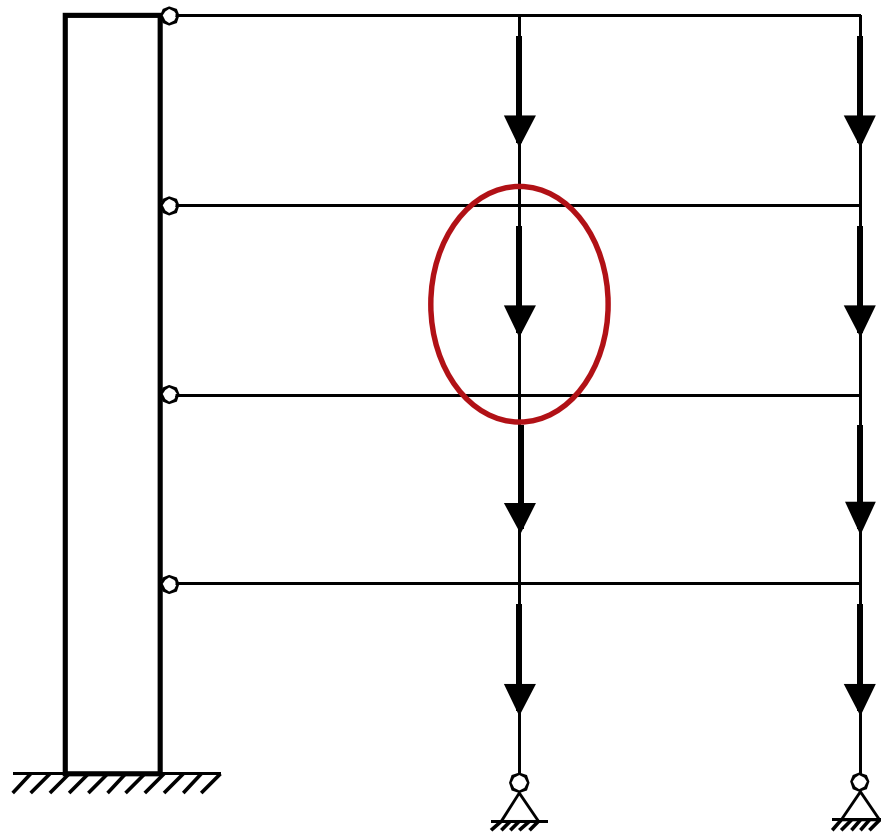




Verticaal dragende wanden (in een geschoord raamwerk)

Dr. ir. Rob van der Pluijm

Onderwerp



Krachtsverdeling

- Bij het bepalen van het effect van de belasting hoort het volgende te zijn beschouwd:
 - Verticale belastingen die direct op de wand werken;
 - Tweede-orde effecten;
 - Excentriciteiten die volgen uit afwijkingen tijdens de uitvoering en verschillen in materiaaleigenschappen van de afzonderlijke delen;
 - Excentriciteiten berekend op basis van de kennis van de verdeling van de wanden op de plattegronden, de interactie met de vloeren en verstijvende wanden.

Krachtsverdeling

■ Tweede-orde effecten

- Tweede-orde effecten worden impliciet meegenomen bij de toets volgens de Φ -methode en de NPR 9096-1-1.
- Worden vooralsnog niet beschouwd bij het bepalen van de krachtsverdeling.

Toets

- Dragende wanden moeten voldoen aan:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

- waarin:

- N_{Ed} is de rekenwaarde van de normaalkracht bij de relevante fundamentele belastingscombinatie
- N_{Rd} is de capaciteit van de wand

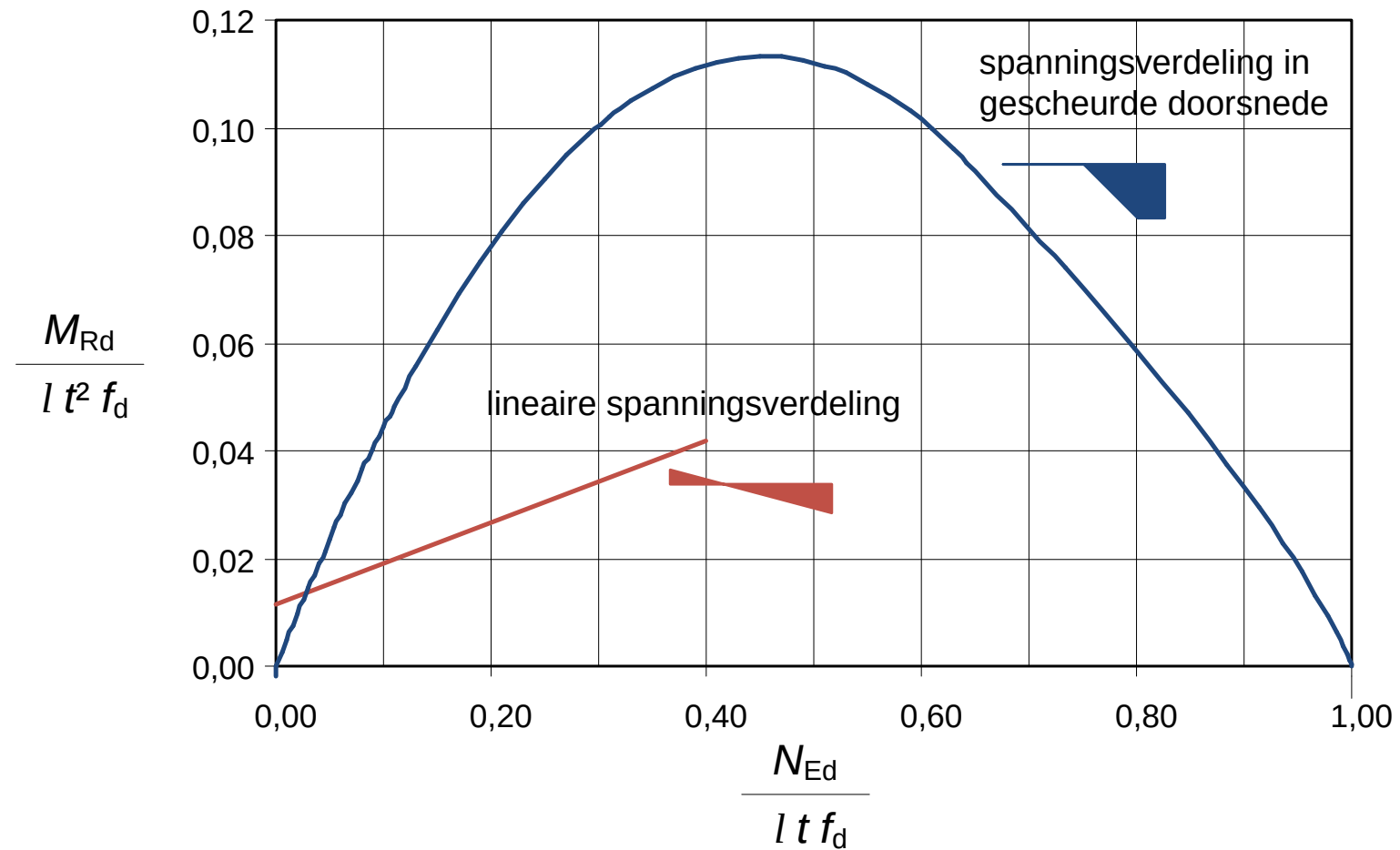
- De grootte van N_{Rd} kan op verschillende wijzen worden bepaald.

Methoden van toetsen

Bepalingsmethoden voor N_{Rd} :

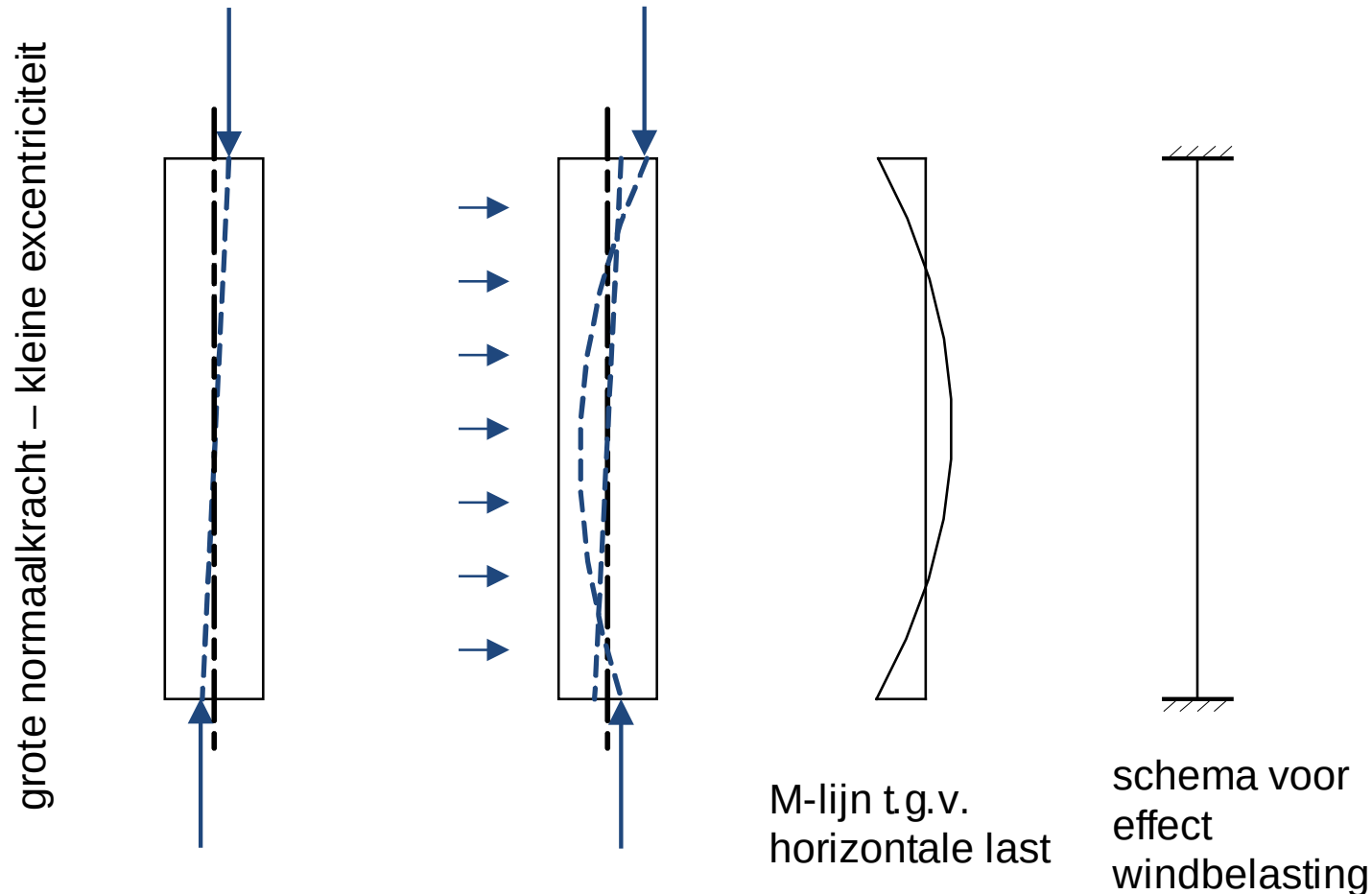
1. de ϕ -methode volgens 6.1.2.2 van EN 1996-1-1 voor voornamelijk normaalkracht belaste wanden;
2. de methode met gebruik van de schijnbare buigtreksterkte volgens 6.4.3 van EN 1996-1-1 voor wanden belast door zowel normaalkrachten als een horizontale belasting.

