



Horizontaal uit het vlak belaste wanden

Dr. ir. Rob van der Pluijm

Zijdelings / lateraal belaste wanden

- Wanden die hoofdzakelijk loodrecht op hun vlak worden belast:
 - windbelasting
 - gronddruk
 - waterdruk
- Krachtsverdeling
- Vloeilijnentheorie
- Toetsing uiterste grenstoestand:
 - buigtreksterkte
 - boogwerking

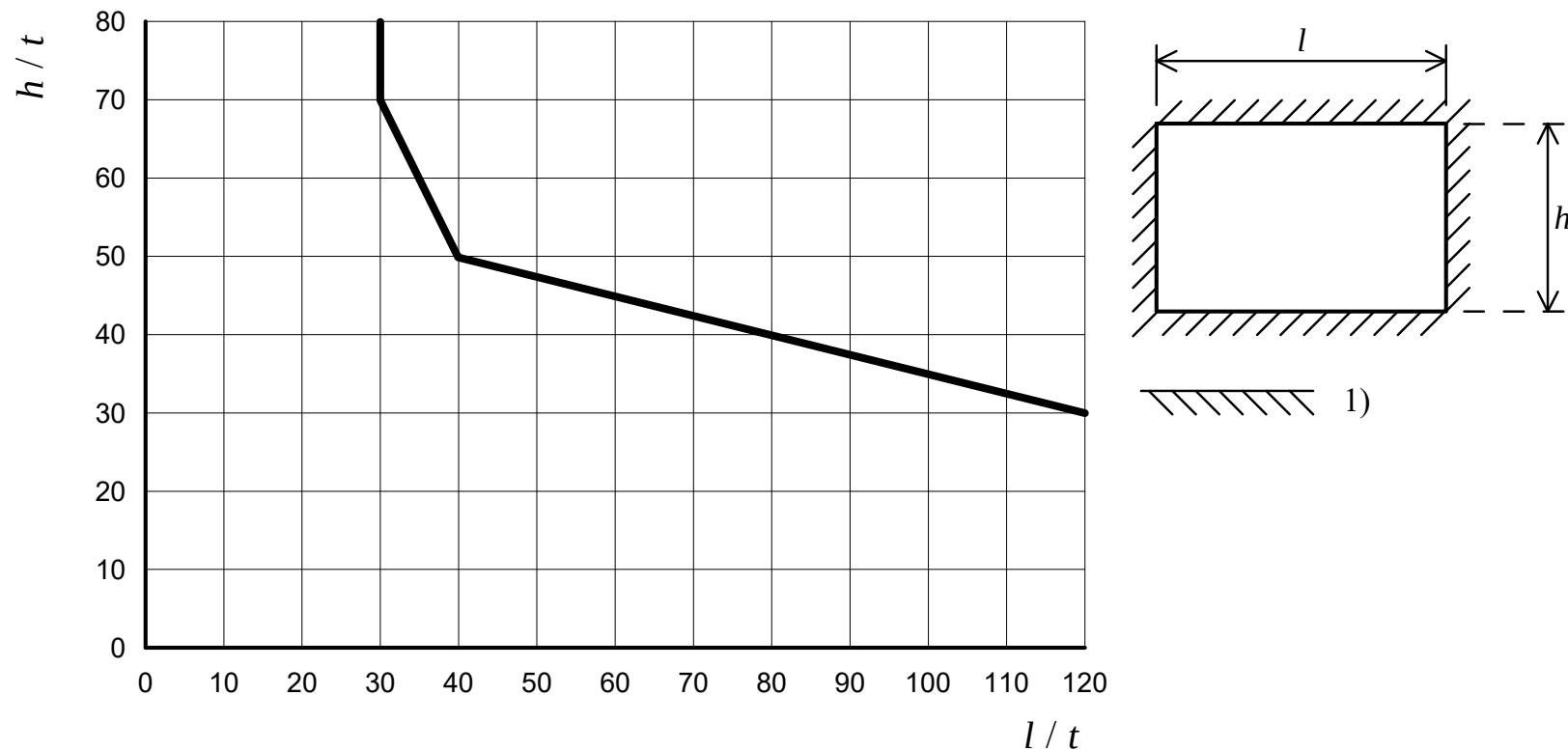
5.5.5 Krachtsverdeling

■ Algemeen

- het effect van waterkeringsfolies moet zijn beschouwd;
- bij een dilatatievoeg kunnen geen momenten en dwarskrachten worden doorgegeven;
- bij het ontwerp en de berekening van opleggingen mag aangenomen worden dat de reactiekrachten gelijkmatig zijn verdeeld bij hoeken in verband, aansluitingen op vloeren en daken maar ook bij toepassing van ankers;
- bij voldoende spouwankers conform 6.3.3 van EN 1996-1-1 mag een spouwmuur als doorgaande ligger worden geschematiseerd als één van de twee bladen doorloopt;
- als de wand uitsluitend gesteund is aan de voet en de bovenste rand, mag rekening worden gehouden met enige mate van inklemming aan de onderzijde;
 - het inklemmingsmoment kan gelijk worden gesteld aan het eigengewicht (gunstig werkend) $\times$ de maximale excentriciteit aan de onderzijde;
- de afmetingen van de panelen moeten worden beperkt volgens bijlage F van EN 1996-1-1.

5.5.5 Krachtsverdeling

- Bijlage F van EN 1996-1-1 (normatief in België)



- Figuur B.1 van bijlage B van EN 1996-3

5.5.5 Krachtsverdeling

- Verdeling belasting over spouwbladen
 - de zijdelingse belasting mag worden verdeeld over de beide spouwbladen naar rato van de sterkte of de stijfheid, indien er voldoende spouwankers zijn om de belasting tussen beide bladen over te dragen, zie 6.3.1(6).
 - bij verdeling naar rato van de stijfheid dienen beide bladen te worden getoetst

5.5.5 Krachtsverdeling

■ Buigende momenten

- De rekenwaarde van de momenten door de belasting M_{Ed} worden in EN 1996-1-1 als volgt benoemd:

- bezwijkvlak evenwijdig aan de lintvoegen, dit is in de f_{xk1} richting:

$$M_{Ed1} = \alpha_1 W_{Ed} l^2$$

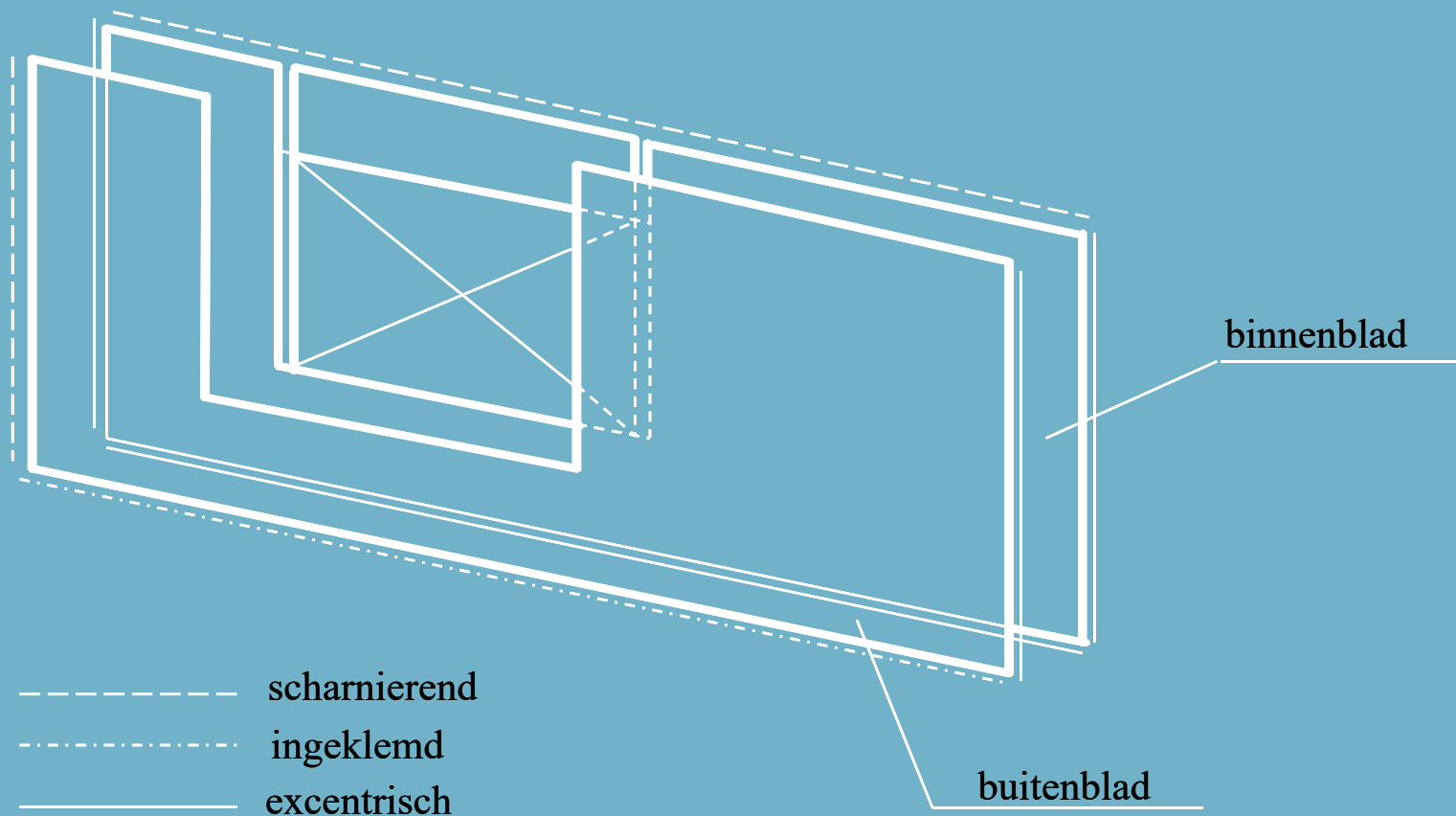
- bezwijkvlak loodrecht op de lintvoegen is, dit is in de f_{xk2} richting:

$$M_{Ed2} = \alpha_2 W_{Ed} l^2$$

- α_1 en α_2 zijn momentcoëfficiënten waarbij rekening is gehouden met de graad van inklemming bij de randen van de wanden en de verhouding tussen de hoogte en de lengte van de wanden; zij kunnen verkregen zijn met behulp van een geschikte theorie.

