

Schade en herstel aan historisch metselwerk



Even voorstellen



- Wilfred Mengerink 42 jaar en ongeveer 22 jaar werkzaam in de restauratie
- Sinds 2003 Monumentenwachter bij de stichting monumentenwacht Gelderland.
- Daarnaast leraar voor de opleidingen restauratietimmerman en restauratie specialist
- Archeologische en bouwhistorische experimenten als hobby

Inspecteren om verval te voorkomen



- De stichting Monumentenwacht Gelderland is in 1978 opgericht en houdt zich vooral bezig met onafhankelijke bouwkundige inspecties van monumenten.
- Het doel is om schade, veroorzaakt door bijvoorbeeld een weggeschoven dakpan, te voorkomen.
- <http://www.monumentenwacht-gld.nl>

Herstellen van historisch metselwerk.

Enkele voorbeelden van hoe het niet moet



- De voegmortel, de kleur en de uitvoering komen niet overeen met het originele voegwerk.
- Bakstenen slordig en ruw behakt. Niet gladgeslepen.

Is het shit, dan pakken we de kit



- Om veilig te werken dienen steigers gekoppeld te zijn aan de gevel.
- Met het verwijderen van de plug met steigeroog of koppelanker is het metselwerk beschadigd. Door de steigerbouwer is het gat dichtgezet met kit.
- Monteer pluggen in de kleur van de baksteen en laat deze zitten voor een volgende keer.

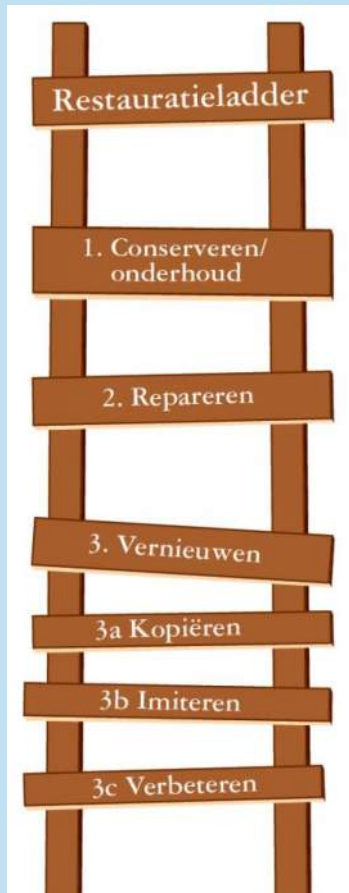
Herstellen van metselwerk.

Gelukkig zijn er ook goede voorbeelden



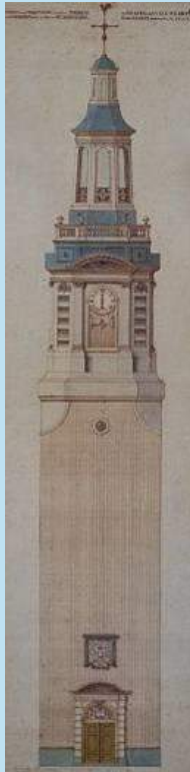
- Foto links: inboetwerk van tufsteen aan de NH-kerk in Beekbergen.
- Foto rechtsboven. Inboetwerk aan de NH-kerk in Nijkerkerveen.

Uitvoeringsrichtlijnen voor onderhoud en restauratie van monumentaal metselwerk



- De Uitvoeringsrichtlijn Restauratie 'Historisch Metselwerk' (URL 4003) geeft voorschriften voor werkzaamheden bij de restauratie van historisch metselwerk en de URL 4006 voor voegwerk.
- <http://www.stichtingerm.nl/>

Waarom is het restaureren van metselwerk soms best lastig?



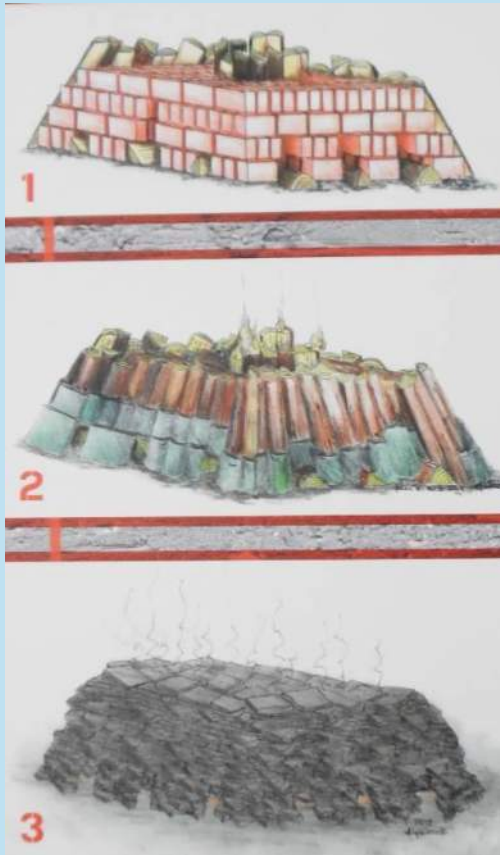
- Kerktoren NH-kerk in Nijkerk. Het onderste deel van de toren is gebouwd in 1461 en het bovenste deel in 1744
- Het metselwerk, de bakstenen en de mortel zijn totaal verschillend.

Middeleeuws metselwerk



- NH-kerk Nijkerk. Metselwerk uit 1461 (late middeleeuwen)
- Kloostermoppen, mortel van schelpkalk en duinzand vol en zat gemetseld in staandverband gemetseld.

Meileroven voor bakstenen



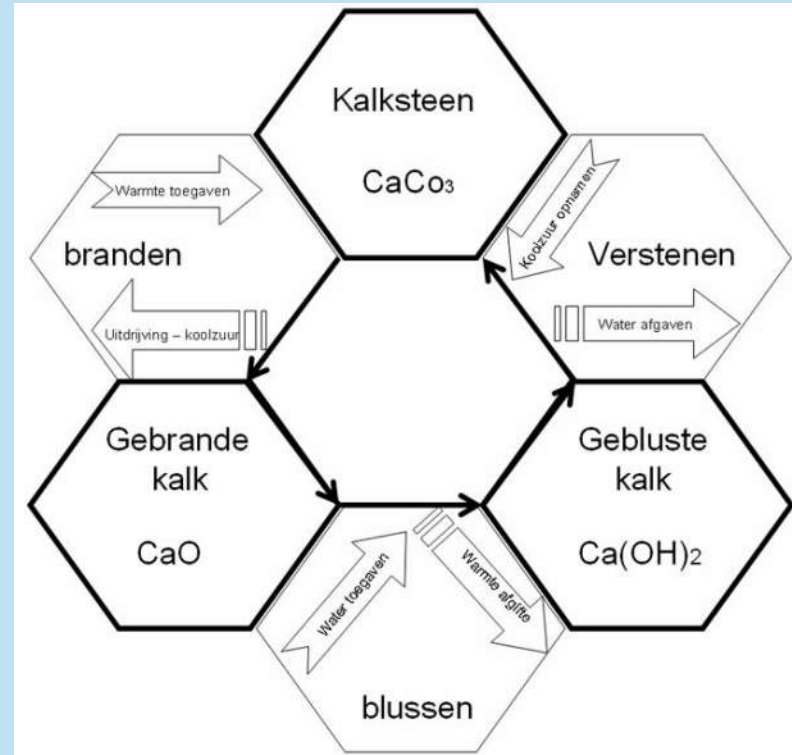
- Totale duur van het bakproces was 6 tot 10 weken.
- De warmte was slecht te regelen, waardoor er zowel halfgare (bleke) stenen tot gesinterde gesmolten stenen.
- Foto boven: Metselwerk uit 1290. Let op de groen geglaazuurde bakstenen. De baktemperatuur is hoger dan 1125 graden geweest.

