

- ☞ Reference: E:\IPHA\NationaleBijlage.mcd(R)
- ☞ Reference: E:\IPHA\LijnPuntlasten.mcd(R)
- ☞ Reference: E:\IPHA\Plaatdoorsneden.mcd(R)

Schematisering

Schema:	Ligger op twee steunpunten, scharnierend opgelegd.	
Overspanning:	L := 8.00	m
Opleglengte:	a := 0.10	m

Belastingen

Belasting factoren

Incidentele combinatie:	$\gamma_{inc} := (1.0 \ 1.0)^T$
Fundamentele combinatie 1:	$\gamma_{fc1} := (1.2 \ 1.5)^T$
Fundamentele combinatie 2:	$\gamma_{fc2} := (1.35 \ 0.0)^T$

Gelijkmatig verdeelde belastingen

Permanente belastingen:	$p_{k,G2} := 1.0$	kN/m ²
Veranderlijke belastingen:	$p_{k,Q} := 3.5$	kN/m ²
Categorie A: Woongebouwen:		
combinatie waarde:	$\psi_0 := 0.4$	
frequente waarde:	$\psi_1 := 0.7$	
quasi permanente waarde:	$\psi_2 := 0.6$	

Lijn- en puntlasten

$$\text{LijnPuntLasten} := \begin{pmatrix} \text{Permanent} & 0 \text{ kNm} & 1.25 & 1.50 \\ \text{Veranderlijk} & 0 \text{ kN} & 1.10 & 0 \end{pmatrix}$$

Milieuklasse

Milieuklasse := XC1

Doorsnedegegevens

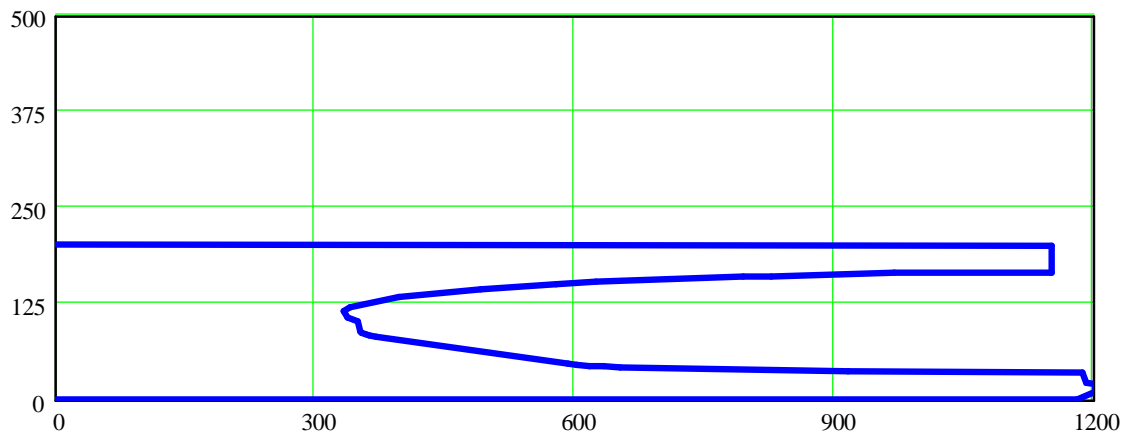
Doorsnede profiel:	P := A200	
Strookbreedte:	StrookBreedte := 1.20	m

Beton

Soortelijke massa beton:	$\gamma_{beton} := 24$	kN/m ³		
Betonddoorsnede:	Beton C45/55:	$f_{ck} := 45$	$f_{ctm} := 3.8$	N/mm ²
		$f_{ctk0.05} := 0.7 \cdot f_{ctm}$	$f_{ctk0.05} = 2.7$	N/mm ²

Gesommeerde breedte b op hoogte x:

$$b(x) := \text{linterp}(P^{(0)}, P^{(1)}, x)$$



Hoogte van de betondoorsnede:

$$h_c := \max(P^{(0)}) \quad h_c = 200 \quad \text{mm}$$

Oppervlakte van de betondoorsnede:

$$A := \int_0^{h_c} b(y) dy \quad A = 145089 \quad \text{mm}^2$$

Eigengewicht:

$$p_{k,G1} := A \cdot \gamma_{\text{beton}} \cdot 10^{-6} \quad p_{k,G1} = 3.48 \quad \text{kN/m}^2$$

Zwaartepunt van de betondoorsnede:

$$Y := \frac{\int_0^{h_c} b(y) y dy}{A} \quad Y = 99.38 \quad \text{mm}$$

Kwadratisch oppervlaktemoment van de betondoorsnede:

$$I := \int_0^{h_c} b(y) (Y - y)^2 dy \quad I = 681290330 \quad \text{mm}^4$$

Voorspanstaal

Voorspanwapening:

indexering:	soort:	element := 0	Draad := 21
	aantal:	$n_p := 1$	Streng := 22
	diameter:	$\phi_p := 2$	
	doorsnede:	$A_p := 3$	
	zwaartepunt:	$y_p := 4$	
	voorspanning:	$\sigma_{pt} := 5$	

$$\text{WAP} := \begin{pmatrix} \text{Streng} & 0 & 12.5 & 93 & 34 & 1100 \\ \text{Streng} & 8 & 9.3 & 52 & 32 & 1100 \\ \text{Draad} & 2 & 5.0 & 19.6 & 165 & 1100 \end{pmatrix}$$

Ontspansterkte:

$$f_{cm,p} := 28 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctm,p} := 0.30 \cdot (f_{cm,p} - 8)^{\frac{2}{3}} \quad f_{ctm,p} = 2.21 \text{ N/mm}^2$$

Hoofdstuk 3 Materialen

3.1 Beton

3.1.3 Elastische vervorming

Elasticiteitsmodulus van het beton:

$$E_{cm} := 0.9 \cdot 22000 \left[\frac{(f_{ck} + 8)}{10} \right]^{0.3} \quad E_{cm} = 32655$$