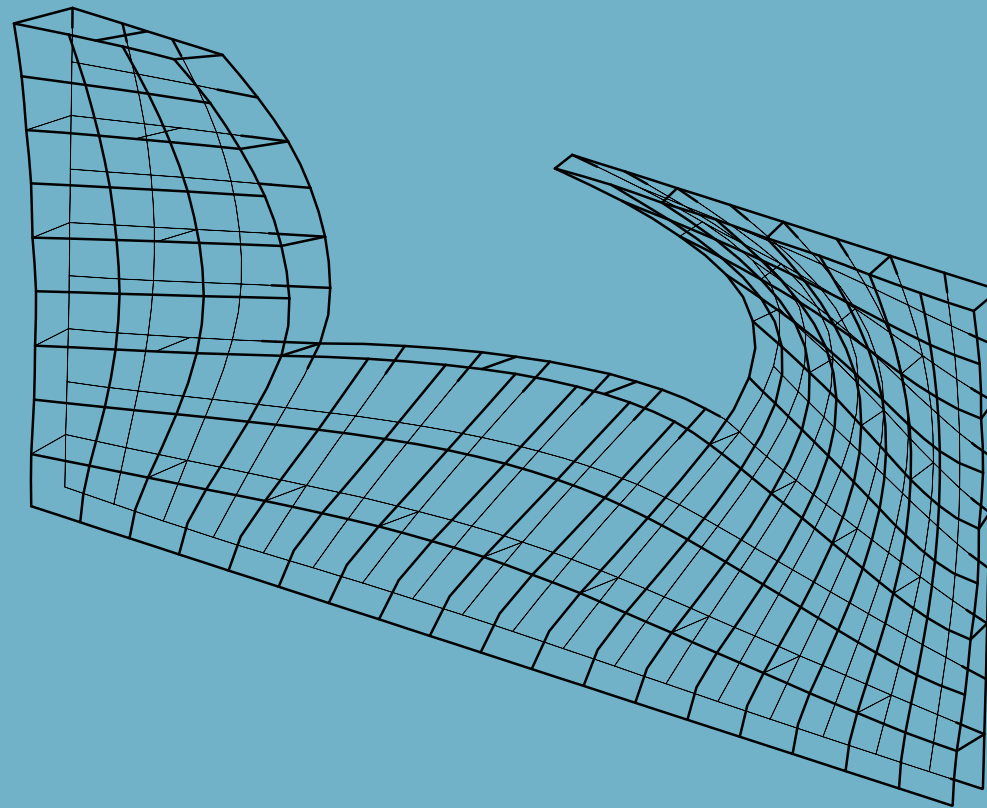
Fysisch niet-lineaire spouwmuurberekening

■ Schematisering



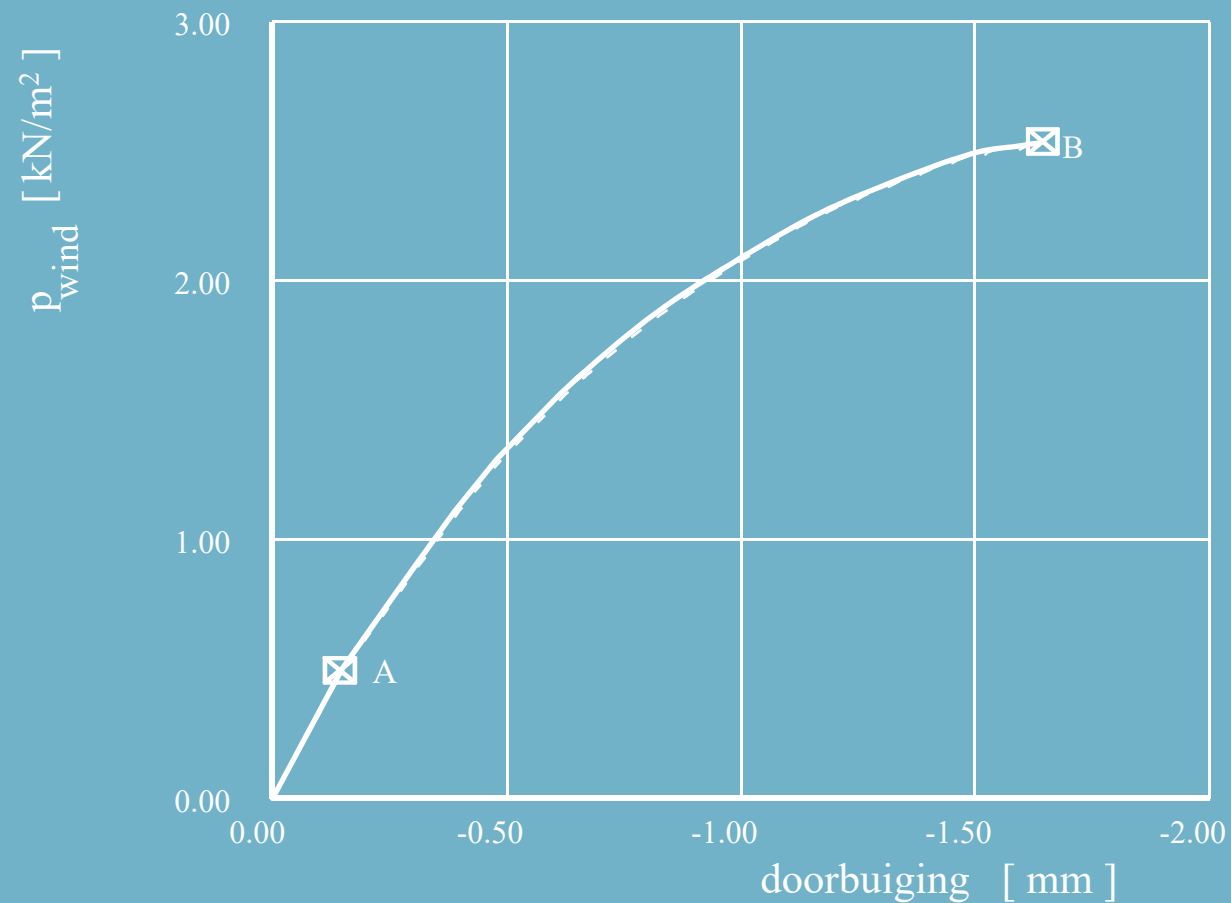
Fysisch niet-lineaire spouwmuurberekening

- Vervormingen in bezwijkstadium



Fysisch niet-lineaire spouwmuurberekening

■ Last-verplaatsingsdiagram

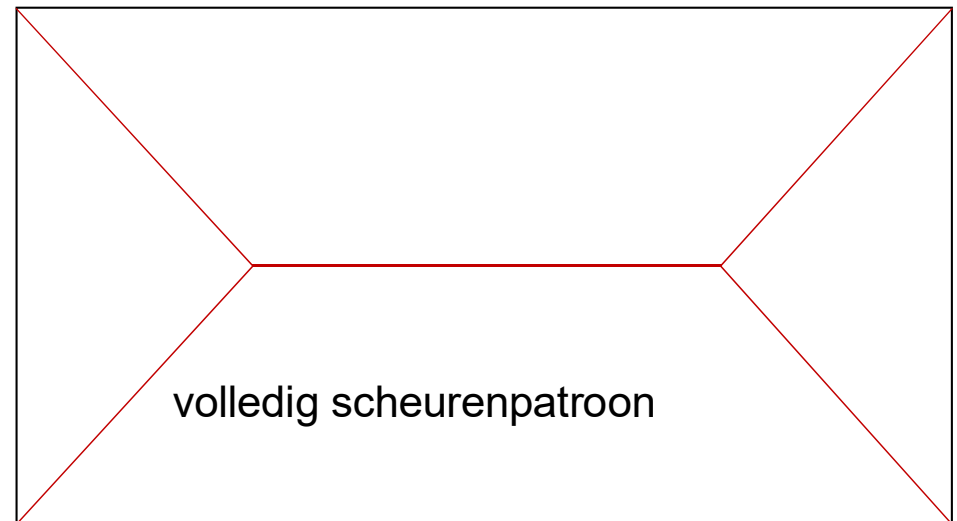
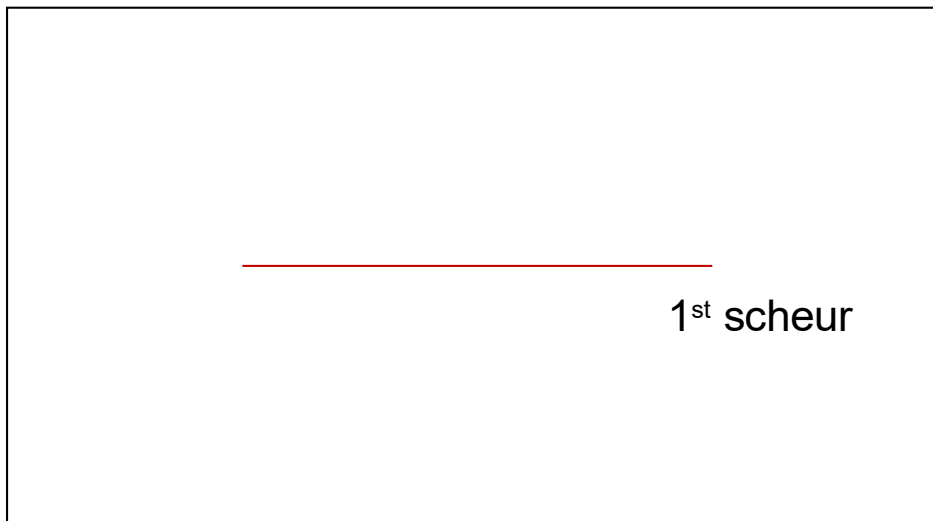


5.5.5 Krachtsverdeling

- Buigende momenten volgens een geschikte theorie:
 - Lineaire elastische theorie
 - Niet-lineaire theorie
 - Vloeilijmentheorie

Vloeilijnentheorie

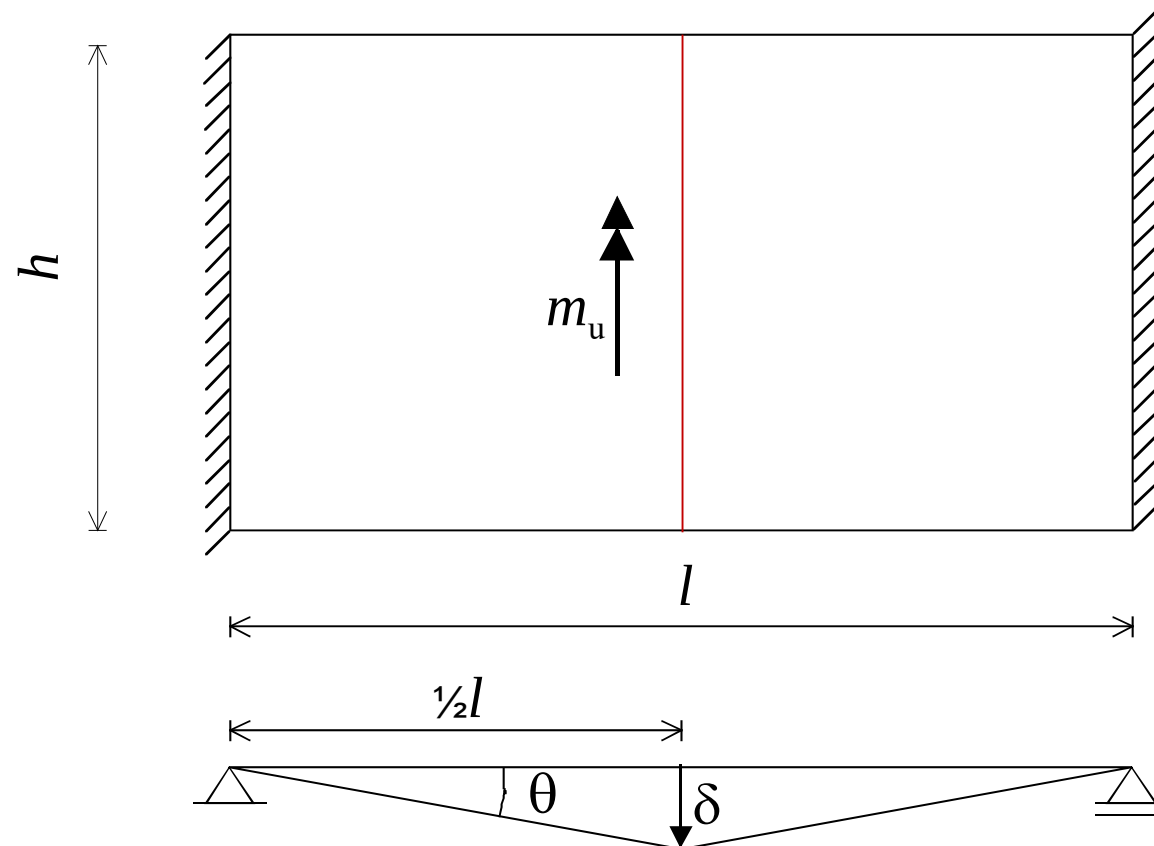
- In een scheur kan bij toenemende vervorming het vloeimoment overgedragen blijven worden