Kalkbranden met een meileroven



- Branden en blussen van kalksteen
- Bron afbeeldingen: kalkbranden op kasteel Guédelon in Treigny (Yonne, Frankrijk)
<http://www.guedelon.fr/>

Schelpkalk (luchtkalk)



- Bij het branden ontsnapt bij 1000 °C de koolstofdioxide (CO_2) uit de kalk (het Calciumcarbonaat (CaCO_3)) en de ongebluste kalk ofwel calciumoxide (CaO) blijft over.
- Door gebrande kalk te blussen met water ontstaat calciumhydroxide (Ca(OH)_2)

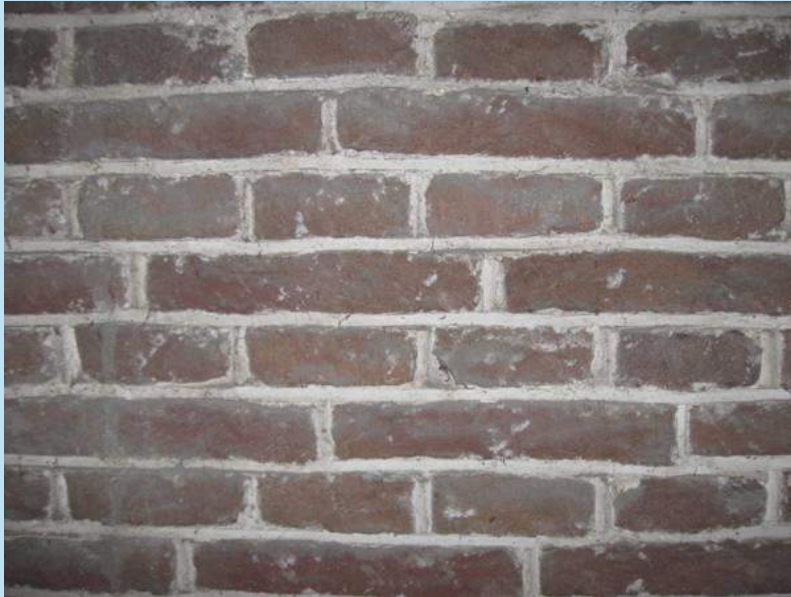


Restanten van het branden van kalk



- Stukken houtskool in begin 16^e eeuwse mortel
- kerktoren NH-kerk Kootwijk

Dezelfde kerktoren, 3 eeuwen later



- In het Bestek en Conditien uit 1774, van de verbouwing van de kerktoeren in Nijkerk, worden de bouwmaterialen uitvoerig beschreven. Zo moeten de bakstenen klinkerstenen zijn van het formaat Vechtse moppen
- In het bestek staat geschreven dat voor de metseling een specie samengesteld moet worden uit $\frac{1}{3}$ Dortsche tras en $\frac{2}{3}$ Lykse steenkalk.

Periodieke ovens (veldbrandoven)



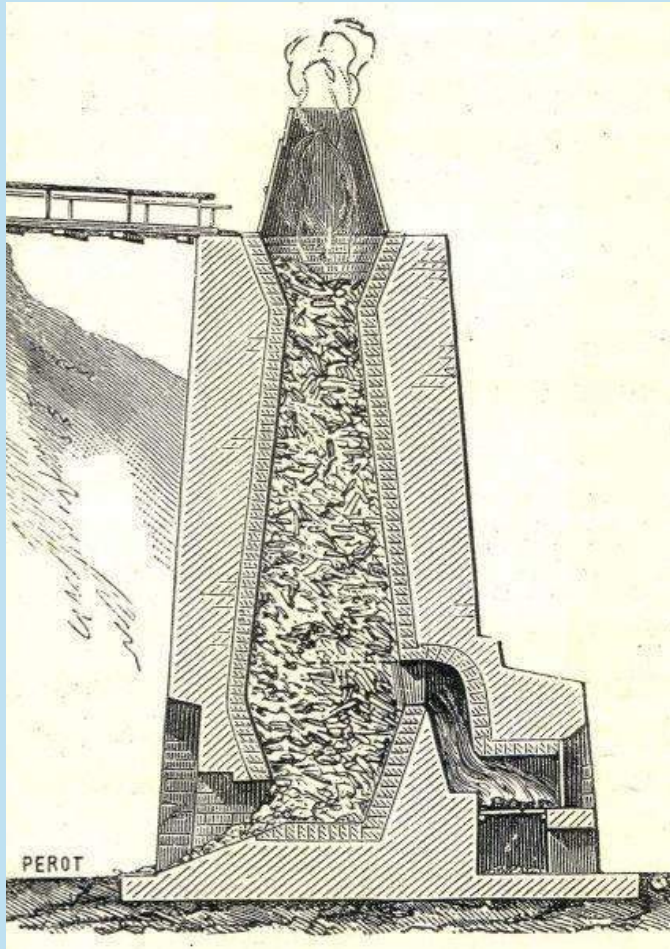
- Periodieke ovens werden gebruikt vanaf de middeleeuwen tot in de 20e eeuw
- Foto links: Het stoken van een veldbrandoven.
- Foto rechtsboven: Restant van een veldbrandoven uit 1872 in Ubbergen. Door de stookgaten werd met lange schoppen brandende turf, hout of kolen naar binnen gegooid. In de oven werden de stenen zodanig gestapeld, dat er stookgangen overbleven.

Traskalk of Dordts cement (Hydraulische kalk of waterkalk)



- Trassmeel is gemaakt van fijngemalen tufsteen. Tufsteen bevat een hoog gehalte aan een niet kristallijne, glasachtige component (siliciumoxide)
- Traskalk is een mix van 1 kalk en 1 trassmeel (volume) Na toevoeging van water gaat de siliciumoxide een reactie aan met de kalk. Hierdoor ontstaat een calciumsilicaat hydraat gel die de massa samenbindt.
- Foto links: (Römer Tufsteen, grondstof voor trassmeel. Foto rechts: kalkpoeder
- Traskalk heeft langdurig water nodig om volledig uit te harden.

Continu kalkoven



- In de 18^e eeuw werd een schachtoven ontwikkeld waarin continu kon worden gebrand.



