



**VRIJSTAANDE MUREN** 

**GEMETSELD IN BAKSTEEN** 

## Inleiding

### Constructieve aspecten

Vrijstaande (twin)muren 4

Geluidsmuren 11

Grond- en waterkeringen 12

### Uitvoeringsaspecten

Vrijstaande muren 12

Kelder- en kademuren 13

Muurafdekkingen 14

### Bijlage

Waarden voor de stuwdruk 16

## Colofon

### **Uitgever**

Koninklijk Verbond van Nederlandse Baksteenfabrikanten

### **Tekst en tekeningen**

Grid Design, Hoofddorp

ir. Jos Kooren

### **Fotografie**

KNB

Frank Struijk - Rodruza

Foto omslag: Geluidsmuur Amstelveen, Kraanenberg,

Van der Erve Architecten. Foto: Grid Design

### **Ontwerp en druk**

Coers en Roest bv ontwerpers bno/drukkers, Arnhem

Januari 2003

© Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vervoelvoudigd, opgeslagen of openbaargemaakt in enige vorm of op enige wijze, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van KNB.

KNB en de door KNB ingeschakelde derden hebben aan de inhoud en samenstelling van deze documentatie de grootst mogelijke zorg besteed. De betrokken organisaties en bedrijven aanvaarden echter geen enkele aansprakelijkheid voor het gebruik van de gegeven informatie in deze documentatie of gedane aanbevelingen.

Metselwerk van baksteen wordt van oudsher en nog altijd veelvuldig toegepast voor erfafscheidingen, tuinmuren, grondkeringen en kademuren. De voordelen van een in baksteen gemetselde afscheiding zijn evident. Een gemetselde of gelijmde bakstenen muur biedt een duurzame oplossing die in principe onderhoudsvrij is. Het materiaal geeft de opdrachtgever of ontwerper een grote keuzevrijheid op het gebied van kleuren, structuur en vormgeving. De natuurlijke uitstraling en het karakter van baksteen garanderen fraaie esthetische oplossingen. Daardoor kan baksteen gemakkelijk in elke situatie gebruikt worden. Vrijstaande muren moeten standzekerheid bieden en dus voldoen aan minimale eisen van stabiliteit. Tevens dient rekening te worden gehouden met de inwerking van vocht. Onjuiste vormgeving kan aanleiding zijn tot schade bij langdurige vochtbelasting van vrijstaande muren. De constructieve aspecten, die een rol spelen bij vrijstaande muren, keerwanden, kelder- en kademuren, en het voorkomen van schade door vochtinwerking, zijn het onderwerp van deze brochure.



(Foto: Frank Struijk)



(Foto: Frank Struijk)

## Vrijstaande (tuin)muren

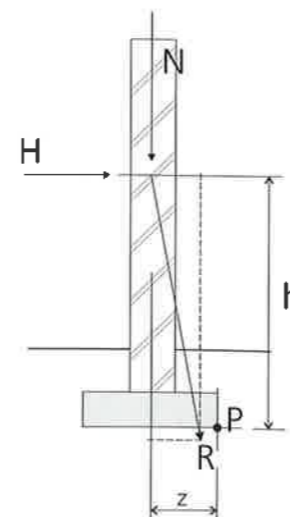
### Belasting

De horizontale belasting bij tuilmuren is meestal beperkt tot windbelasting. Naarmate een vrijstaande muur hoger wordt opgemetseld, nemen de krachten als gevolg van winddruk en windzuiging op de muur toe. Daarbij zullen de muurdikte en fundering moeten worden aangepast. Bijlage 1 geeft de rekenwaarden voor de stuwdruk  $p_w$ , die moet worden aangehouden bij de berekening van de stabiliteit van vrijstaande muren.

De verticale belasting bestaat in hoofdzaak uit het eigen gewicht van de muur. Het spanningsverloop in een horizontale doorsnede van het metselwerk wordt bepaald door druk – als gevolg van het eigen gewicht of op de muur rustende belastingen – met buiging (zie bijlage 1). De drukspanning ten gevolge van het eigen gewicht is meestal relatief klein. Metselwerk kan een beperkte buigtrekspanning opnemen (Buigtreksterkte  $f_{m,t,d} = f_{m,t,rep} / \gamma_m$ ).

### Stabiliteit

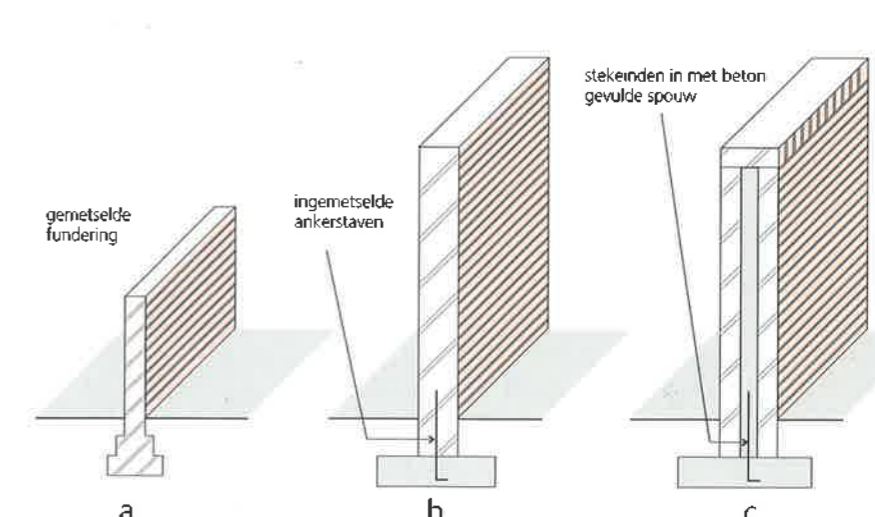
Vrijstaande muren, die op staal zijn gefundeerd, moeten gecontroleerd worden op kantelveiligheid. Deze wordt gecontroleerd ten opzichte van punt P in figuur 1. Hieraan wordt voldaan indien het moment ten gevolge van de verticale belasting om dit punt minstens 2 x zo groot is als het moment ten gevolge van de totale horizontale belasting. In formule:  $N \cdot z / H \cdot h \geq 2$  (zie figuur 1).



Figuur 1  
Stabiliteit van de fundering tegen kantelen is gewaarborgd als  $N \cdot z / H \cdot h \geq 2$

De resultante R dient voldoende ver binnen het materiaal te blijven, zodat de maximaal toelaatbare funderingsspanning in de grond niet wordt overschreden. Figuur 2 toont enkele voorbeelden van vrijstaande muren zonder penanten.

De maximale hoogte van een vrijstaande muur mocht volgens de oude voorschriften 10 x de dikte van de muur zijn (NEN 3853 – tabel 21; deze norm is inmiddels vervangen door NEN 6790, maar voor ontwerpdoeleinden zijn de ontwerptabellen en grafieken uit de oude norm goed bruikbaar, mits de controleberekeningen worden uitgevoerd overeenkomstig NEN 6790). Bij grotere hoogte zijn extra stabiliteitsvoorzieningen nodig, bijvoorbeeld in de vorm van penanten of andere muurverstijvingen. De horizontale doorsnede van de muur krijgt daardoor de vorm van een I-, T- of Z-profiel, waarmee een grotere stijfheid wordt bereikt. In de voorbeeldberekening (zie kader pagina 5) wordt een halfsteens tuinmuur berekend met een hoogte van twee meter met anderhalfsteens penanten om de 2,20 meter. Uit de berekening blijkt duidelijk de invloed van de doorsnede: door de halfsteens muur wisselend aan voor- en achterzijde van de penanten te plaatsen wordt de stijfheid verhoogd en treedt geen scheurvorming op (zie figuur 4 en 5).



Figuur 2  
Vrijstaande muren zonder penanten.

Representatieve waarde van de druksterkte van metselwerk van baksteen ( $f_{m,r}$ ) in  $N/mm^2$ .

Gemiddelde druksterkte van de stenen	Representatieve druksterkte van de mortel in $N/mm^2$			
	2,5	7,5	10	$\geq 12,5$
5	1,0	1,5		2,0
10	2,0	3,0		3,5
12,5	2,5	3,75	4,0	4,25
15	3,0	4,5		5,0
17,5	3,5	5,0	5,4	5,75
20	4,0	5,5		6,5
25	4,5	6,5	7,3	8,0
30	5,0	7,5	8,3	9,0
35	5,5	8,5		10,0
45	7,4	9,8	10,6	11,2
$\geq 60$	9,0	11,8	12,7	13,5

Tabel 1  
Druksterkte van baksteen overeenkomstig tabel 1 van NEN 6790, aangevuld met waarden uit CUR-aanbeveling 46.