- Uitwendige arbeid door de belasting = inwendige arbeid door momenten
- Het scheurenpatroon waarvoor de energie minimaal is, is het juiste patroon

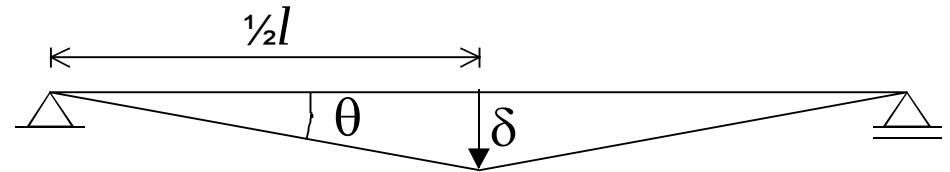
Vloeilijntheorie

- Voorbeeld van een plaat die aan twee tegenovergestelde randen scharnierend wordt ondersteund



Vloeilijnentheorie

- Uitwendige arbeid: $U_{uitw} = p \cdot l \cdot h \cdot \frac{\delta}{2}$
- Inwendige arbeid: $U_{inw} = m_u \cdot 2\theta$
- Compatibiliteit: $\theta = \frac{\delta}{l/2} = \frac{2\delta}{l}$



- Gelijkstelling van $U_{inw} = U_{uitw}$ levert:

$$m_u = \frac{1}{8} p h l^2$$

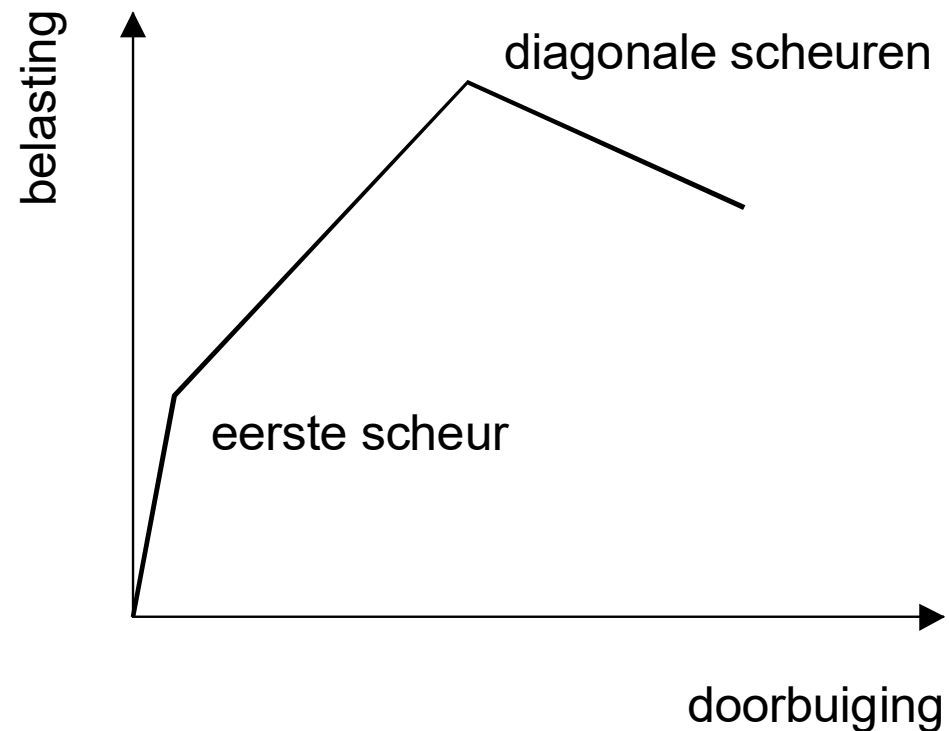
Vloeilijmentheorie

- Gedrag van een langs vier randen ondersteund metselwerk paneel

- 1 eerste scheur

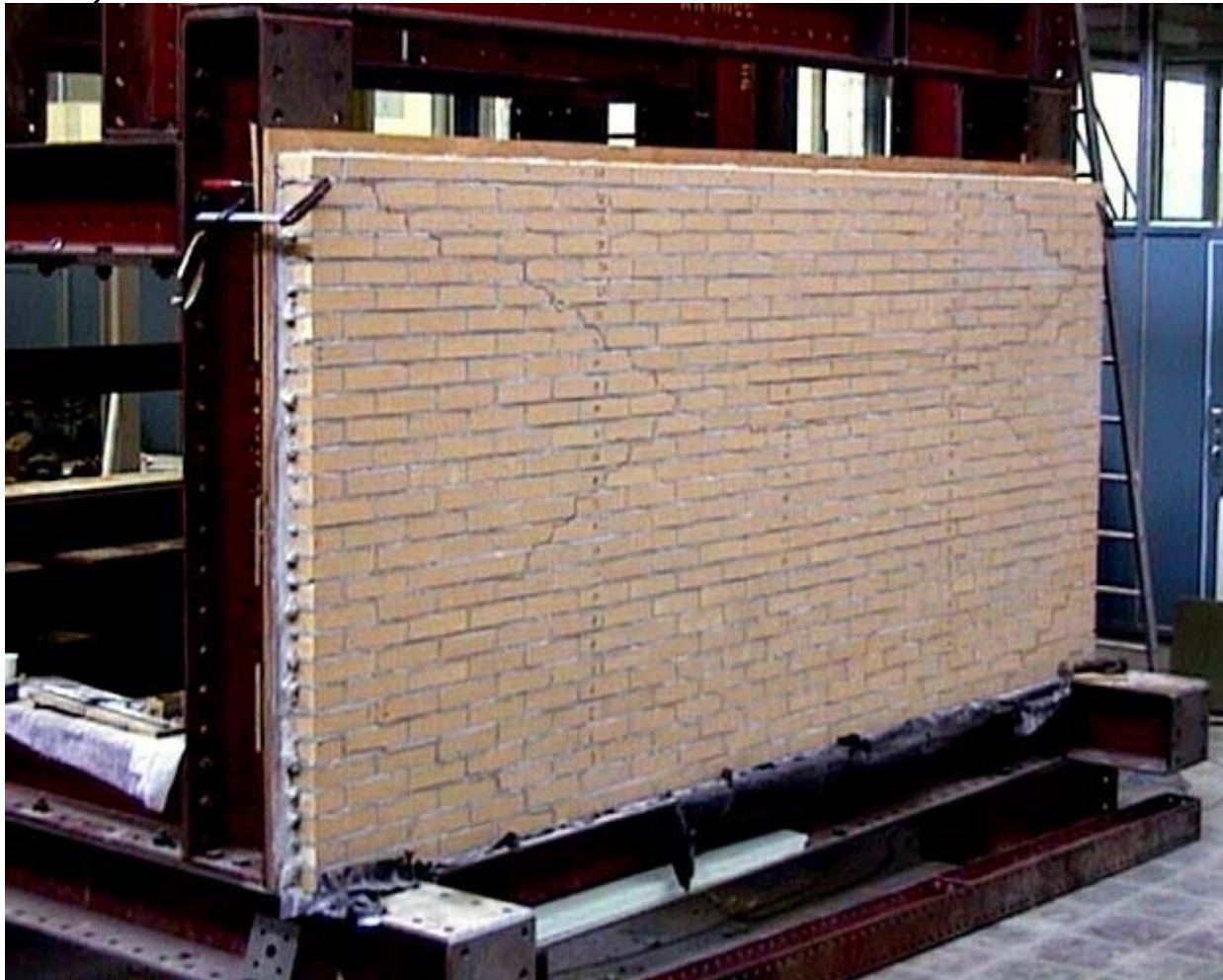
- 2 volledig ontwikkeld scheurenpatroon

- 3 bezwijken (maximale last)