Methoden van toetsen



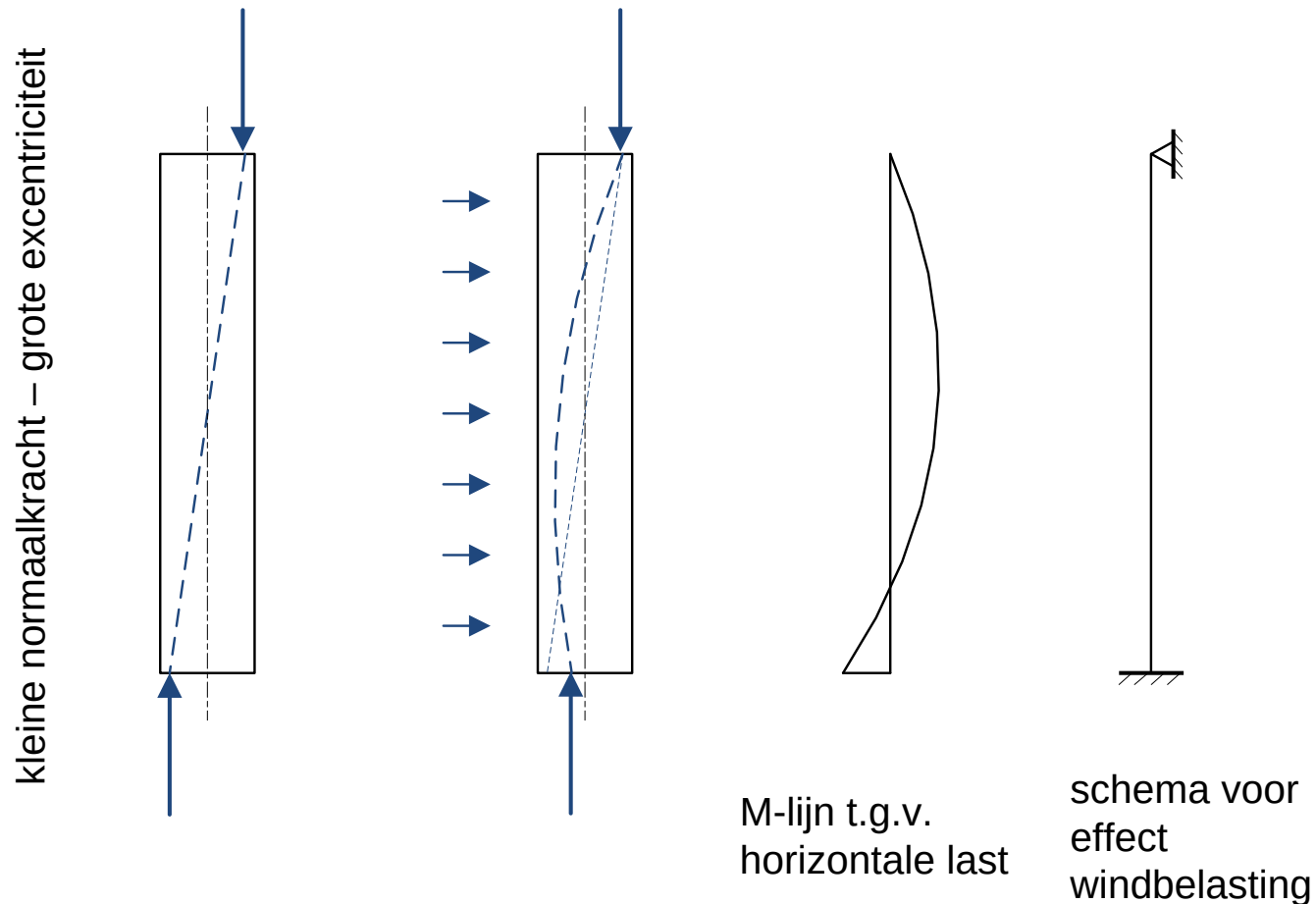
Dragende wanden en wind

- Schematisering wand met grote normaalkracht:



Dragende wanden en wind

- Schematisering wand met kleine normaalkracht:



Krachtsverdeling

■ Tweede-orde effecten

- Tweede-orde effecten worden impliciet meegenomen bij de toets volgens de Φ -methode
- Bij de toets met behulp van de schijnbare buigtreksterkte wordt niet vermeld hoe de tweede-orde effecten in rekening kunnen worden gebracht.
 - Aangezien de wand in dit geval ongescheurd blijft en de stijfheid groot, zullen eventuele tweede-orde effecten zeer beperkt zijn en veelal verwaarloosd kunnen worden.
 - De Nederlands nationale bijlage geeft hier wel een bepalingmethode voor

Geometrische voorwaarden

- Effectieve wandhoogte en wanddikte

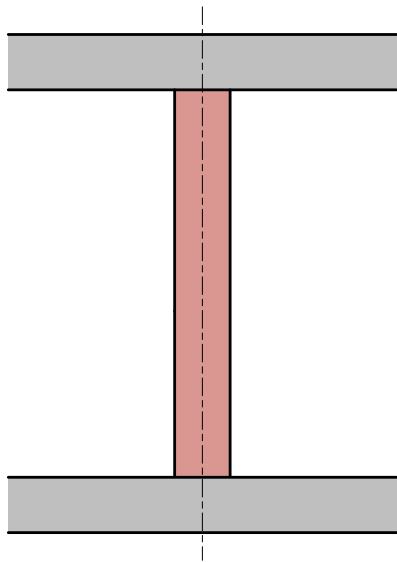
$$h_{\text{ef}} = \rho_n \cdot h$$

- waarin:

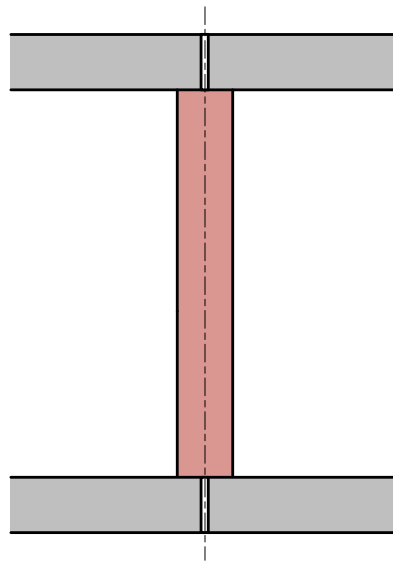
- ρ_n reductiefactor waarbij $n = 2, 3$ of 4 afhankelijk van de randvoorwaarden of de verstijvingen van de wand
- h_{ef} effectieve hoogte van de wand
- h de vrije verdiepingshoogte van de wand

Geometrische voorwaarden

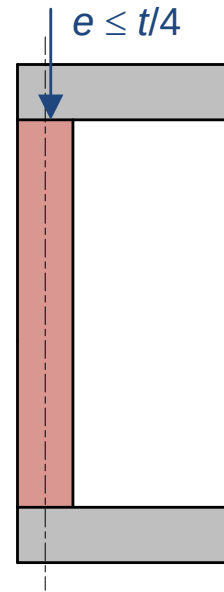
- Grootte van ρ_2 voor gewapende betonvloeren