Wanneer de afmetingen van vrijstaande niet-dragende muren niet door berekening kan worden vastgesteld, kunnen deze worden afgeleid van de vuistregels volgens NEN 3853, art. 6.1. Het verband tussen de hoogte h, de dikte d en de afstand a tussen de verstijvingen, wordt weergegeven in figuur 3.



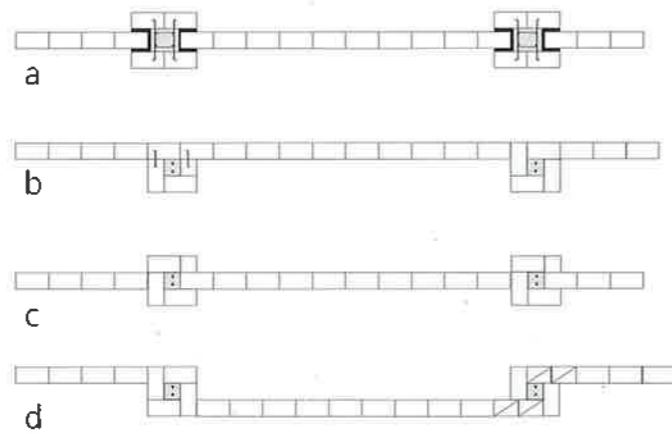
**Figuur 4**  
Tuinmuur halfsteens met steens penanten. De halfsteens muren zijn wisselend aan voor- en achterzijde van de penanten geplaatst. (Foto: Grid Design)

Methoden om de stijfheid van de muur te vergroten zijn:

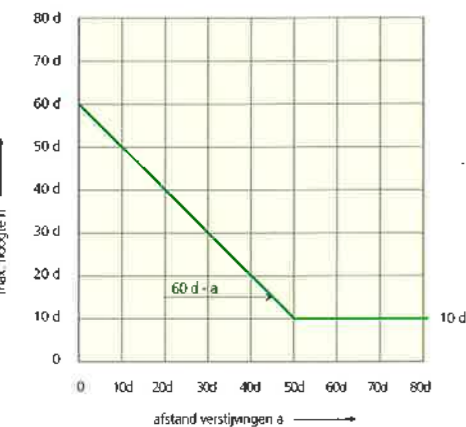
- het wapenen van de penanten;
- toepassen van gewapend metselwerk;
- het aanpassen van de vorm van de muur;
- toepassen gelijkmd metselwerk van baksteen.

**Wapeningsvormen**

Bij grotere hoogte van de muur en/of zwaardere horizontale belasting kan gekozen worden voor het wapenen van penanten of het toepassen van gewapend metselwerk (zie figuur 6 en 8). In beide gevallen wordt de stabiliteit verkregen door inklemming van de muur in de fundering. De fundering moet derhalve in staat zijn om het kantelmoment op te nemen.



**Figuur 6**  
Muren met gewapende penanten.



**Figuur 3**  
Vuistregel voor het bepalen van de afmetingen van niet-dragende vrijstaande muren.

$h$  = hoogte muur  
 $d$  = muurdikte  
 $a$  = afstand tussen verstijvingen (penanten)  
 Voor een niet-dragende vrijstaande muur geldt:  
 $h_{max} = 10d$   
 Indien verstijfd door kolommen of dwarswanden op afstand  $a$ :  
 $h_{max} = 60d - a$



**Figuur 7**  
Tuinmuur met penanten. (Foto: Frank Struijk)

Overigens moet bij het instorten van stekeinden wel aandacht worden geschonken aan het aanbrengen van eventueel benodigde extra dilatatie. Fixatie van bijvoorbeeld penanten aan de fundering door middel van stekeinden kan aanleiding zijn voor het optreden van trekspanning bij krimp van het tussenliggende muurvlak.

**Rekenvoorbeeld tuinmuur**

Het berekenen van een tuinmuur lijkt simpel maar is een lastige opgave. De meeste tuinmuren blijven staan, maar als er volgens TGB 1990 Steenconstructies gerekend moet worden, voldoen vele tuinmuren niet. De belangrijkste belasting op een tuinmuur is de windbelasting. Daarnaast kunnen nog andere horizontale belastingen, veelal in de vorm van stootbelastingen, op een tuinmuur werken. Het gewicht van de muur werkt uiteraard als verticale belasting.

Meer gedetailleerde informatie over dit en andere rekenvoorbeelden vindt u in de KNB-brochure 'Construeren met metselwerk van baksteen'.

**Afmetingen**

hoogte = 2 m  
 wanddikte = 100 mm (halfsteens) met anderhalfsteens penanten hart-op-hart 2,2 m

**Belastingen**

Winddruk voor gebied III, onbebouwd, hoogte 2 m  
 $p_w = 0,46 \text{ kN/m}^2$   
 windvormfactor (druk+zuiging) =  $0,8+0,4 = 1,2$   
 Veiligheidsklasse I

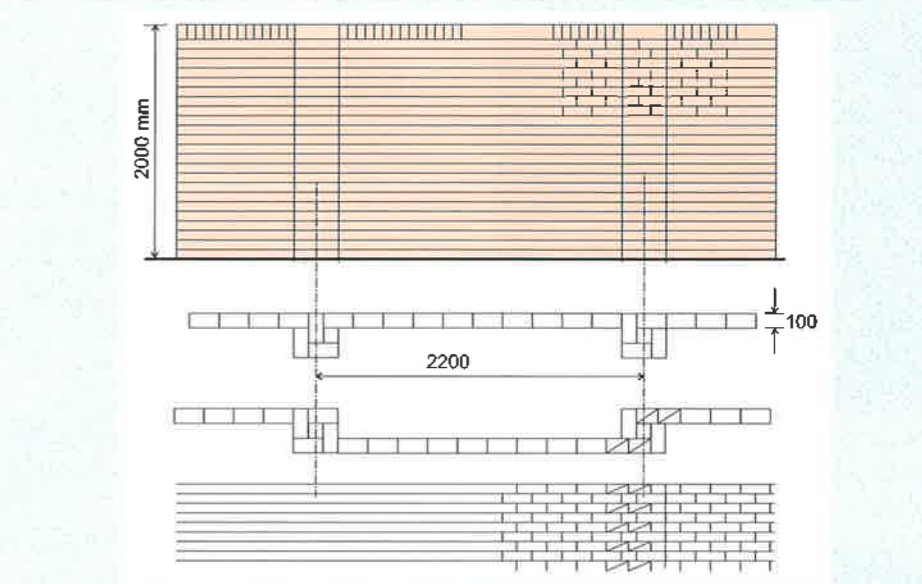
$\gamma_q = 1,2$   
 Moment in voet (inklemming op 0,2 m onder het maaiveld)  
 $M_d = q_d \cdot l_q \cdot \text{arm}$   
 $= (1,2 \cdot 1,2 \cdot 0,46) \cdot 2 \cdot (0,5 \cdot 2 + 0,2)$   
 $= 1,59 \text{ kNm/m}$

Normaalspanning in voet  
 $N'_d/A = \gamma_g \cdot \rho \cdot h = 0,9 \cdot 18,5 \cdot 2$   
 $= 33,3 \text{ kNm/m}^2 = 33,3 \cdot 10^{-3} \text{ N/mm}^2$

Bepaling doorsnedecapaciteit op basis van buigtreksterkte

$\sigma_{m,d} / \gamma_M \leq f_{m,t,d}$   
 waarin  $\sigma_{m,d} = M_{d,t} / W \cdot N'_d / A$   
 De doorsnedegrootheden van de T-vormige doorsnede met  $b = 2,2 \text{ m}$  zijn:  
 $I = 1,83 \cdot 10^8$   
 $e_z = 89 \text{ mm}$   
 $W_{max} = I/e_{min} = 1,83 \cdot 10^8 / 89 = 20,6 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$   
 $W_{min} = I/e_{max} = 1,83 \cdot 10^8 / (320-89)$   
 $= 7,9 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$   
 $A = 0,29 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$

$M_{d,max} \leq a_{max} \cdot N'_d = 228 \cdot 10^3 \cdot 9,66$   
 $= 2,20 \text{ kNm/2,2 m} = 1,00 \text{ kNm/m}$   
 $M_{d,min} \leq a_{min} \cdot N'_d = 88 \cdot 10^3 \cdot 9,66$   
 $= 0,85 \text{ kNm/2,2 m} = 0,39 \text{ kNm/m}$



**Figuur 5**  
Tuinmuur in rekenvoorbeeld 1. Door de muur om-en-om tegen de penanten te metselen treedt geen scheurvorming op.