Experimentele bepaling van de draagkracht & vloeilijmentheorie

- Paneel 4 x 1,75 m $\frac{1}{2}$ steensverband



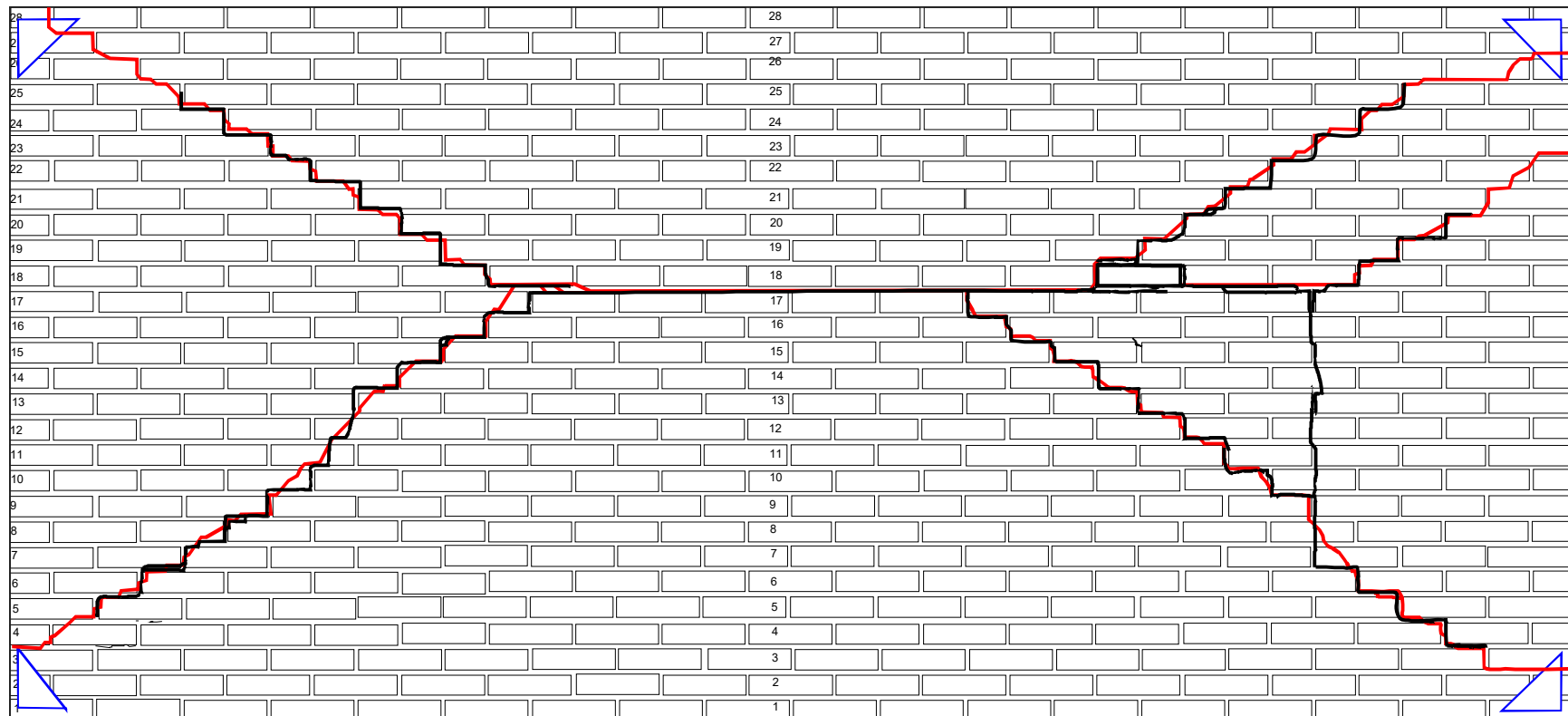
Experimentele bepaling van de draagkracht & vloeilijnentheorie

- Belasting met luchtbedden



Experimentele bepaling van de draagkracht & vloeilijmentheorie

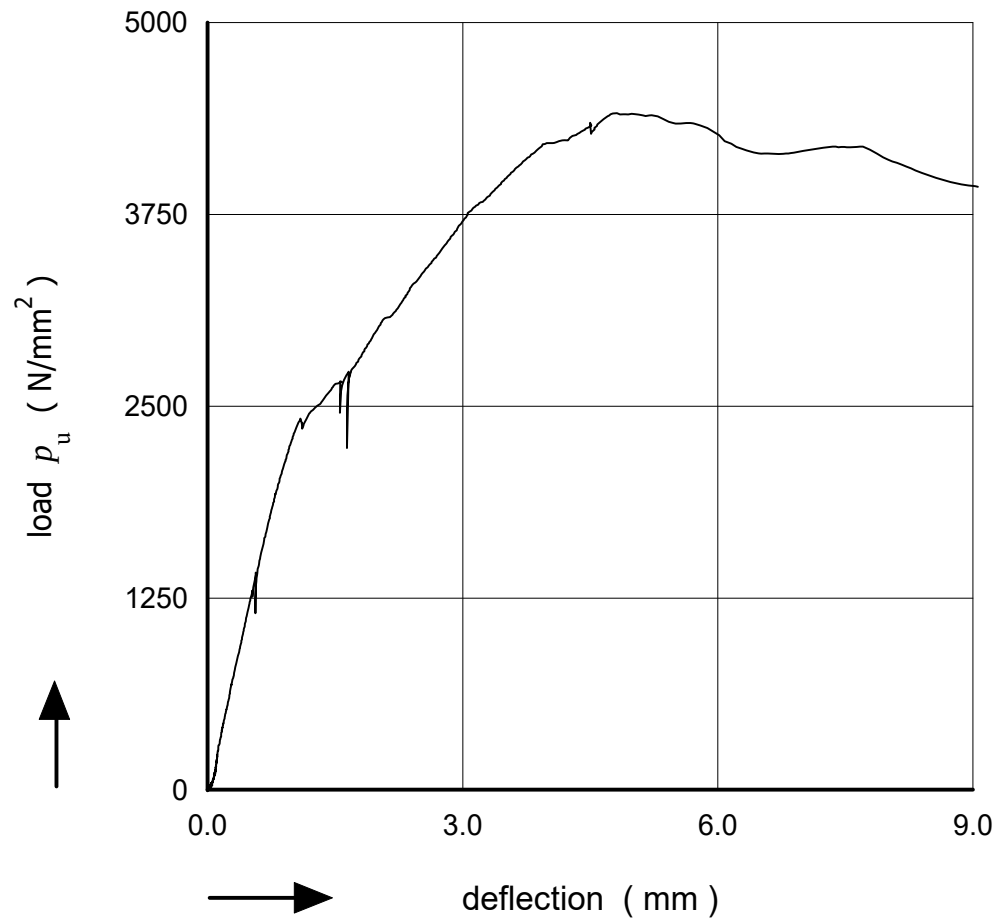
■ Scheurpatroon



— cracks on compression side

— cracks on tension side

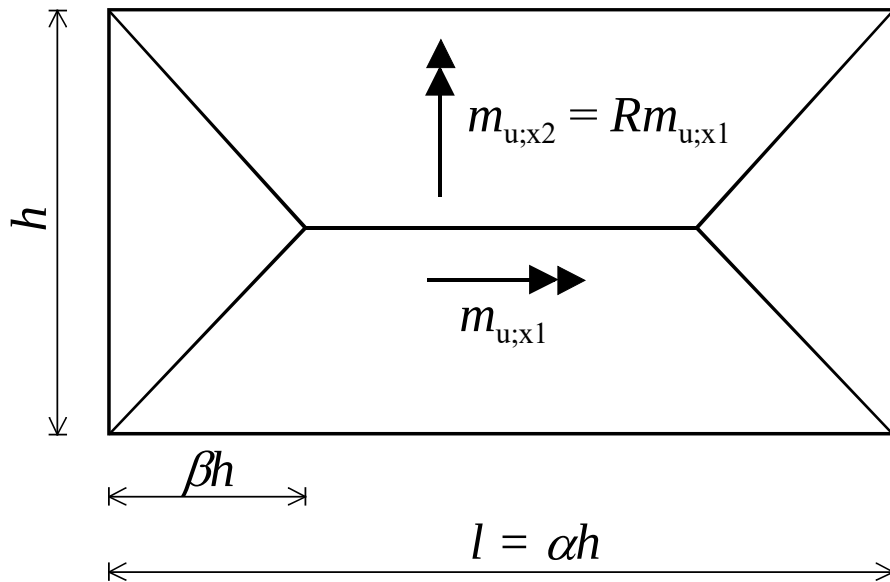
Experimentele bepaling van de draagkracht & vloeilijmentheorie



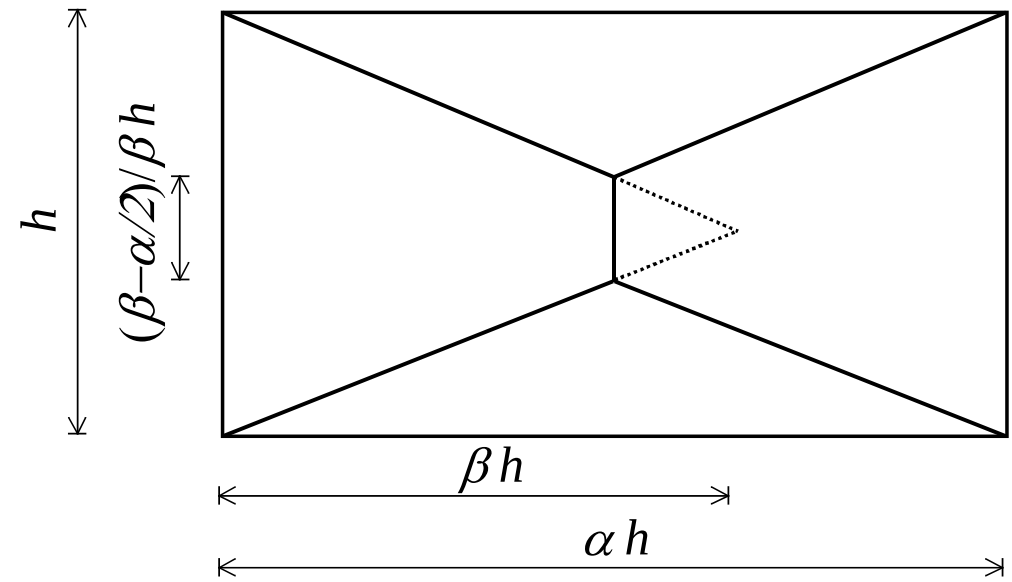
- Bezwijkbelasting van blad II was 4410 N/m²

Experimentele bepaling van de draagkracht & vloeilijnentheorie

■ 2 patronen



$$m_{u;x1} = \lambda_a(\beta) \cdot p l^2$$



$$m_{u;x1} = \lambda_b(\beta) \cdot p l^2$$

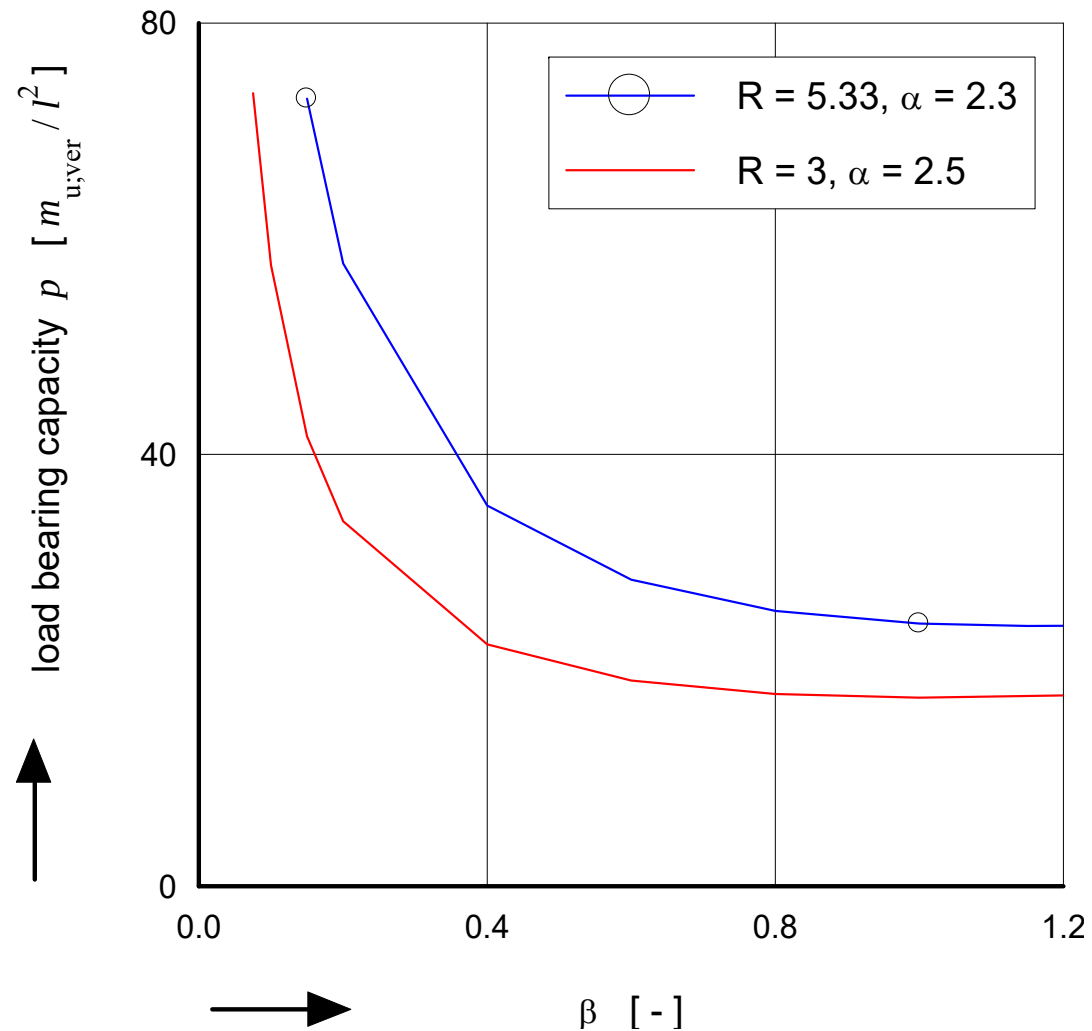
Experimentele bepaling van de draagkracht & vloeilijmentheorie