Veel ontwikkelingen in de 19^e en 20^e eeuw



- Foto linksboven: villa uit 1907 in Zutphen met gekleurde strengpersstenen.
- Foto rechtsboven: villa In Maastricht uit 1901 van gekleurde kalkzandsteen

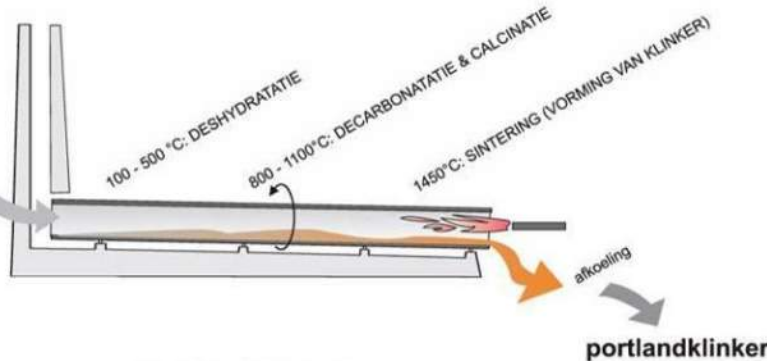
Portlandcement v/a 1824 tot heden

1c cement *fabricage*

cementoven (principe)

grondstoffen-
mengsel:
kalksteen / krijt
leisteel / klei

in poedervorm
(‘droog procédé’)
of als deeg
(‘nat procédé’)



- Joseph Aspdin krijgt in 1824 een octrooi op een cement die volgens hem zo hard werd als Portlandsteen. Zo ontstond Portlandcement.
- Kalksteen wordt gemengd kiezelzuur, aluminiumoxide en ijzeroxide. Deze drie componenten worden in de juiste verhouding samen met de kalksteen gemalen.
- Na de maling wordt het mengsel gebrand in een roterende oven. Tijdens het branden bindt in de sinterzone het calciumoxide zich met kiezelzuur, ijzer en aluminium tot portlandcementklinker. Er vormen zich grijs-zwarte bollen: de portlandcementklinker.



Vormbaksteen



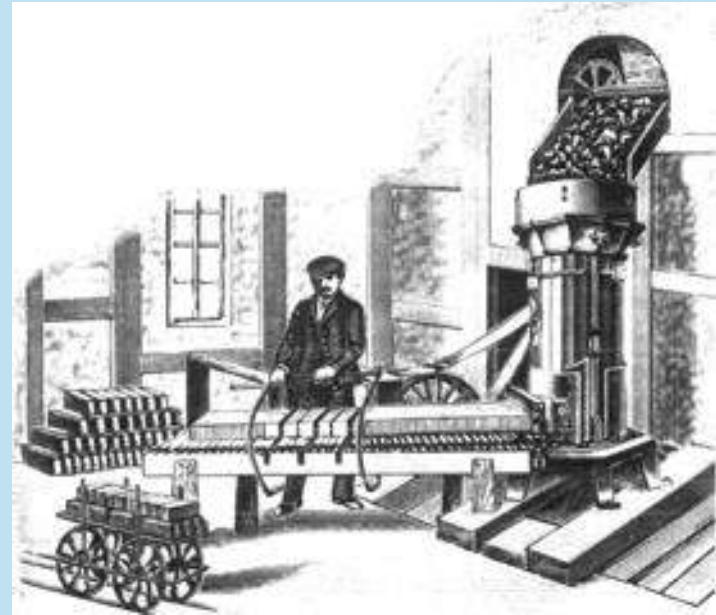
- Afbeelding rechtsboven: Vormbakpers van Aberson uit 1882.
- Op deze manier kon een strakke homogene baksteen worden gemaakt.

Sporen van de fabricage



- Foto linksboven: Het drogen en zetten van groenlingen eind 20^e eeuw.
- Foto rechts: Vingerafdruk in een vormbaksteen, achtergelaten door het kantelen van een groenling.

Strengpers baksteen



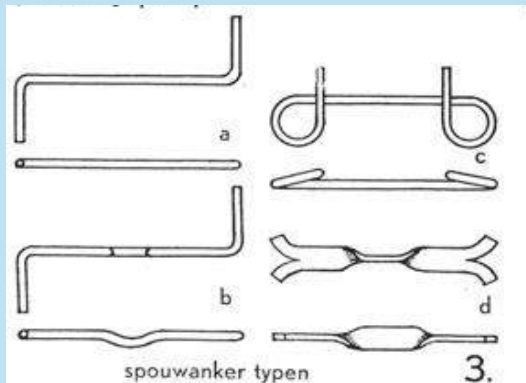
- Een door stoom aangedreven strengpers in 1858.
- De klei werd door een matrijs geperst en daarna op maat afgesneden.

Kalkzandsteen



- Kalkzandsteen metselwerk uit 1910 met graffiti uit 1948.
- Koningin Julianatoren Apeldoorn.
- Kalkzandstenen van zand en kalk zijn niet gebakken, maar onder hoge druk geperst

Ontwikkeling spouwmuur



- Metselwerk met spouw uit 1908.
- Foto rechtsboven: Metselwerk met spouw uit 1924.

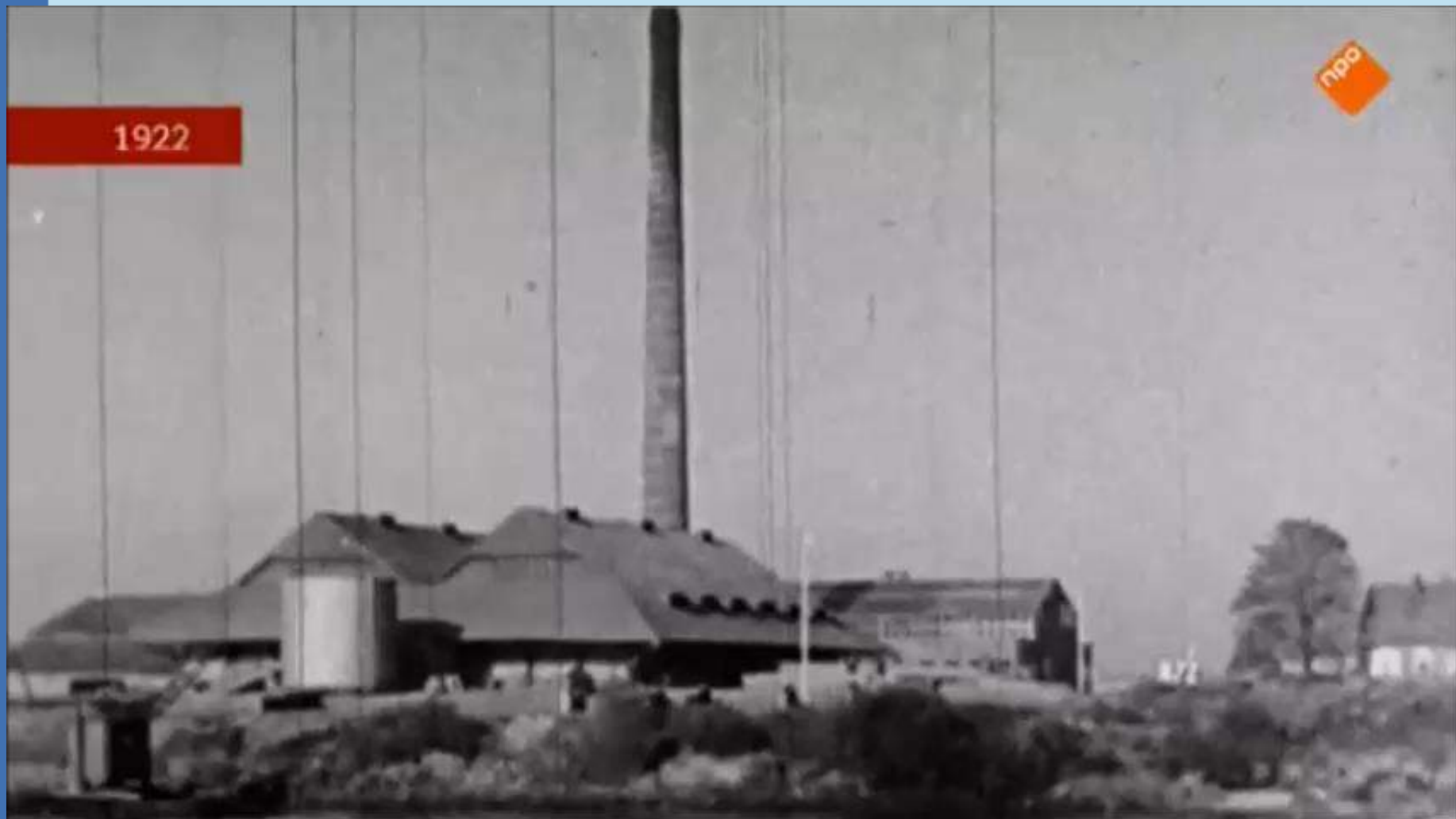
Continu baksteenoven (Ringoven)