De buigspanningen bedragen:  
 $\sigma_{max} = 2,2 \cdot 1,59 \cdot 10^6 / (20,6 \cdot 10^6) - 33 \cdot 10^3$   
 $= 0,14 \text{ N/mm}^2$   
 $\sigma_{min} = 2,2 \cdot 1,59 \cdot 10^6 / (7,9 \cdot 10^6) - 33 \cdot 10^3$   
 $= 0,41 \text{ N/mm}^2$   
 De buigtreksterkte bedraagt volgens artikel 9.2:  
 $f_{m,t,d} = (1,5 \cdot f_{m,t}) / \gamma_M = (1,5 \cdot 0,2) / 1,8$   
 $= 0,166 \text{ N/mm}^2$

De tuinmuur scheurt vanaf de ribzijde. Rekenen zonder buigtreksterkte kan gunstiger zijn, zeker indien de normaalkracht rond de 50 % van de doorsnedecapaciteit ligt (is ongeveer gelijk aan 0,5). De normaalkracht in de voet van de tuinmuur is klein. Rekenen zonder buigtreksterkte zal hierdoor niet gunstiger zijn zoals blijkt uit de berekening.

$N'_d = 33 \cdot 0,29 = 9,66 \text{ kN}$   
 $A_{drukzone} = N'_d / (0,643 \cdot f_b)$   
 $= 9,66 \cdot 10^3 / (0,643 \cdot 4,7) = 3196 \text{ mm}^2$   
 $x_{onder} = A/b_{onder} = 3196/320 = 10,0 \text{ mm}$   
 $x_{boven} = A/b_{boven} = 3196/2200 = 1,5 \text{ mm}$   
 $e_z = 89 \text{ mm}$   
 $a_{onder} = e_{onder} - 0,354 \cdot x_{onder} = 320 - 89 - 0,354 \cdot 10,0$   
 $= 228 \text{ mm}$   
 $a_{boven} = e_{boven} - 0,354 \cdot x_{boven} = 89 - 0,354 \cdot 1,5$   
 $= 88 \text{ mm}$   
 $M_{d,max} \leq a_{max} \cdot N'_d = 228 \cdot 10^3 \cdot 9,66$   
 $= 2,20 \text{ kNm/2,2 m} = 1,00 \text{ kNm/m}$   
 $M_{d,min} \leq a_{min} \cdot N'_d = 88 \cdot 10^3 \cdot 9,66$   
 $= 0,85 \text{ kNm/2,2 m} = 0,39 \text{ kNm/m}$

**Conclusies**  
 Zoals verwacht is de capaciteit van de gescheurde doorsnede beperkt. In de gescheurde toestand is in geen van beide richtingen evenwicht met het windmoment mogelijk.

De capaciteit kan worden vergroot door de vorm van de doorsnede te veranderen door de halfsteens muur wisselend aan de voor- en achterzijde van de penanten te plaatsen. De Z-vormige doorsnede met  $b = 2,2 \text{ m}$  kan ook worden beschouwd als I-vormige doorsnede. De grootheden hiervan zijn:  
 $W_{min} = W_{max} = 20,6 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$   
 $A = 0,29 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$   
 $\sigma_{m,d} = 2,2 \cdot 1,59 \cdot 10^6 / 20,6 \cdot 10^6 - 33 \cdot 10^3$   
 $= 0,138 \text{ N/mm}^2$   
 De buigtreksterkte bedraagt volgens artikel 9.2:  
 $f_{m,t,d} = (1,5 \cdot f_{c,rep}) / \gamma_M = (1,5 \cdot 0,2) / 1,8$   
 $= 0,166 \text{ N/mm}^2$

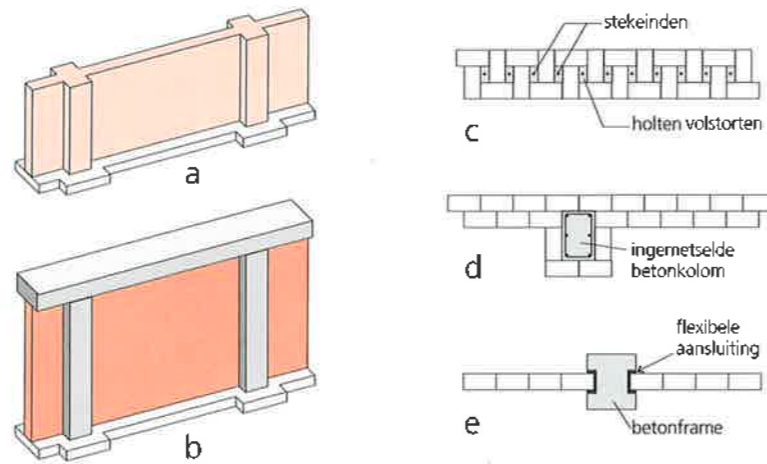
De tuinmuur in deze vorm blijft dus ongescheurd. Het berekenen van de tuinmuur als T of I profiel is alleen juist als de samenhang van de doorsnede is gegarandeerd. Doordat de belasting laag is, zal ook de schuifspanning in de aansluiting van de profielsecties laag zijn. De samenhang in de doorsnede zal geen probleem zijn mits de penanten in verband zijn gemetseld met de muur. De capaciteit van de muur is te vergroten door de penanten te wapenen.



Figuur 9  
Geluidsmuur met gebogen vorm.



Figuur 10  
Geluidsmuur met geknikte vorm.



Figuur 8  
Muren ingeklemd in de fundering d.m.v. stekeinden (c), ingemetselde kolommen (a en d) of ingeklemd in een betonnen of stalen frame (b en e).

Een stijve constructie kan ook worden verkregen door uit te gaan van gestorte betonkolommen, die later kunnen worden ommetseld, ingemetselde stalen kolommen of van een betonnen frame dat met metselwerk wordt ingevuld (zie figuur 8). Bij opsluiting van metselwerk in een betonnen frame dient erop gelet te worden dat het metselwerk vrij kan bewegen t.o.v. het betonnen frame om scheurvorming door verschillen in uitzetting bij temperatuurwisselingen te voorkomen.

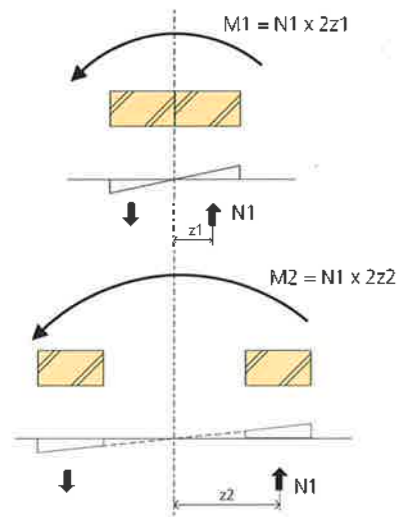
Aan de stijfheid van de ondersteuningsconstructie (stalen of betonnen kolommen) worden geen specifieke eisen gesteld. De constructie moet voldoende sterk zijn om de optredende belastingen te kunnen opnemen. Het is aan te bevelen om de steunconstructie zo stijf te maken, dat de maximale verplaat-

sing wordt beperkt tot 1/250 van de muurhoogte.

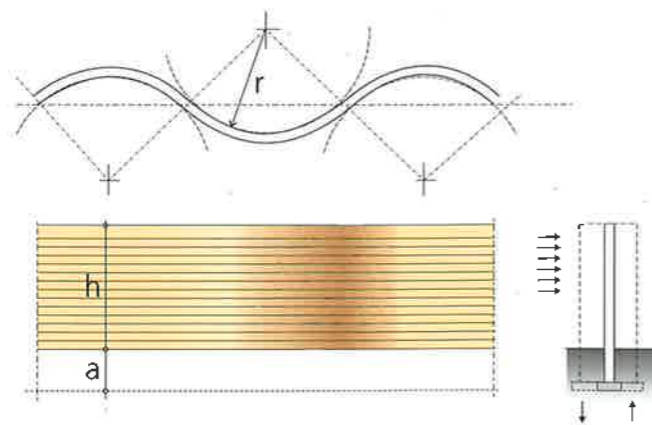
Het berekenen van constructies van gewapend metselwerk vindt plaats naar analogie van gewapend betonberekeningen. Zie hiervoor de KNB-brochure 'Construeren met metselwerk van baksteen', 1999.

#### Stabiliteit door de vorm

De stabiliteit van een muur loodrecht op het muurvlak kan op eenvoudige wijze worden verbeterd door de vorm van de muur aan te passen (zie figuur 13). Door het materiaal naar buiten te plaatsen ten opzicht van de neutrale lijn, kan een veel groter moment worden opgenomen met dezelfde hoeveelheid materiaal (zie figuur 11).



Figuur 11  
Door het materiaal naar buiten te plaatsen ten opzicht van de neutrale lijn, kan een veel groter moment worden opgenomen met dezelfde hoeveelheid materiaal.



