

Steenconstructies.

Ir.J.G.M.Raadschelders

Inleiding.

Het college betreft schijfconstructies in de vorm van dragende wanden. Deze wanden zijn opgebouwd uit afzonderlijke kleine elementen in de vorm van stenen, blokken of lijmelementen. De elementen worden bij elkaar gehouden door een voegvulling in de vorm van mortel of lijm. Deze voegvulling dient om de elementen onderling te verbinden en om ongelijkheden uit te vlakken. De op deze wijze samengestelde ongewapende constructies noemt men metselwerk. Bij betonconstructies komen eveneens ongewapende wanden voor. Echter deze wanden worden als een geheel geproduceerd door beton in een wandbekisting te storten. De constructieve benadering van deze ongewapende betonwanden is gelijk aan de benadering van metselwerk. Echter dit valt buiten dit college.

De onderwerpen zijn:

1. materiaaleigenschappen
2. afmetingen van stenen, blokken en elementen
3. kniklengte
4. metselverbanden
5. detaillering
6. dilataties
7. openingen en lateien
8. druk en buiging
9. literatuur
10. wat kan er fout gaan?

1. Materiaaleigenschappen

Het metselwerk is samengesteld uit **elementen** van steen en een voegvulling. De stenen elementen kunnen zijn baksteen, kalkzandsteen, natuursteen, gasbeton, betonsteen, poriso enz. Al deze materialen hebben hun specifieke gedragskenmerken en sterkte-eigenschappen. Met gedragskenmerken wordt bedoeld het gedrag onder invloed van temperatuur, vocht, zonbestraling, vorst, graffiti enz. De sterkte eigenschappen betreffen de druksterkte, de treksterkte, de buigsterkte en de elasticiteitsmodulus.

De **voegvulling** bestaat uit een metselmortel of een lijm. De dikte van de mortelvoegen varieert van 8 – 12 mm. De lijmvoegen zijn dunner en zijn 2-5 mm dik. De mortel(specie) wordt aangebracht met een metseltroffel. De metselaar neemt uit de speciekuip een hoeveelheid specie en brengt deze aan op de bovenste stenen en tegen de kop van de steen. Vervolgens legt hij de volgende steen in de specie. De lijm wordt aangebracht met een lijmbak, welke over de stenen wordt getrokken, of een lijmpistool. Hierbij wordt de lijm door middel van een pomp en een pistool in 2 lijmsporen aangebracht op de stenen. Hierbij worden de verticale voegen meestal niet gevuld omdat dit niet goed mogelijk is.

De **sterkte van het metselwerk** wordt bepaald door de sterkte-eigenschappen van de afzonderlijke componenten zoals de stenen en de mortel en door de kwaliteit van de uitvoering. Met het laatste wordt bedoeld de vulling van de voegen.

De **materiaaleigenschappen** van de stenen zijn vastgelegd in diverse normen. De **sterkteklasse** is, net zoals bij beton, vastgelegd door de druksterkte te definiëren. Hiervan afgeleid

worden de overige sterkte-eigenschappen. Dit geldt eveneens voor de eigenschappen van de verschillende mortels en lijmen. Op basis van deze gegevens worden de eigenschappen van het metselwerk vastgesteld of berekend. In de oorspronkelijke TGB 1990 Steenconstructies zijn tabellen opgenomen. In de nieuwste uitgave moet men zelf de sterktecijfers berekenen.

Tabel 1 – Representatieve waarde van de druksterkte van metselwerk van baksteen in N/mm^2

gemiddelde druksterkte van de produkten volgens 8.3 van NEN 2489:1976	f_{rep} N/mm^2		
	representatieve druksterkte van de mortel N/mm^2		
	2,5	7,5	$\geq 12,5$
N/mm^2			
5	1,0	1,5	2,0
10	2,0	3,0	3,5
15	3,0	4,5	5,0
20	4,0	5,5	6,5
25	4,5	6,5	8,0
30	5,0	7,5	9,0
35	5,5	8,5	10,0

Tabel 2 – Representatieve waarde van de druksterkte van metselwerk van kalkzandsteen in N/mm^2

gemiddelde druksterkte van de produkten volgens 9.3 van NEN 3837:1985	f_{rep} N/mm^2		
	representatieve druksterkte van de mortel N/mm^2		
	2,5	7,5	$\geq 12,5$
N/mm^2			
15	4,0	5,0	6,0
25	6,5	7,5	8,5
30	7,5	8,5	9,5
35	8,0	9,0	10,0

