

Klamp  
gevelmetselwerk  
moet aan dezelfde  
eisen voldoen als  
halfsteens  
metselwerk.

# Buigtreksterkte van metselwerk

**Wat weet de metselaar of aannemer nu precies van de sterkte van metselwerk? Vrijwel nooit zullen ze zich daar echt zorgen over maken. Dat doen ze pas op het moment dat het door hen gerealiseerde metselwerk scheurt of bezwijkt en bijvoorbeeld blijkt dat de mortel niet (voldoende) gehecht heeft aan de steen. Dan worden meestal vele scenario's geschetst en wordt het metselen van een muur ineens heel complex. Het begint veelal meteen bij de mortel of de steen, waarbij in eerste instantie de vraag gesteld wordt of deze wel goed op elkaar afgestemd zijn. Aansluitend komt vaak de vraag of deze producten onder de juiste omstandigheden en op de juiste wijze zijn verwerkt. Er wordt naar elkaar gewezen en gekeken. Maar het is niet gemakkelijk meteen aan te geven wat de oorzaak van de slechte hechting precies is.**

De aannemer en metselaar zijn over het algemeen niet voldoende op de hoogte van de normen en richtlijnen, maar moeten wel metselwerk maken dat voldoet aan de daarin opgenomen eisen. Tot op heden ontkomen ze meestal redelijk goed aan de gevolgen wanneer er iets misgaat. Maar af en toe gaat dit niet zonder gevolgen en in de toekomst zou dit wellicht ook kunnen veranderen. Zeker in deze tijd van veranderende bouwwetgeving in Nederland, waarbij de Wet kwaliteitsborging per 1 januari 2024 in werking is getreden, kan de benodigde sterkte van metselwerk een belangrijker aspect gaan worden. De aannemer en metselaar zullen steeds directer aangesproken worden op de kwaliteit en eigenschappen van het gerealiseerde metselwerk. De eisen die aan de eigenschappen van metselwerk gesteld worden zijn helder en liggen vast in Europese normen. Vaak moet er in de bouw eerst iets gebeuren, alvorens goed gekeken wordt hoe het precies in normen en richtlijnen is vastgelegd.

## **Klomp of Braziliaans metselwerk**

Voor iedere gevel, tuinmuur, (binnen)wand of ander soort metselwerk gelden basiseisen die vastliggen in normbladen, richtlijnen en regelgeving. Eén van de eisen die vanuit de norm aan metselwerk gesteld wordt is een minimale buig-

treksterkte. Wanneer er zijdelingse belastingen op wanden komen, bijvoorbeeld windbelasting, moet het metselwerk dit op kunnen nemen en vaak via verankeringen of aansluitingen over kunnen brengen naar de hoofddraagconstructie. Wanneer er aan gemetselde wanden gerekend moet worden, mogen voor de sterkte minimale waarden uit de metselwerknorm aangehouden worden. Er dient dan wel aangetoond te worden dat aan de voorwaarden voor het toepassen van deze minimale waarden wordt voldaan. De sterkte van metselwerk is dus niet alleen belangrijk voor constructieve dragende wanden, maar zeker ook voor gevels. In het bijzonder bij gemetselde gevels met bijvoorbeeld klomp verwerkte bakstenen of Braziliaans metselwerk (opengewerkt metselverband). Bij dit soort speciaal metselwerk worden soms wel vragen gesteld over de sterkte en over het eventueel toepassen van een specifieke steen-mortelcombinatie. In dergelijke situaties kan het mogelijk zijn dat aangetoond dient te worden dat een steen-mortelcombinatie voldoet aan de sterkte-eisen die hieraan vanuit