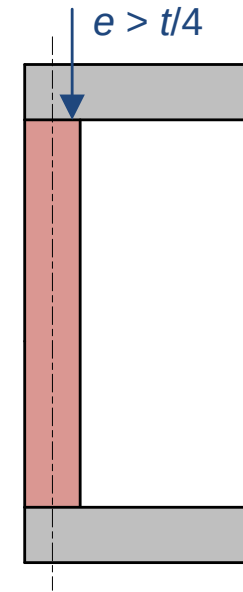
$$\rho_2 = 0,75$$



$$\rho_2 = 0,75$$



$$\rho_2 = 0,75$$



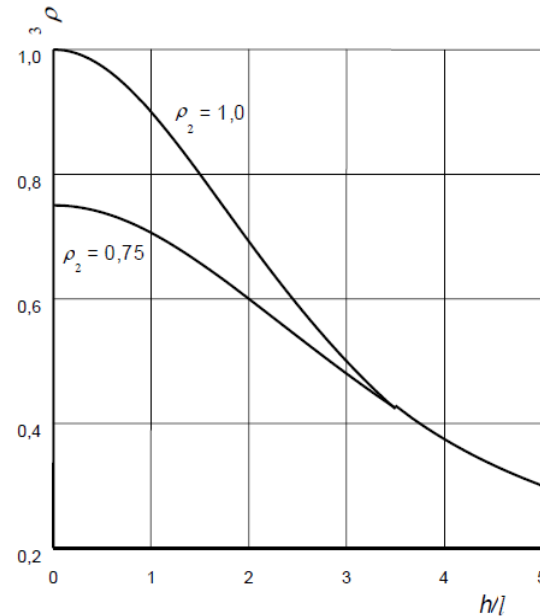
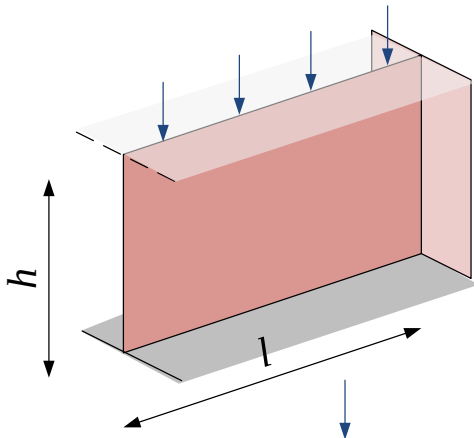
$$\rho_2 = 1,0$$

- Overige gevallen $\rho_2 = 1.0$

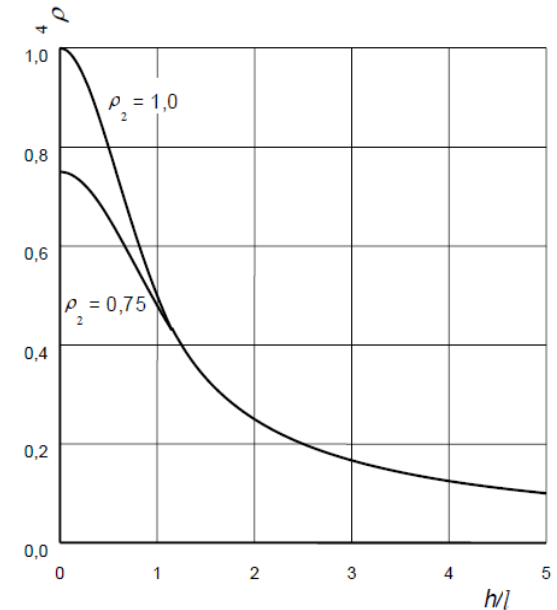
Geometrische voorwaarden

■ Effectieve hoogte bij 3- en 4-zijdig gesteunde wanden

- ρ_3 : 1 verticale rand is gesteund door een verstijwingswand
- ρ_4 : 2 verticale randen zijn gesteund door een verstijwingswand



Figuur D.1 — Grafiek voor ρ_3 volgens vergelijkingen 5.6 en 5.7

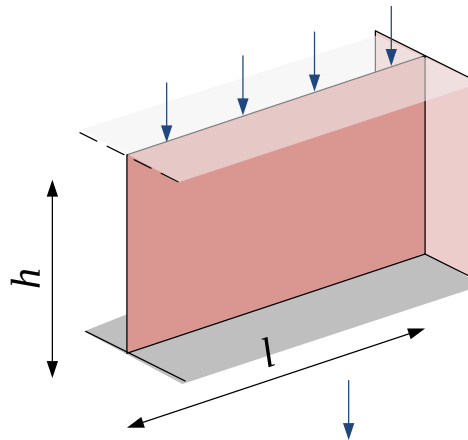


Figuur D.2 — Grafiek voor ρ_4 volgens vergelijkingen 5.8 en 5.9

Geometrische voorwaarden

■ Verstijwingswand

- lengte $> 1/5$ vrije hoogte
- dikte $> 0,3 \cdot$ dikte gesteunde wand
- lengte van de gesteunde wand < 15 t bij 1 rand of < 30 t bij twee randen





Geometrische voorwaarden

- Effectieve dikte spouwmuur:

$$t_{\text{ef}} = \sqrt[3]{k_{\text{tef}} t_1^3 + t_2^3}$$

- waarin:

- t_{ef} is de effectieve wanddikte
- t_1, t_2 zijn de dikten van beide bladen
- $k_{\text{tef}} = E_1/E_2$ en ≤ 2

Geometrische voorwaarden

- Slankheid van de dragende wand:

$$\frac{h_{\text{ef}}}{t_{\text{ef}}} \leq 27$$

Krachtsverdeling

- Excentriciteit die afwijkingen verdisconteert

- Initiële excentriciteit e_{init}

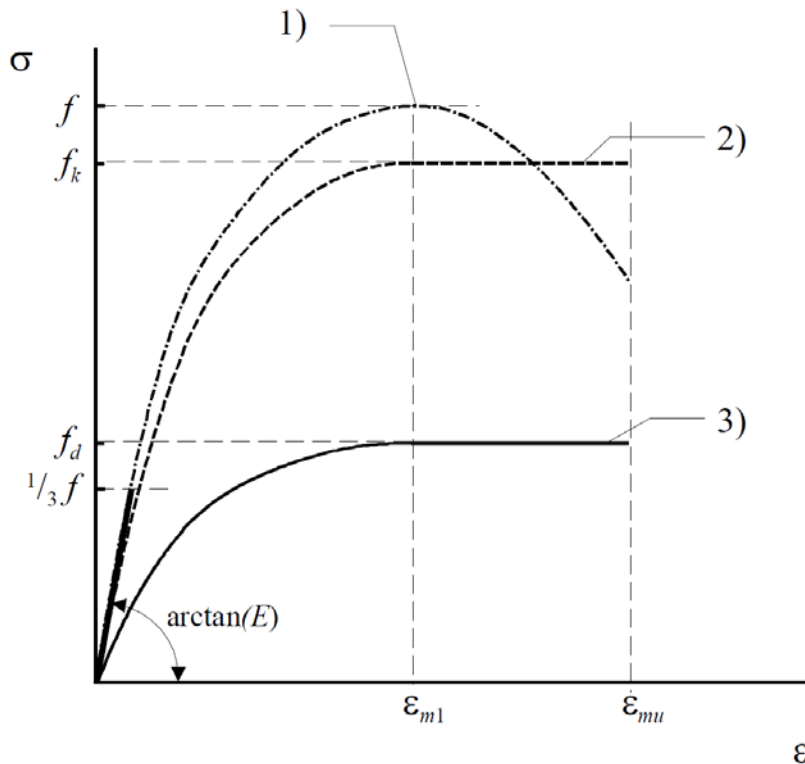
- $h_{ef}/450$ voor het toetsen van de doorsnede aan de boven- of onderzijde van de wand.
 - $h_{ef}/450$ voor het toetsen van de doorsnede in het midden van de hoogte van de wand.

Krachtsverdeling

- Bepaling van de excentriciteiten ten gevolge van interactie met de vloeren
 - In 5.1 is gesteld dat de krachtsverdeling zowel met een niet-lineaire als met een lineaire elasticiteitstheorie kan worden bepaald.
 - Bij gebruik van de lineaire elasticiteitstheorie:
 - $E = 1000 f_k$
 - Bij gebruik van de niet-lineaire theorie moet worden uitgegaan van de σ - ε -relatie zoals in 3.7.1 is beschreven.

Krachtsverdeling

■ Spanningsrekrelatie van metselwerk onder druk



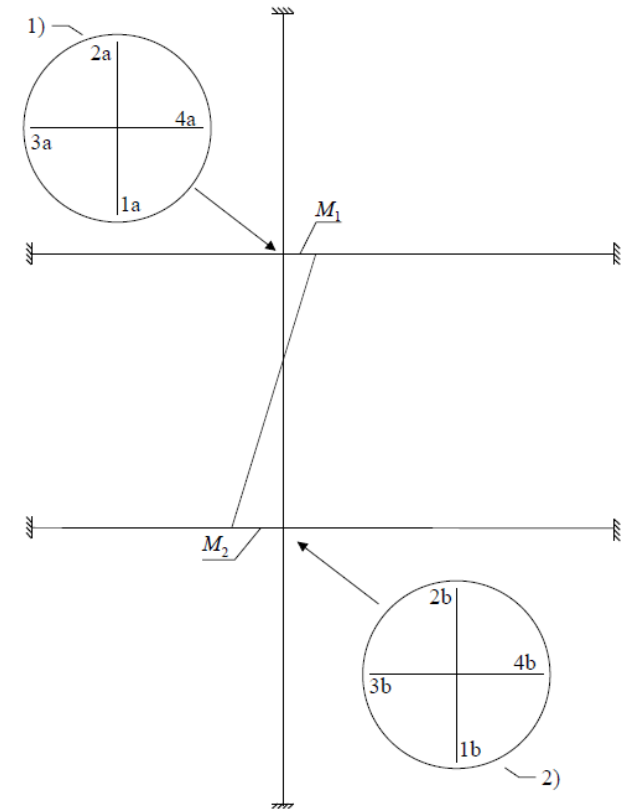
Verklaring

- 1 typerend diagram
- 2 geïdealiseerd diagram (parabolisch-rechthoekig)
- 3 ontwerpdiagram

Krachtsverdeling

- Lineair elastische raamwerk-berekening
- Bijlage C

$$M_1 = \frac{\frac{n_1 E_1 I_1}{h_1}}{\frac{n_1 E_1 I_1}{h_1} + \frac{n_2 E_2 I_2}{h_2} + \frac{n_3 E_3 I_3}{l_3} + \frac{n_4 E_4 I_4}{l_4}} \left[\frac{w_3 l_3^2}{4(n_3 - 1)} - \frac{w_4 l_4^2}{4(n_4 - 1)} \right]$$



Verklaring

- 1 raamwerk a
- 2 raamwerk b

Krachtsverdeling

$$M_1 = \frac{\frac{n_1 E_1 I_1}{h_1}}{\frac{n_1 E_1 I_1}{h_1} + \frac{n_2 E_2 I_2}{h_2} + \frac{n_3 E_3 I_3}{l_3} + \frac{n_4 E_4 I_4}{l_4}} \left[\frac{w_3 l_3^2}{4 (n_3 - 1)} - \frac{w_4 l_4^2}{4 (n_4 - 1)} \right]$$

■ waarin:

- $E_i I_i$ is de buigstijfheid van element i
- h_i is de hoogte van wand i
- l_i is de overspanning van vloer i
- w_i is de belasting op vloer i
- n_i is een stijfheidsfactor, 4 voor een inklemming en 3 voor overige situaties



Krachtsverdeling

- De eindmomenten die volgen uit de berekening volgens de lineaire-elasticiteitstheorie mogen volgens bijlage C, ter compensatie van de niet volledig stijve aansluiting tussen vloeren en wanden, worden gereduceerd door ze vermenigvuldigen met de factor η .
- Uiteraard dient in dat geval ook het moment in het midden van de wand te worden aangepast, zodat de momentensom over de wand gelijk blijft.