Tabel 3 – Representatieve waarde van de druksterkte van metselwerk van betonsteen in N/mm^2

gemiddelde druksterkte van de produkten volgens 2.4 van NEN 7027:1973	f_{rep} N/mm^2		
	representatieve druksterkte van de mortel N/mm^2		
	2,5	7,5	$\geq 12,5$
N/mm^2			
10	3,0	3,5	4,0
15	4,5	5,0	5,5
20	6,0	6,5	7,0
25	7,5	8,0	8,5
30	9,0	9,5	10,0

Tabel 4 – Representatieve waarde van de druksterkte van metselwerk van gasbeton in N/mm²

gemiddelde druksterkte van de produkten volgens 6.4 van NEN 3838:1991 N/mm ²	f'_{rep} N/mm ²	
	representatieve druksterkte van de mortel N/mm ²	
	mortel ≥ 7,5	lijmmortel ≥ 12,5
2,3	1,3	1,6
3,4	1,9	2,3
4,5	2,5	3,0
5,6	3,0	3,6
6,8	3,6	4,3

De **elasticiteitsmodulus** van metselwerk is $E = 900 * f'_{rep}$.

De **lineaire uitzettingscoëfficiënt** bedraagt voor baksteen $6.0 * 10^{-6}$, voor kalkzandsteen $8.0 * 10^{-6}$ en voor betonsteen $10.0 * 10^{-6}$. Indien de druksterkte van metselwerk wordt berekend, dan geldt de volgende formule:

$$f'_{rep} = K * f_b^\alpha * f_m^\beta$$

Hierin is f_b de druksterkte van de stenen en f_m de druksterkte van de mortel.

De coëfficiënten worden ontleend aan de volgende tabel:

Tabel 1 — Constanten voor de bepaling van de representatieve metselwerkdruksterkte volgens 9.1.3

Steensoort	Metselmortel			Lijmmortel ^a		
	K	α	β	K	α	β
baksteen	0,6	0,65	0,25	0,8	0,75	0,1
kalkzandsteen	0,6	0,65	0,25	0,8	0,85	0
betonsteen	0,6	0,65	0,25	0,8	0,85	0
cellenbeton	0,6	0,65	0,25	0,8	0,85	0

^a Voegdikte lintvoeg bij baksteen ≥ 0,5 mm en ≤ 5 mm.
Voegdikte lintvoeg bij kalkzandsteen, betonsteen en cellenbeton ≥ 0,5 mm en ≤ 3 mm.

Voor de bepaling van de rekenwaarde van de sterkte dient een **materiaalfactor** van $\gamma_m = 1.8$ in rekening te worden gebracht.

Let op: de materiaalfactoren voor de verschillende materialen zijn:

staal $\gamma_m = 1.00$

betonstaal $\gamma_m = 1.15$

beton $\gamma_m = 1.20$

hout $\gamma_m = 1.20$

Soms zijn nog verdere onderverdelingen mogelijk.

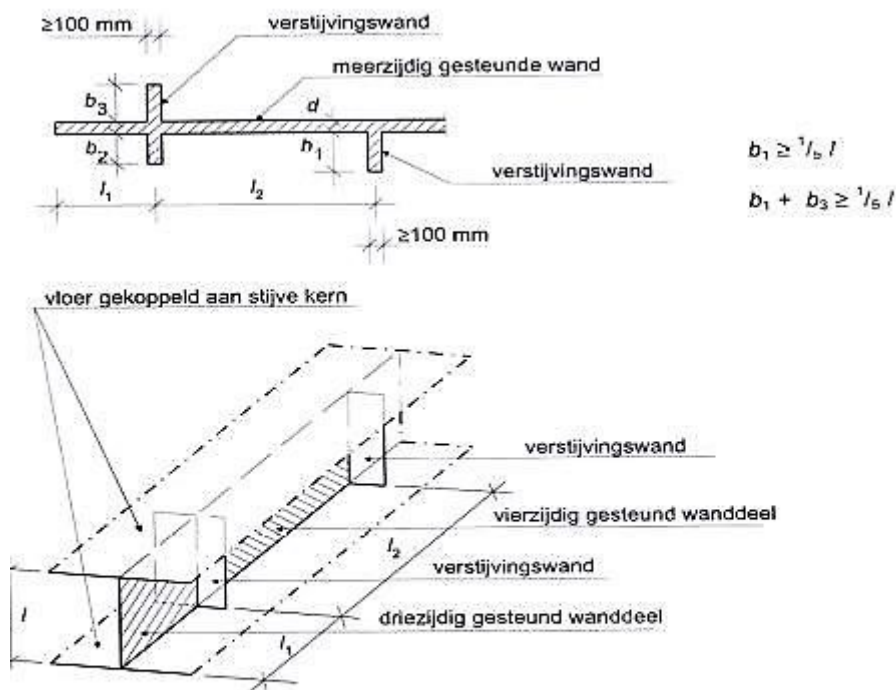
2. Steenafmetingen.