N.B. Reductie 10% bij kalksteentoeslag

3.1.6 Rekenwaarde van de druk- en treksterkte

$$f_{cd} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad f_{cd} = 30$$

$$f_{ctk.005} := 0.7 \cdot f_{ctm} \quad f_{ctk.005} = 2.66$$

$$f_{ctd} := \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk.005}}{\gamma_c} \quad f_{ctd} = 1.77$$

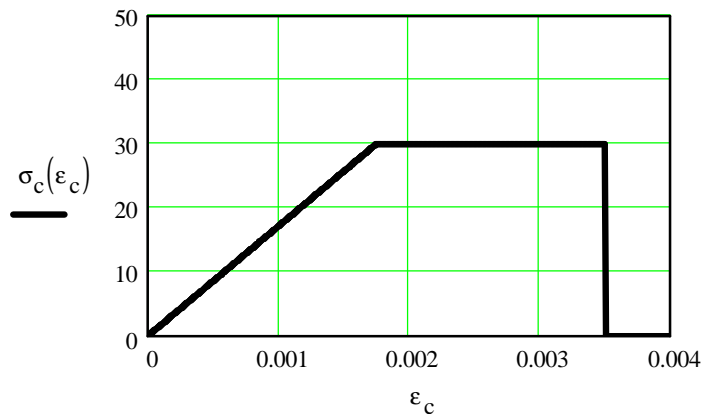
3.1.7 Spanning-rekrelaties voor het berekenen van doorsneden

Spanning-rekrelatie volgens figuur 3.4

$$\varepsilon_{c3} := 0.00175 \quad \varepsilon_{c3u} := 0.0035$$

Betonspanning σ_c als functie van de stuik ε in het beton:

$$\sigma_c(\varepsilon) := \begin{cases} f_{cd} \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c3}} & \text{if } 0 \leq \varepsilon < \varepsilon_{c3} \\ f_{cd} & \text{if } \varepsilon_{c3} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{c3u} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$



3.3 Voorspanstaal

3.3.6 Aannamen voor de berekening

$$f_{p0.1k} := 1600 \quad f_{pk} := 1860 \quad \varepsilon_{uk} := 0.035 \quad E_p := 195000$$

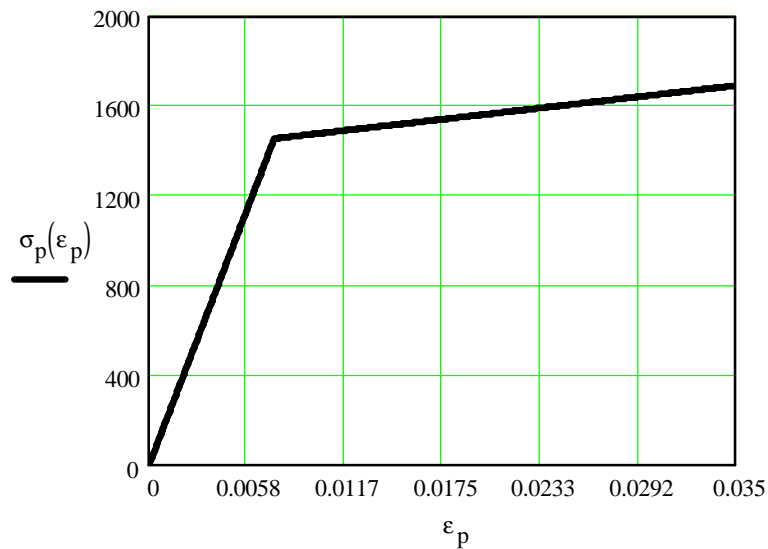
Spanning-rekrelatie volgens figuur 3.10

$$\varepsilon_{ud} := \alpha_{\varepsilon ud} \cdot \varepsilon_{uk} \quad \varepsilon_{ud} = 0.03500$$

$$\sigma_{p.310} := \begin{pmatrix} 0.0 \\ \frac{f_{p0.1k}}{\gamma_s} \\ \frac{f_{pk}}{\gamma_s} \end{pmatrix} \quad \varepsilon_{p.310} := \begin{pmatrix} 0.0 \\ \frac{f_{p0.1k}}{\gamma_s \cdot E_p} \\ \varepsilon_{ud} \end{pmatrix}$$

Staalspanning σ_p als functie van de rek ε in het voorspanstaal:

$$\sigma_p(\varepsilon) := \begin{cases} \text{interp}(\varepsilon_{p.310}, \sigma_{p.310}, \varepsilon) & \text{if } \varepsilon > 0 \wedge \varepsilon \leq \varepsilon_{ud} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$



Hoofdstuk 4 Duurzaamheid en dekking op de wapening

4.4.1 Betondekking

Constructieklasse: S2 of S3: $c_{\min.dur} := 15 \text{ mm}$

Aanhechting: $c_{\min.b} := 1.5 \cdot \max(\text{WAP}, \langle \phi_p \rangle)$ $c_{\min.b} = 19 \text{ mm}$

$c_{\text{nom}} := \max(10, c_{\min.dur}, c_{\min.b})$ $c_{\text{nom}} = 19 \text{ mm}$

5.10 Voorgespannen elementen en constructies

5.10.4 Direct optredende voorspanverliezen bij voorgerekt staal

Wordt in dit rekenvoorbeeld aangenomen op 6%:

$$\sigma_{pm0} := (1 - 6\%) \left(\text{WAP} \langle \sigma_{pt} \rangle \right) \quad \sigma_{pm0} = \begin{pmatrix} 1034 \\ 1034 \\ 1034 \end{pmatrix} \text{ N/mm}^2$$

5.10.6 Tijdsafhankelijke voorspanverliezen bij voorgerekt en nagerekt staal

Wordt in dit rekenvoorbeeld aangenomen op 10%:

$$\sigma_{\text{pmt}} := (1 - 10\%) \cdot \sigma_{\text{pm0}} \quad \sigma_{\text{pmt}} = \begin{pmatrix} 931 \\ 931 \\ 931 \end{pmatrix} \quad \text{N/mm}^2$$