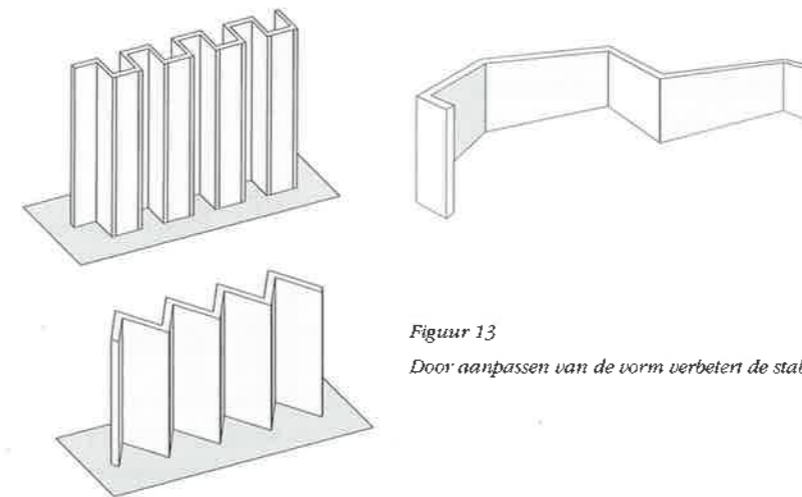
Figuur 12  
Door het kiezen van een in zichzelf stabiele vorm van de vrijstaande muur kan materiaal gespaard worden. Ook de fundering kan smaller worden gebouwd dan bij een vlakke muur.

Rond 1820 werden in Amerika door Thomas Jefferson al slangvormige tuinmuren gebouwd. Deze dunne halfsteens muren ontleen hun stabiliteit aan de vorm (figuur 12).

Gebogen en geknikte vormen zijn zeer stabiel en kunnen horizontale belastingen op het vlak opnemen. Figuur 9 en 10 tonen enkele voorbeelden van muren met gebogen en geknikte vormen.

#### Stabiliteit van dakranden en balustraden

Opgemetselde dakranden en balustraden zijn te beschouwen als vrijstaande muren. De stabiliteit dient ook op overeenkomstige wijze te worden vastgesteld. Wanneer zij worden uitgevoerd als spouwmuur, moet tevens rekening worden gehouden met uitzettingsverschillen door asymmetrische bezonning (zie figuur 17).



Figuur 13  
Door aanpassen van de vorm verbetert de stabiliteit.



Figuur 15  
De muur tijdens de uitvoering. De ellipsvormige onnmuring van het complex is gebouwd als spouwmuur. De muur ontleent haar stabiliteit aan in de fundering ingeklemden kolommen, die in de brede spouw zijn opgenomen. De spouwbladen zijn met een folie losgebonden van de kolommen, zodat zij vrij kunnen bewegen bij temperatuurverschillen. De verrijdbare hefsteiger werd speciaal voor het project ontwikkeld. De muur heeft een totale lengte van 660 meter. Foto: Loof & van Stigt architecten B.V., Amsterdam.



Figuur 14  
Vrijstaande muur van ca 5 m hoog rond het complex van de Rijk 'De Doggersbank' in Den Helder. De muur is vervaardigd van gelijmde bakstenen. Architect: Loof & van Stigt architecten B.V., Amsterdam. Foto: Snow-White fotografie / Moniek Mulder, Weesp.

Wegens het ontbreken van een ondersteuning aan de bovenrand is de stabiliteit van dakranden een rekenkundig probleem. Rekentechnisch waait een dakrand, opgebouwd als spouwmuur, op 20m hoogte al om bij een opstand van 0,65 m (zie rekenvoorbeelden in 'Construeren met metselwerk van baksteen', KNB1999). Evenals bij tuinmuren blijkt de praktijk vaak gunstiger te zijn, waardoor het zelden voorkomt dat dakranden omwaaien. Om toch te kunnen garanderen dat dakranden de windbelasting kunnen opnemen, is het nodig maatregelen te nemen, zoals grotere dikte van het binnenspouwblad, grotere hechtsterkte, (stalen) steunen op regelmatige afstand of een verticale verankering van de dakrand.

De beste oplossing om een stabiele dakrand te maken met halfsteens metselwerk is de toepassing van een stalen hulpconstructie in de spouw, bestaande uit stijlen waartegen het metselwerk is afgesteund of uit hoekprofielen waarop de muurafdekking met een ankerstaaf wordt vastgezet (zie figuur 11 en 18).

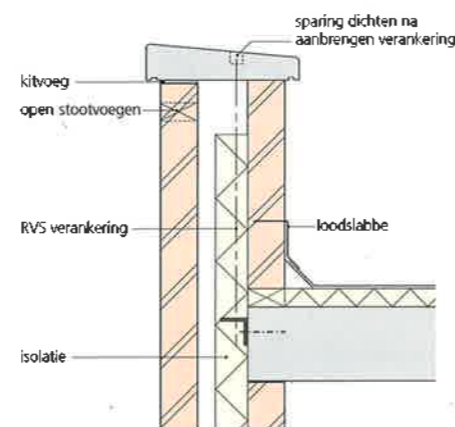
### Dilatatievoegen in een dakrand

Het is aan te bevelen in dakranden de lengte tussen de verticale dilatatievoegen te beperken. Wegens de over het algemeen geringe hoogte van het metselwerk is de kans op scheurvorming hier groter. Als algemene regel kan worden gehanteerd, dat de lengte-/hoogteverhouding van metselwerkvlakken, die door dilatatievoegen ontstaan, niet groter mag zijn dan 5.

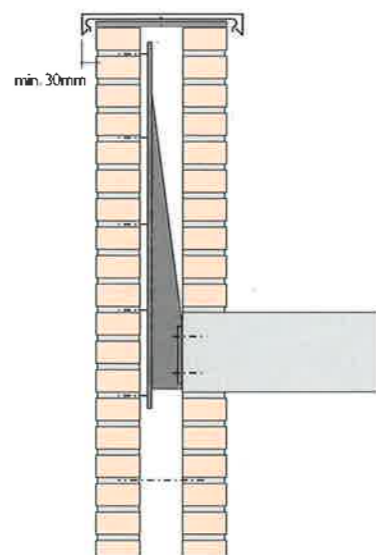
### Balustraden en borstwueringen

Voor balustraden geldt hetzelfde als voor opgemetselde dakranden. Door het ontbreken van een ondersteuning van de bovenrand worden zij beschouwd als vrijstaande muren. Een balustrade kan worden gezien als een niet-dragende gevelwand waarop in principe alleen windbelasting aangrijpt. De toetsing van de doorsnedecapaciteit vindt plaats overeenkomstig artikel 11.2 van de TGB 1990. Bij voldoende inklemming aan de zijkanten of wanneer de balustrade wordt gesteund door kolommen, is de wand te beschouwen als een driezijdig ingeklemde plaat. Behalve met windbelasting moet ook gerekend worden met een horizontale puntlast van 1kN. De bovenrand van het metselwerk van de balustrade moet deze kracht kunnen opnemen.

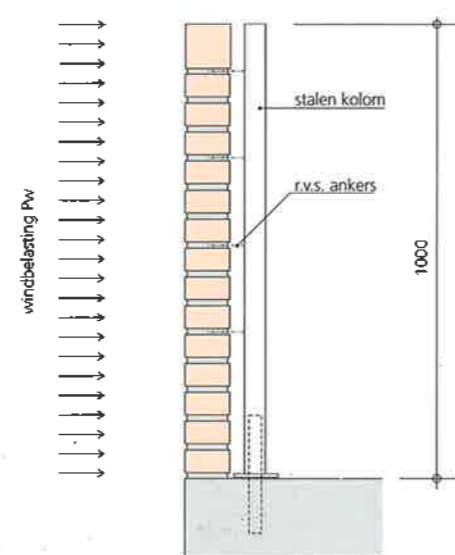
Schade aan balustraden kan bijvoorbeeld ontstaan, wanneer voor onderhoud, verbouwing of verhuizing ladders tegen de balustrade (balkonafdeling e.d.) worden geplaatst. Om de bovenrand tegen dergelijke belasting te beschermen kan worden overwogen om in de bovenste lintvoegen wapening op te nemen.



Figuur 17  
Detailering dakrand met boekprofiel en ankerstaaf.



Figuur 18  
Ondersteuning buitenspouwblad door middel van verblendankers.



Figuur 19  
Gesteunde halfsteens balustrade.



Figuur 16  
Opgemetselde balkonafdeling (foto: Grid Design).

## Geluidsmuren

Een bijzondere toepassing voor vrijstaande muren is die van geluidsmuur. Geluidsmuren of geluidsschermen worden vooral toegepast in situaties waarbij mensen onaanvaardbare hinder ondervinden van bijvoorbeeld industrie- of verkeerslawaal.

Het doel van de plaatsing van een geluidsmuur of -scherm is uiteraard om het geluidsniveau aan de gehinderde zijde te verlagen tot een aanvaardbaar niveau.