Stenen zijn er in verschillende afmetingen. Voor bakstenen worden in het algemeen slechts 2 formaten toegepast nl. het **waalformaat** en het **amstelformaat**. De afmeting van het waalformaat is 210 x 100 x 55 en van het amstelformaat 210 x 100 x 85. De laatste is dikker.

Bij kalkzandsteen worden dezelfde formaten toegepast. Maar voor grotere muren gebruikt men blokken. Deze **blokken** hebben in aanzicht een afmeting van 200 x 300 mm². De breedte van de steen is afhankelijk van de gekozen muurdikte en bedraagt 100, 120, 150, 214, 230 of 300 mm. Deze blokken worden in de bouw pasgemaakt. Om te tillen is er speciaal gereedschap beschikbaar. In de seriematige bouw worden **lijmelementen** toegepast. De afmetingen van de lijmelementen bedragen 896 x 596 en hebben een werkend oppervlak van 900 x 600 mm². Deze lijmelementen zijn alleen te stapelen met een speciale kraan. De elementen wegen, afhankelijk van de muurdikte, ca. 100 kg (100) tot 250 kg (230).

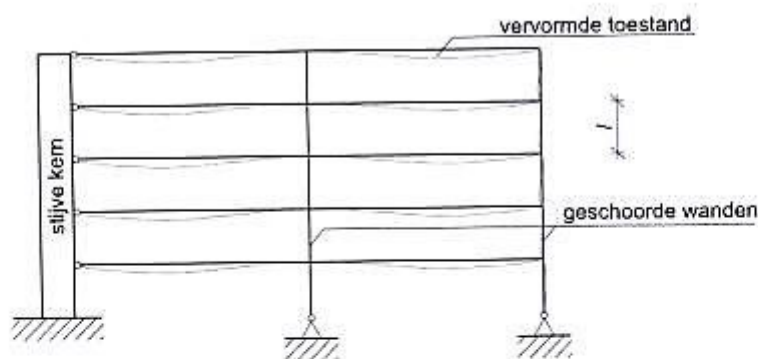
3. Kniklengte.

De **kniklengte** van de wanden is afhankelijk van de hoogte van de wand tussen de vloeren. De wanden worden horizontaal gesteund door vloeren. Echter omdat er soms ook wanden loodrecht aansluiten mag de kniklengte binnen een zeker gebied worden gereduceerd.



Figuur 9 — Schematisering verstijwingswanden

10.4 Geschoorde wanden



Figuur 7 — Geschoorde wanden

Eerste-orde-excentriciteit e_0

Geschoorde wanden zijn passieve of neutrale wanden volgens 10.1.2 toegepast in een geschoord raamwerk (zie figuur 7). Bij wanden in geschoorde raamwerken moet in aanvulling op de repons bepaald volgens 10.3.6, voor iedere wand tevens een minimale, over de lengte l constante, eerste-orde-excentriciteit van $l/300$ $l \geq 10$ mm worden aangehouden. Hierin is l de wandhoogte, in mm.

Bepaling ξ en e_c :

$$\xi = 0,5 \left(1 + \frac{e_1}{e_0} \right) \geq 0,75$$

4. Metselverbanden.

De stenen en blokken worden in **verband** gemetseld. De reden is dat de voegen in het algemeen geen trek kunnen opnemen en de stenen wel. Door de stenen in verband te metselen blijft de muur als het ware zonder mortel al staan. Daarbij komt dat de mortel dient om ongelijke afmetingen en oneffenheden te compenseren. Indien door temperatuursinvloeden of andere oorzaken er trek in het metselwerk komt, dan nemen de stenen dit op. Indien de verticale voegen (stootvoegen) recht boven elkaar zitten, dan zijn deze vaak gescheurd. Daarom wordt in dit soort metselwerk vaak een horizontale wapening aangebracht. Aan het verband worden eisen gesteld.