- Het principe van de ringoven werd in 1858 bedacht door Friedrich Eduard Hoffmann.
- Door de ringconstructie is een doorlopend steenbakproces mogelijk, dat bovendien economischer en geleidelijker bakt dan de traditionele veldbrandovens.



1922



Tijd voor een kleine pauze



Schade aan metselwerk door lekkages



- Loop eens een rondje om het gebouw. Let op natte donkere plekken in de gevel, weggevalen dakpannen of overstromende goten

Vorstschade aan het metselwerk



- Door langdurige vochtbelasting vanwege een lekkage kan de metselmortel kapotvriezen.
- Kapotgevroren mortel ziet eruit als bladerdeeg. Ook kan er vrij gemakkelijk met bijvoorbeeld een inspectiemes diep in de voeg worden gestoken.
- Dit metselwerk kan niet meer opnieuw gevoegd worden.
- Herstellen volgens de Uitvoeringsrichtlijn Historisch metselwerk (URL 4003) van de stichting ERM. Hier staan ook adviezen voor de te gebruiken metselsteen en de mortels

Voorbeeld uit de praktijk. Alleen voegen is niet altijd duurzaam



- In 2012 is dit kapotgevroren metselwerk van deze balustrade opnieuw voorzien van voegwerk.
- Enkele jaren later kwamen de eerste scheuren alweer tevoorschijn

Soms is ingrijpend herstel beter



- In 2018 is de balustrade alsnog afgebroken en met hergebruik van de bakstenen opnieuw gemetseld

Metselwerk afdekken



Uitbloei van kalk of zouten



- Door vochttransport worden ongebonden kalk en zouten meegenomen naar het oppervlak van de baksteen.

Uitbloei van ongebonden kalk



- Kalk die zich niet heeft weten te binden kan door vochttransport gaan uitbloeien.
- Om uitbloei te voorkomen wordt ook wel een kleine hoeveelheid cement of tras aan kalkmortel toegevoegd.

Uitbloei van ongebonden kalk



- Niet gelijk actie ondernemen met schoonmaakmiddelen en zuren
- Door regen en wind kunnen de kalkstrepen verdwijnen

Kalkuitbloei niet reinigen met zoutzuur



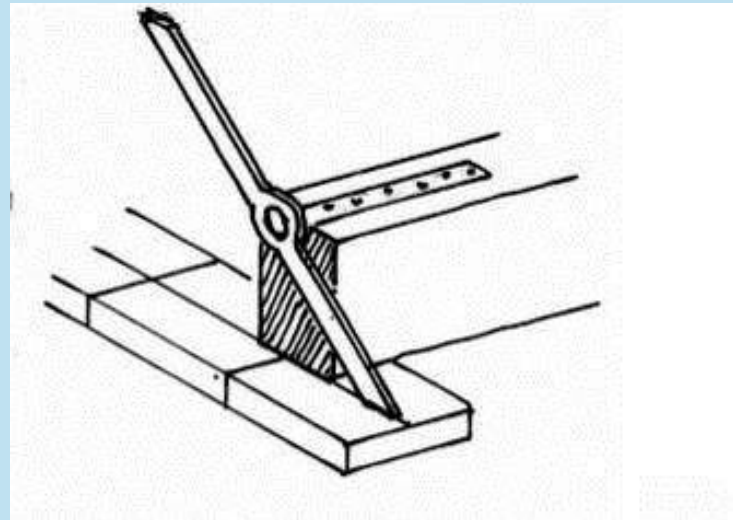
- Uitbloei van ongebonden kalk is weggeborsteld met zoutzuur.
- Het door het metselwerk opgenomen zuur bleef actief en tast het kalkgebonden voegwerk aan. Zoutkristallen drukken de toplaag van de baksteen kapot.

Schade door roestende blindankers



- Afscholling en scheuren aan het metselwerk van de NH-kerk in Nijkerkerveen.
- De scheuren zitten niet toevallig op de plek van de vloer van de uurwerkzolder.

Schade door roestende blindankers



- Foto linksboven. In het interieur is de bevestiging van het anker zichtbaar. Aan de buitengevel zijn geen ankers zichtbaar. Dit duidt vaak op blindankers.

Schade door roestende blindankers



- Foto linksboven. Door het oproesten van blindankers wordt het metselwerk naar buiten geduwd.
- Foto rechtsboven. Als de loszittende delen metselwerk worden weggehaald komt het ijzeren blindanker tevoorschijn.

Herstelde gevel



- Het anker is vervangen door een roestvast stalen anker, waarna het gat weer is dichtgemetseld.

Roestende kozijnankers



- Schade aan de gevel door oproestende kozijnankers.

Roestende kozijnankers



- De roestende kozijnankers zijn eruit gehaald en vervangen door roestvast stalen ankers

Scheve zijgevels....



- Achterhuis van een hallenhuys boerderij

Forse scheuren en loszittend metselwerk



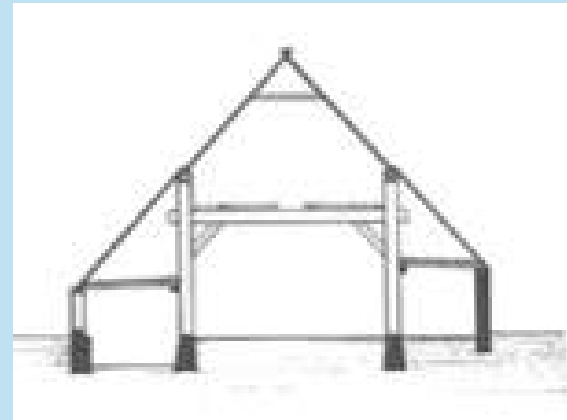
- Scheuren en loszittend metselwerk aan de achtergevel. De scheuren zijn ook in het interieur zichtbaar.

Trekbalen zijn weggehaald



- Om ruimte te creëren is in het verleden de hilde verwijderd. De balklaag van de hilde fungeerde echter ook als trekbalen voor de gevel.