Parameter	waarde in de berekening
$f_{fl;ver}$	0.3 N/mm ²
$f_{fl;hor}$	1.6 N/mm ²
α	2.3
R	5.33
pattern	a or b
Berekeningsresultaat	
β	1.15
p_{yield}	3970 N/m ²
p_u / p_{yield}	1.10

- $\beta = 1.15$: theoretische lengte horizontale scheur = 0!

Experimentele bepaling van de draagkracht & vloeilijmentheorie

■ Invloed van β



5.5.5 Krachtsverdeling

- Buigende momenten volgens een geschikte theorie:
 - Vloeilijntheorie: Informatieve Bijlage E
 - Informatief in België
 - de dikte van de bladen moet minder zijn dan 250 mm;
 - $\alpha_1 = \mu \alpha_2$
 - μ is de orthogonale verhouding tussen de rekenwaarde van de buigtreksterkte van het metselwerk met een scheur // aan en $\perp$ op de lintvoeg :
 - f_{xd1} / f_{xd2} , zie 3.6.3,
 - $f_{xd1,app} / f_{xd2}$, zie 6.3.1(4) of
 - $f_{xd1} / f_{xd2,app}$, zie 6.6.2(9)

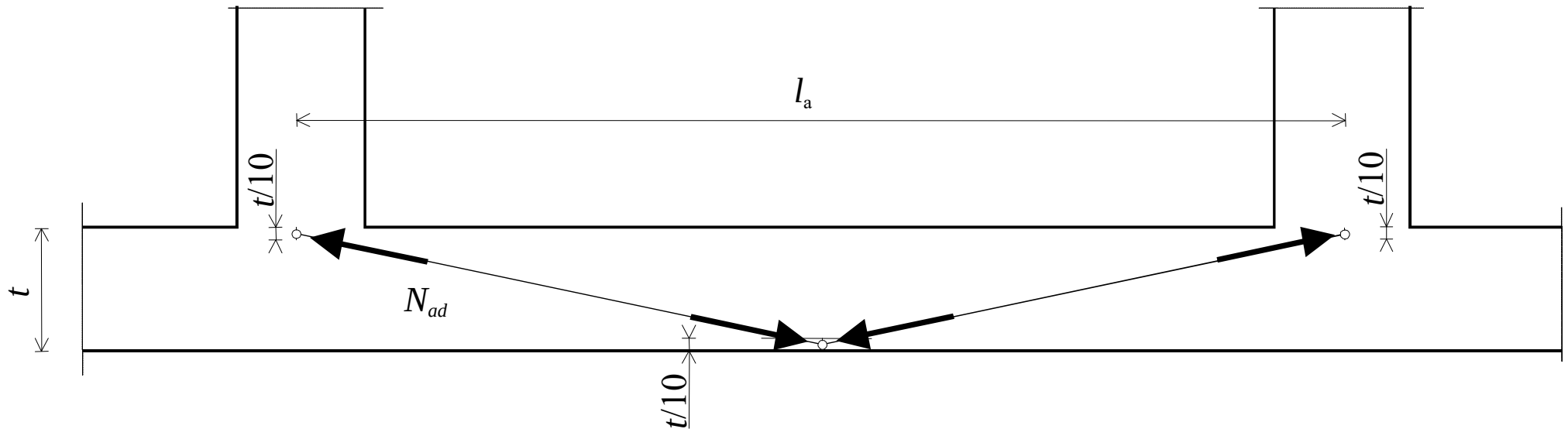
6.3.1. Uiterste grenstoestand - buigtreksterkte

- $M_{Ed} \leq M_{Rd}$
- $M_{Rd} = f_{xd} Z$
 - f_{xd} is rekenwaarde van de buigtreksterkte in richting 1 of 2
 - Gunstige invloed van de verticale belasting mag in rekening worden gebracht:
 - $f_{xd1,app} = f_{xd1} + \sigma_d$

waarbij:

- $\sigma_d \leq 0,15 N_{Rd} / t$
 N_{Rd} in het midden van de wand volgens 6.1.2.1(2)

6.3.2 Uiterste grenstoestand - boogwerking

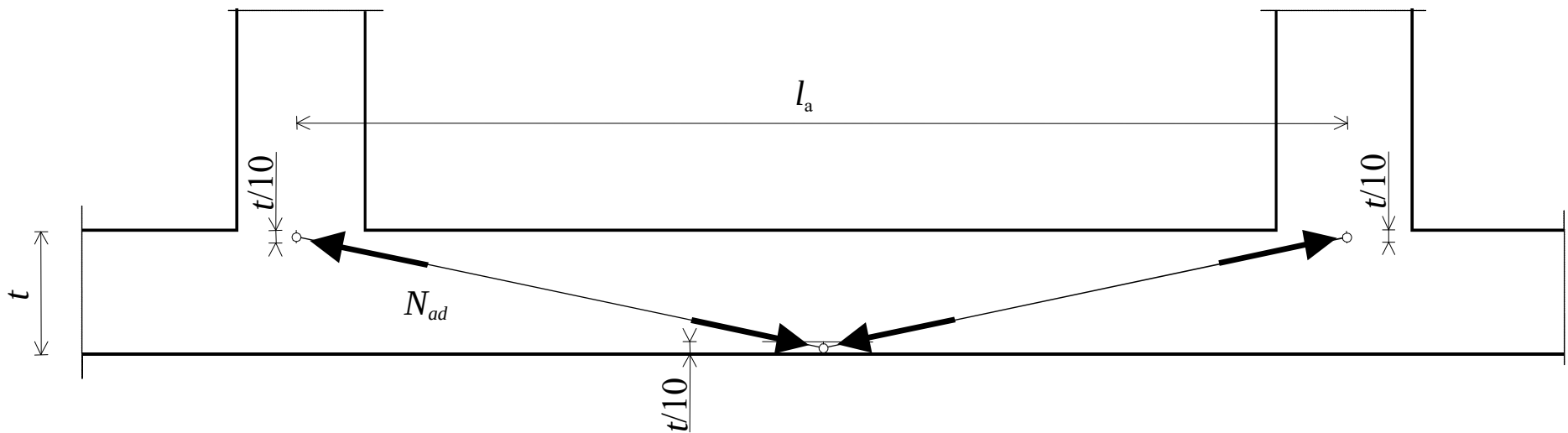


- De sterkte van de opleggingen moet voldoende zijn om de spatkrachten op te kunnen nemen.
- De wand moet strak tussen de opleggingen staan zodat de boogwerking tot stand kan komen.

6.3.2 Uiterste grenstoestand - boogwerking

- De slankheid van de wand in de beschouwde richting is niet groter dan 20;
- De rekenwaarde van de verticale drukspanning is niet kleiner dan $0,1 \text{ N/mm}^2$.

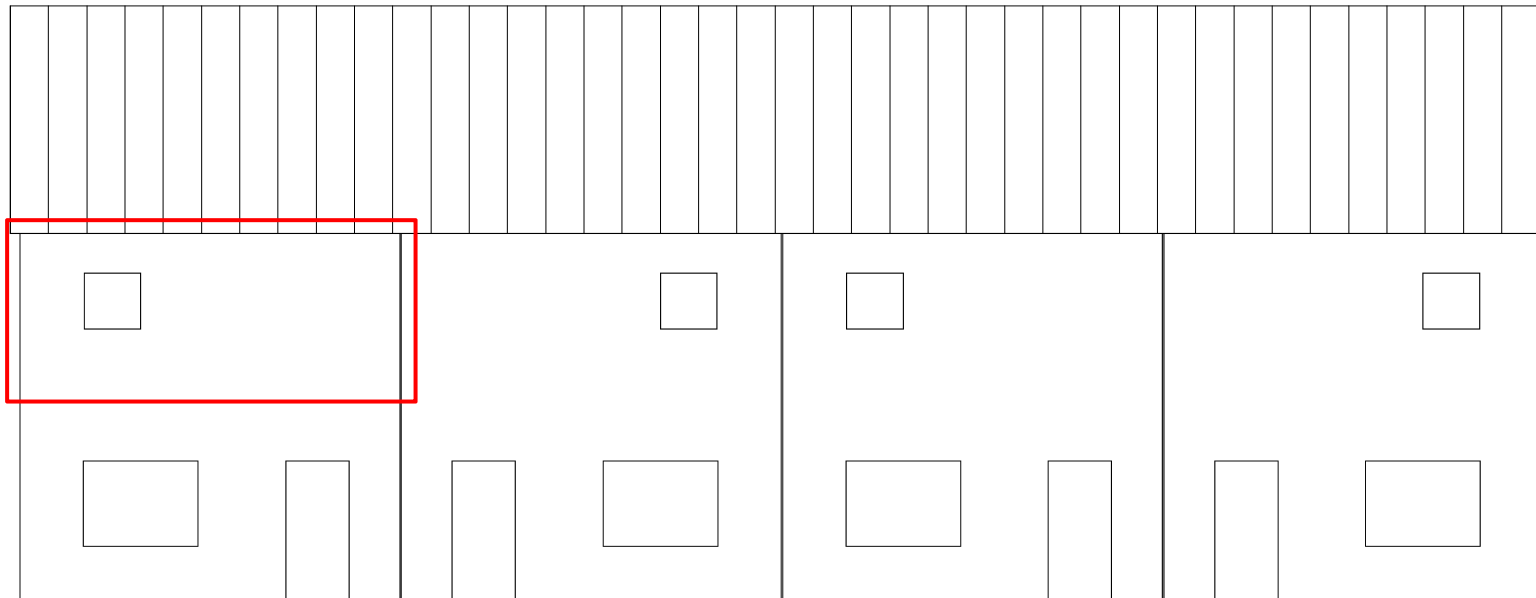
6.3.2 Uiterste grenstoestand - boogwerking