9.7 Steenverband

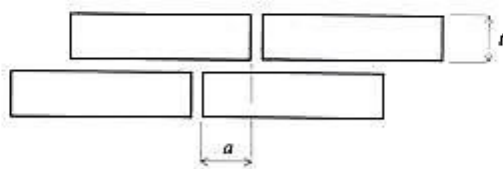
Indien de bepaling van de rekenwaarden van de buigtreksterkte is uitgevoerd volgens 9.2.5 of 9.2.6 of indien de representatieve schuifsterkte is bepaald volgens 9.3.3, moet de **overlappingslengte a** voldoen aan de voorwaarden:

$t \leq 250$ mm: $a \geq 0,4 t$, maar niet kleiner dan 40 mm

$t > 250$ mm: $a \geq 0,2 t$, maar niet kleiner dan 100 mm

waarin:

t is de hoogte van de laag (zie figuur 2).



Figuur 2 — Overlappingslengte a

In aanvulling op het voorgaande geldt dat ook bij hoeken of aansluitingen waar de overlapping van de stenen niet minder is dan de wanddikte van de wand waarop wordt aangesloten, gesproken mag worden van metselwerk dat in verband is uitgevoerd.

Omdat het toegepaste verband bij **schoon metselwerk** het aanzicht bepaald, wordt hier door architecten veel aandacht aan geschonken. De bekendste verbanden zijn halfsteensverband, wildverband, kruis-verband, ketting-verband, noors-verband, klezoren-verband enz.

5. Detaillering.

Met de detaillering van metselwerk wordt bedoeld de verschillende **aansluitingen** aan kozijnen, bij hoeken, bij rollagen, bij lateien en bij penanten. Deze detaillering is belangrijk omdat hierbij eveneens de stenen in verband moeten worden gemetseld. Ook moet rekening worden gehouden met eventuele trekspanningen door temperatuursinvloeden.

Gevelmetselwerk is in het algemeen niet waterdicht. Bij langdurige regenval loopt aan de binnenzijde in de spouw het water naar beneden. Dit water moet onderin worden afgevoerd. Daarom worden vlak boven de funderingsbalk (onder het maaiveld) en boven lateien open stootvoegen gehouden zodat het water naar buiten kan. Omdat de muur vochtig is moet deze worden geventileerd. Daarom worden zowel aan de bovenzijde als aan de onderzijde vlak boven maaiveld eveneens **open stootvoegen** gehouden. Door deze ventilatie ontstaan in de spouw luchtstromen met snelheden die overeenkomen met de wind buiten. Daardoor kan de isolatie kapot waaien. Aan de isolatie in de spouw worden daarom ook speciale eisen gesteld.

In Nederland is het gebruikelijk om gevels op te bouwen met een **spouw**. Dit is een verticale holle ruimte tussen de muren. Het buitenspouwblad staat los van het binnenspouwblad. De spouwbladen worden onderling gekoppeld door **spouwankers**. Hieraan worden eveneens eisen gesteld. In de spouw tegen het binnenspouwblad wordt de isolatie aangebracht. Doordat de spouwbladen onderling flexibel zijn gekoppeld is het mogelijk dat het buitenspouwblad min of meer onafhankelijk kan bewegen van het binnenspouwblad. Dit is van belang in verband met de grote temperatuursverschillen tussen het binnenspouwblad en het buitenspouwblad. De temperatuur

van het binnenspouwblad bedraagt constant ca. $+20^{\circ}\text{C}$ en van het buitenspouwblad varieert tussen -15°C in de winter en $+40^{\circ}\text{C}$ in de zomer. Het uitwerken van details valt buiten het college.

In sommige situaties wordt het metselwerk gewapend met **Murfor**. De wapening bestaat uit een soort tralieliggers van staal of kunststof, welke wordt opgenomen in de lintvoeg. De dikte van de wapening is 2 a 3 mm anders past deze niet in de voeg. De wapening wordt aangebracht op plaatsen waar men scheuren verwacht. Voor de juiste beoordeling is deskundigheid vereist. Deze wapening is niet te vergelijken met de wapening in betonconstructies.