Stabiliseren van de constructie



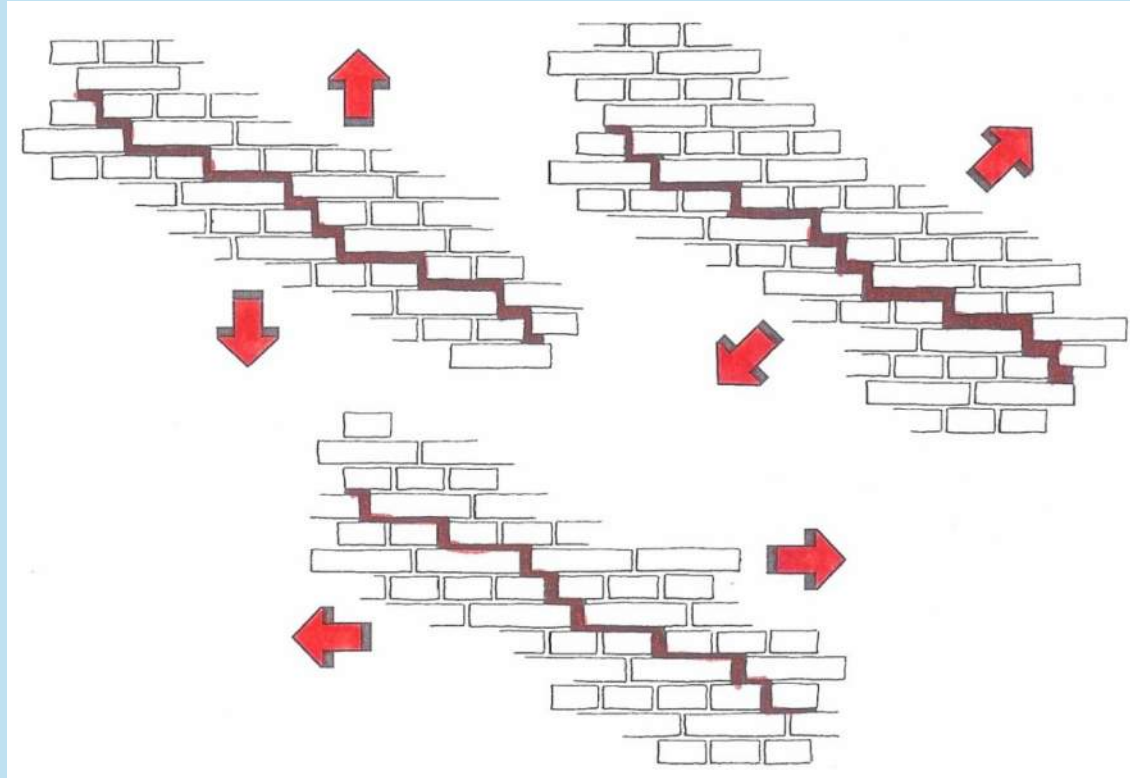
- Foto links. Door een constructeur zijn trekstangen van kokerprofielen ontworpen.
- Afbeelding boven: voorbeeld van een hildebalk. De balklaag vangt ook de kapdruk op.

Stabiele scheuren in metselwerk



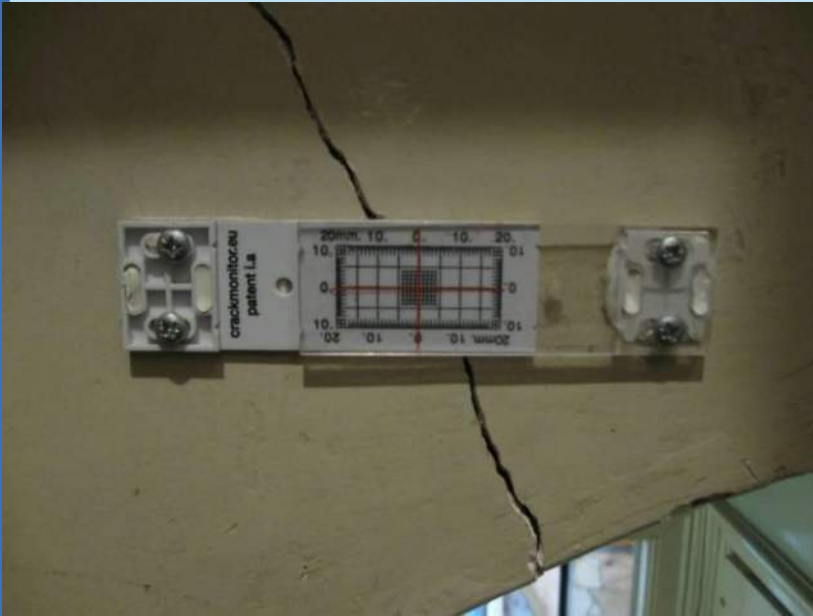
- Foto linksboven. Scheur boven een raamkozijn
- Foto rechtsboven. Scheur veroorzaakt door het verschil in fundering tussen de kelderbak en de woning.
- Deze scheuren zijn meestal stabiel en niet verontrustend.

Wat kan een scheur je vertellen?



- Linksboven: de horizontale voegen (lintvoegen) gaan evenwijdig uit elkaar.
- Rechtsboven: De scheur is boven kleiner dan onder.
- Onder: de verticale voegen (stootvoegen) gaan evenwijdig uit elkaar.

Monitoren van scheuren



- Foto links. De werking van een scheur kan gecontroleerd worden met een scheurmeter.
- Verzakkingen kunnen gecontroleerd worden met een total station of een 3D scan

Alleen opvoegen van scheuren heeft weinig zin.



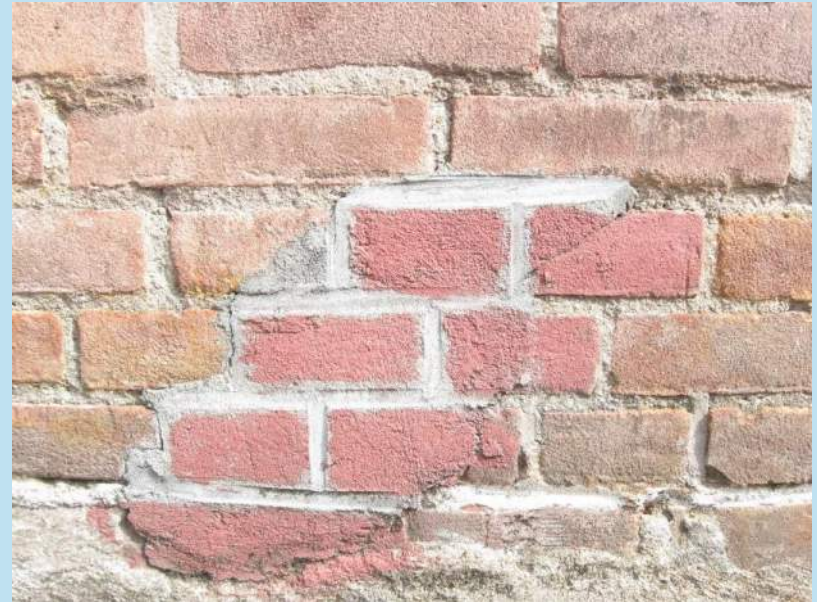
- Oude zettingscheuren werken vaak als een soort dilatatie die trillingen en het uitzetten en krimpen van materialen in het metselwerk kunnen opvangen.
- Een dunne voeg zal dit niet kunnen opvangen.