Voorspankracht na alle verliezen:

$$F_{\text{pmt}} := \sum \left(\overrightarrow{\text{WAP}^{\langle A_p \rangle} \cdot \text{WAP}^{\langle n_p \rangle} \cdot \sigma_{\text{pmt}}} \right) \quad F_{\text{pmt}} = 423609 \quad \text{N}$$

6.1 Buiging met of zonder normaalkracht

Nuttige hoogte:

$$d := h_c - \min \left(\text{WAP}^{\langle y_p \rangle} \right) \quad d = 168.0$$

Indexen: $c := 0$ $p := 1$

Rek op hoogte y:

$$\varepsilon_y(\varepsilon, y) := \varepsilon_p - \frac{\varepsilon_p + \varepsilon_c}{d} \cdot (y - h_c + d)$$

Hoogte van de drukzone bij rek ε :

$$x(\varepsilon) := \frac{d \cdot \varepsilon_c}{\varepsilon_p + \varepsilon_c}$$

Maximale staalrek op referentiehoogte:

$$\varepsilon_{\text{ud,max}} := \min \left(\overrightarrow{\left(\frac{\varepsilon_{\text{ud}} - \frac{\sigma_{\text{pmt}}}{E_p} + \varepsilon_{c3u}}{h_c - \text{WAP}^{\langle y_p \rangle}} \cdot d - \varepsilon_{c3u} \right)} \right)$$

$$\varepsilon_{\text{ud,max}} = 0.03023$$

Betondrukkkracht bij rek ε :

$$N_c(\varepsilon) := \int_{h_c-d}^{h_c} \sigma_c(-\varepsilon_y(\varepsilon, y)) \cdot b(y) \, dy$$

Betondrukmoment bij rek ε :

$$M_c(\varepsilon) := \int_{h_c-d}^{h_c} \sigma_c(-\varepsilon_y(\varepsilon, y)) \cdot b(y) \cdot (h_c - y) \, dy$$

Staaltrekkracht met index n bij rek ε :

$$N_p(\varepsilon, n) := \left(\text{WAP}^{\langle A_p \rangle} \right)_n \cdot \left(\text{WAP}^{\langle n_p \rangle} \right)_n \cdot \sigma_p \left[\varepsilon_y \left[\varepsilon, \left(\text{WAP}^{\langle y_p \rangle} \right)_n \right] + \frac{\sigma_{\text{pmt}_n}}{E_p} \right]$$

Een programmaatje om het breukmoment te bepalen....

$y_u := 1$

$N_p := 0$

```

E :=
  εc ← εc3u
  εp ← εud,max
  Beton ← Nc(ε)
  Staal ← ∑n=0length(WAP<yp>)-1 Np(ε, n)
  isStaal ← Beton < Staal
  dε ← 0.5 · εud if isStaal
  dε ← 0.5 · εc3u otherwise
  while |Staal - Beton| > 40
    εp ← εp - sign(Staal - Beton) · dε if isStaal
    εc ← εc - sign(Beton - Staal) · dε otherwise
    dε ← 0.5 · dε
    Beton ← Nc(ε)
    BetonM ← Mc(ε)
    Staal ← ∑n=0length(WAP<yp>)-1 Np(ε, n)
  Yx ←  $\frac{\text{BetonM}}{\text{Beton}}$ 
  Resultyu ← Yx
  for i ∈ 0..length(WAP<yp>)-1
    Krachti ← Np(ε, i)
  ResultNp ← Kracht
  Result2 ← εc
  Result3 ← εp
  Result
  
```

$$M_{Rd} := \sum \left[\left(h_c - WAP^{\langle y_p \rangle} - E_{y_u} \right) \cdot E_{N_p} \right] \cdot 10^{-6}$$

$$M_{Rd} = 104.99 \quad \text{kNm}$$

Hoofdstuk 8 Detailleren van de (voerspan) wapening

8.10 Voorspanelementen

8.10.2.2 Overdracht van de voerspankracht

Rekenwaarde van de treksterkte op het tijdstip van aflaten:

$$f_{ctd.t} := \alpha_{ct} \cdot \frac{0.7 \cdot f_{ctm.p}}{\gamma_c} \quad f_{ctd.t} = 1.03 \quad \text{N/mm}^2$$

Factor afhankelijk van het type voorspanelement:

$$\eta_{p1}(\text{element}) := \begin{cases} 2.7 & \text{if element = Draad} \\ 3.2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Goede aanhechtomstandigheden:

$$\eta_1 := 1.0$$

Aanhechtspanning:

$$f_{bpt} := \left(\eta_{p1} \left(WAP^{\langle \text{element} \rangle} \right) \cdot \eta_1 \cdot f_{ctd.t} \right) \quad f_{bpt} = \begin{pmatrix} 3.30 \\ 3.30 \\ 2.79 \end{pmatrix} \quad \text{N/mm}^2$$

Geleidelijke aflaten (zagen) $\alpha_1 := 1.0$

Factor afhankelijk van de doorsnede van het voorspanelement:

$$\alpha_2(\text{element}) := \begin{cases} 0.25 & \text{if element = Draad} \\ 0.19 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Basiswaarde van de overdrachtslengte:

$$l_{pt} := \frac{\alpha_1 \cdot \alpha_2 \left(WAP^{\langle \text{element} \rangle} \right) \cdot WAP^{\langle \phi_p \rangle} \cdot \sigma_{pmt0}}{f_{bpt}} \quad l_{pt} = \begin{pmatrix} 744 \\ 554 \\ 464 \end{pmatrix} \quad \text{mm}$$

Bovengrenswaarde van de overdrachtslengte:

$$l_{pt2} := 1.2 \cdot l_{pt} \quad l_{pt2} = \begin{pmatrix} 893 \\ 664 \\ 557 \end{pmatrix} \quad \text{mm}$$