- $N_{ad} = 1,5 f_d \cdot t / 10$; $q_{lat,d} = f_d \left(\frac{t}{l_a} \right)^2$
 - Nieuwe versie Eurocode: voor groep 2 en 3: $1,5 \rightarrow 1$ $q_{lat,d} = 0,72 f_d \left(\frac{t}{l_a} \right)^2$
- 4.5 van EN 1996-3: vereenvoudigde rekenmethode voor kelderwanden

Voorbeeld 1 lateraal belaste wand

- Gevel van een rijwoning - de eerst verdieping



Voorbeeld 1 lateraal belaste wand

- Gevel in een rijwoning op de eerst verdieping
 - klein badkamerraam: verwaarloosd in de schematisering
 - beukbreedte 6 m
 - systeem hoogte verdieping 2,9 m
 - om de twee woningen is een verticale dilatatie voorzien
 - voldoende spouwankers om te veronderstellen dat de totale windbelasting op de spouwmuur naar rato van de stijfheden of sterkte van beide bladen mag worden verdeeld
- Binnenblad PLS 500, 140 mm, lijm mortel, 10 N/mm²
- Buitenblad baksteen waalformaat, druksterkte 20 N/mm², mortelkwaliteit M5

Voorbeeld 1 lateraal belaste wand

	Binnenblad	Buitenblad
Wand	$6 \times 2,9 \text{ m}^2$ de kortere lengte door de bouwmuren wordt verwaarloosd	$6 \times 2,9 \text{ m}^2$
Partiële factor voor materiaaleigenschappen:	$\gamma_M = 2,0$	$\gamma_M = 2,0$
Steensoort	PLS 500 140 mm dik $f_{mean} = 10 \text{ N/mm}^2$ volumieke massa: 850 kg/m^3	Baksteen Waalformaat Gemiddelde druksterkte: 20 N/mm^2 $f_b = 15 \text{ N/mm}^2$ volumieke massa: 1750 kg/m^3
Mortel	Lijmmortel	M5

Voorbeeld 1 lateraal belaste wand

	Binnenblad	Buitenblad
Buigtreksterkte tabel 3.10-ANB	$f_{xk1} = 0,2 \text{ N/mm}^2$ $f_{xk2} = 0,3 \text{ N/mm}^2$	$f_{xk1} = 0,2 \text{ N/mm}^2$ $f_{xk2} = 0,4 \text{ N/mm}^2$
Metselwerk druksterkte en stijfheid $f_k = K f_b^\alpha f_m^\beta$ $E = 700 f_k$	$K = 0,5$ $\alpha = 0,8$ $\beta = 0$ $f_k = 0,5 f_b^{0,80}$ $f_k = 3,2 \text{ N/mm}^2$ $E = 3200 \text{ N/mm}^2$	$K = 0,5$ $\alpha = 0,65$ $\beta = 0,25$ $f_k = 0,5 f_b^{0,65} f_m^{0,25}$ $f_k = 4,3 \text{ N/mm}^2$ $E = 4300 \text{ N/mm}^2$
Schijnbare buigtreksterkte Er wordt verondersteld dat de horizontale scheur op halve hoogte optreedt Het eigengewicht werkt gunstig: $\gamma_{Gj,inf} = 0,90$, $\sigma_d = \gamma \cdot \rho \cdot g \cdot h$ $f_{xd1,app} = f_{xd1} + \sigma_d \text{ EC6 (6.16)}$	$\sigma_d = 0,9 \cdot 850 \cdot 10 \cdot \frac{2,9}{2} \text{ N/m}^2$ $\sigma_d = 11173 \text{ N/m}^2 = 0,011 \text{ N/mm}^2$ $f_{xd1,app} = \frac{0,2}{2} + 0,011 = 0,11 \text{ N/mm}^2$ $f_{xd2} = \frac{f_{xk2}}{\gamma_M} = \frac{0,3}{2} = 0,15 \text{ N/mm}^2$	$\sigma_d = 0,9 \cdot 1750 \cdot 10 \cdot \frac{2,9}{2} \text{ N/m}^2$ $\sigma_d = 22837 \text{ N/m}^2 = 0,023 \text{ N/mm}^2$ $f_{xd1,app} = \frac{0,2}{2} + 0,023 = 0,12 \text{ N/mm}^2$ $f_{xd2} = \frac{f_{xk2}}{\gamma_M} = \frac{0,4}{2} = 0,2 \text{ N/mm}^2$

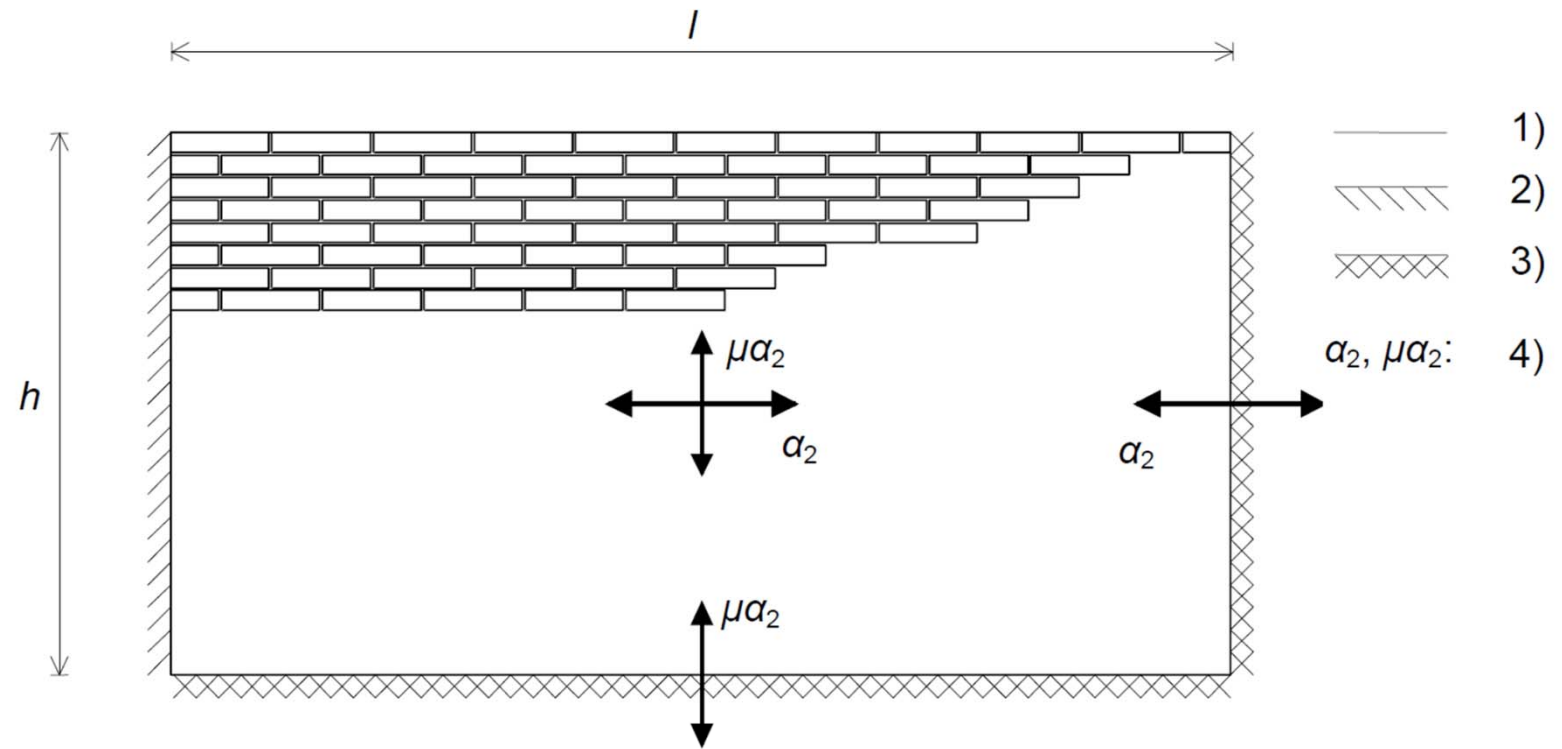
Voorbeeld 1 lateraal belaste wand

■ Schematisering

- Het buitenblad loopt door naar onderen en naar rechts. Linkerzijde is gedilateerd.
- Horizontale randen: inklemming onder, scharnierend boven.
- Verticale randen: rechts scharnierend, links ingeklemd.
- Oplegconditie L Bijlage E van EN 19961-1 met 1 vrije rand redelijke benadering.
- $h/l = 2,9 / 6 = 0,48$, afgerond 0,5

Voorbeeld 1 lateraal belaste wand

■ Bijlage E



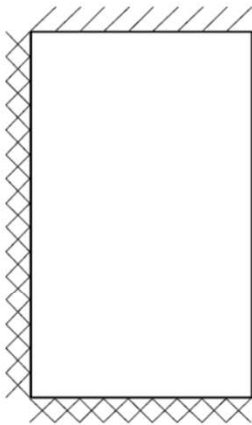
Verklaring

- 1 vrije rand
- 2 scharnierend opgelegde rand
- 3 volledig ingeklemde/doorgaande rand
- 4 momentcoëfficiënten in de aangegeven richtingen

Voorbeeld 1 lateraal belaste wand

Oplegcondities van de wand

L



μ	h/l							
	0,30	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
1,00	0,006	0,015	0,029	0,044	0,059	0,073	0,088	0,102
0,90	0,007	0,017	0,032	0,047	0,063	0,078	0,093	0,107
0,80	0,008	0,018	0,034	0,051	0,067	0,084	0,099	0,114
0,70	0,009	0,021	0,038	0,056	0,073	0,090	0,106	0,122
0,60	0,010	0,023	0,042	0,061	0,080	0,098	0,115	0,131
0,50	0,012	0,027	0,048	0,068	0,089	0,108	0,126	0,142
0,40	0,014	0,032	0,055	0,078	0,100	0,121	0,139	0,157
0,35	0,016	0,035	0,060	0,084	0,108	0,129	0,148	0,165
0,30	0,018	0,039	0,066	0,092	0,116	0,138	0,158	0,176
0,25	0,021	0,044	0,073	0,101	0,127	0,150	0,170	0,190
0,20	0,025	0,052	0,084	0,114	0,141	0,165	0,185	0,206
0,15	0,031	0,061	0,098	0,131	0,159	0,184	0,205	0,226
0,10	0,041	0,078	0,121	0,156	0,186	0,212	0,233	0,252
0,05	0,064	0,114	0,164	0,204	0,235	0,260	0,281	0,292