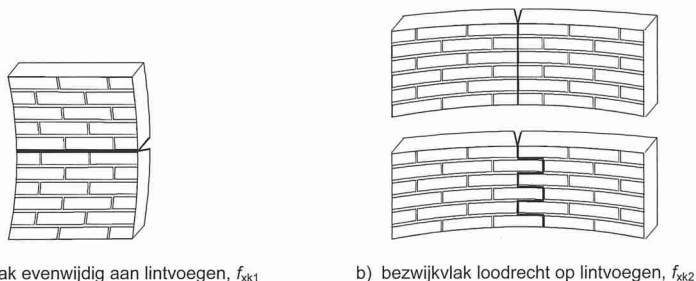
## **De eisen aan de eigenschappen van metselwerk liggen vast in Europese normen**

Tabel F.2 – Aanvullende eisen voor (lichtgewicht) metselmortels

		prestatie-eisen voor metselmortel *)						
morteltoepassingstype		A (buiten)			B (binnen)			
voegtype		dunne met-selvoeg	medium met-selvoeg	dikke met-selvoeg	dunne met-selvoeg	medium met-selvoeg	dikke met-selvoeg	beproeving-methode
eigenschap	eenheid							
<b>droge mortel fase</b>								
max. korrelgrootte	mm	≤ 3	≤ 6	≤ 8	≤ 3	≤ 6	≤ 8	EN 1015-1
<b>plastische fase</b>								
spreadmaat	mm	Door de leverancier gedeclareerd: $X \pm 10$ Indien er niets wordt opgegeven: $175 \pm 10$ Geprefabriceerde natte mortel: $180 \pm 10$						EN 1015-3
luchtgehalte	% (v/v)	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 23	≤ 23	≤ 23	
verwerkingstijd	uren	≥ 2	≥ 2	≥ 2	≥ 2	≥ 2	≥ 2	EN 1015-9
<b>verharde fase</b>								
druksterkte	N/mm <sup>2</sup>	≥ M 5	≥ M 5	≥ M 5	≥ M 2,5	≥ M 2,5	≥ M 2,5	EN 1015-11
hechtsterkte (treksterkte) 28 dagen	N/mm <sup>2</sup>	≥ 0,2	≥ 0,2	≥ 0,2	≥ 0,1	≥ 0,1	≥ 0,1	Testen op beoogde voegdikte. Kruisproef, zie bijlage I

\*) De prestatie eisen gelden bij een waterdosering die een door de leverancier vermelde spreadmaat oplevert met een maximale afwijking van  $\pm 10$  mm. Bij het ontbreken van deze informatie geldt dat de eisen gelden voor een mortel die is aangemaakt met een hoeveelheid water die een spreadmaat van  $175 \pm 10$  mm oplevert. Afwijkend hierop is de geprefabriceerde natte mortel, daarvoor geldt de eis van  $180 \pm 10$  mm indien de leverancier niets heeft gedeclareerd.

Tabel F.2 uit de BRL-1905 met de minimaal vereiste hechtsterkte van metselmortel.



Figuur 3.1 uit NEN-EN 1996-1-1 met de twee bezwijkvlakken behorende bij de buigtreksterkte.



Vierlijnsbuigproef volgens NEN-EN 1052-2 in het laboratorium van TCKI.

de norm gesteld worden, waaronder dus ook de buigtreksterkte van dit soort metselwerk.

### Sterkte van metselwerk

Ten aanzien van de sterkte van metselwerk wordt er vaak gerefereerd aan een minimaal te behalen hechtsterkte tussen mortel en steen. Maar wanneer we gaan kijken naar berekeningen, dan wordt er gerekend met een buigtreksterkte en niet met hechtsterkte. Hechtsterkte komt niet voor in de uit te voeren berekeningen volgens de Eurocode. Alleen in de beoordelingsrichtlijn voor metselmortels, de BRL 1905, is de hechtsterkte als eigenschap nog opgenomen. In deze BRL is de hechtsterkte nog een eigenschap waaraan eisen gesteld worden en is in bijlage I ook een proef omschreven om deze hechtsterkte te bepalen (de kruisproef genaamd). De minimaal te behalen hechtsterkte in deze BRL is in tabel F.2 gesteld op 0,2 N/mm<sup>2</sup> voor gevelmetselwerk en 0,1 N/mm<sup>2</sup> voor metselwerk binnen. In de DoP ('Declaration of Performance' en in het Nederlands 'Prestatieverklaring') van een metselmortel wordt vaak een waarde voor de hechtsterkte of initiële schuifsterkte gedeclareerd, maar dit is een producteigenschap en op basis hiervan wordt niet vanzelfsprekend de vereiste buigtreksterkte in ieder metselwerk behaald. De op basis van de NEN-EN 1998-2 'Mortels voor metselwerk' gedeclareerde waarde voor de schuifsterkte is meestal een tabelwaarde, afkomstig uit bijlage C van deze productnorm. Of deze waarde behaald wordt is de verantwoordelijkheid van de producent en deze waarde moet niet verward worden met de buigtreksterkte of de schuifsterkte van metselwerk.

