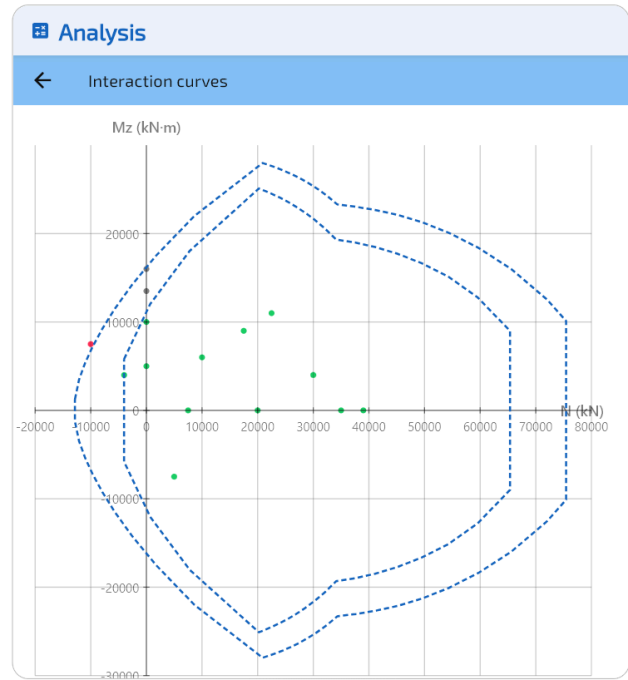
drukgecontroleerde ($\varphi = 0,65$) gebieden is zichtbaar als een knikpunt nabij het gebalanceerde punt. De GGT-curve (links) gebruikt lineair-elastische wetten zonder reductiefactoren, wat de vloeiende symmetrische vorm geeft die typisch is voor biaxiale buiging.

Envelop-modus

Dezelfde gereduceerde belastingset wordt gebruikt. De envelop berekent twee krommen bij de minimale en maximale waarden van de vaste component: N voor de M_z - M_y -contour (gebruiksgrenstoestand) en M_y voor de N - M_z -contour (uiterste grenstoestand, Whitney). Dezelfde driekleurenclassificatie is van toepassing.



Figuur 9: Gebruiksgrenstoestand: envelop op N .



Figuur 10: Uiterste grenstoestand: envelop op M_y (Whitney).

Prestatierefereentie

De berekening is afhankelijk van de maasresolutie. Hogere resoluties geven vloeiendere krommen maar vragen meer rekentijd. De tabel toont de totale rekentijd (mediaan van 3 runs) voor beide doorsneden.

Maasresolutie	Achthoekig EC2 (ms)	Elliptisch ACI (ms)
51×50	8,5	6,5
101×100	11,0	7,0
201×200	14,5	9,0

Alle berekeningen blijven onder de 15 ms, zelfs bij de hoogste resolutie, waardoor de interactiekrommen voor de ingenieur nagenoeg onmiddellijk beschikbaar zijn.

Conclusie

De 2D-interactiekrommen bieden de klassieke ingenieurdiagrammen die het 3D-oppervlak aanvullen:

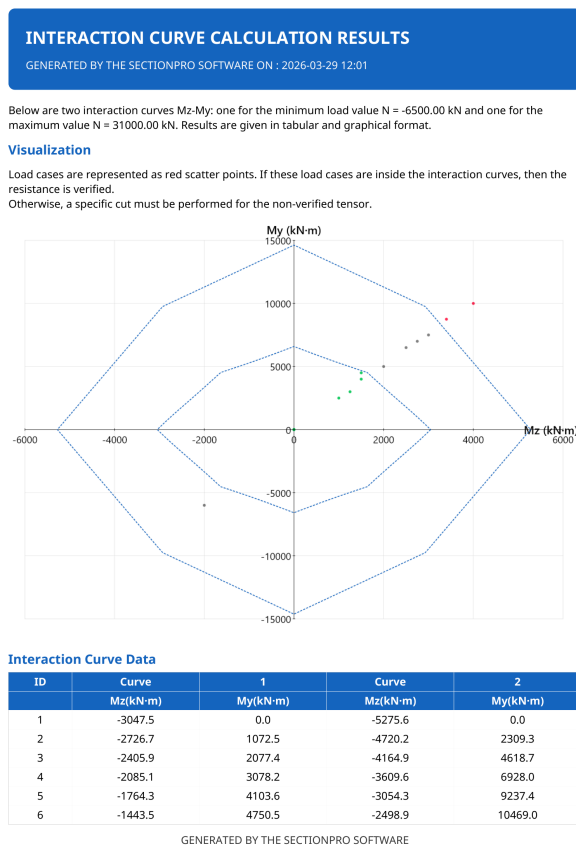
- Belastingen uitgezet op de kromme tonen direct welke veilig zijn (groen) en welke de capaciteit overschrijden (rood), zonder berekening van numerieke veiligheidsfactoren.

- De classificatie Inwendig/Uitwendig uit de 3D-afstandsbepaling is volledig consistent met de positie ten opzichte van de 2D-kromme.
- De 2D-krommen voor ACI 318 worden natively berekend met het Whitney-blok en de φ -factoren.
- De envelop-modus valideert meerdere belastinggevallen met verschillende waarden van de vaste component in één figuur, met behulp van driekleurenclassificatie (groen/grijs/rood).
- Krommen worden in milliseconden gegenereerd, ook bij hoge maasresoluties.

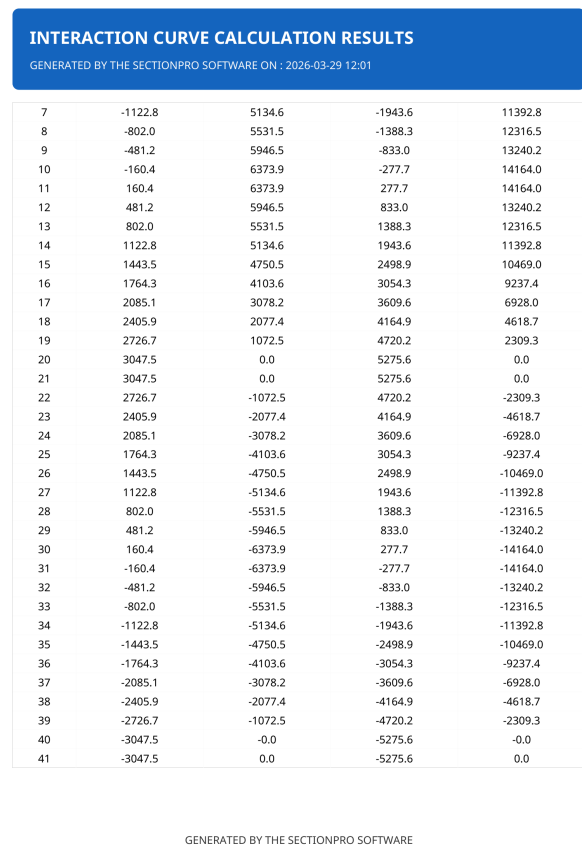
De module berekent momenteel geen numerieke veiligheidsfactor (η) per belasting; dit wordt verzorgd door de afstandenmodule (artikel #5). Een toekomstige versie kan beide combineren: de visuele 2D-kromme met η -waarden per belasting direct op het diagram.

Export

SectionPro exporteert de interactiekrommen in PDF-, TXT- en XLS-formaat. Het PDF-rapport bevat de 2D-kromme met uitgezette belastingpunten en een bijbehorende resultatenlijst.



Figuur 11: PDF-export, pagina 1: interactiekromme met belastingen.



Figuur 12: PDF-export, pagina 2: krommeoordnaten.