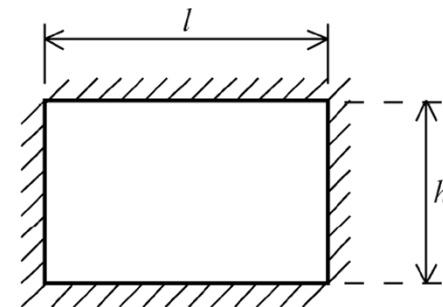
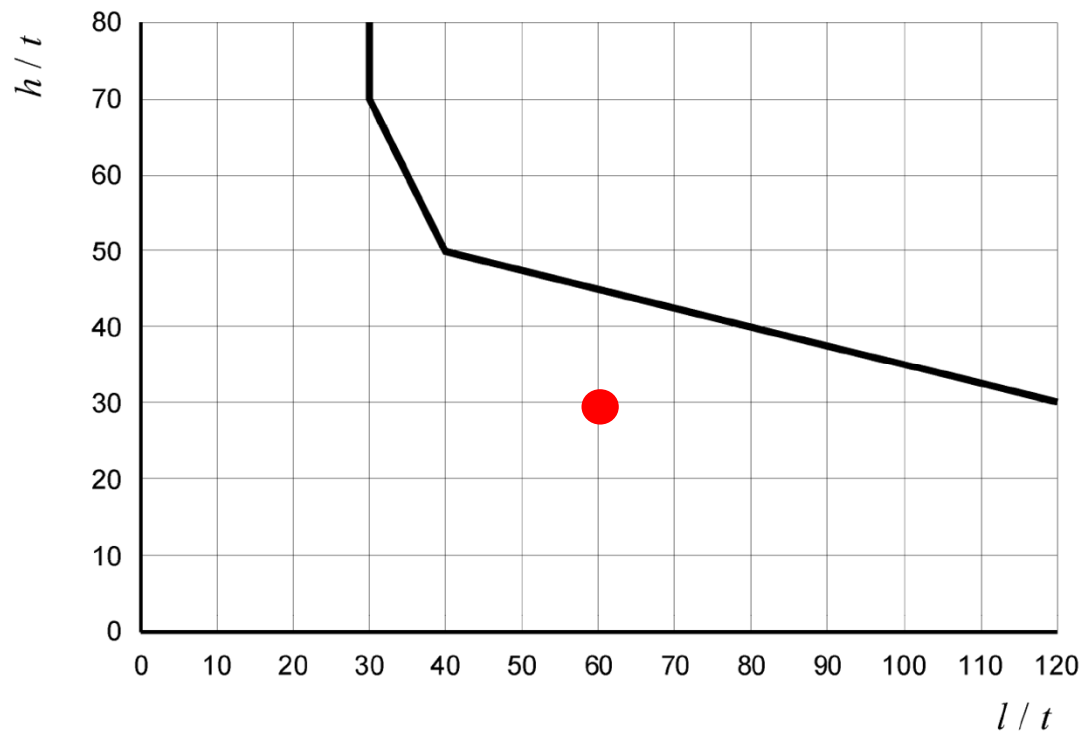
Voorbeeld 1 lateraal belaste wand

	Binnenblad	Buitenblad
$\mu = f_{xd1,app} / f_{xd2}$ α_2 uit tabel voor oplegconditie L Bijlage E van EN 19961-1 $\alpha_1 = \mu \alpha_2$ Maximale belasting: $M_{Ed} = M_{Rd}$ $\alpha_1 W_{Ed1} l^2 = f_{xd1} Z$ en $\alpha_2 W_{Ed2} l^2 = f_{xd2} Z$ $W_{Ed1} = \frac{f_{xd1} Z}{\alpha_1 l^2}$ en $W_{Ed2} = \frac{f_{xd2} Z}{\alpha_2 l^2}$	$\mu = 0,11 / 0,15 = 0,73$ $\alpha_2 = 0,020$ $\alpha_1 = 0,73 \times 0,020 = 0,015$ $W_{Ed1} = 0,11 \times 1/6 \times 140^2 / (0,015 \times 6000^2) = 0.000665 \text{ N/mm}^2 = 665 \text{ N/m}^2$ $W_{Ed2} = 0,15 \times 1/6 \times 140^2 / (0,020 \times 6000^2) = 0.000681 \text{ N/mm}^2 = 681 \text{ N/m}^2$	$\mu = 0,12 / 0,2 = 0,60$ $\alpha_2 = 0,023$ $\alpha_1 = \mu \alpha_2 = 0,60 \times 0,023 = 0,014$ $W_{Ed1} = 0,12 \times 1/6 \times 100^2 / (0,014 \times 6000^2) = 0.000397 \text{ N/mm}^2 = 397 \text{ N/m}^2$ $W_{Ed2} = 0,2 \times 1/6 \times 100^2 / (0,023 \times 6000^2) = 0.000403 \text{ N/mm}^2 = 403 \text{ N/m}^2$
Totaal opneembare windbelasting	$W_d = 681 + 403 = 1084 \text{ N/m}^2$	

Voorbeeld 1 lateraal belaste wand

■ Controle afmetingen: Annex F, Figuur F1

- $l / t = 6000 / 100 = 60$
- $h / t = 2900 / 100 = 29$



1)

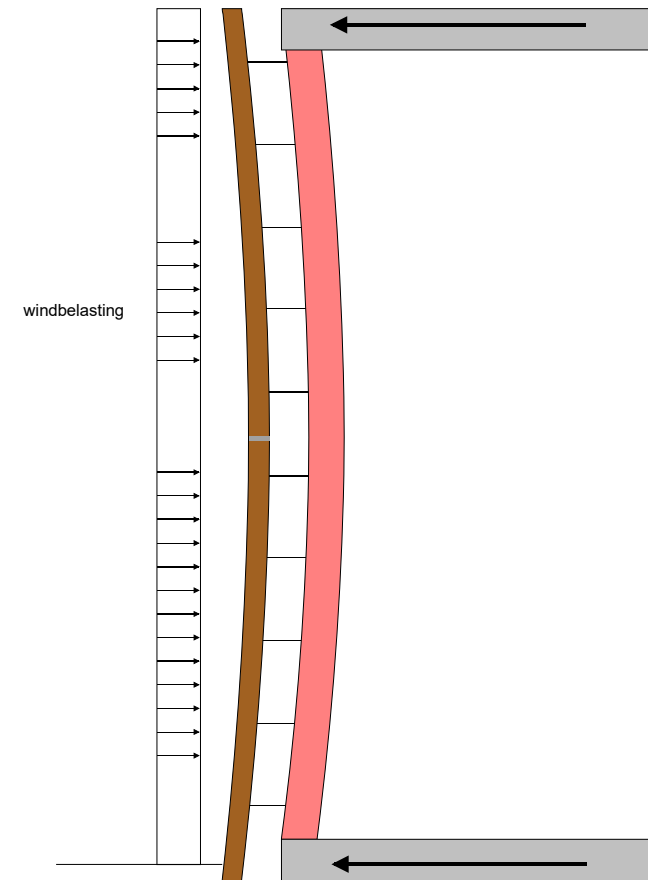
Verklaring

1 scharnierend opgelegd of volledig ingeklemd

Voorbeeld 2 lateraal belaste wand

■ Verticaal spannend penant 2,7 m hoog 1,5 m breed

- binnen
 - PLS 500 14 cm
 - tussen 2 “vloeren”
- buiten
 - baksteen 10 cm
 - ecobrick 6,5 cm
 - vrij aan de bovenzijde
- spouw 20 cm
- spouwbladen verbonden met 5 ankers / m²



Voorbeeld 2 lateraal belaste wand



Voorbeeld 2 lateraal belaste wand



Voorbeeld 2 lateraal belaste wand

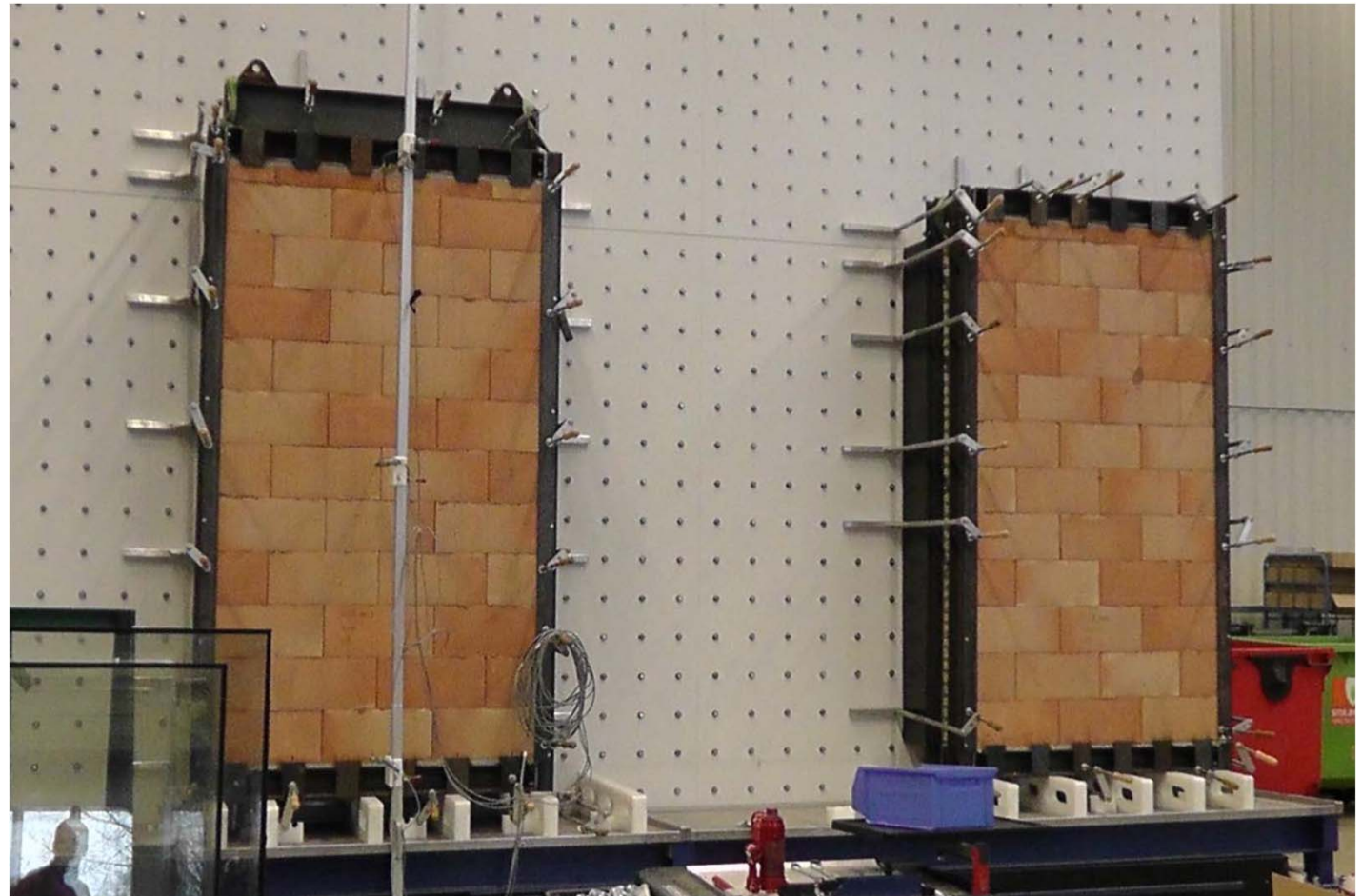
■ Lineair elastische berekening

$$M_E = \frac{1}{8} q l^2$$

	unit	inside	outside	outside
h	mm	2710	2700	2700
l	mm	1500	1500	1500
t	mm	138	100	65
Z	mm ³	4.76E+06	2.50E+06	1.06E+06
I	mm ⁴	3.29E+08	1.25E+08	3.43E+07
f_{x1}	N/mm ²	0.1	0.1	0.1
M_r	Nmm	4.76E+05	2.50E+05	1.06E+05
q	N/mm	0.52	0.27	0.12
p	N/m ²	346	183	77
			in+out	in+out
p total	N/m ²		529	423