Krachtsverdeling

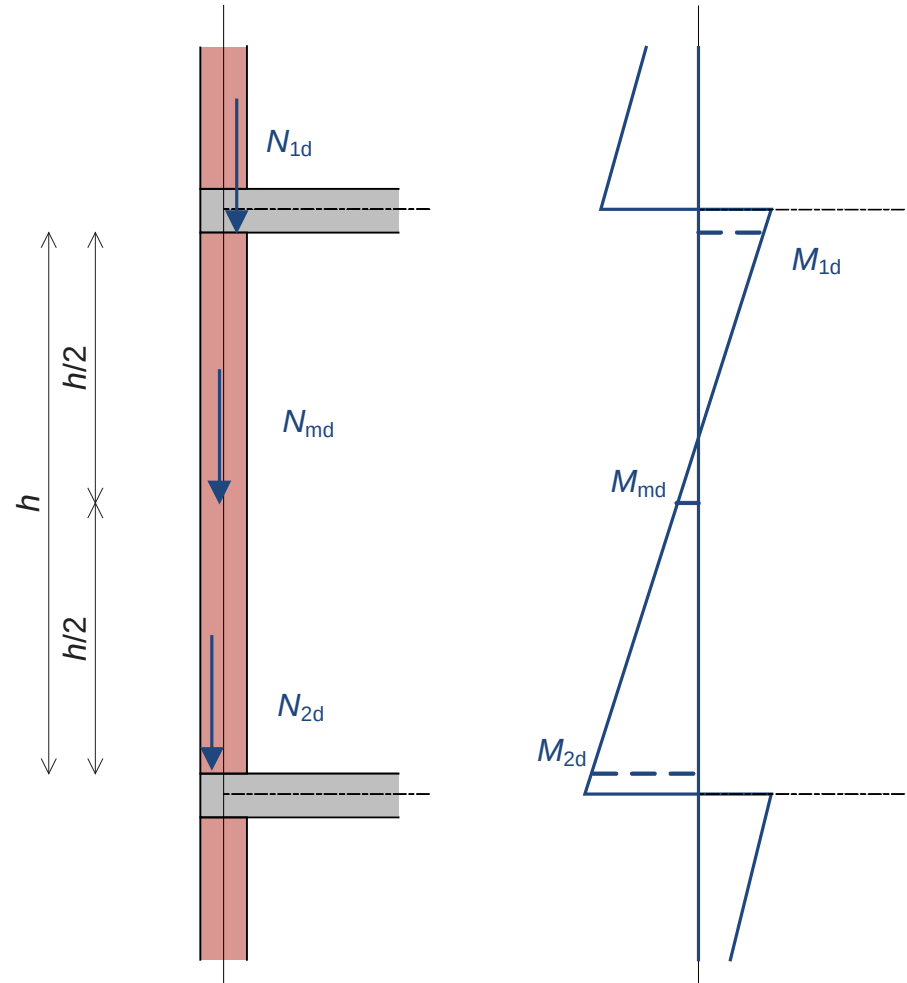
- De grootte van de factor η mag zijn verkregen uit experimenten of aangenomen zijn als $(1 - k_m/4)$,
- waarbij:

$$k_m = \frac{n_3 \frac{E_3 l_3}{l_3} + n_4 \frac{E_4 l_4}{l_4}}{n_1 \frac{E_1 l_1}{h_1} + n_2 \frac{E_2 l_2}{h_2}} \leq 2$$

Toets met Φ -methode (6.1.2 van EN 1996-1-1)

- De wand wordt getoetst op drie plaatsen:

- bovenin (1)
- midden (m)
- onderin (2)



Toets met Φ -methode

- De capaciteit van de wand in de verschillende doorsneden per eenheid van lengte volgt uit:

$$N_{Rd} = \Phi t f_d$$

- waarin:
 - Φ is de reductiefactor voor de capaciteit van de wand, respectievelijk Φ_i en Φ_m , rekening houdend met de effecten van de slankheid en de excentriciteit van de belasting;
 - t is de dikte van de wand;
 - f_d is de rekenwaarde van de druksterkte

Toetsing van wanden voornamelijk belast door normaalkrachten

- Onder- en bovenzijde van de wand

- $\Phi_i = 1 - \frac{2e_i}{t}$
- $e_i = \frac{M_{id}}{N_{id}} + e_{he} + e_{init} \geq 0,05 t$

- midden van de wand

- Φ op basis van bijlage G
- $e_{mk} = \frac{M_{mEd}}{N_{mEd}} + e_{init} + e_k \geq 0,05 t$
- λ_c zie 6.1.2.2 (2)
 - BE ABN waarde = 15 (NB Let op de kruipfactor)

Toets met Φ -methode

Toets aan boven- en onderzijde van de wand

- De waarde van reductiefactor Φ_i volgt uit:

$$\Phi_i = 1 - 2e_i/t$$

- waarin:
 - e_i is de excentriciteit aan de boven- of onderzijde van de wand.

Toets met Φ -methode

$$\blacksquare \quad e_i = \frac{M_{id}}{N_{id}} + e_{he} + e_{init} \geq 0,05 t$$

waarin

- M_{id} is de rekenwaarde van het buigend moment aan de boven- of onderzijde van de wand dat het gevolg is van de excentriciteit van de belasting uit de vloer bij de oplegging;
- N_{id} is de rekenwaarde van de normaalkracht aan de boven- of onderzijde van de wand;
- e_{he} is eventuele excentriciteit aan de boven- of onderzijde van de wand veroorzaakt door de horizontale belasting.

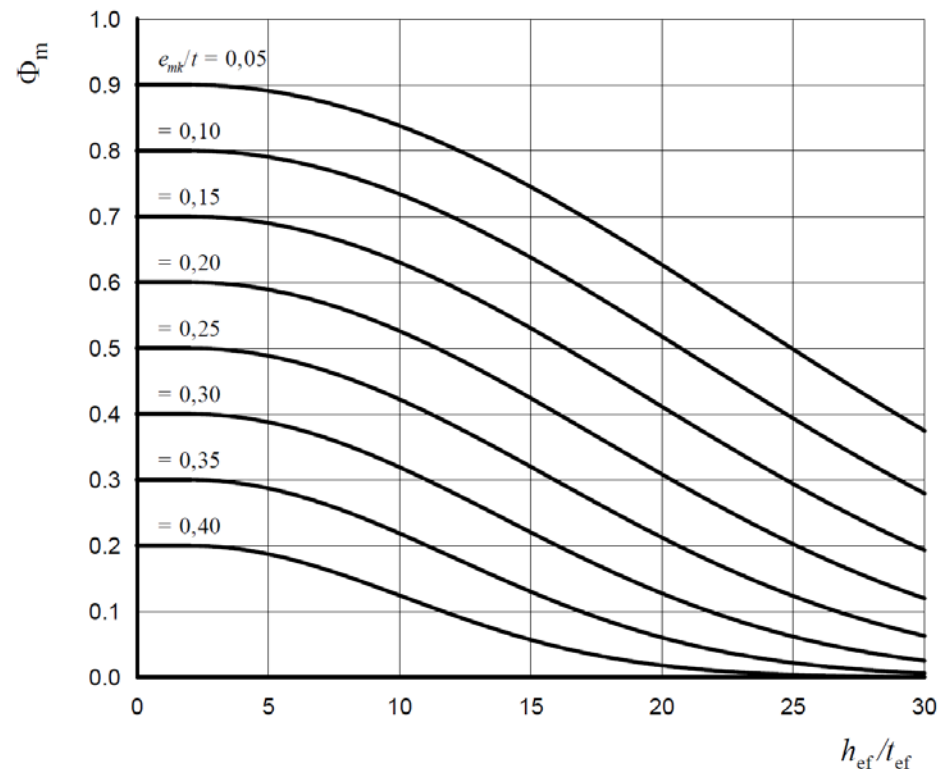
Toets met Φ -methode

Toets in het midden van de wand

- De grootte van de reductiefactor Φ_m kan worden bepaald met bijlage G van EN 1996-1-1 op basis van

- e_{mk}
- slankheid

(grafiek geldt voor $E = 1000 f_k$)



Toets met Φ -methode

- De grootte van de excentriciteit e_{mk} volgt uit:

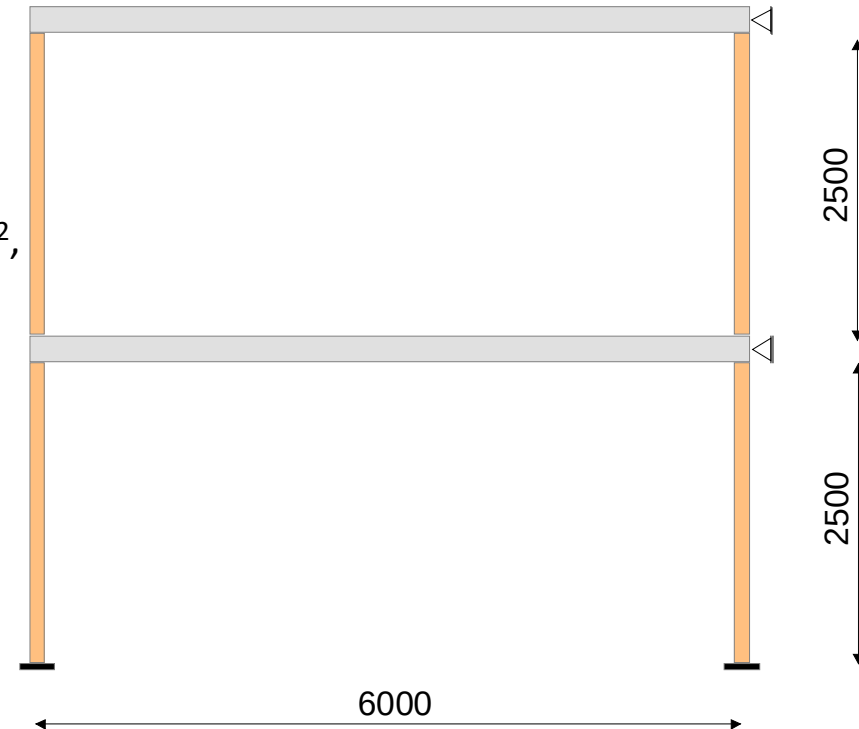
$$e_{mk} = \frac{M_{md}}{N_{md}} + e_{hm} + e_{init} + e_k \geq 0,05t$$

waarin:

- e_k is de excentriciteit ten gevolge van kruip,
mag worden verwaarloosd als de slankheid < 15

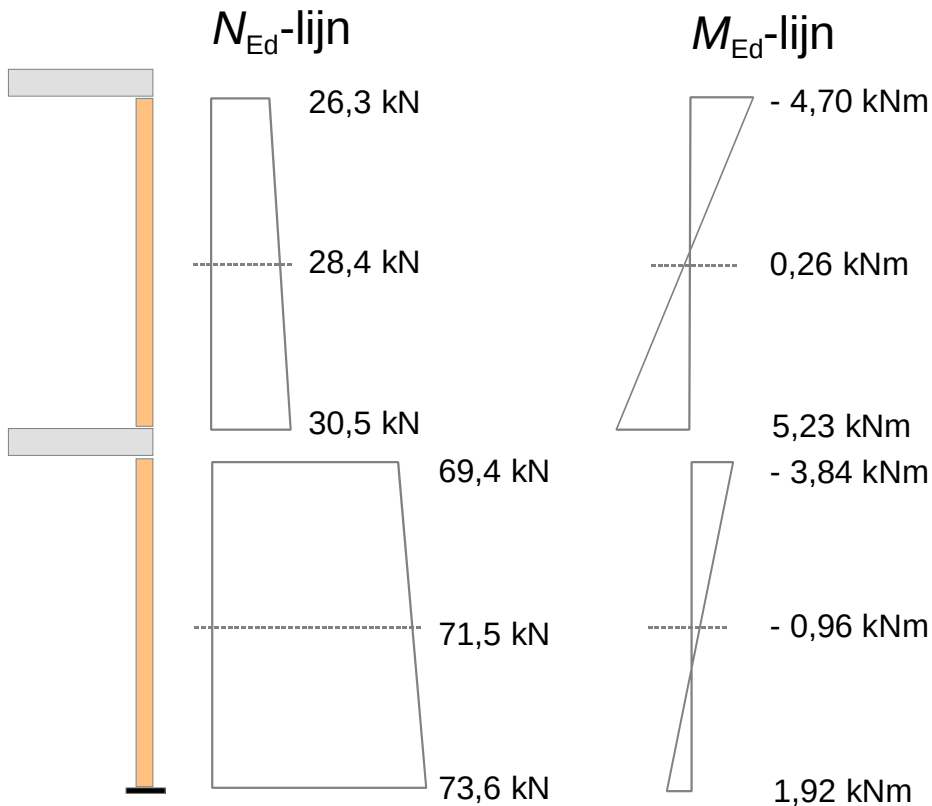
Rekenvoorbeeld

- geometrie: wandhoogte: $h = 2500 \text{ mm}$
wanddikte: $t = 140 \text{ mm}$
vloeroverspanning: $l_v = 6000 \text{ mm}$
vloerdikte: $h_v = 220 \text{ mm}$
- materialen: wand: gelijmd PLS 500 - 15 N/mm^2 , $f_k = 4,36 \text{ N/mm}^2$,
 $E = 4360 \text{ N/mm}^2$
vloer: beton C20/25, $E_c = 30.000 \text{ N/mm}^2$
- belastingen: dakvloer: permanent: $6,5 \text{ kN/m}^2$
verdieping: permanent: $7,4 \text{ kN/m}^2$
veranderlijk: $2,5 \text{ kN/m}^2$ $\Psi_0 = 0,7$
wand: permanent: $2,2 \text{ kN/m}^2$
- partiële factoren:
 $\gamma_M = 2,5$, $\gamma_{e.g} = 1,35$, $\gamma_Q = 1,5$



Rekenvoorbeeld

- Krachtsverdeling per m lengte in wanden bij de fundamentele belastingscombinatie 6.10



Rekenvoorbeeld

■ Bepaling k_m

- voor de aansluitende wanden geldt:

$$\frac{E_m I_w}{h_w} = \frac{4364 \cdot 1000 \cdot 140^3}{12 \cdot 2500} = 3,99 \cdot 10^8 \text{ Nmm}$$

- voor de aansluitende vloeren geldt:

$$\frac{E_c I_v}{l_v} = \frac{30\,000 \cdot 1000 \cdot 220^3}{12 \cdot 6000} = 4,44 \cdot 10^9 \text{ Nmm}$$

- Omdat in de lineaire berekening uitgegaan is van volledig stijve aansluitingen wordt bij de bepaling van k_m uitgegaan van stijfheidsfactor n_i gelijk aan 4.

Rekenvoorbeeld

- Voor de aansluiting tussen de dakvloer en de bovenste wand geldt:

- $k_m = 11,1 \geq 2 = 2$

- $\eta = 1 - k_m/4 = 1 - 2/4 = 0,5$

- Voor de aansluiting tussen de verdiepingsvloer en de beide wanden geldt:

- $k_m = 5,6 \geq 2 = 2$

- $\eta = 1 - k_m/4 = 1 - 2/4 = 0,5$

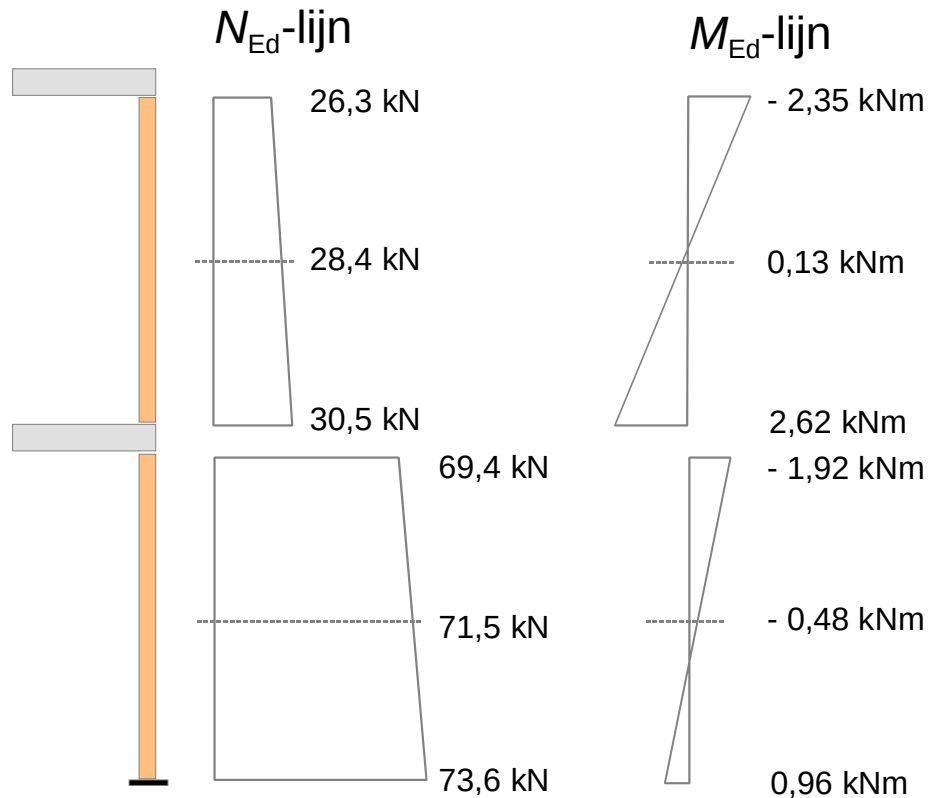


Rekenvoorbeeld

- Voor beide knopen mogen de momenten worden gehalveerd.
- Overeenkomstig zal dan ook het moment ter plaatse van de inklemming van de voet worden gehalveerd.