6. Dilataties.

Zoals reeds eerder vermeld is het metselwerk onderhevig aan lengteveranderingen door **temperatuursinvloeden en vochtwisselingen**. Buitenspouwbladen worden in horizontale richting gedilateerd door **verticale voegen**. De voegafstand is in het algemeen ca. 10.0 m oftewel 2 woningen. In verticale richting worden de buitenspouwbladen gedilateerd door **horizontale voegen** per elke 2 verdiepingen. Bij hoge gebouwen op elke verdieping. Daarom is het noodzakelijk om ter plaatse van deze horizontale voegen een metselwerkondersteuning aan te brengen. Deze ondersteuning kan bestaan uit een betonband of een stalen hoekstaal. De ondersteuning is verbonden aan de achterliggende hoofddragconstructie. Veelal worden ze vastgemaakt aan de kop van de betonvloeren.

Bild 3: Geschlossene Wandfläche
mit Einzelkonsolankern Typ HK 4 - P; e = 50 cm
siehe Seite 20, 21

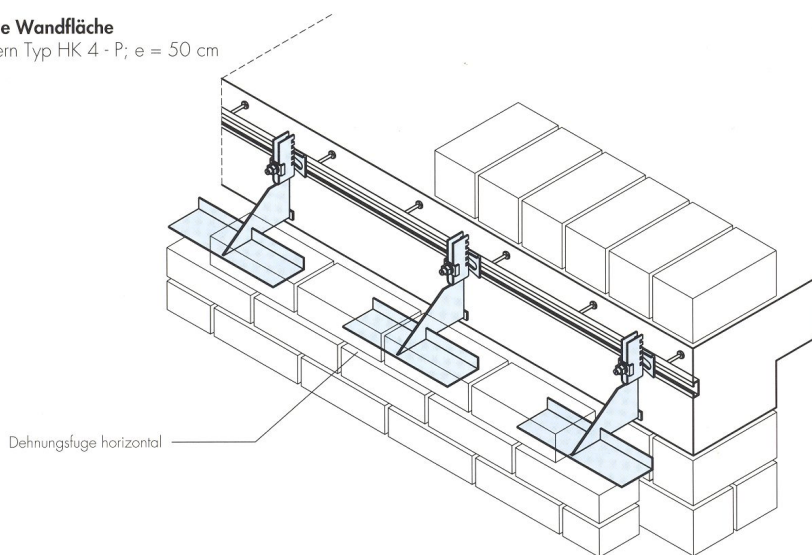
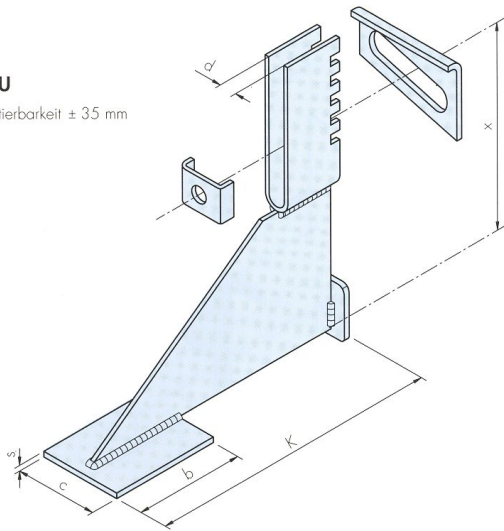