Een goede geluidsmuur moet daarom aan een aantal voorwaarden voldoen:

- De muur moet voldoende hoogte hebben om het omloopgeluid (over de muur) zoveel mogelijk te beperken.
- Een geluidsmuur moet voldoende massa hebben. De geluidwerende werking van een geluidsmuur neemt toe met de massa van de constructie. In het algemeen geldt hoe zwaarder de constructie, hoe beter de geluidwerende capaciteit.
- Absorberend vermogen en poreuze constructie is in staat geluid tot op zekere hoogte te absorberen. Hierdoor wordt het geluidsniveau aan de bronzijde van de muur verlaagd en veroorzaakt alleen al daardoor minder hinder. Het vermindert bovendien hinderlijke akoestische effecten door weerkaatsing van geluid aan de bronzijde van de muur.

Esthetisch aanvaardbaar. Zeker als het om omvangrijke constructies met grote lengte gaat, zoals langs wegen vaak het geval is, is het van belang dat de constructie qua uiterlijk, structuur en materiaal past in de omgeving.

- Onderhoud en duurzaamheid. Weinig onderhoud en een duurzame constructie zijn belangrijke voorwaarden voor een verantwoorde investering.
- Verkeerstechnische eisen. Geluidsschermen langs wegen moeten voldoen aan de eisen die het verkeer stelt.

Metselwerk van baksteen is als materiaal zeer geschikt voor het bouwen van geluidsmuren. Baksteen heeft door zijn massa een hoge geluidwerende werking en bezit een grote esthetische natuurlijke uitstraling.



Figuur 20  
Geluidsmuur in Amstelveen, ontworpen door Kruunenberg Van der Erve Architecten uit Amsterdam.



Figuur 21  
Detail geluidsmuur met ingemetselde glasplaten.



Figuur 22  
In de muur zijn enkele ramen opgenomen die het langgerekte patroon doorbreken (Foto's: Grid Design).

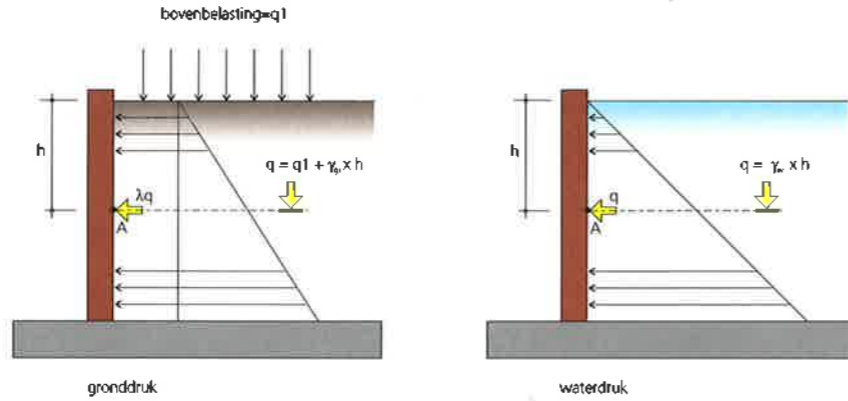
Baksteen metselwerk is duurzaam en in principe vrij van onderhoud. Het biedt de ontwerper een grote mate van vrijheid en flexibiliteit in de vormgeving en steenkeuze.

Behalve het traditionele metselwerk bieden moderne lijmtchnieken goede mogelijkheden voor het realiseren van sterke en duurzame oplossingen met baksteen. Prefabricage van grotere elementen kan de bouwsnelheid ter plaatse aanzienlijk bekorten. De figuren 20-22 tonen een voorbeeld van een geluidsmuur in baksteen metselwerk, naar een ontwerp van Kruunenberg Van der Erve Architecten uit Amsterdam. Een fraai voorbeeld dat de vele mogelijkheden van baksteen metselwerk voor geluidsmuren duidelijk illustreert.

# Grond- en waterkeringen

## Belasting

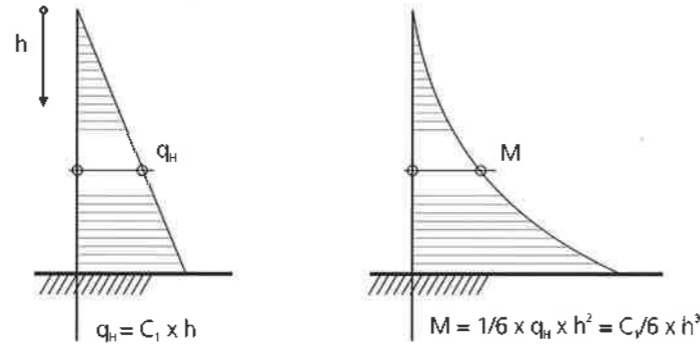
Vrijstaande muren worden behalve als scheidingmuur ook toegepast om niveauverschillen in tuin of landschap te overbruggen. Dergelijke keermuren moeten in staat zijn om de extra horizontale belasting op te nemen, die wordt veroorzaakt door het aan één zijde aanliggende grondpakket met eventuele bovenbelasting (zie figuur 23). De horizontale druk, die door grond (of water) op de keermuur wordt uitgeoefend, is afhankelijk van het gewicht van de grond en de natuurlijke hellingshoek van de betreffende grondsoort.



Figuur 23 Horizontale belasting op keermuur als functie van de optredende grond- c.q. waterdruk.

## Natuurlijke hellingshoek

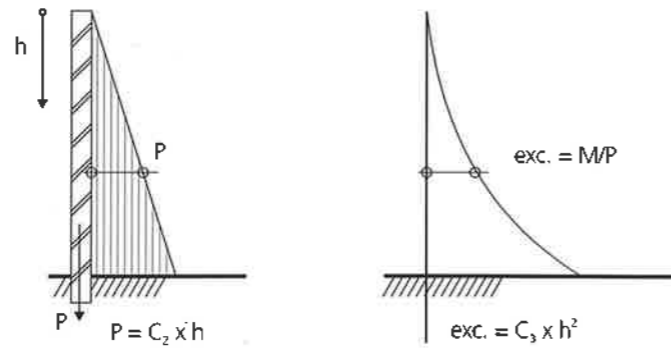
De natuurlijke hellingshoek, of hoek van inwendige wrijving, is de maximum hoek waaronder een pakket grond nog juist blijft liggen zonder af te schuiven. De hellingshoek van grond is sterk afhankelijk van de grondsoort en het vochtgehalte. Indien men grond wil toepassen onder een grotere hellingshoek dan de natuurlijke, dan is een grondkering noodzakelijk.



## Bepalen van de gronddruk

$\lambda = \tan^2(45^\circ - 1/2\varphi)$   
 $\varphi$  = natuurlijke hellingshoek.

Men bepaalt de verticale korreldruk in punt A. De horizontale gronddruk is dan  $\lambda$  maal zo groot. Voor nat zand:  $\lambda = 0,45$   
 Voor droge klei:  $\lambda = 0,13$

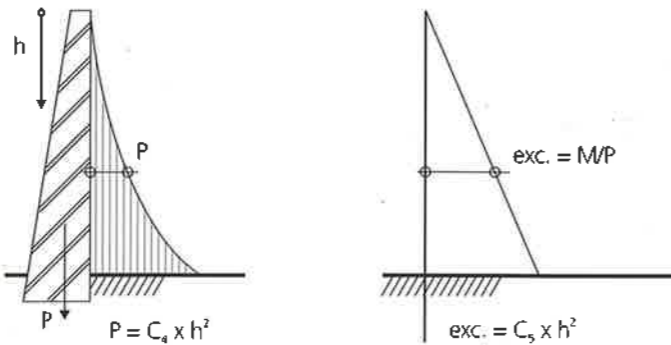


## Bepalen van de waterdruk

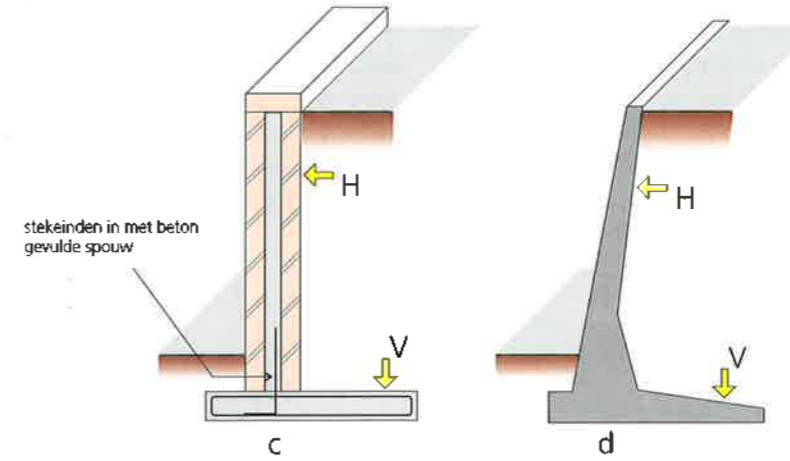
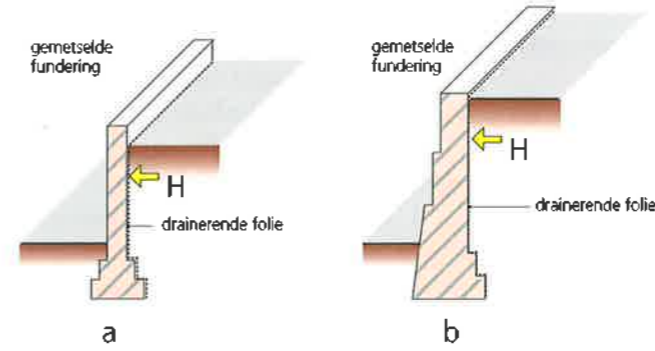
Water is hydrostatisch; de druk in een punt is daarom in alle richtingen gelijk.