Rekenvoorbeeld

- Dit leidt tot de volgende, gecorrigeerde krachtsverdeling in de beschouwde wanden:



Rekenvoorbeeld

Toets van de wand op de begane grond:

- Aangenomen wordt dat de excentriciteiten aan de bovenzijde van de wand kleiner zijn dan $0,25 t$
 - $h_{ef} = \rho_2 h = 0,75 \cdot 2500 = 1875 \text{ mm}$
 - $t_{ef} = 140 \text{ mm}$ (invloed buitenblad verwaarloosd)
 - $h_{ef}/t_{ef} = 1875 / 140 = 13,4 < 27$ en < 15
- e_k mag worden verwaarloosd

Rekenvoorbeeld

- Bepaling van de excentriciteiten aan de bovenzijde:

- $e_{\text{init}} = h_{\text{ef}} / 450 = 1875 / 450 = 4,2 \text{ mm}$

- $e_1 = \frac{M_{1\text{iEd}}}{N_{1\text{Ed}}} + e_{\text{init}} = \frac{1,92 \cdot 10^6}{69,4 \cdot 10^3} + 4,2 = 27,7 + 4,2 = 31,8 \text{ mm} \geq 0,05 t$

- Bepaling van de reductiefactor:

- $\Phi_1 = \left(1 - \frac{2e_i}{t}\right) = \left(1 - \frac{2 \cdot 31,8}{140}\right) = 0,55$

Rekenvoorbeeld

- Bepaling van de capaciteit van de doorsnede:

- $N_{1Rd} = \phi_1 / t f_d = 0,51 \cdot 1000 \cdot 140 \cdot 1,75 \cdot 10^{-3} = 133 \text{ kN}$

Toets

- $N_{1Ed} \leq N_{1Rd} \Leftrightarrow 69,4 \text{ kN} \leq 133 \text{ kN}$

- De beschouwde doorsnede aan de bovenzijde van de wand is voldoende sterk.
- In de doorsnede aan de onderzijde is het moment kleiner, deze doorsnede zal daarom ook voldoen.

Rekenvoorbeeld

Doorsnede in het midden van de wand:

- $e_{\text{init}} = 4,2 \text{ mm}$
- De excentriciteit ten gevolge van de kruip, e_k , mag worden verwaarloosd, zodat:
- $$e_{\text{mk}} = \frac{M_{\text{mEd}}}{N_{\text{mEd}}} + e_{\text{init}} + e_k = \frac{0,48 \cdot 10^6}{71,5 \cdot 10^3} + 4,2 + 0 = 10,9 \text{ mm}$$

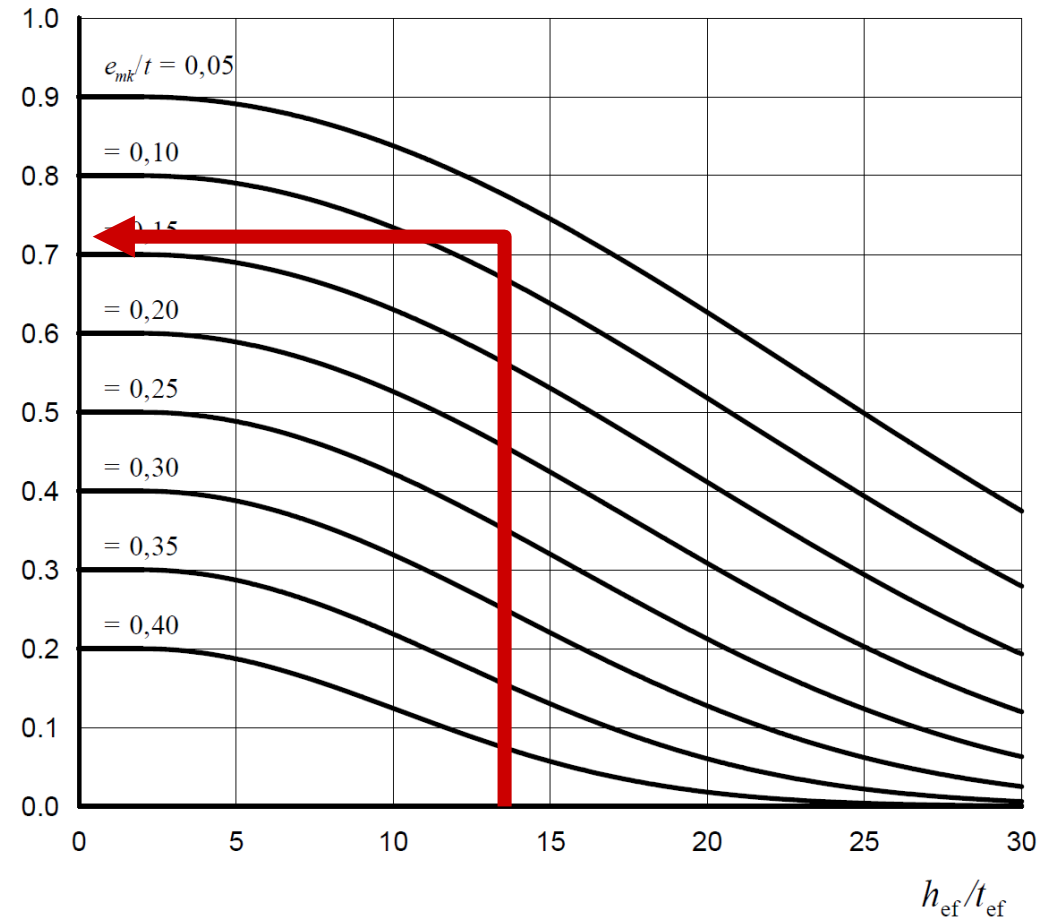
Rekenvoorbeeld

- Bepaling Φ_m met bijlage G: Φ_m

- $e_{mk} / t = 10,9 / 140 = 0,078$

- $h_{ef}/t_{ef} = 13,4$

- $\Phi_m = 0,72$



Rekenvoorbeeld

- Op basis van deze waarde kan de capaciteit in het midden van de wand worden bepaald:

$$- N_{mRd} = \Phi_m / t f_d = 0,72 \cdot 1000 \cdot 140 \cdot 1,75 \cdot 10^{-3} = 176 \text{ kN}$$

Toets

$$- N_{mEd} \leq N_{mRd} \Leftrightarrow 71,5 \text{ kN} \leq 176 \text{ kN}$$

- De middendoorsnede is voldoende sterk.
- De wand is voldoende sterk.

Rekenvoorbeeld

Toets van de wand op de 1^{ste} verdieping:

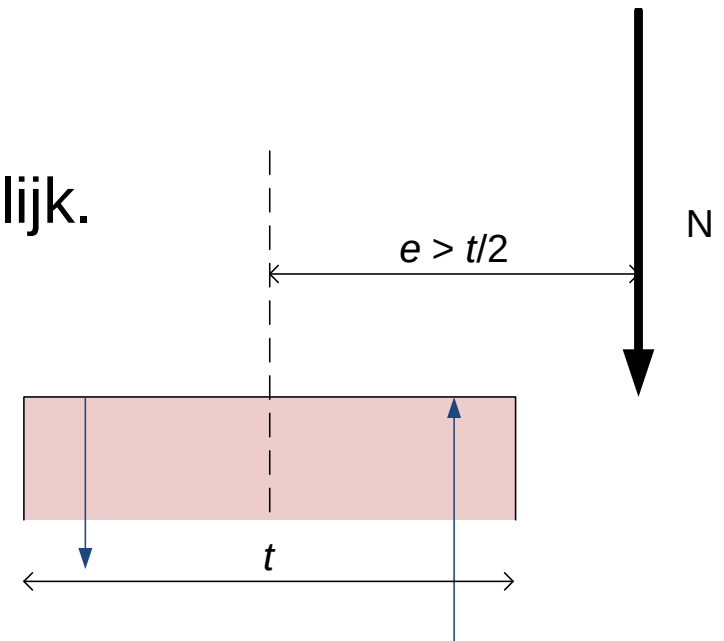
- Aangenomen wordt dat de excentriciteiten aan de uiteinden van de wand groter zijn dan $0,25 t$
- $h_{ef} = \rho_2 h = 1,0 \cdot 2500 = 2500 \text{ mm}$
- $t_{ef} = \sqrt[3]{k_{tef} t_1^3 + t_2^3}$
- Met een buitenblad van 100 mm $f_b = 30 \text{ N/mm}^2$, M10 mortel
 - $f_k = 8,1 \text{ N/mm}^2$, $E = 8111 \text{ N/mm}^2$, $E_2 / E_1 = 1,9$
- $t_{ef} = 166 \text{ mm}$
- $h_{ef} / t_{ef} = 2500 / 166 = 15 \rightarrow e_k$ mag worden verwaarloosd

Rekenvoorbeeld

- Bepaling van de excentriciteiten:

- $$e_1 = \frac{M_{1Ed}}{N_{1Ed}} + e_{init} = \frac{2,35 \cdot 10^6}{26,3 \cdot 10^3} + 5,6 = 89,4 + 5,6 = 95,0 \text{ mm}$$

- e_1 is groter dan $t / 2 = 70 \text{ mm}$.
- In de doorsnede is geen evenwicht mogelijk.
- Voldoet de wand daarom niet?