Constructief herstel van scheuren



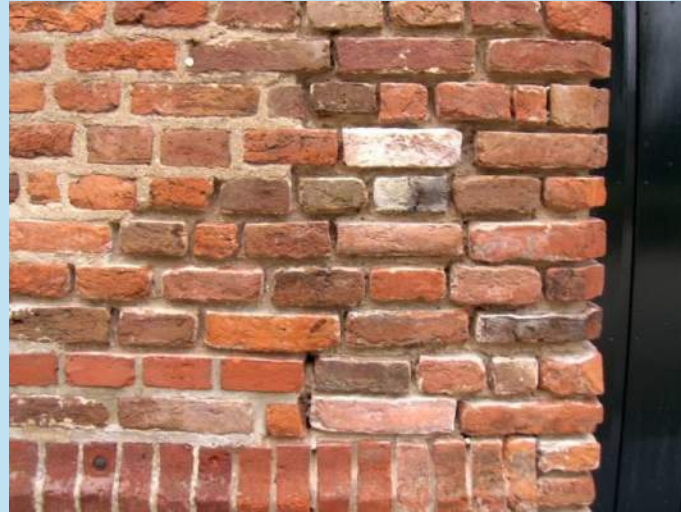
- Het stabiliseren van scheuren met roestvast stalen wapeningstaven.
- Foto rechtsboven: www.casadata.nl
- Foto linksboven: www.totalwallconcept.nl

Plaatselijk herstel met een reparatiemortel



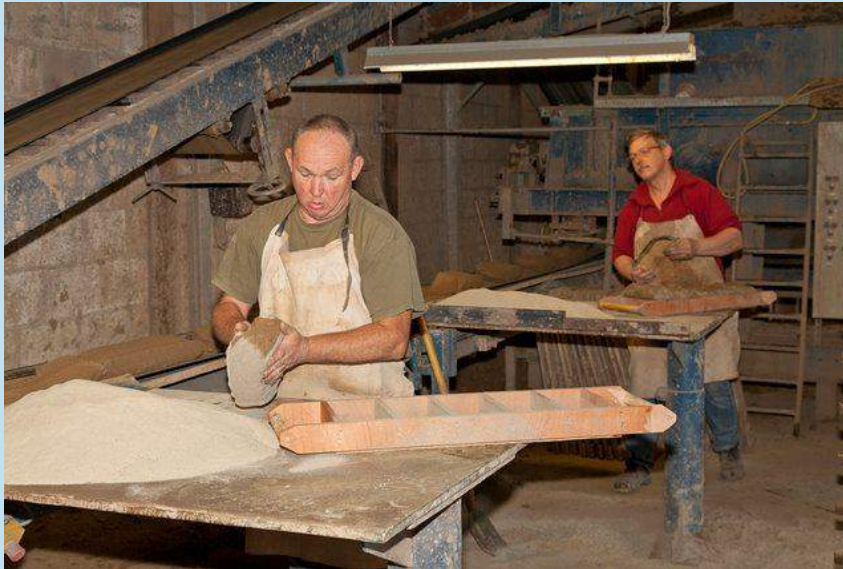
- Foto linksboven: Inboeten is niet altijd noodzakelijk. Kleine beschadigingen kunnen worden hersteld met een reparatiemortel.
- Foto rechtsboven: Het is niet verstandig om grote oppervlaktes op te vullen met een reparatiemortel. Vaak krimpen deze weer los van de ondergrond.

Inboetwerk met oude bakstenen



- Foto linksboven. Restauratie NH-kerk Beekbergen
- Foto rechtsboven. Inboetwerk met hergebruikte afgebikte stenen.
- Voordeel is het hergebruik van historisch bouw materiaal.
- Nadeel is dat de stenen vaak besmet zijn met kalkresten en dat het moeilijk is om de juiste formaten te vinden.

Inboetwerk met nieuw gereproduceerde bakstenen



- Foto linksboven. Reproductie van historische bakstenen bij baksteenfabriek Zilverschoon in Randwijk
- Foto rechtsboven. Inboetwerk met nieuw gebakken handvorm bakstenen. (Kloostermoppen)
- Voordeel is dat de nieuwe stenen qua formaat en kleur aangepast kunnen worden naar de historische bakstenen.
- Behoud van vakmanschap: het handmatig produceren van handvorm bakstenen.
- Enkele baksteenfabrieken die restauratiestenen maken: Zilverschoon Randwijk, Vogelensangh Deest, Brick Burgers Reuver, Klinkers Maastricht

Vervangen van kapotte bakstenen



- Te vervangen bakstenen kunnen het beste worden verwijderd door de voegen uit te slijpen en de baksteen uit te boren met een holboor.
- Metselwerk uit 1908 in kruisverband gemetseld met gesneden voegwerk en geschilderd met een kalkverf.

Bijkleuren van bakstenen



- Foto linksboven. Kleurstof voor het kleuren van mortels of bakstenen.
- Foto rechtsboven. Proefstukje voor het kleuren van een baksteen.

Moderne mortelrecepten voor restauratie



- De Uitvoeringsrichtlijn Restauratie 'Historisch Metselwerk' (URL 4003) geeft voorschriften voor werkzaamheden bij de restauratie van historisch metselwerk.
- <http://www.stichtingerm.nl/>

Type Metselwerk	Binnen muur	Buitenmuren blootgesteld			
		Beschut	Matig bloot- gesteld	Sterk bloot- gesteld	Natte condities
Dichte natuursteen baksteen, verblendsteen weinig poreus Kwaliteit R1 en R2	B,C,D	B,C,D,E	C,D,E	F,G	F,G,H
Gemiddelde kwaliteit natuursteen en baksteen gemiddeld poreus Kwaliteit R3 en R4	B,C,D	B,C,D	C,D,E	C,D,E	F,G
Zachte, verweerde natuursteen en zacht gebakken stenen sterk poreus kwaliteit R5 en R6	B	B	B,C,D	C,D	
metselwerk met zeer geringe mortellaagdikte	A	A	A	A	

code	type	Netto droge volumieke massa	Vrijwillige wateropneming	Vorst-Dooi weerstand	tabel samengesteld i.s.m. TCKI
	baksteen	[kg/m ³]	[massa %]	categorie	
				CEN/TS 772-22	
R1	kelderklinker	2000	10	F ₂ D	
R2	trasraamklinker	1900	12	F ₂ C	
R3	gevelklinker	1800	14	F ₂ C	
R4	hardgrauw	1700	16	F ₂ C	
R5	boerengrauw	1600	18	F ₁ C	
R6	rood	1500	20	nvt	