### Buigtreksterkteproeven

Metselwerk moet voldoen aan de eisen in de NEN-EN 1996-1-1 en in Nederland aan de aanvullende eisen in de bijbehorende Nationale Bijlage. Ten aanzien van de sterkte van het te realiseren metselwerk is in NEN-EN 1996-1-1 in artikel 3.2.3.2 het volgende vastgelegd: 'De hechting tussen de mortel en de metselsteen moet geschikt zijn voor de voorgenoemen toepassing'. Dit klinkt vrij algemeen en een beetje vanzelfsprekend, maar het is uiteraard wel heel belangrijk. Er wordt dan ook nog de opmerking gemaakt dat 'een geschikte hechting afhankelijk is van de soort mortel en de stenen waarbij de mortel is gebruikt'. In dezelfde norm is in artikel 3.6.4 ook nog vastgelegd dat: 'De karakteristieke waarde van de buigtreksterkte mag zijn gelijkgesteld aan de karakteristieke waarde van de korteduur-buigtreksterkte. De karakteristieke buigtreksterkten van metselwerk,  $f_{sk1}$  en  $f_{sk2}$ , moeten zijn bepaald uit de resultaten van proeven op metselwerkproefstukken'. Er zijn twee genormaliseerde proeven die uitgevoerd kunnen worden, te weten een vierlijnsbuigproef (NEN-EN 1052-2) of een hefboomproef (NEN-EN 1052-5). In

NEN-EN 1996-1-1 is als alternatief nog opgenomen dat de 'resultaten mogen zijn verkregen uit proeven die voor het project zijn uitgevoerd of uit een bestand van proefresultaten. Als proefresultaten niet beschikbaar zijn, mogen, onder voorwaarde dat de lijm mortel of de lichtgewicht mortel behoort tot sterkteklasse M5 of hoger, waarden van de karakteristieke buigtreksterkte van metselwerk vervaardigd met mortel voor algemene toepassing, lijm mortel of lichtgewicht mortel zijn ontleend aan de tabellen in opmerking 3'. In het geval van  $f_{sk1}$  wordt in de betreffende tabel echter een waarde vermeld die lager is dan de minimaal vereiste waarde volgens de Nederlandse Nationale Bijlage en zodoende kan deze tabel in Nederland niet gehanteerd worden.

### Waarden van de buigtreksterkte

In NEN-EN 1996-2 is ten aanzien van de blootstellingscondities op microniveau voor voltooid metselwerk een indeling gemaakt. Op basis van deze indeling valt gevelmetselwerk in milieuklasse MX3.2. Volgens Tabel NB-1 van NEN-EN 1996-2 moet de buigtreksterkte evenwijdig aan de lintvoegen van het metselwerk in deze milieuklasse minimaal 0,3 N/mm<sup>2</sup> zijn. De buigtreksterkte loodrecht op de lintvoegen moet minimaal zo groot of groter zijn.