Voorbeeld 2 lateraal belaste wand

- Proef in labo Reynaers te Duffel



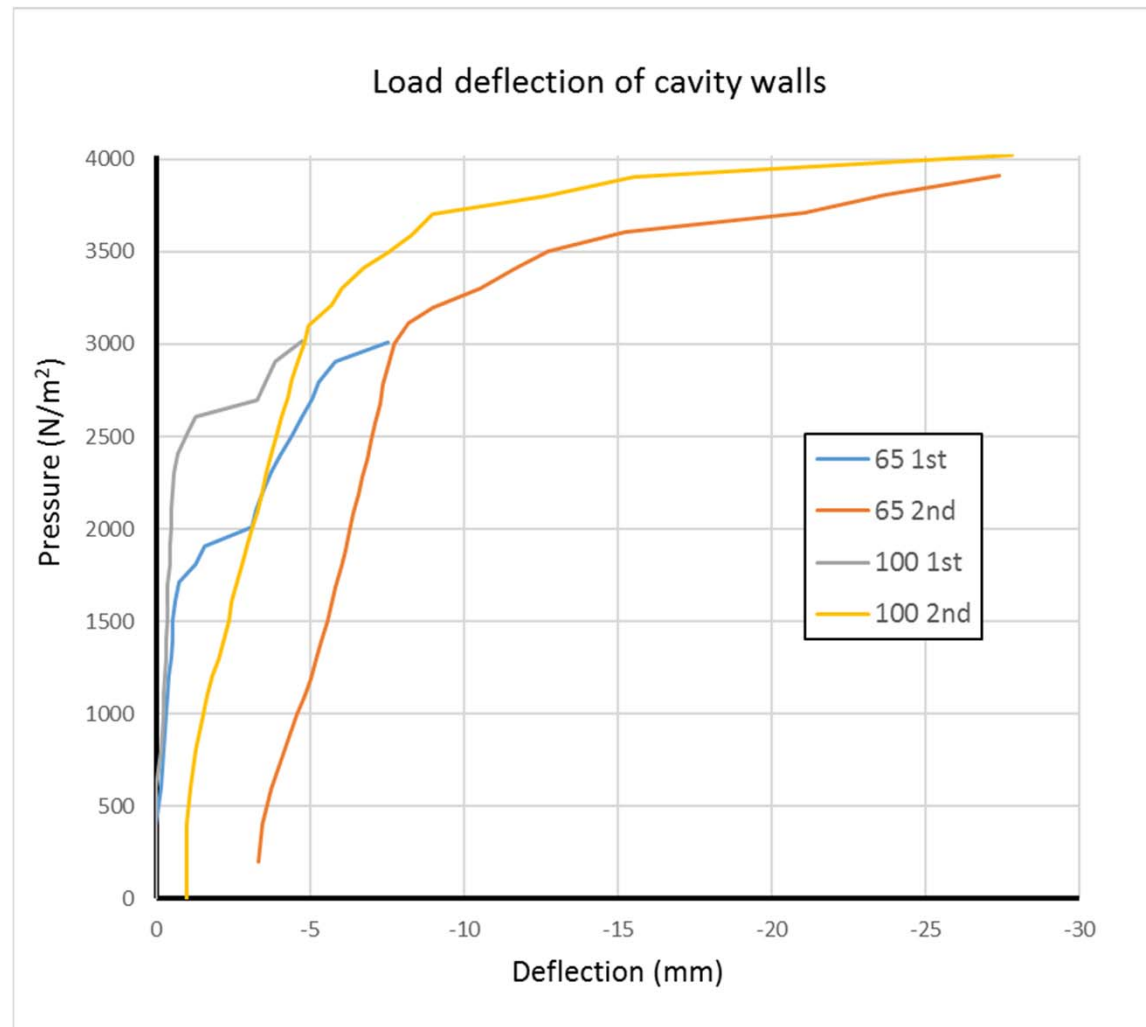
Voorbeeld 2 lateraal belaste wand

- Proef



Voorbeeld 2 lateraal belaste wand

■ Proef



Voorbeeld 2 lateraal belaste wand

■ Analyse proef

	unit	inside	outside	outside
<i>h</i>	mm	2710	2700	2700
<i>l</i>	mm	1500	1500	1500
<i>t</i>	mm	138	100	65
<i>Z</i>	mm ³	4.76E+06	2.50E+06	1.06E+06
<i>I</i>	mm ⁴	3.29E+08	1.25E+08	3.43E+07
<i>f_{x1}</i>	N//mm ²	0.32	0.35	0.35
<i>Mr</i>	Nmm	1.52E+06	8.75E+05	3.70E+05
<i>q</i>	N/mm	1.66	0.96	0.41
<i>p</i>	N/m ²	1106	640	270
			in+out	in+out
<i>p total</i>	N/m ²		1747	1377

Voorbeeld 2 lateraal belaste wand

- Analyse proef met boogwerking
 - Rekening houdend met de dikte van de mantel
 - 8 mm ipv $t/10$
 - druksterkte metselwerk: $5,5 \text{ N/mm}^2$
 - doorbuiging 35 mm
 - $p = 4550 \text{ N/m}^2$

Voorbeeld 2 lateraal belaste wand

- Boogwerking verklaart de gemeten capaciteit
- Buitenblad heeft geen invloed
- Aantal spouwankers ruim voldoende om windbelasting van buitenblad naar binnenblad over te dragen

Dimensionering spouwankers

■ Aandachtspunten

- Verschil in vervorming tussen de verbonden constructieve elementen, bijvoorbeeld ten gevolge van temperatuurverschillen, verandering van vochtgehalte en belastingen;
- Horizontale windbelasting;
- Afwijkingen van de rechtheid;
- Aantastingen van het materiaal inclusief het risico op bros bezwijken ten gevolge opeenvolgende vervormingen waaraan de ankers zijn onderworpen tijdens en na de uitvoering
- Geadviseerd wordt om voor spouwen met een breedte kleiner dan 180 mm geen ankers met een middellijn groter dan 4,0 mm toe te passen. Dit in verband met de vervormingscapaciteit van de ankers;
- Aantal volgens STS...

Dimensionering spouwankers

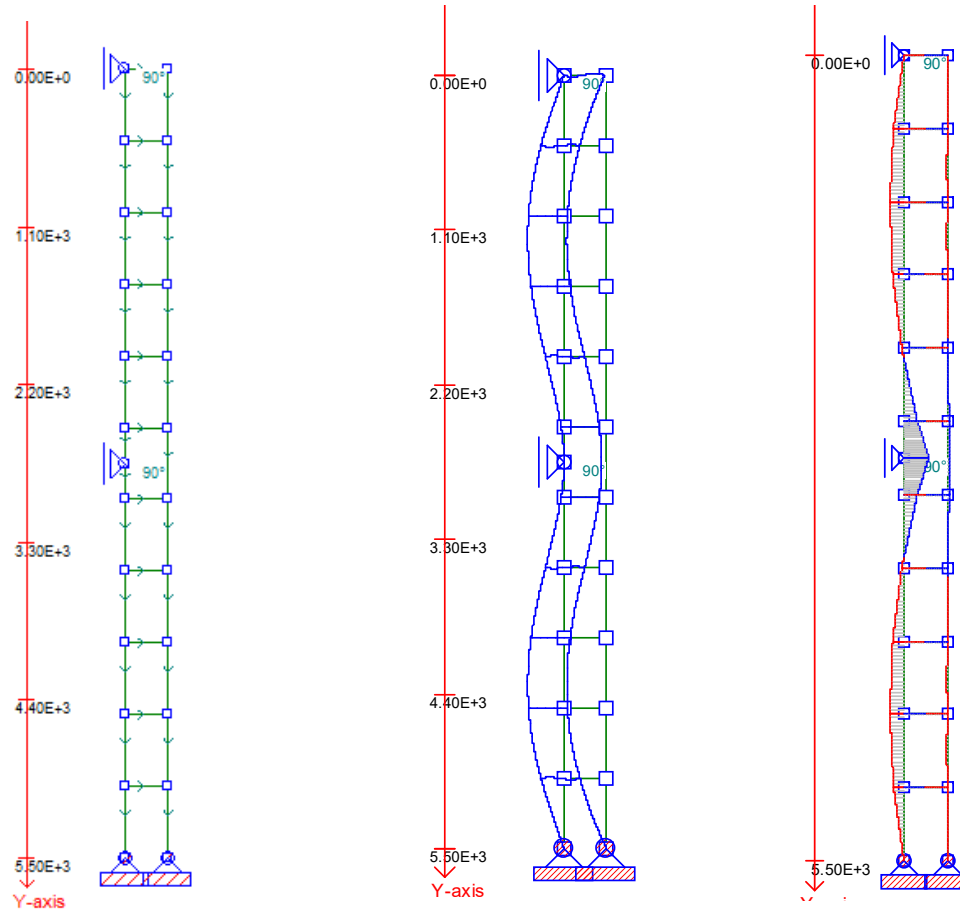
- Aantal spouwankers volgens STS 22

TABEL 8.6.1 : Indicatie aantal spouwhaken/m²

<i>binnenspouwblad</i>	<i>buitenspouwblad</i>	<i>spouwbreedte</i>	<i>Ø anker</i>	<i>n_{min}</i>
140	90	≤ 90 mm	≥ 3,5 mm	5
140	90	≤ 110 mm	≥ 4,0 mm	5
140	90	≤ 110 mm	≥ 3,5 mm	6
140	90	≤ 130 mm	≥ 4,0 mm	6
140	70/65	≤ 90 mm	≥ 3,5 mm	6,5
140	70/65	≤ 90 mm	≥ 4,0 mm	6
140	70/65	≤ 130 mm	≥ 4,0 mm	6,5

Dimensionering spouwankers

■ Effect Eco-brick



Dimensionering spouwankers

■ Effect Eco-brick

- Belasting wordt gelijkmatiger verdeeld
- maximale drukkracht is met 34% gereduceerd
- meer of minder spouwankers?