Beschouwen we water als grond met  $\varphi = 0$ , dan is  $\lambda = \tan^2(45^\circ - 0) = 1$  en dus is de horizontale druk gelijk aan de verticale.

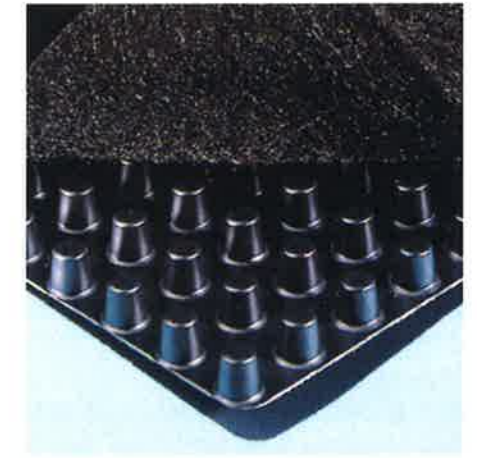
Waterdruk = hoogte waterkolom [m] x 10 kN/m<sup>2</sup>.



Figuur 24 Past men de dikte van de muur aan het momentenverloop aan, dan moet de grondkering naar onderen in dikte toenemen.



Figuur 25 Diverse typen keermuren.



Figuur 26 Drainerende folie, geschikt voor verticale verwerking in funderingen, kelder- en keermuren (Nopbdrain®, Kerkrade).

Bij grondkeringen van het type a en b (figuur 25) moet worden voorkomen dat zich waterdruk tegen de grondzijde van de muur kan ontwikkelen, waardoor zouten uit de grond in de muur kunnen dringen en/of de muur langdurig vochtig blijft. Dit kan door bijvoorbeeld sponningen op te nemen in de keermuur die het water versneld kunnen afvoeren. Een andere methode is het aanbrengen van een grofkorrelig zandpakket met een of meer laagliggende draineerbuizen. Ook zijn voor dit doel speciaal ontwikkelde drainerende folies verkrijgbaar (zie figuur 26).



Figuur 27



Figuur 28

## Vrijstaande muren

Eenvoudige lage keer- of tuinmuurtjes kunnen worden uitgevoerd met een gemetselde fundering, of worden opgemetseld op een betonnen funderingsstrook. Naarmate de vrijstaande muur hoger wordt zal ook de breedte van de funderingsstrook toenemen.

Eventueel kan de muur worden ingeklemd in de fundering indien de zijdelingse belasting van grond, wind of water, dit noodzakelijk maakt. Het kantelmoment dat ontstaat door de horizontale belasting op de muur kan, gedeeltelijk, worden gecompenseerd door de fundering asymmetrisch uit te voeren. Hierdoor ontstaat een L-vormige constructie waarbij de verticale gronddruk op het liggende 'been' voor tegendruk zorgt (zie figuur 25). Bij hogere keerwanden of keerwanden die naast de optredende gronddruk ook een zware bovenbelasting moeten kunnen dragen, worden daarom veelal L-vormige prefab-keerelementen toegepast. Deze zijn verkrijgbaar in zowel beton als (gelijmd) metselwerk (zie figuur 25d). Muren uitgevoerd in gelijmd metselwerk van baksteen kunnen betere prestaties leveren. De hechtsterkte van gelijmd metselwerk is bij een juiste uitvoering minimaal 0,5 N/mm<sup>2</sup>. De buigtreksterkte kan worden berekend volgens NEN 6790, art. 9.2.3 en ligt aanzienlijk hoger dan in de rekenvoorbeelden.

### Tijdelijke ondersteuning

In de bouwfase kan het voorkomen dat gemetselde wanden tijdelijk vrij staan. In het constructief ontwerp is als uitgangspunt de eindsituatie genomen waarin de wand aan de bovenzijde wordt gesteund door een vloer of dak. Tijdens de bouw moet er rekening mee worden gehouden dat een tijdelijke ondersteuning van de wand nodig kan zijn tegen

wind- en/of stootbelastingen. Wand tot een hoogte van 2,5 m en een dikte t/m 214 mm moeten elke 5 meter worden geschoord tot het moment dat de ondersteuning door vloer of dak is gerealiseerd. (In kustgebieden in verband met de verhoogde windbelasting, elke 4 meter). Een schoor kan ook een dwarswand zijn met een lengte van minstens 2 meter. Naast deur- of raamopeningen altijd een tijdelijke ondersteuning (schoor) aanbrengen.

### Dilatatieafstanden

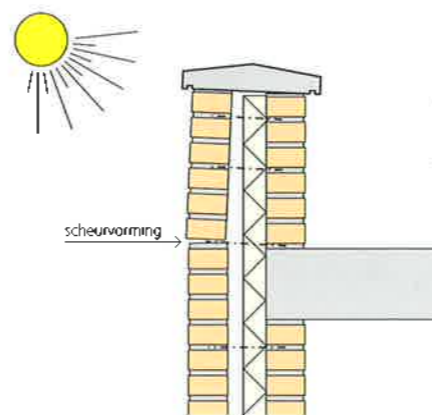
De dilatatieafstand in vrijstaande muren moet worden beperkt tot 5 maal de muurhoogte met een maximum van 12 meter. Indien de muren star aan de fundering zijn gekoppeld, bijvoorbeeld door ingemetselde draadeinden, dan moet de dilatatieafstand worden beperkt tot 2,5 maal de muurhoogte. Vrijstaande muren moeten ook altijd vrij kunnen bewegen ten opzicht van aansluitende bebouwing.

### Vrijstaande spouwmuren

Vrijstaande (tuin)muren, bestaande uit twee parallel geplaatste halfsteens bladen, moeten aan de bovenzijde worden voorzien van een muurafdekker die vervormingsverschillen door temperatuurverschillen als gevolg van asymmetrische bezonning probleemloos kan opnemen. Om dezelfde reden moet aan het eind van een dergelijke muur een verticale dilatatie tussen beide spouwbladen worden aangebracht.

### Balustrades en opgemetselde dakranden

Bij vrijstaande spouwmuren zorgt éénzijdige bezonning voor temperatuurspanningen als gevolg van optredende temperatuurverschillen tussen de spouwbladen. Het probleem van asymmetrische bezonning doet zich ook voor bij als spouw uitgevoerde balustrades en bovendakse opmetselingen (zie figuur 30). De muurafdekking rust op beide spouwbladen. Het "binnenspouwblad" staat op de dakhoeft. De verticale vervorming van beide bladen is sterk verschillend. De vervorming van het buitenspouwblad is groter wegens de grotere hoogte vanaf de metselwerkondersteuning. Indien de muurafdekking zelf en ook de verbinding aan de beide spouwbladen star is, treedt scheurvorming op in het buitenspouwblad.



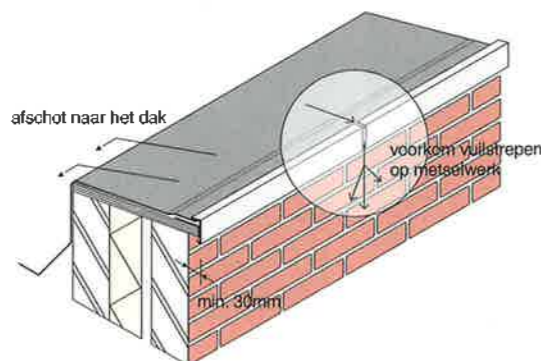
Figuur 30 Scheurvorming als gevolg van asymmetrische bezonning bij opgemetselde dakrand.

Oplossingen hiervoor zijn:

- geen verbinding tussen muurafdekking en buitenspouwblad;
- een flexibele verbinding tussen spouwblad(en) en muurafdekking.
- toepassing van zgn. verblendankers (zie figuur 18) die zorgen voor een onafhankelijke verankering van het bovendaks deel van de spouwmuur.

Behalve de verticale vervorming kan ook de horizontale vervorming een probleem zijn. Betonnen afdekkanden dienen op vilt gelegd te worden om scheurvorming te voorkomen. Een puntvormige fixatie is nodig om "wandelen" te voorkomen.

Figuur 29 Borstwing bovendaks moet goed afwateren naar het dak om vuilsporen op de gevel te plaatsen van de naden in de daktrim te voorkomen.