Afstand naar het plaaiteinde in mm:

$$\text{Afstand}(x) := 1000(\min(L - x, x) + 0.5 \cdot a)$$

Voerspankracht in element n op afstand x:

$$F_{pt2}(x, n) := \begin{cases} F \leftarrow \frac{x}{l_{pt2n}} \cdot \sigma_{pmt_n} & \text{if } x < l_{pt2n} \\ F \leftarrow \sigma_{pmt_n} & \text{otherwise} \\ F \cdot \left(WAP^{\langle n_p \rangle} \right)_n \cdot \left(WAP^{\langle A_p \rangle} \right)_n & \end{cases}$$

De gemiddelde betonspanning t.g.v. de voorspanning op afstand x:

$$\sigma_c(x) := \sum_{i=0}^{\text{length}(\text{WAP}^{\langle A_p \rangle})-1} \frac{F_{pt2}(\text{Afstand}(x), i)}{A}$$

Het moment t.g.v. de voorspanning op afstand x:

$$M_{pt2}(x) := \sum_{i=0}^{\text{length}(\text{WAP}^{\langle A_p \rangle})-1} \left[F_{pt2}(\text{Afstand}(x), i) \cdot \left[Y - \left(\text{WAP}^{\langle y_p \rangle} \right)_i \right] \right]$$

8.10.2.3 Verankering van de trekkracht in de uiterste grenstoestand

Factor afhankelijk van het type voorspanelement:

$$\eta_{p2}(\text{element}) := \begin{cases} 1.4 & \text{if element = Draad} \\ 1.2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

De aanhechtingssterkte voor verankering in de uiterste grenstoestand:

$$f_{bpd} := \overrightarrow{\left(\eta_{p2}(\text{WAP}^{\langle \text{element} \rangle}) \cdot \eta_1 \cdot f_{ctd} \right)} \quad f_{bpd} = \begin{pmatrix} 2.13 \\ 2.13 \\ 2.48 \end{pmatrix} \quad \text{N/mm}^2$$

Opneembare kracht per element op afstand x mm vanuit plaaiteinde:

$$F_{pu}(x, n) := \begin{cases} \sigma_p \leftarrow x \frac{\sigma_{pmt_n}}{l_{pt2_n}} & \text{if } x \leq l_{pt2_n} \\ \sigma_p \leftarrow \sigma_{pmt_n} + \frac{(x - l_{pt2_n}) \cdot f_{bpd_n}}{\alpha_2 \left[\left(\text{WAP}^{\langle \text{element} \rangle} \right)_n \right] \cdot \left(\text{WAP}^{\langle \phi_p \rangle} \right)_n} & \text{otherwise} \\ F_p \leftarrow \sigma_p \cdot \left(\text{WAP}^{\langle n_p \rangle} \right)_n \cdot \left(\text{WAP}^{\langle A_p \rangle} \right)_n \\ \min \left[F_p, \left(E_{Np} \right)_n \right] \end{cases}$$

Opneembaar moment op afstand x in mm vanuit plaaiteinde:

$$M_{Rbpd}(x) := 10^{-6} \left[\sum_{i=0}^{\text{length}(\text{WAP}^{\langle y_p \rangle})-1} \left[\left[h_c - \left(\text{WAP}^{\langle y_p \rangle} \right)_i - E_{y_u} \right] \cdot F_{pu}(\text{Afstand}(x), i) \right] \right]$$

Hoofdstuk 9 Detailleren van de elementen

9.2 Balken

9.2.1.3 Inkorting van op trek belaste langswapening

De belastingscombinaties:

$$FC1 := \text{Lasttabel}(L, \text{StrookBreedte}, p_{k.G1} + p_{k.G2}, p_{k.Q}, \text{LijnPuntLasten}, \gamma_{fc1}, 1.0)$$

$$FC2 := \text{Lasttabel}(L, \text{StrookBreedte}, p_{k.G1} + p_{k.G2}, p_{k.Q}, \text{LijnPuntLasten}, \gamma_{fc2}, 1.0)$$

Maatgevend moment op afstand x:

$$M_{Ed}(x) := \max \left(\int_0^x \text{Dwarskracht}(L, FC1, z) dz, \int_0^x \text{Dwarskracht}(L, FC2, z) dz \right)$$

Positie van het maximum moment: $\Delta L := 0.05$

pos := 0.5 · L

Given

$$(M_{Ed}(\text{pos}) - M_{Ed}(\text{pos} - \Delta L)) \cdot (M_{Ed}(\text{pos}) - M_{Ed}(\text{pos} + \Delta L)) > 0$$