**Tabel 4 — Karakteristieke waarde van de buigtreksterkte van metselwerk indien bezwijken optreedt in een vlak evenwijdig aan de lintvoeg en indien bezwijken optreedt in een vlak loodrecht op de lintvoeg, respectievelijk  $f_{sk1}$  en  $f_{sk2}$ , in N/mm<sup>2</sup>**

Mortel en toepassing	$f_{sk1}$	$f_{sk2}$
Minimumeis voor metsel- en lijm mortel in milieuklasse MX1 en MX2	0,20	0,79
Minimumeis voor metsel- en lijm mortel bij overige milieuklassen	0,30	0,83
Lijm mortel met baksteen groep 1 bij aanvullende specificatie in bestek	0,60	1,22
Lijm mortel met kalkzandsteen groep 1 bij aanvullende specificatie in bestek	0,60	1,00
Lijm mortel met betonsteen groep 1 bij aanvullende specificatie in bestek	0,60	1,22
Lijm mortel met cellenbeton groep 1 bij aanvullende specificatie in bestek	0,45	0,45

**Tabel 4 uit de NPR 9096-1-1 met hogere waarden voor de buigtreksterkte van metselwerk als aan bepaalde voorwaarden voldaan wordt.**



**Hefboomproef ter plaatse van gevelmetselwerk.**



**Hefboomproef op Braziliaans metselwerk.**

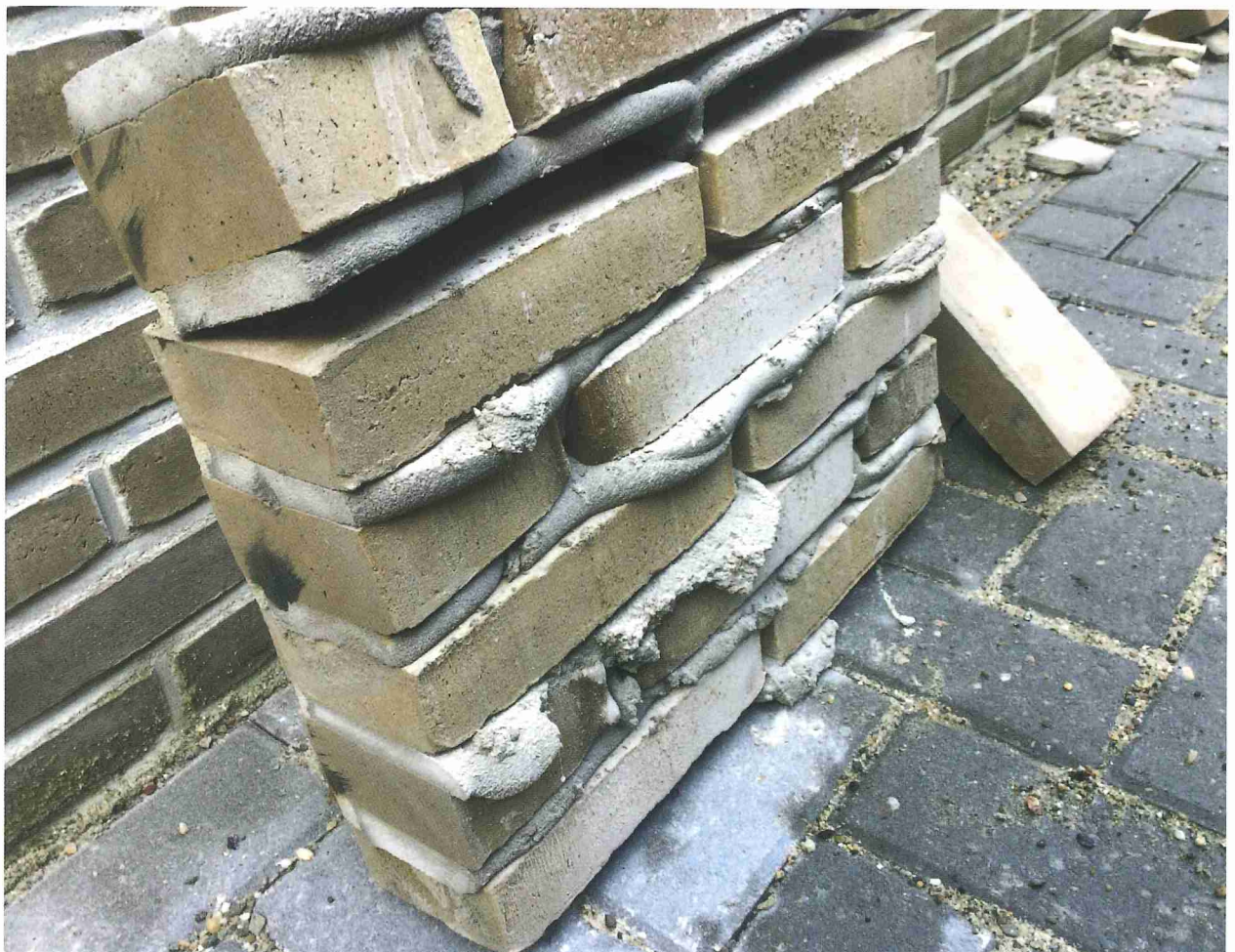
Tabel NB-1 — Eisen voor materiaalkeuze in relatie tot milieuklasse