Bild 4: Gebäudeecken

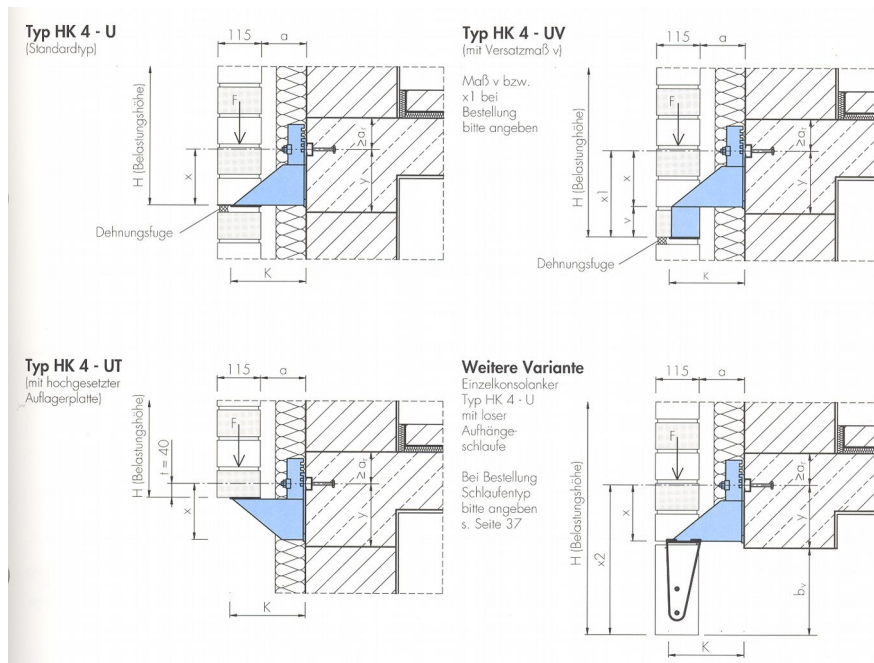
HK 4 - U

Höhenjustierbarkeit ± 35 mm



7. Openingen en lateien.

Om het metselwerk te ondersteunen zijn boven openingen in de muren ondersteuning noodzakelijk. In het verleden werden bij kleine openingen vaak rollagen of hanenkammen toegepast. Dit zijn in het metselwerk opgenomen gemetselde boogconstructies. Tegenwoordig past men lateien toe. Dit zijn stalen of betonnen balken. Bij de dimensionering hiervan wordt vaak rekening gehouden met een zekere boogwerking van het metselwerk boven de lateien. Zo zijn de samenwerkingslateien ontstaan. Dit zijn kleine voorgespannen betonbalkjes. Tegenwoordig worden deze alleen nog binnen toegepast. Ook paste men zelfdragende betonlateien in de gevels toe. Dit is voorbij. Architectonisch vond men deze betonbalken in de gevel niet meer acceptabel, maar er zijn ook veel problemen geweest met het roesten van de wapening in deze lateien. Tegenwoordig worden vaak stalen lateien toegepast. De lateien worden uitgevoerd als hoekstaal of een koudvervormd profiel. Ze worden thermisch verzinkt en met een kleurtje gepoedercoat. Soms wordt RVS toegepast.

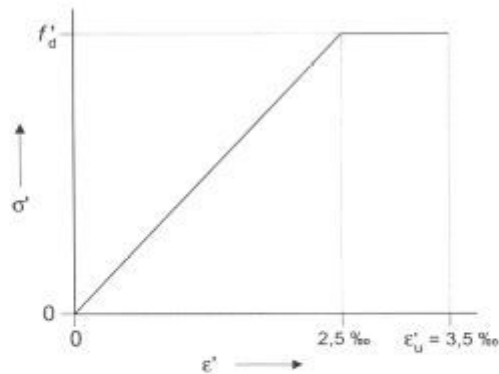


8. Druk met buiging.

In principe kan metselwerk **alleen drukspanningen** opnemen. Indien metselwerk onder druk staat dan is het eveneens in staat om buiging op te nemen. Dit lijkt op een soort voorspanning. Het gedrag van metselwerk onder druk komt overeen met het gedrag van beton. De vorm van het spannings-rek diagram is gelijk.

9.5 Het verband tussen σ en ε

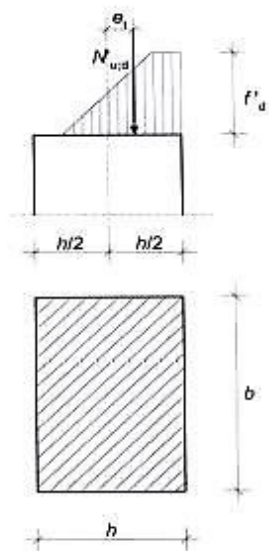
Voor het verband tussen σ' en ε' moet het diagram van figuur 1 worden aangehouden.



Figuur 1 — Verband tussen σ en ε

OPMERKING 1 Het hier gegeven σ - ε -diagram heeft betrekking op de sterkteberekening van de doorsnede, belast op buiging en druk en de berekening van de krachtsverdeling volgens de niet-lineaire-elasticiteitstheorie (NLE).