$$x_{\max} := \text{Find}(\text{pos}) \quad x_{\max} = 4.000 \text{ m}$$

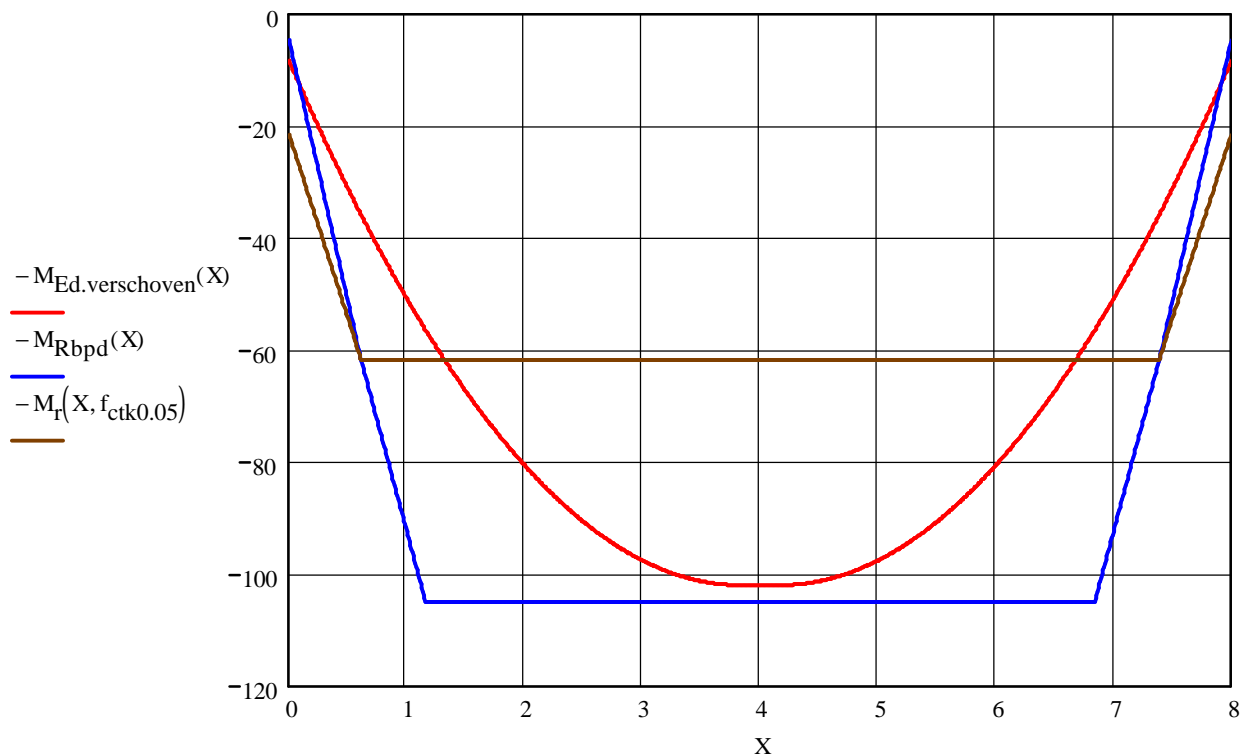
Voor elementen zonder dwarskrachtwapening wordt het door buiging gescheurde deel de M_{Ed} -lijn over een afstand $a_1 = d$ in de ongunstige richting worden verschoven:

$$a_1 := \frac{d}{1000}$$

$$M_{Ed, \text{verschoven}}(x) := \begin{cases} M_{Ed}(x + a_1) & \text{if } x < x_{\max} - a_1 \\ M_{Ed}(x - a_1) & \text{if } x > x_{\max} + a_1 \\ M_{Ed}(x_{\max}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

De verankering van de voorspanelementen moet worden getoetst in gebieden waarin de betontrekspanning $f_{ctk0.05}$ overschrijdt.

$$\text{Scheurmoment op afstand } x \text{ is: } M_T(x, f_{ct}) := \left[(f_{ct} + \sigma_c(x)) \cdot \frac{I}{Y} + M_{pt2}(x) \right] \cdot 10^{-6}$$



Hoofdstuk 7 Bruikbaarheidsgrenstoestanden (BGT)

7.3 Scheurbeheersing

7.3.2 Minimum wapening

Tabel 7.1N: $w_{\max} := 0.2 \text{ mm}$ bij frequente belastingscombinatie

7.3.2 Minimum wapening

l(4) In voorgespannen elementen is geen minimumwapening vereist in een doorsnede indien, onder de karakteristieke belastingscombinatie en bij de karakteristieke waarde van de voorspanning, het beton onder druk staat of de absolute waarde van de betontrekspanning kleiner is dan $\sigma_{ct,p}$.

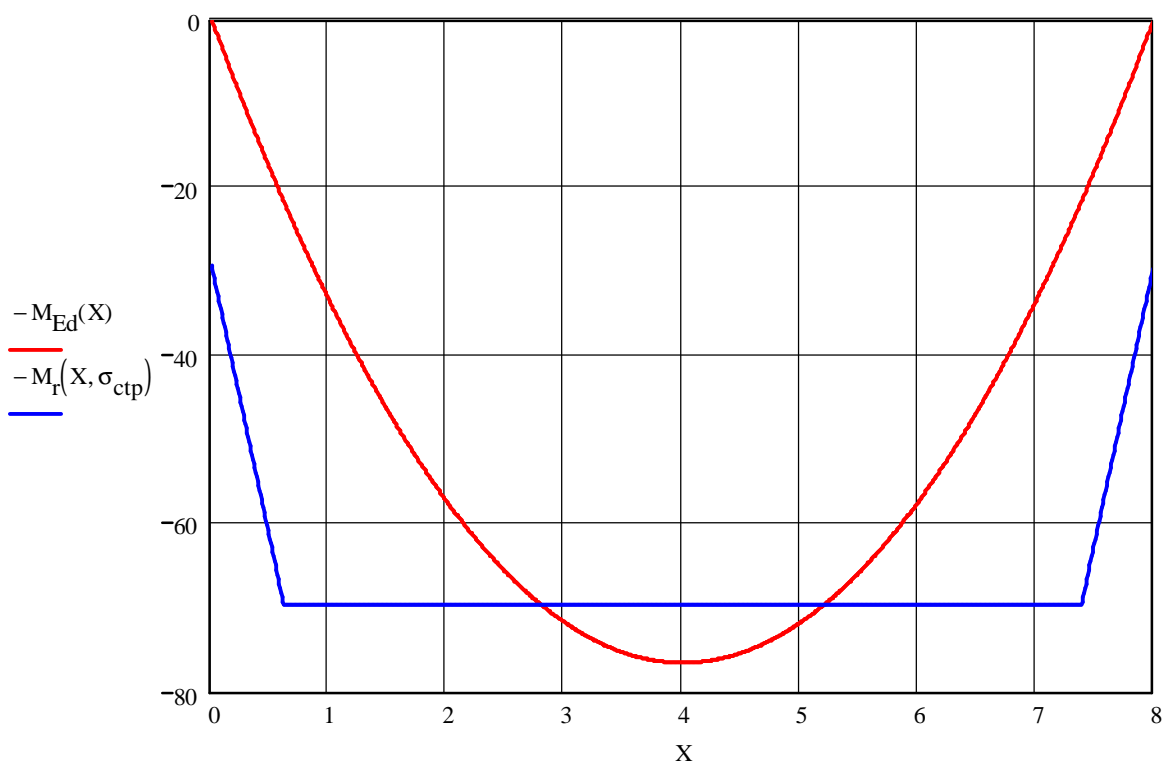
Karakteristieke belastingscombinatie:

$$INC := \text{Lasttabel}(L, \text{StrookBreedte}, p_{k,G1} + p_{k,G2}, p_{k,Q}, \text{LijnPuntLasten}, \gamma_{inc}, 1.0)$$