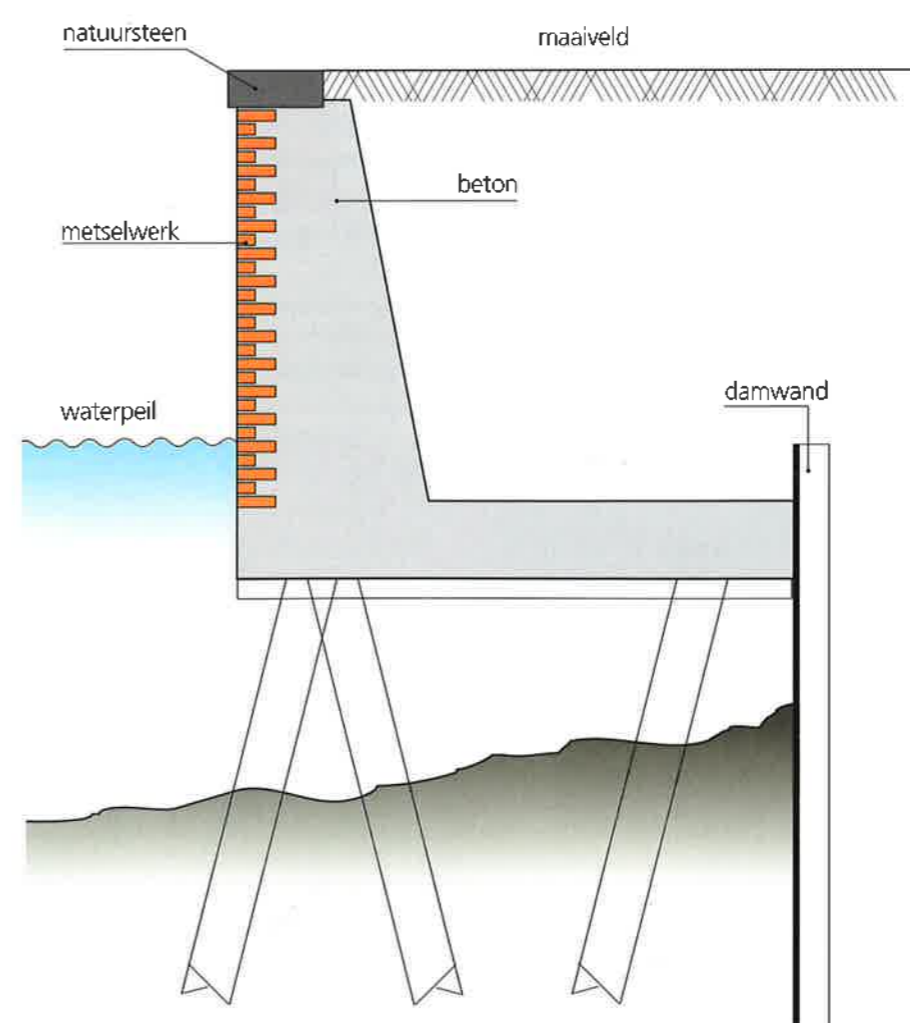
## Kelder- en kademuuren

Gemetselde kelderwanden zien we nog vrijwel uitsluitend bij restauratie- en renovatieprojecten.

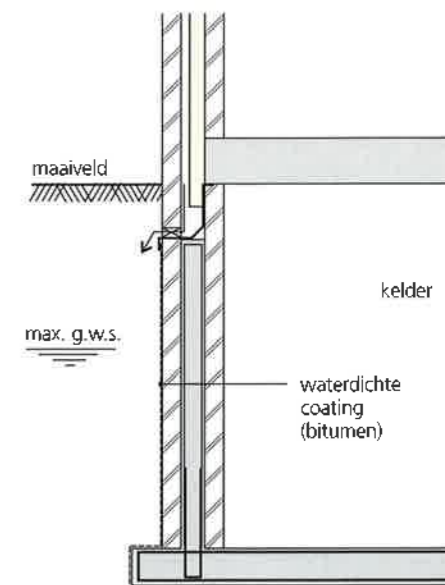
Een constructie die nog wel toegepast wordt voor kelderwanden is die van figuur 31, waarbij een spouwmuur wordt gemetseld die wordt gevuld met beton. De gemetselde wand doet hierbij dienst als bekisting. Het vullen van de wand dient zorgvuldig en in lagen te geschieden om ontmenging van de mortel te voorkomen.

In kademuuren wordt nog wel baksteen toegepast, maar vooral als bekledingsmateriaal van de achterliggende grondkerende betonconstructie (zie figuur 32).

Voor grond- en waterkerend metselwerk worden hoge eisen gesteld aan de toe te passen steenkwaliteit en de gebruikte metselspecie. Waterdicht werk moet worden gemetseld in steenkwaliteit B5 overeenkomstig NEN 2489, en gemetseld in sterke specie, kwaliteit M10 - M17,5 type I.



Figuur 32 Kademuur van gewapend beton gefundeerd op palen.



Figuur 31 Kelderwand opgebouwd uit gemetselde spouw gevuld met (gewapend) waterdicht beton.





# Muurafdekkingen, muurbeëindigingen

**Een bron van veel schade aan vrijstaande muren vormt de blootstelling van niet goed aan de bovenzijde afgedekte muren aan weersinvloeden. Door inwatering vanaf de bovenzijde van de muur, blijft de muur vaak langdurig vochtig, waardoor schade kan ontstaan door aangroeiing van mos en algen, door bevriezing van vochtige muurgedeelten en door uitlogen of uitspoelen van voegwerk.**

Een goede muurafdekking zorgt ervoor dat het regenwater direct van de muur wordt afgeleid. Daardoor vindt er minder vochtopname plaats en de muur droogt sneller. Vervuiling krijgt zo ook minder vat op de muur en op deze wijze kunnen duurzame oplossingen worden bereikt.

## Gemetselde afdekking

Een halfsteens rollaag is een veelgebruikte en, mits op de juiste wijze aangebracht, doeltreffende afdekking voor vrijstaande muren. De rollaag dient daarbij naar één kant afwaterend te worden aangebracht, zodat geen water op de muur blijft staan. Een andere methode om het water kwijt te raken is het afwaterend voegen van de rollaag.

Het is vooral belangrijk dat de voeg van de rollaag voldoende waterkerend is. Dit kan door specie voor te schrijven in een verhouding van 1 : 2,5 in portlandcement. De rollaag moet vol en zat worden gemetseld. Een uitstekende hechting wordt verkregen wanneer de voegen worden doorgestroken.

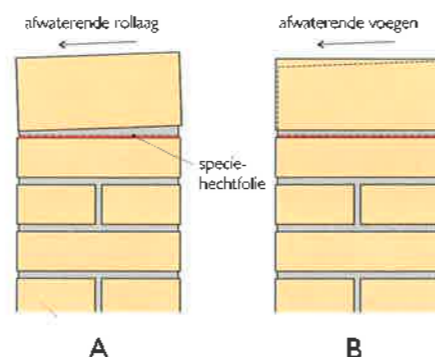
Andere toepassingen van gemetselde afdekkingen zijn vlechtingen en de zogenaamde ezelsrug.

Vlechtingen komen vooral in aanmerking op schuin aflopende muren, bijvoorbeeld in topgevels of langs trappen. De ezelsrug is een zeer solide en goed afwaterende oplossing voor de afdekking van muren. Voor de hoeken en muurbeëindigingen wordt hierbij veelal gebruik gemaakt van speciaal vervaardigde profielstenen (beton, keramisch of van natuursteen).

Het verdient aanbeveling om onder rollagen en ezelsruggen een waterkerende specie-hechtfolie toe te passen. Dit vermindert de vochtbelasting in de muur, waardoor minder snel verwerking en schade aan de afdekking optreedt.