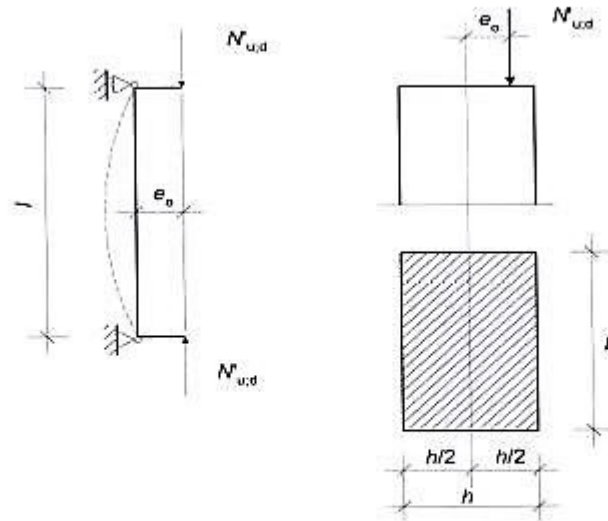
Voor niet-dragende constructies waarmee fysisch niet-lineair wordt gerekend, mag het σ - ε -diagram worden uitgebreid met een trektak waarbij ook rekening mag worden gehouden met een dalende tak na het bereiken van de treksterkte.



Figuur 15 — Schematisering uiterst opneembare normaaldrukkracht in een rechthoekige doorsnede

Op basis van dit diagram is de sterkte van een doorsnede te berekenen. Echter voor het berekenen van een wand dienen de effecten van de **2e orde** en de **knik** in rekening te worden gebracht. Dit gebeurt op dezelfde wijze als bij ongewapend beton.

11.2.5 Tweezijdig gesteunde wanden of kolommen met een rechthoekige doorsnede en een over hoogte constante eerste-orde-excentriciteit e_0



Figuur 16 — Schematisering tweezijdig gesteunde wand of kolom

Voor deze wanden of kolommen (zie figuur 16) mag voor de bepaling van de uiterst opneembare normaaldrukkracht gebruik worden gemaakt van de formule:

$$N'_{u,d} = c f_d b h$$

De spanning in een doorsnede wordt bepaald door de druk en de buiging.

De **basisformule** hiervoor is:

$$\sigma = N/A + M/W.$$

De **beginexcentriciteit** is:

$$e_0 = M/N.$$

Aan deze beginexcentriciteit worden eisen gesteld en worden correcties toegepast om het 2e orde effect in rekening te brengen. De minimale eis is $e_0 = > 10 \text{ mm}$.

Om de juiste krachten in de doorsnede te kunnen berekenen dienen de juiste **belastingen** in rekening te worden gebracht. Deze belasting bestaan uit de **directe belasting** op de wand en de **indirecte belasting** veroorzaakt door de aanpendelende delen. De directe belasting zijn de verticale belastingen en de horizontale belastingen. De indirecte belasting bestaat uit het in rekening brengen van een minimale scheefstand van 1/300, waardoor de aanpendelende belasting een horizontale kracht op de wand uitoefent. Voor het knikgedrag van de wand wordt een **toeslagexcentriciteit e_c** in rekening gebracht. Bovenstaande belastingen zijn afhankelijk van de randvoorwaarden van de wand. Hierin wordt onderscheid gemaakt in **geschoorde wanden** en **ongeschoorde wanden**. Ongeschoorde wanden zijn als het ware de stabiliteitskernen in een gebouw.

In het algemeen geldt de volgende tabel voor de relatie tussen de druksterkte en de belasting. Voor de standaardgevallen zijn de formules omgewerkt tot een relatie tussen de kniklengte en de beginexcentriciteit. Dit maakt het berekenen iets eenvoudiger.

Steenconstructies.

Tabel 7 — Verband tussen de rekenwaarde van de uiterst opneembare normaaldrukkracht $N'_{u,d}$ en de rekenwaarde voor de druksterkte f_d , als functie van e_t voor rechthoekige doorsneden (zie figuur 15)

$\frac{e_t}{h}$	$\frac{N'_{u,d}}{f_d \cdot b \cdot h}$
0,00	1,00
0,05	0,86
0,10	0,74
0,15	0,63
0,20	0,54
0,25	0,45
0,30	0,36
0,35	0,27
0,40	0,18
0,45	0,09
0,50	0,00

waarin:

$N'_{u,d}$ is de rekenwaarde van de uiterst opneembare normaaldrukkracht in de doorsnede bij een excentriciteit e_t ;

f_d is de rekenwaarde van de druksterkte van het metselwerk, bepaald volgens 9.1.1;

h is de totale hoogte van de doorsnede, gemeten in de buigingsrichting;

b is de afmeting van de doorsnede, loodrecht op h gemeten;

e_t is de totale excentriciteit
 $= \frac{M_d}{N_d}$

10.5 Ongeschoorde eenzijdig ingeklemde wand



Figuur 10 — Schematisering ingeklemde wand

Deze ongeschoorde wanden (zie figuur 10) zijn actieve wanden volgens 10.1.2.