Maatgevend moment op afstand x:

$$M_{Ed}(x) := \int_0^x \text{Dwarskracht}(L, INC, z) dz$$

$$\sigma_{ctp} := \alpha_{\sigma_{ctp}} \cdot f_{ctm} \quad \sigma_{ctp} = 3.80 \text{ N/mm}^2$$



Positie van het maximum moment: $\Delta L := 0.05$

pos := 0.5 · L

Given

$$(M_{Ed}(\text{pos}) - M_{Ed}(\text{pos} - \Delta L)) \cdot (M_{Ed}(\text{pos}) - M_{Ed}(\text{pos} + \Delta L)) > 0$$

$$x_{\max} := \text{Find}(\text{pos})$$

$$x_{\max} = 4.000 \text{ m}$$

Minimum wapening benodigd voor scheurbeheersing volgens formule 7.1. Er is alleen voorspanwapening aanwezig; de formule wordt overeenkomstig (3) aangepast:

Hoogte x_{druk} van het drukspanningsgebied zoals aangegeven in figuur 7.1:

$$M_{\text{ct.eff}} := M_{\text{T}}(x_{\max}, \sigma_{\text{ctp}}) \quad M_{\text{ct.eff}} = 69.8 \quad \text{kNm}$$

$$\sigma_{\text{boven}} := \left(M_{\text{pt2}}(x_{\max}) - M_{\text{ct.eff}} \cdot 10^6 \right) \cdot \frac{(Y - h_c)}{I} + \sigma_c(x_{\max}) \quad \sigma_{\text{boven}} = 9.72 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{onder}} := \left(M_{\text{pt2}}(x_{\max}) - M_{\text{ct.eff}} \cdot 10^6 \right) \cdot \frac{Y}{I} + \sigma_c(x_{\max}) \quad \sigma_{\text{onder}} = -3.80 \quad \text{N/mm}^2$$

$$x_{\text{druk}} := \frac{\sigma_{\text{boven}}}{\sigma_{\text{boven}} - \sigma_{\text{onder}}} \cdot h_c \quad x_{\text{druk}} = 143.8 \quad \text{mm}$$

Kleinste waarde van:

$$2.5(h_c - d) = 80$$

$$\frac{(h_c - x_{\text{druk}})}{3} = 18.734$$

$$\frac{h_c}{2} = 100$$

$$\xi_1 := \sqrt{0.6}$$

$$E_{\text{cm}} = 32655$$

$$\sigma_{\text{c.p}} := \left(M_{\text{pt2}}(x_{\max}) - M_{\text{ct.eff}} \cdot 10^6 \right) \cdot \frac{Y - (h_c - d)}{I} + \sigma_c(x_{\max}) \quad \sigma_{\text{c.p}} = -1.64 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\Delta\sigma_p := \frac{-E_p}{E_{\text{cm}}} \cdot \sigma_{\text{c.p}} \quad \Delta\sigma_p = 10 \quad \text{N/mm}^2$$

$$\left(WAP^{\langle n_p \rangle} \right)_0 \cdot \left(WAP^{\langle A_p \rangle} \right)_0 + \left(WAP^{\langle n_p \rangle} \right)_1 \cdot \left(WAP^{\langle A_p \rangle} \right)_1 = 416$$

$$A_{\text{ct}} := \int_0^{h_c - x_{\text{druk}}} b(y) dy \quad A_{\text{ct}} = 55554$$

$$k_c := 1.0 \quad k := 1.0 \quad f_{\text{ct.eff}} := f_{\text{ctm}}$$

$$\frac{k_c \cdot k \cdot f_{\text{ct.eff}} \cdot A_{\text{ct}}}{\xi_1 \cdot \Delta\sigma_p} = 27891$$

7.3.1(5) Decompressie-eis

De decompressiegrens vereist dat alle delen van de spanelementen met aanhechting of kanalen tenminste 25 mm binnen onder druk staand beton liggen.

$$\Delta a_p := 25 \quad \text{mm}$$

De ligging van de laagst gelegen wapening:

$$a_{p,\min} := \min(\text{WAP}^{\langle y_p \rangle}) \quad a_{p,\min} = 32 \quad \text{mm}$$

Het decompressiemoment op afstand x is:

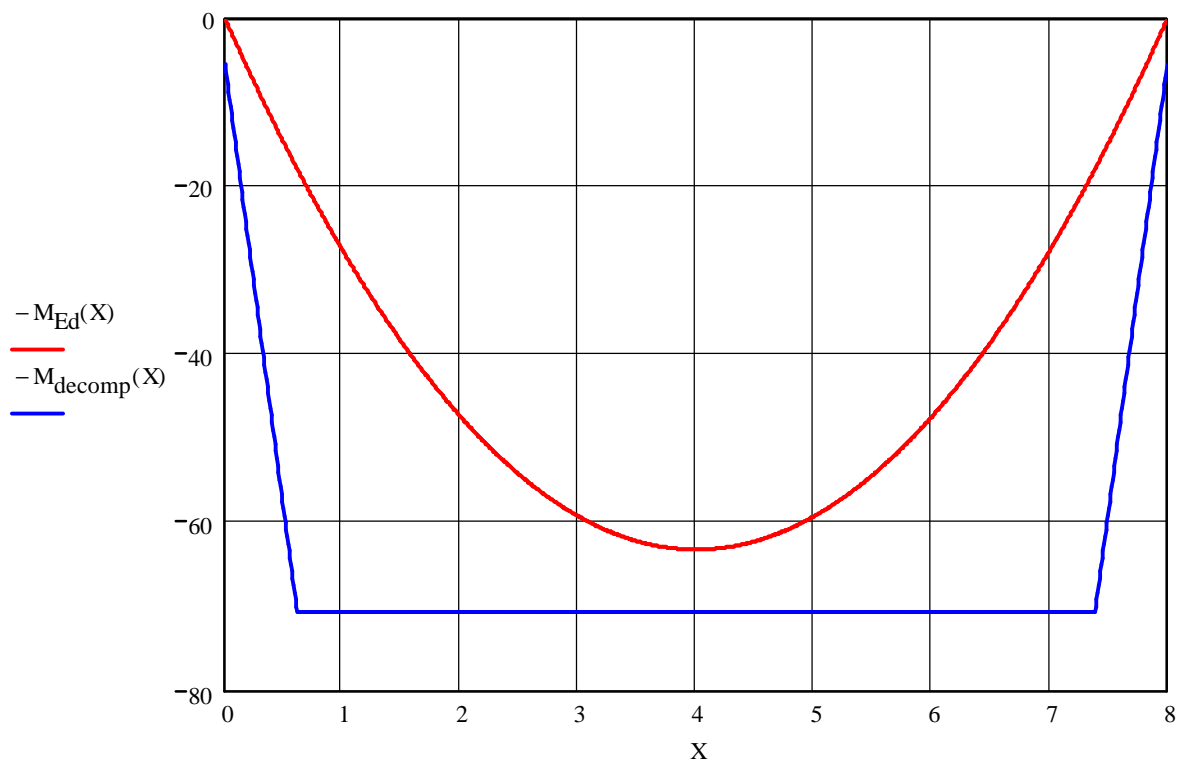
$$M_{\text{decomp}}(x) := \left[\sigma_c(x) \cdot \frac{I}{(Y - a_{p,\min} - \Delta a_p)} + M_{\text{pt2}}(x) \right] \cdot 10^{-6}$$

Quasi-blijvende belastingcombinatie:

$$\text{QUASI} := \text{Lasttabel}(L, \text{StrookBreedte}, p_{k,G1} + p_{k,G2}, p_{k,Q}, \text{LijnPuntLasten}, \gamma_{\text{inc}}, \psi_2)$$

Maatgevend moment op afstand x:

$$M_{\text{Ed}}(x) := \int_0^x \text{Dwarskracht}(L, \text{QUASI}, z) dz$$



Positie van het maximum moment: $\Delta L := 0.05$

$$\text{pos} := 0.5 \cdot L$$

Given

$$(M_{\text{Ed}}(\text{pos}) - M_{\text{Ed}}(\text{pos} - \Delta L)) \cdot (M_{\text{Ed}}(\text{pos}) - M_{\text{Ed}}(\text{pos} + \Delta L)) > 0$$

$$x_{\text{max}} := \text{Find}(\text{pos})$$

$$x_{\text{max}} = 4.000 \quad \text{m}$$

7.3.4 Berekening van scheurwijdtes

Frequente belastingscombinatie:

$$\text{FREQ} := \text{Lasttabel}(L, \text{StrookBreedte}, p_{k.G1} + p_{k.G2}, p_{k.Q}, \text{LijnPuntLasten}, \gamma_{inc}, \psi_1)$$

Maatgevend moment op afstand x:

$$M_{Ed}(x) := \int_0^x \text{Dwarskracht}(L, \text{FREQ}, z) dz$$

Positie van het maximum moment: $\Delta L := 0.05$

pos := 0.5 · L

Given

$$(M_{Ed}(\text{pos}) - M_{Ed}(\text{pos} - \Delta L)) \cdot (M_{Ed}(\text{pos}) - M_{Ed}(\text{pos} + \Delta L)) > 0$$

$$x_{\max} := \text{Find}(\text{pos}) \quad x_{\max} = 4.000 \text{ m}$$

Maximum moment frequent lastcombinatie:

$$M_{Ed,\max} := M_{Ed}(x_{\max}) \quad M_{Ed,\max} = 66.55 \quad \text{kNm}$$

Bepaling van de staalspanning uitgaande van een gescheurde doorsnede:

Aangenomen wordt dat ξ_1 gelijk is aan ξ volgens 6.8.2: $\xi_1 := 0.6$

Betondrukkraft bij betonstuk ϵ_c :

$$N_c(x, \epsilon_c) := \int_0^x \epsilon_c \cdot \frac{y}{x} \cdot E_{cm} \cdot b(h_c - x + y) dy$$

Betondrukmoment t.o.v. neutrale lijn bij betonstuk ϵ_c :

$$M_c(x, \epsilon_c) := \int_0^x \epsilon_c \cdot \frac{y}{x} \cdot E_{cm} \cdot b(h_c - x + y) \cdot y dy$$

Toename staalspanning bij betonstuk ϵ_c :

$$\Delta \sigma_p(x, \epsilon_c) := \frac{\epsilon_c}{x} \cdot (h_c - x - WAP^{\langle y_p \rangle}) \cdot E_p \cdot \xi_1$$

Staalspanning bij betonstuk ϵ_c :

$$\sigma_p(x, \epsilon_c) := \sigma_{pmt} + \Delta \sigma_p(x, \epsilon_c)$$

Staaltrekkracht bij betonstuk ϵ_c :

$$N_p(x, \epsilon_c) := \sum \left(\overrightarrow{WAP^{\langle A_p \rangle} \cdot WAP^{\langle n_p \rangle} \cdot \sigma_p(x, \epsilon_c)} \right)$$

Moment door het voorspanstaal t.o.v. neutrale lijn bij betonstuk ϵ_c :

$$M_p(x, \epsilon_c) := \sum \left[\overrightarrow{WAP^{\langle A_p \rangle} \cdot WAP^{\langle n_p \rangle} \cdot \sigma_p(x, \epsilon_c) \cdot (h_c - x - WAP^{\langle y_p \rangle})} \right]$$

start waarden: $x := 0.5 \cdot h_c$ $\varepsilon := 0.00050$

Given

$$|N_p(x, \varepsilon) - N_c(x, \varepsilon)| < 10$$

$$|M_p(x, \varepsilon) + M_c(x, \varepsilon) - M_{Ed.max} \cdot 10^6| < 500$$

$$\begin{pmatrix} x \\ \varepsilon \end{pmatrix} := \text{Find}(x, \varepsilon)$$