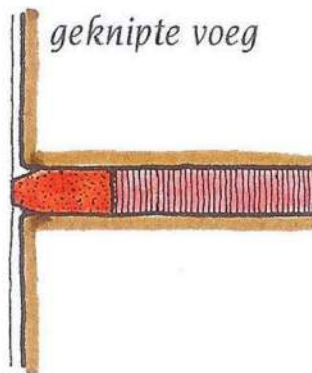
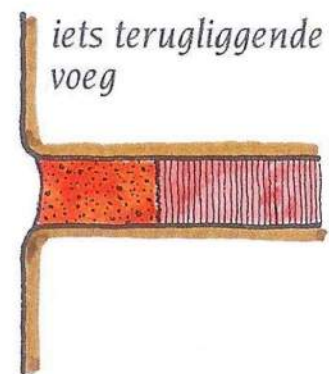
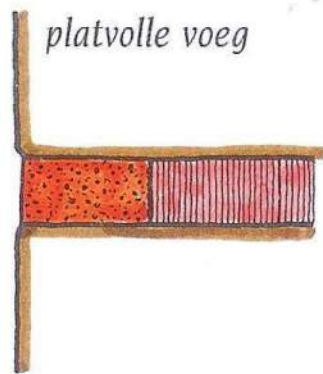
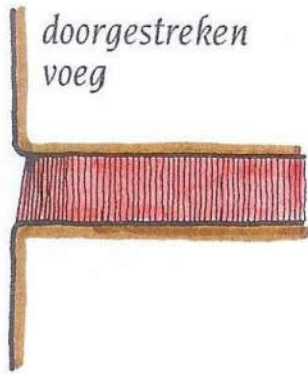
Opm. Alle Nederlandse bakstenen zijn S2 gedeclareerd, dwz dat de minder dan de in NEN-EN 772-5 geformuleerde maximale waarden aan oplosbare zouten bevatten

Metselmortelsamenstellingen						samenstellingen in volumedelen		
Code	Luchtkalk	Hydraulische kalk	Cement	Tras *)	Zand	Typering	Druksterkte [Mpa] ")	E-modulus [Mpa.10 ³]
A	2				3-4	Niet hydraulisch	0,5-2,5	2-7
B	2				5-6	Niet hydraulisch		
C	4			1 ^)	10-12	Zwak hydraulisch		↑ toename vervormbaarheid ↑
D		2 (NHL2)			5-6	Licht hydraulisch	2,5-4,5	
	2			1 ^)	5-6	Licht hydraulisch		
	3		1		10-12	Licht hydraulisch		
E		2 (NHL3,5)			5-6	Matig hydraulisch	4-8	
	2		1		8-9	Matig hydraulisch		
F	2		1	1 ^)	10-12	Sterk hydraulisch	7-11	
		2 (NHL5)			5-6	Sterk hydraulisch		
	1		1		5-6	Sterk hydraulisch		
G	1		2		5-6	Zeer sterk hydraulisch		
H			2		5-6	Volledig hydraulisch	8-20	20-30
							1 MPa = 1 N/mm ²	
*) tras bij voorkeur toe te passen in waterwerken								
^)								
") de tabellen druksterkte en E-modulus kunnen gebruikt worden bij het inschatten van de geschiktheid (compatibiliteit) van prefabmortels voor gebruik in de restauratie								
Opmerking: voor het inboeten van historisch kalkmetselwerk zijn over het algemeen de mortels met een porie volume > 20%, de niet-hydraulische, zwak, licht en matig hydraulische mortels, zoals aangegeven in de tabel, hiervoor geschikt								

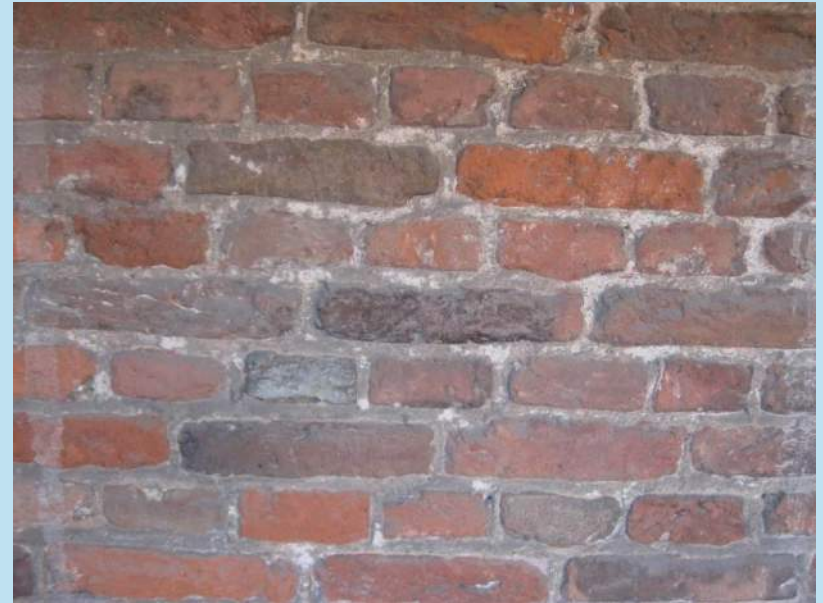
Schade en herstel van historisch voegwerk



Typen voegwerk

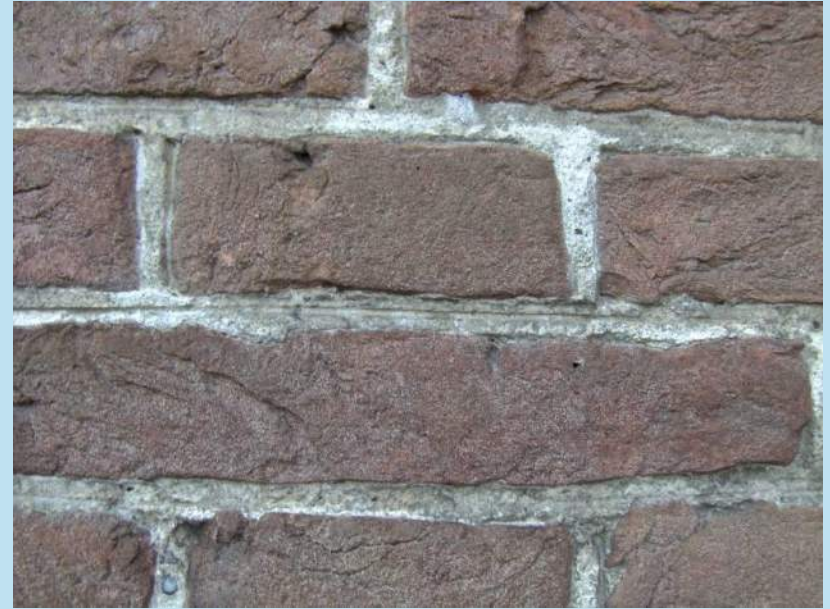


Vol en zat gemetselde bakstenen met doorgestroken voegwerk



- Foto linksboven: Origineel onaangetast metselwerk uit 1461(NH-kerk Nijkerk).
- Foto rechtsboven: Origineel onaangetast metselwerk uit 1543 (NH-kerk Bennekom).

Voegwerk met daggestreep



- Foto linksboven: voegwerk met dubbele daggestreep.
- Foto rechtsboven: Origineel onaangetast voegwerk met daggestreep uit 1557. De stootvoegen zijn hierbij uitgevoerd als gesneden voegwerk

Gesneden voegwerk



- Foto linksboven: 19^e-eeuws gesneden voegwerk. De kalkgebonden voeg is over de steen gezet.
- Foto rechtsboven: Origineel gesneden voegwerk uit 1857 aan de NH-kerk in Bennekom.

Aanbrengen van gesneden voegwerk



- Het aanbrengen van gesneden voegwerk met een beugel (links) en met een liniaal (rechts).