Milieuklasse (zie tabel NB-A.1)	Baksteen	Kalkzandsteen	Betonsteen	Cellenbeton	Mortels	Metselwerk $f_{xk,1}$
MX1	elke	elke	elke	elke	elke	$\geq 0,2 \text{ N/mm}^2$
MX2.1	F0, F1 of F2 en S2	elke	elke	elke	$\geq M5$	$\geq 0,3 \text{ N/mm}^2$
MX2.2	F0, F1 of F2 en S2	elke	elke	$\geq 400 \text{ kg/m}^3$	$\geq M5$	$\geq 0,3 \text{ N/mm}^2$
MX3.1	F2 en S2	vorstbestand	vorstbestand	$\geq 400 \text{ kg/m}^3$	$\geq M5$	$\geq 0,3 \text{ N/mm}^2$
MX3.2	F2 en S2	vorstbestand	vorstbestand	$\geq 400 \text{ kg/m}^3$	$\geq M5$	$\geq 0,3 \text{ N/mm}^2$
MX4	F2 en S2	Per geval moeten de effecten van de blootstelling worden beoordeeld en moet de producent worden geconsulteerd.			$\geq M5$	$\geq 0,3 \text{ N/mm}^2$
MX5	Per geval moeten de effecten van de blootstelling worden beoordeeld en moet de producent worden geconsulteerd.					

Tabel NB-1 uit NEN-EN 1996-2 met de minimaal vereiste buigtreksterkte voor metselwerk.

Wanneer aan een aantal voorwaarden wordt voldaan, mogen hogere waarden voor de buigtreksterkte van metselwerk toegepast worden. Wanneer dit specifiek als prestatie-eis is voorgeschreven in het bestek of soortgelijke stukken, kan het dus ook zo zijn dat er met andere waardes voor de buigtreksterkte gerekend mag worden. In de NPR 9096-1-1 is in artikel 3.6.3 het volgende opgenomen: 'De karakteristieke waarden van  $f_{xk1}$  en  $f_{xk2}$  die zijn gegeven in tabel 4, zijn afgeleid uit de minimumeisen aan de buigtreksterkte volgens tabel NB-1 van NEN-EN 1996-2. Bij het opstellen van tabel 4 zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De overlappingslengte in het metselwerkverband is ten minste gelijk aan 0,8 maal de muurdikte.
  - De buigtreksterkte van de stenen,  $f_{n,b,k'}$  is ten minste gelijk aan:
    - 2,0 N/mm<sup>2</sup> bij baksteen;
    - 2,0 N/mm<sup>2</sup> bij betonsteen;
    - 1,5 N/mm<sup>2</sup> bij kalkzandsteen.
  - De buigtreksterkte van de stenen is bepaald volgens bijlage NB-B.
  - De druksterkte van het metselwerk van cellenbeton is ten minste 3,0 N/mm<sup>2</sup>.
- In NEN-EN 1996-2 zijn voor het verkrijgen van voldoende duurzame sterkte minimumeisen gesteld aan de buigtreksterkte van metselwerk. In het bijzonder bij de toepassing van lijm mortels bij groep 1 stenen zijn hogere waarden mogelijk. De hogere waarden in tabel 4 voor lijm mortel bij aanvullende specificatie, zijn gebaseerd op de waarde voor  $f_{xk1}$  gelijk aan 0,6 N/mm<sup>2</sup>, welke hogere waarde in het bestek behoort te zijn voorgeschreven'. Let goed op met het toepassen van de hogere waarden voor de buigtreksterkte volgens de NPR 9096-1-1, want hieraan worden heel duidelijk voorwaarden gekoppeld. Wanneer hieraan niet voldaan wordt, moeten proeven uitgevoerd worden. Ook in het geval