## Afdekelementen en -profielen

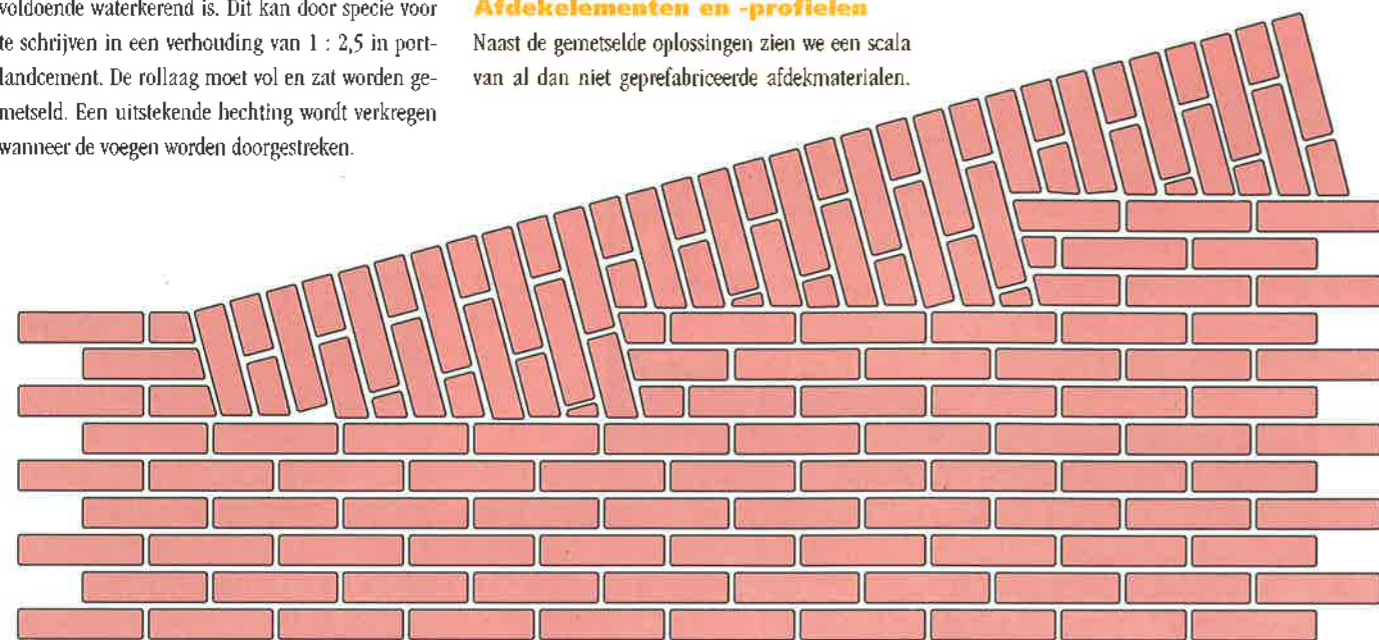
Naast de gemetselde oplossingen zien we een scala van al dan niet geprefabriceerde afdekmaterialen.



Figuur 33  
Afdekking metselwerk met gemetselde rollaag.

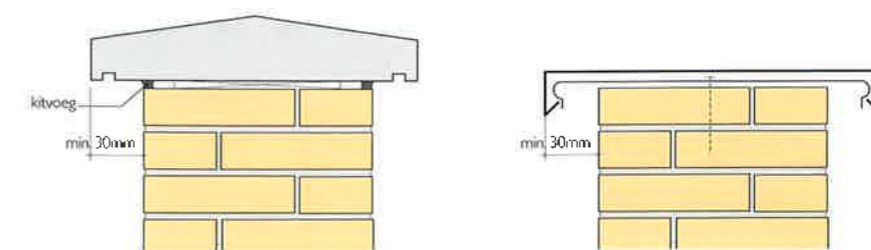


Figuur 34  
Afdekking metselwerk met gemetselde 'ezelsrug'.



Figuur 35  
Vlechtingen in metselwerk.

Afdekelementen worden vervaardigd van natuursteen, kunststeen, keramiek of beton. Deze elementen of banden mogen in geen geval met sterke specie op de muur worden bevestigd. Door verschillen in werking van de banden t.o.v. het metselwerk onder invloed van vocht- en temperatuur zal de band worden losgetrokken, waarbij vaak scheurvorming ontstaat in de eerste lagen van het metselwerk die worden meegetrokken.



Figuur 37  
Prefab afdekkingen metselwerk.

Betonbanden en banden van natuur- en kunststeen kunnen het beste op dwarse ruggetjes van slappe kalkspecie (3k:1c:10z) worden gesteld (ca 50 mm breed en h.o.h. ca 50 tot 100 mm). De langsvog wordt volgezet met een blijvend elastische (olievrije) kit. De stootvoegen worden met dezelfde specie gevuld en na uitkrabben ook met kit volgezet.

Kunststof en metalen (aluminium, roestvrij staal, zink, koper) afdekprofielen vormen daarnaast een tweede groep van niet-gemetselde afdekkingen. Het gaat hierbij in de regel om handelsprofielen die speciaal voor dit doel worden vervaardigd en compleet met bevestigingsmateriaal, hulpstukken en verbindingen worden geleverd. De afdekprofielen worden veelal bevestigd aan het metselwerk d.m.v. klangen of klikprofielen, die een vrije werking van de profielen ten opzichte van het metselwerk mogelijk maken.

Onbehandeld aluminium en koper veroorzaken onder invloed van zure regen aluminium- en koper-oxiden. Deze kunnen bij uitspoelen leiden tot zwarte of groene strepen op het metselwerk. Bij het gebruik van geprefabriceerde afdekkingen wordt daarom aanbevolen de banden en profielen een overstek te geven van minimaal 30 mm met een druiprand.

Figuur 36  
Muurafdekkingen. Tuinmuur afgedekt met rollaag; dakterras afgedekt met prefab afdekprofiel. (Foto: Grid Design)



Figuur 38 (Foto: Frank Struijk)



Figuur 39 (Foto: Frank Struijk)

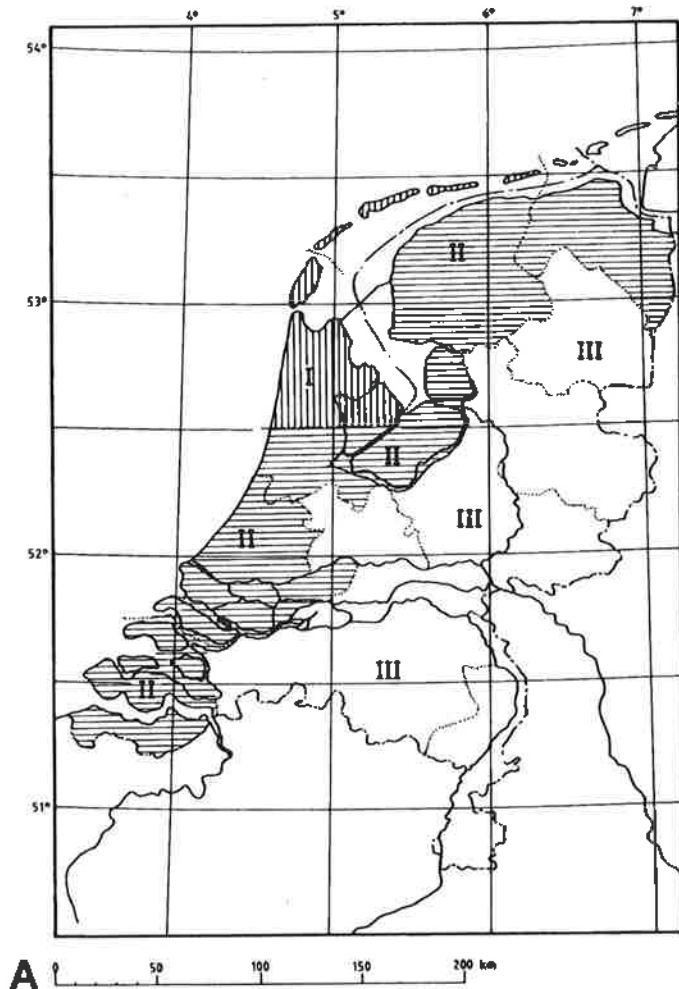
# Waarden voor de stuwdruk

Figuur 40

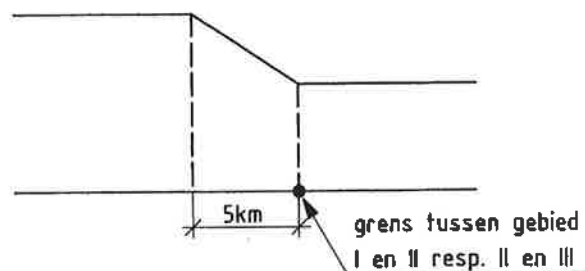
A: Verdeling van Nederland in drie gebieden ten aanzien van de te hanteren waarden voor de stuwdruk.

B: Interpolatie van de stuwdruk bij de overgang tussen twee gebieden.

(Bron: NEN 6702).



A



B

Tabel 2 Stuwdruk

	Stuwdruk p.					
	Gebied I		Gebied II		Gebied III	
hoogte h [m]	onbebouwd [kN/m <sup>2</sup> ]	bebouwd	onbebouwd [kN/m <sup>2</sup> ]	bebouwd [kN/m <sup>2</sup> ]	onbebouwd [kN/m <sup>2</sup> ]	bebouwd [kN/m <sup>2</sup> ]
≤ 2	0,64	0,64	0,54	0,54	0,46	0,46
5	0,84	0,64	0,68	0,54	0,55	0,46
10	1,06	0,70	0,88	0,59	0,73	0,50

Gebied I : Noord-Holland noord, Flevoland noord en Waddeneilanden.

Gebied II : Groningen, Friesland, NO-polder, Noord-Holland zuid, Zuid-Holland en Zeeland.

Gebied III: Overige provincies.