Resultaat: $x = 54.0$ $\varepsilon = 0.000483$

Spanningsverandering in het voorspanstaal:

$$\Delta\sigma_p(x, \varepsilon) = \begin{pmatrix} 117.0 \\ 119.1 \\ -19.9 \end{pmatrix}$$

Bepaling $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$ volgens formule 7.9:

$$\alpha_e := \frac{E_p}{E_{cm}} \quad \alpha_e = 5.97$$

$k_t := 0.4$ voor langdurende belasting

$$f_{ct,eff} := f_{ctm} \quad f_{ct,eff} = 3.80$$

$$h_{c,eff} := \min \left[2.5 \cdot \left(h_c - \min \left(WAP \langle y_p \rangle \right) \right), \frac{h_c - x}{3}, \frac{h_c}{2} \right] \quad h_{c,eff} = 48.7$$

Wapening in het effectieve oppervlak van het beton onder trek:

$$WAP_{eff} := \begin{cases} r \leftarrow 0 \\ \text{for } t \in 0.. \text{length}(WAP \langle A_p \rangle) - 1 \\ \quad \text{if } (WAP \langle y_p \rangle)_t \leq h_{c,eff} \\ \quad \quad \left| \begin{array}{l} R \langle r \rangle \leftarrow (WAP^T) \langle t \rangle \\ r \leftarrow r + 1 \end{array} \right. \\ R^T \end{cases} \quad WAP_{eff} = \begin{pmatrix} 22 & 0 & 12.5 & 93 & 34 & 1100 \\ 22 & 8 & 9.3 & 52 & 32 & 1100 \end{pmatrix}$$

Zwaartepunt van de wapening in het effectieve oppervlak van het beton onder trek:

$$y_{p,eff} := \frac{\sum \left(WAP_{eff} \langle n_p \rangle \cdot WAP_{eff} \langle A_p \rangle \cdot WAP_{eff} \langle y_p \rangle \right)}{\sum \left(WAP_{eff} \langle n_p \rangle \cdot WAP_{eff} \langle A_p \rangle \right)} \quad y_{p,eff} = 32$$

Effectieve oppervlakte van het beton onder trek:

$$A_{c,eff} := \int_0^{h_{c,eff}} b(y) dy \quad A_{c,eff} = 51433$$

$$\rho_{p,eff} := \frac{\sum \left(WAP_{eff}^{\langle n_p \rangle} \cdot WAP_{eff}^{\langle A_p \rangle} \right)}{A_{c,eff}} \quad \rho_{p,eff} = 0.00809$$

Formule 7.9:

$$\Delta \varepsilon_m := \max \left[0.6 \frac{\max(\Delta \sigma_p(x, \varepsilon))}{E_p}, \frac{\max(\Delta \sigma_p(x, \varepsilon)) - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_p} \right] \quad \Delta \varepsilon_m = 0.00037$$

Bepaling van de scheurafstand:

Aanhechteigenschappen van de hechtende wapening:

$k_1 := 1.6$	staven met een feitelijk glad oppervlak (bijv. voorspanelementen)
$k_2 := 0.5$	buiging
$k_3 = 3.4$	NDP
$k_4 = 0.425$	NDP

Dekking op de onderwapening:

$$c_{applied} := \min \left(WAP_{eff}^{\langle y_p \rangle} - 0.5 \cdot WAP_{eff}^{\langle \phi_p \rangle} \right) \quad c_{applied} = 27.4 \quad \text{mm}$$

Gelijkwaardige staafdiameter:

$$\phi_{eq} := \frac{\sum \left[WAP_{eff}^{\langle n_p \rangle} \cdot \left(WAP_{eff}^{\langle \phi_p \rangle} \right)^2 \right]}{\sum \left(WAP_{eff}^{\langle n_p \rangle} \cdot WAP_{eff}^{\langle \phi_p \rangle} \right)} \quad \phi_{eq} = 9.3 \quad \text{mm}$$

Scheurafstand volgens formule 7.11:

$$s_{r,max.11} := k_3 \cdot c_{applied} + \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \phi_{eq}}{\rho_{p,eff}} \quad s_{r,max.11} = 483.9 \quad \text{mm}$$

Scheurafstand volgens formule 7.14:

$$s_{r,max.14} := 1.3 \cdot (h_c - x) \quad s_{r,max.14} = 189.7 \quad \text{mm}$$

Maximum staafafstand voor toepassing formule 7.11:

$$Spacing_{max} := 5 \cdot \left(c_{applied} + \frac{\phi_{eq}}{2} \right) \quad Spacing_{max} = 160.0 \quad \text{mm}$$

Toegepaste staafafstand:

$$Spacing_{applied} := \frac{1000 \text{ StrookBreedte}}{\sum WAP_{eff}^{\langle n_p \rangle}} \quad Spacing_{applied} = 150.0 \quad \text{mm}$$

Scheurafstand:

$$s_{r,max} := \text{if}(\text{Spacing}_{\text{applied}} \leq \text{Spacing}_{\text{max}}, s_{r,max.11}, s_{r,max.14}) \quad s_{r,max} = 483.9 \quad \text{mm}$$

Scheurwijdte:

$$w_k := s_{r,max} \cdot \Delta \epsilon_m \quad w_k = 0.18 \quad \text{mm}$$

Toelaatbare scheurwijdte:

$$w_{\text{max}} := w_{\text{max}} \cdot k_x(c_{\text{applied}}, c_{\text{nom}}) \quad w_{\text{max}} = 0.29 \quad \text{mm}$$

Toets("Scheurwijdte", w_k , w_{max}) = "Voldoet"