Dragende wanden

- Aangepaste wijze van bepalen van de krachtsverdeling of het uitvoeren van een toets:
 - EN 1996-1-1, indien benuttingsgraad $\leq 0,10$
 - excentriciteit aan de boven- en onderzijde van de wand is volgens bijlage C van EN 1996-1-1 begrensd tot de maximale opneembare excentriciteit
 - Berekening volgens de niet-lineaire elasticiteitstheorie

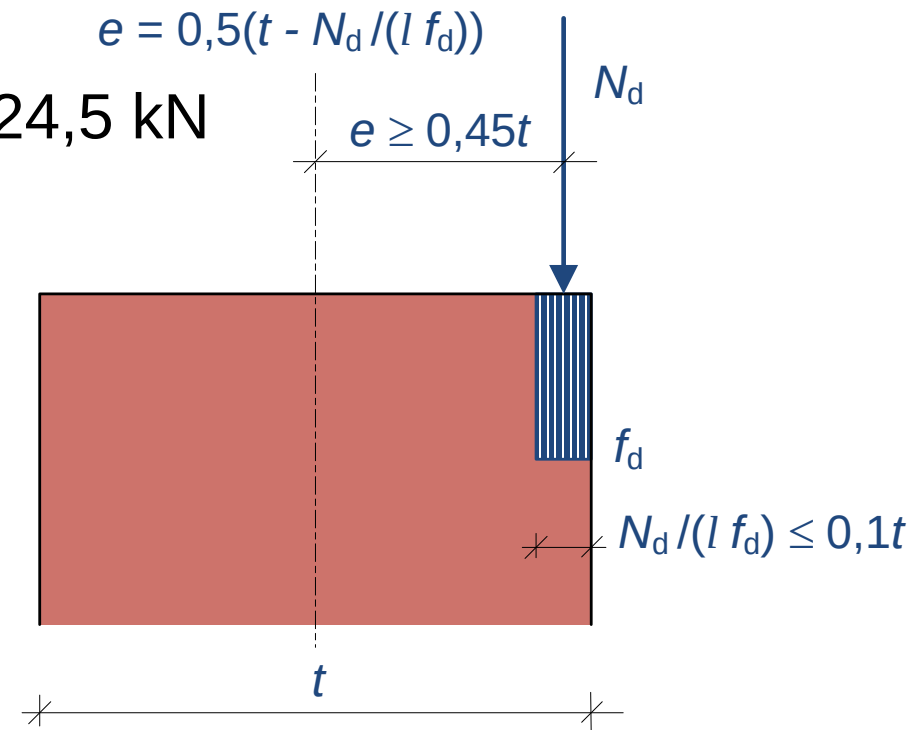
Dragende wanden

- Toets volgens 6.1 en Bijlage C van EN 1996-1-1:
- Indien $N_{Ed} \leq 0,1 bt f_d$ mag een kleinere excentriciteit worden aangenomen

- $N_{Ed} = 26,3 \text{ kN} > 0,1 \cdot 1000 \cdot 140 \cdot 1,75 = 24,5 \text{ kN}$

- De wand voldoet ook nu niet.

- Oplossing: verhoogd toezicht?



Rekenvoorbeeld

Doorsnede in het midden van de wand:

- $e_{\text{init}} = 5,6 \text{ mm}$
- De excentriciteit ten gevolge van de kruip, e_k , mag worden verwaarloosd, zodat:
- $$e_{\text{mk}} = \frac{M_{\text{mEd}}}{N_{\text{mEd}}} + e_{\text{init}} + e_k = \frac{0,13 \cdot 10^6}{28,4 \cdot 10^3} + 5,6 + 0 = 10,1 \text{ mm}$$

Rekenvoorbeeld

- De reductiefactor voor de slankheid en excentriciteiten voor het midden van de wand Φ_m , wordt weer met bijlage G bepaald.

- $\Phi_m = 0,69$

- $N_{mRd} = \Phi_m / t f_d = 0,69 \cdot 1000 \cdot 140 \cdot 1,75 \cdot 10^{-3} = 169 \text{ kN}$

Toets

- $N_{mEd} \leq N_{mRd} \Leftrightarrow 28,4 \text{ kN} \leq 169 \text{ kN}$

- De middendoorsnede van de wand is voldoende sterk

A photograph of a multi-story building under construction. The building is covered in extensive scaffolding, and the visible walls are made of red bricks. The sky is blue with some clouds. A semi-transparent white box is overlaid on the center of the image, containing the title and author information.

Gebruik van akoestische stroken

Dr. ir. Rob van der Pluijm

Algemeen

- Akoestische eigenschappen
 - Niet behandeld in de cursus, zie info Wienerberger
 - Specifiek voor elke combinatie van type strip en type metselwerk
- Elastisch element in de bouwknop wand-vloer
 - Invloed op sterkte metselwerk
 - Invloed op gedrag constructie
 - Invloed op vervormingen
 - Specifiek voor de combinatie van type strip en type metselwerk
- Alle gegevens in deze presentatie zijn specifiek voor PoroTherm blokken in combinatie met SonicStrips



SonicStrip

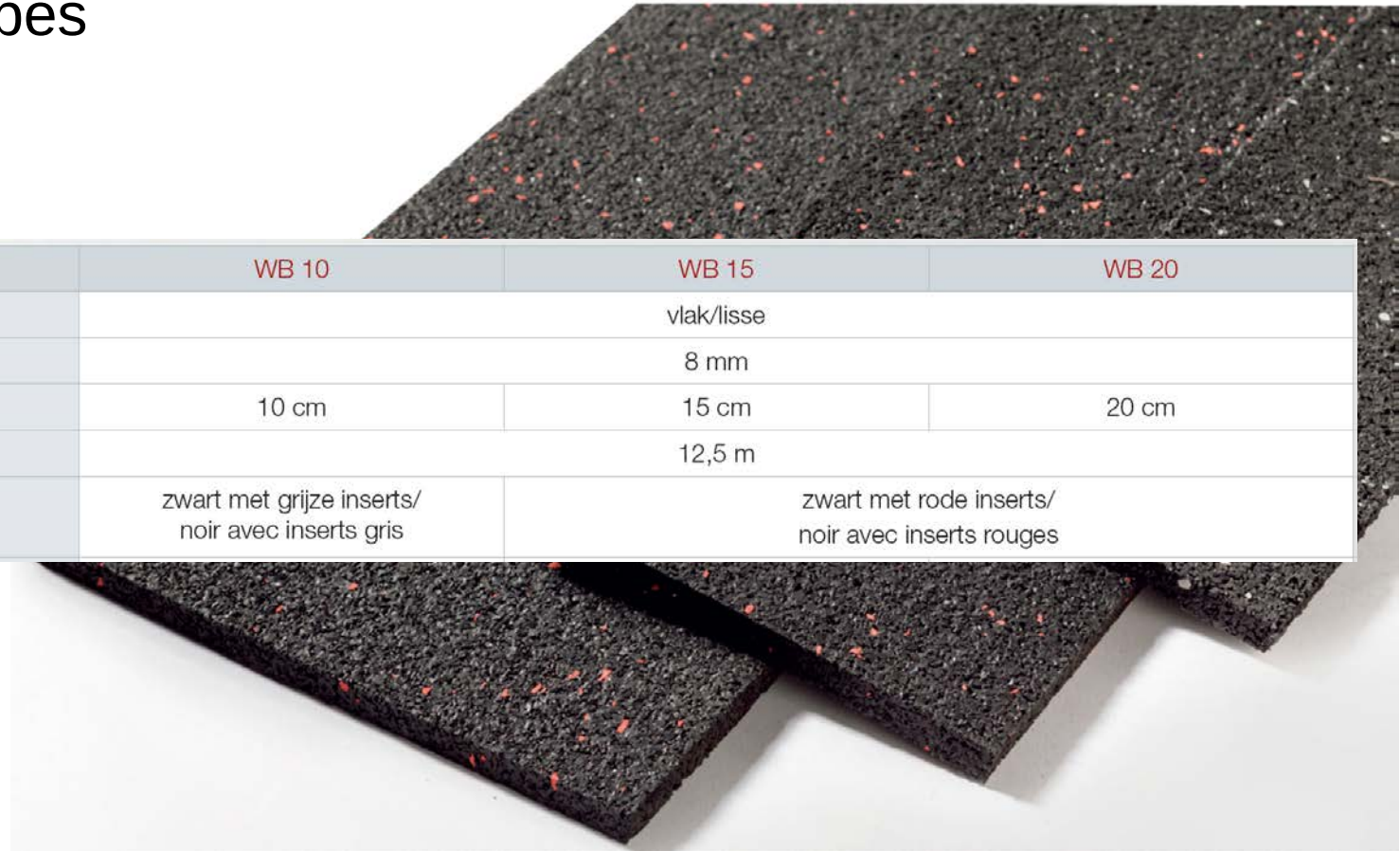
- 3 breedtes, 2 types



SonicStrip

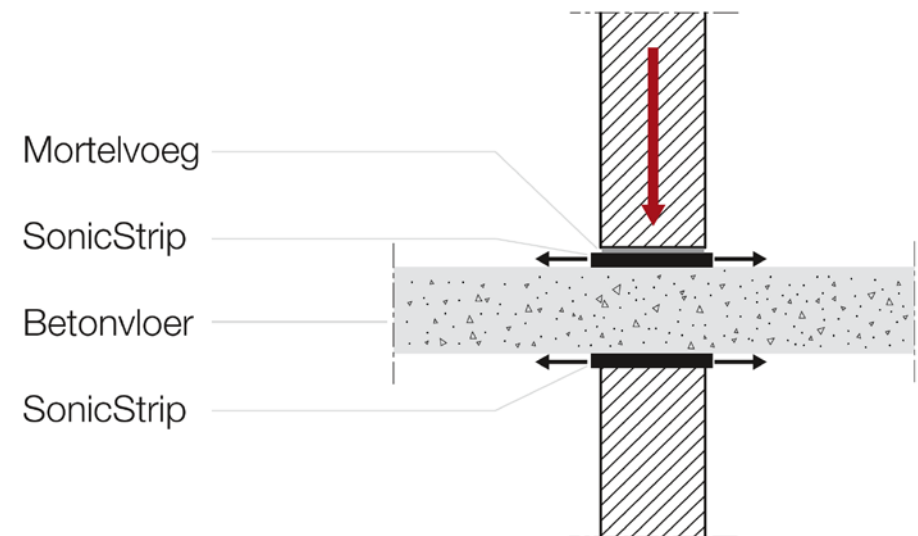
- 3 breedtes, 2 types

Type	WB 10	WB 15	WB 20
Vorm/Forme	vlak/lisse		
Dikte/Épaisseur	8 mm		
Breedte/Largeur	10 cm	15 cm	20 cm
Lengte/Longueur	12,5 m		
Kleur/Couleur	zwart met grijze inserts/ noir avec inserts gris	zwart met rode inserts/ noir avec inserts rouges	