Uit de gevel gezaagd proefstuk: de hechting tussen steen en mortel is zo gering dat het proefstuk al kapot is voordat het beproefd kan worden.

van speciale mortel-steencombinaties worden soms proeven gedaan om aansluitend bijvoorbeeld te mogen rekenen met een hogere waarde voor de buigtreksterkte.

### Hechtproeven op de bouwplaats

In het verleden is het heel gebruikelijk geweest op de bouwplaats een paar eenvoudige proeven uit te voeren om inzicht te verkrijgen in de hechting van mortel en stenen. Voor historisch metselwerk zijn deze proeven nog steeds voorgeschreven in de URL 4003, te weten een 1-minuutproef en een 10-minutenproef. In het geval van de 1-minuutproef moeten twee bakstenen op elkaar gemetseld worden en na 1 minuut van elkaar getrokken worden. Aan beide stenen moet dan specie blijven kleven, zodat duidelijk is dat de mortel goed aan de steen hecht en dus de vochtigheid in orde is. Als dit niet het geval is moet de waterdosering van de mortel aangepast worden of moeten de stenen natgemaakt worden. In het geval van de 10-minutenproef moeten ook twee stenen op elkaar gelijmd worden en na 10 minuten moet het proefstuk aan de bovenste steen opgetild worden. Als de onderste steen blijft hangen, zijn de afstemming van mortel op steen, de waterdosering en de voorbevochtiging goed. Wanneer de onderste steen loskomt, is de afstemming van de mortel op de steen mogelijk niet goed of moet de waterdosering of voorbevochtiging van de stenen aangepast worden. Dit soort eenvoudige proeven zijn er om inzicht te krijgen in de hechting van de mortel en steen. Dit soort proeven worden in het geval van regulier metselwerk bijna nooit meer uitgevoerd.

Ga niet pas nadenken over de sterkte van het gevelmetselwerk als er een gemetselde gevel is ingestort. Besteed hier al in het voortraject van de bouw voldoende aandacht aan, stem de mortel goed af op de stenen en doe in het geval van twijfel de benodigde proeven. De norm is ten aanzien van de buigtreksterkte van gevelmetselwerk (milieuklasse 3.2) heel duidelijk en deze moet minimaal  $0,3 \text{ N/mm}^2$  zijn voor een bezwijkvlak evenwijdig aan de lintvoegen. Aangezien ook weersomstandigheden van invloed zijn op deze hechting, is het aan te raden om gedurende de uitvoering, bijvoorbeeld via een 1-minuutproef, regelmatig een hechtproef uit te voeren. Mochten er grote twijfels zijn over het gerealiseerde metselwerk, dan kan overwogen worden om in het werk enkele hefboomproeven uit te laten voeren. Door deze proeven ook allemaal goed vast te leggen, wordt in ieder geval voorkomen dat dit aspect tot discussies zou kunnen leiden.

### Stem de mortel goed af op de stenen en doe in het geval van twijfel de benodigde proeven



Foto boven  
Als bakstenen en mortel op deze wijze loskomen is er zeker geen sprake van voldoende hechting.



Proefmuur met klamp metselwerk.