Bepaling ξ en e_c :

$$\xi = \frac{C}{C - N_{vd}l}$$

$$e_c = 18 h \left(\frac{l}{100 h} \right)^2 \frac{N_{vd}}{N'_d}$$

■waarin:

C is de rotatieveerconstante van de inklemming;

l is de hoogte van de kolom of wand boven de inklemming;

h is de grootste afmeting van de horizontale doorsnede van de kolom of de wand in de buigingsrichting;

$N_{v,d}$ is de rekenwaarde van de totale verticale belasting op de actieve wand en de passieve wanden waarvoor de beschouwde wand de stabiliteit verzorgt;

N'_d is de rekenwaarde van de normaaldrukkracht in de beschouwde wand;

$F_{h,d}$ is de rekenwaarde van de horizontale kracht die aangrijpt aan de bovenzijde van de beschouwde wand.

10.3.6 Totale excentriciteit

De totale excentriciteit moet worden bepaald uit:

$$e_t = \xi (e_o + e_c) \geq e_o$$

waarbij

$$e_o = \frac{M_{o,d}}{N'_d}$$

waarin:

e_o is de eerste-orde-excentriciteit in de doorsnede, bepaald met behulp van de lineaire-elasticiteitstheorie volgens 10.2.4;

e_c is de toeslagexcentriciteit, bepaald volgens de formules in 10.4 t.m. 10.7;

ξ is een factor ter bepaling van e_t volgens de formules in 10.4 t.m. 10.7;

$M_{o,d}$ is de rekenwaarde van het eerste-orde-buigend moment, bepaald volgens 10.2.4;

N'_d is de rekenwaarde van de normaaldrukkracht, bepaald volgens 10.2.4.

Tabel 8 — Waarden van c

$\frac{e_0}{h}$	Waarden van c^* voor						
	$\lambda = 0^b$	$\lambda = 5$	$\lambda = 10$	$\lambda = 15$	$\lambda = 20$	$\lambda = 25$	$\lambda = 30$
0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,82	0,53	0,37
0,05	0,86	0,85	0,79	0,68	0,54	0,37	0,26
0,10	0,74	0,72	0,66	0,55	0,40	0,26	0,18
0,15	0,63	0,61	0,55	0,43	0,27	0,17	0,12
0,20	0,54	0,52	0,44	0,30	0,17	0,11	0,07
0,25	0,45	0,43	0,33	0,17	0,10	0,06	0,04
0,30	0,36	0,33	0,20	0,09	0,05	0,03	0,02
0,35	0,27	0,22	0,09	0,04	0,02	0,01	0,01
0,40	0,18	0,10	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
0,45	0,09	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

^a Voor tussenliggende waarden van λ en $\frac{e_0}{d}$ mag rechtlijnig worden geïnterpoleerd.

^b $\lambda = 0$ komt overeen met het gestelde ten aanzien van de doorsnede-berekening in 11.2.3.

9. Literatuur.

De basis voor het berekenen van metselwerk is vastgelegd in TGB 1990 Steenconstructies (NEN 6790). Als aanvulling hierop is er de Praktijkrichtlijn NPR 6791. Hierin staan de meest voorkomende situaties weergegeven in tabellen, zodat er geen berekening nodig is. Verder zijn er diverse boeken over het uitvoeren van metselwerk en de steenverbanden.

10. Wat kan er fout gaan?

Indien men constructies ontwerpt of berekeningen maakt, dan is het goed om zich de volgende vragen te stellen:

- Wat zijn de plekken waar ik verwacht dat iets het eerste stuk gaat?
- Is de constructie daar voldoende sterk?
- Zijn de in rekening gebracht belastingen reëel? Reken ik niet te weinig of te veel?
- Zijn de vervormingen acceptabel? Kunnen aansluitende constructies de vervorming verdragen?