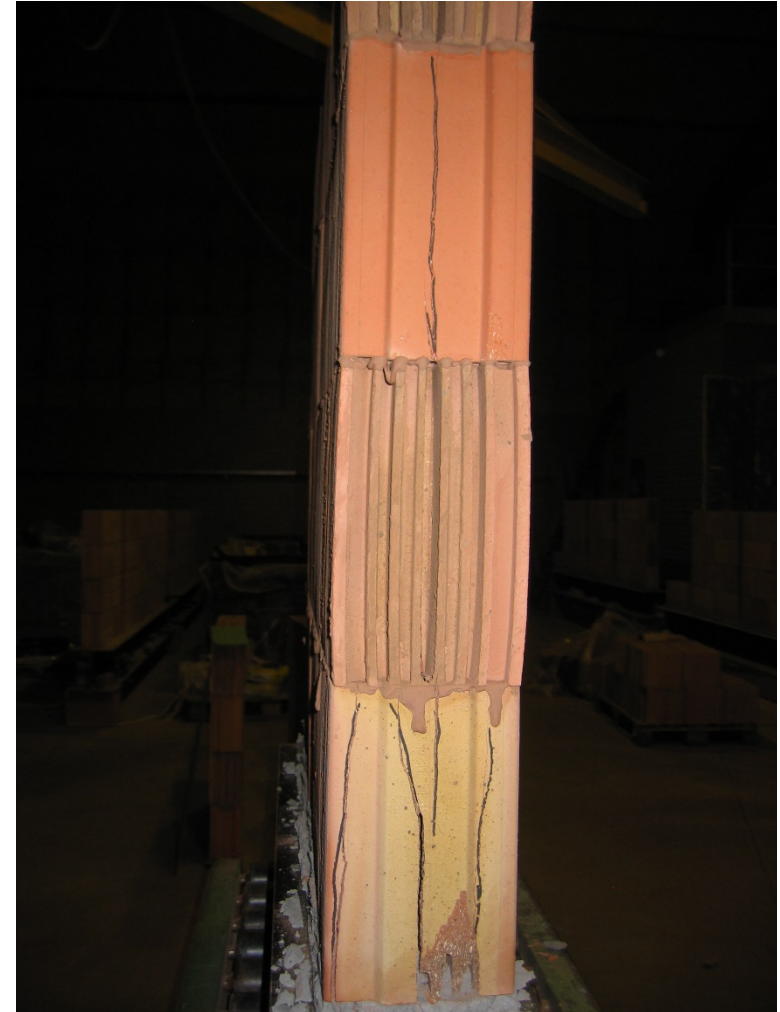
Invloed op sterkte metselwerk

- Berekening niet geregeld in Eurocode 6
 - Testprogramma nodig om interactie tussen metselwerk en akoestische strips te beoordelen
 - Invloed op de metselwerkdruksterkte bij de aansluiting tussen mat en metselwerk
 - Sonicstrip “koud” op de wand
 - Sonicstrip met mortel onder de wand



Invloed op sterkte metselwerk

- Testprogramma volgens EN 1052-1
 - Langere muren dan volgens norm om eventueel effect in langsrichting mee te nemen



Invloed op sterkte metselwerk

- Testprogramma volgens EN 1052-1



Invloed op sterkte metselwerk

- Voor de aansluiting tussen muren en vloeren:

$$N_{Rd} = \Phi t c f_d$$

- Correctiefactor c

- $c = 0,9$ voor koude aansluiting
- $c = 0,6$ voor aansluiting met mortel
- Alleen in rekening te brengen bij de boven- en onderzijde van de wand

Invloed op gedrag metselwerk

- Door de aanwezigheid van de rubbervoeg moet worden uitgegaan van een scharnierende aansluiting
 - Effectieve hoogte neemt toe
 - $h_{eff} = \rho h$ met $\rho = 1$ in plaats van meestal 0.75 (effect op midden-doorsnede)
 - Excentriciteit neemt af
 - $e_i = \cancel{\frac{M_{id}}{N_{id}}} + e_{he} + e_{init} \geq 0,05t$
 - $\Phi_i = 1 - 2 \frac{e_i}{t}$ aan de onder- en bovenzijde wordt groter

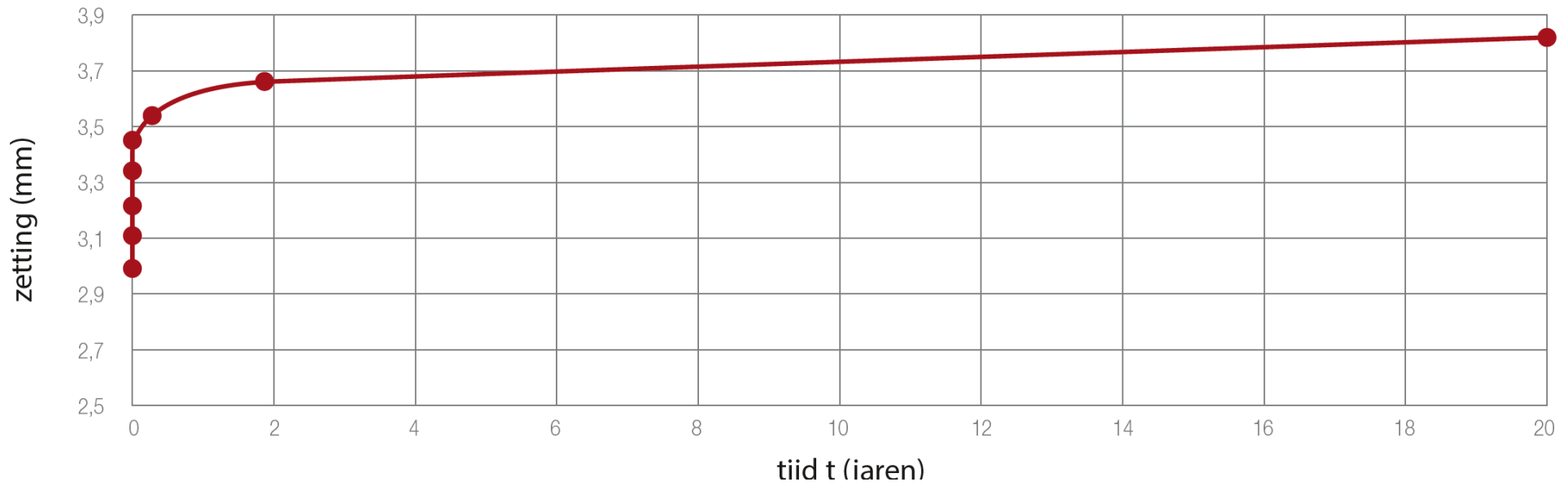
Invloed op gedrag metselwerk

- Door beide effecten neemt de draagkracht bij het gebruik van een
 - koude aansluiting in het algemeen niet af
 - aansluiting met mortel ongeveer slechts 15% af

Belastbaarheid Sonicstrip in gebruikstoestand

- Beperken vervormingen (o.a. kruip-effecten)

Kruipcurve WB15 en WB20 - zonder mortel - 225 kN/m



Belastbaarheid Sonicstrip in gebruikstoestand

■ Belasting op Sonicstrip

- Maximale belasting

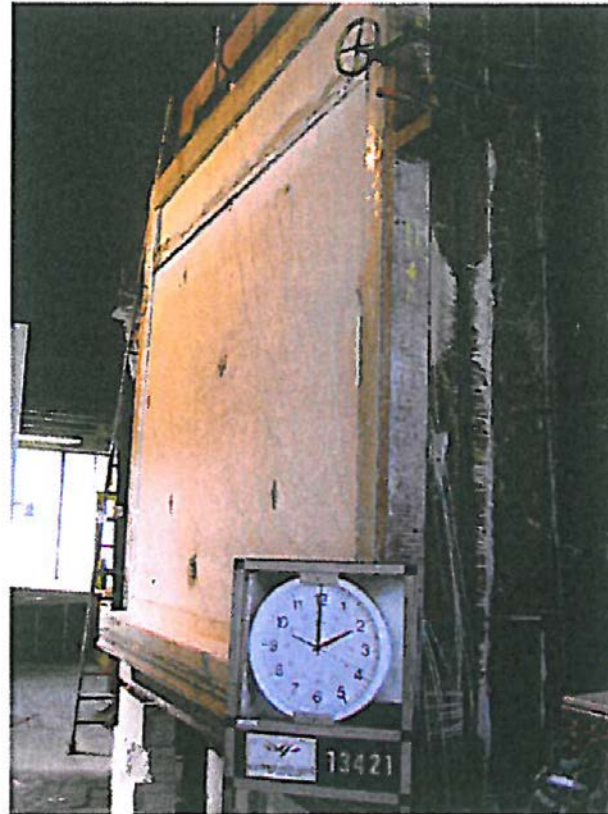
Type SonicStrip	Met mortel	Zonder mortel
WB10 - wanddikte 9 cm	25 kN/m	25 kN/m
WB15 - wanddikte 14 cm	265 kN/m	225 kN/m
WB20 - wanddikte 19 cm	360 kN/m	305 kN/m

- Minimale belasting (laagfrequent geluid)

Type SonicStrip	Met mortel	Zonder mortel
WB10 - wanddikte 9 cm	1,5 kN/m	1,5 kN/m
WB15 - wanddikte 14 cm	20 kN/m	10 kN/m
WB20 - wanddikte 19 cm	25 kN/m	15 kN/m

Brand

- Wand getest bij Warrington Fire Gent conform EN 1365-1
- REI = 120 min



Na 120 minuten.