Knipvoeg



- Twee voorbeelden van knipvoegen. Het voegwerk steekt iets buiten de gevel uit.
- Dit type voegwerk is pas in de 19^e eeuw ontwikkeld uit de gesneden voeg.

Beschilderd metselwerk uit 1836



- Huis de Krommenhoek uit 1836 Apeldoorn.

Gekleurd voegwerk



- Foto boven: Spekbanden van blauw gekleurd voegwerk.
- Foto links: Frieslijst van rood gekleurd voegwerk.

Gekleurd voegwerk met baksteengruis en steenkolengruis



- Foto linksboven: Boerderij in Mesch (Zuid Limburg).
- Foto rechtsboven: Het voegwerk is op kleur gebrachte met steenkolengruis en baksteengruis.

Platvol of gesneden voegwerk?



- Foto's boven: Platvol voegwerk dat vlak met de steen is afgestreken. Daarna zijn lijnen aangebracht om gesneden voegwerk te imiteren.
- Foto links: Fine repointing.
- Bron foto links: Van Heeswijk opleidingen.

Gangen van de graaf- of metselwesp



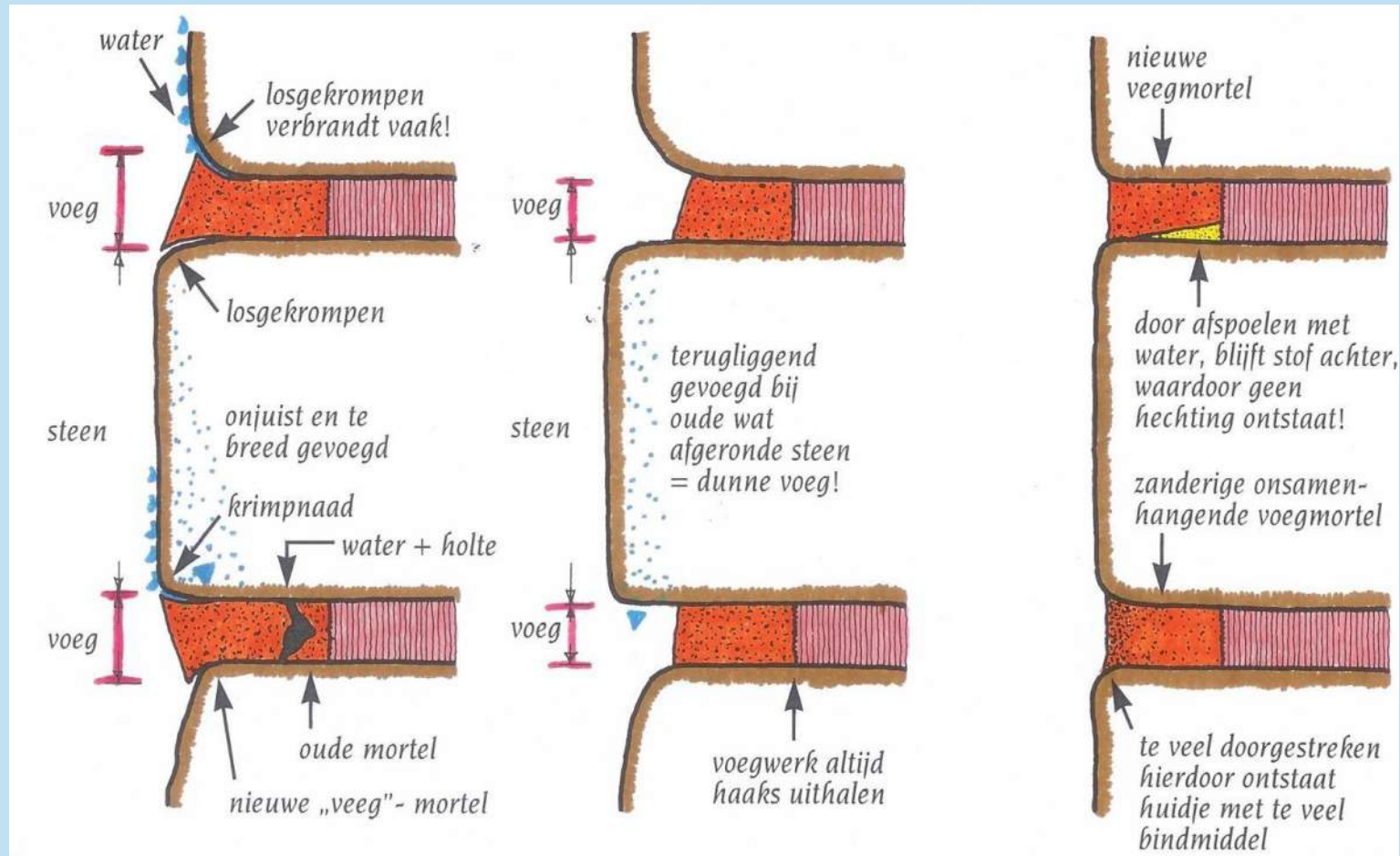
- Gangen van de metselwesp in zacht kalkgebonden voegwerk.

Vorstschade door waterdicht voegwerk

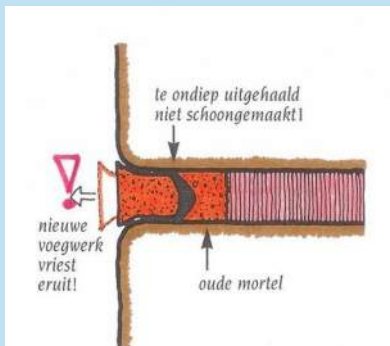


- Door een te harde cementgebonden voeg zijn de zachtere bakstenen kapot gevroren.
- Het harde en waterdichte voegwerk werkt als een vochtbarrière.
- Door de bevriezing van vocht in de baksteen verpulvert de toplaag van de baksteen of de achtergelegen kalkgebonden metselmortel.

Voorbeeld richtlijnen ERM voor voegwerk

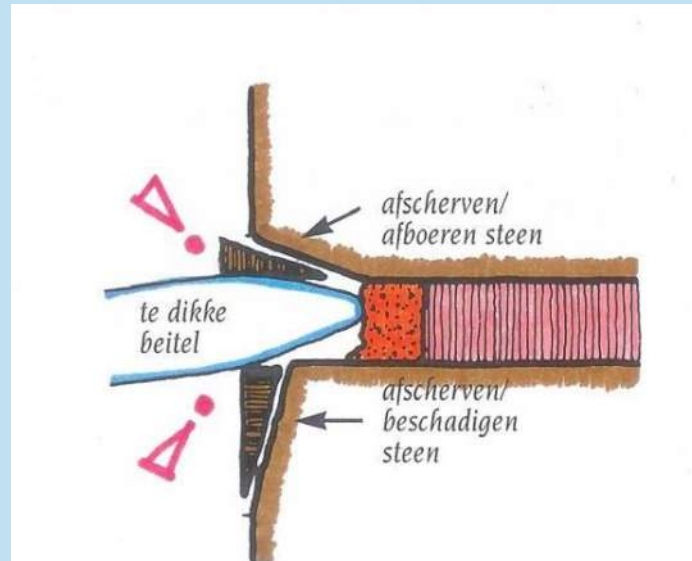


Te ondiep aangebracht voegwerk



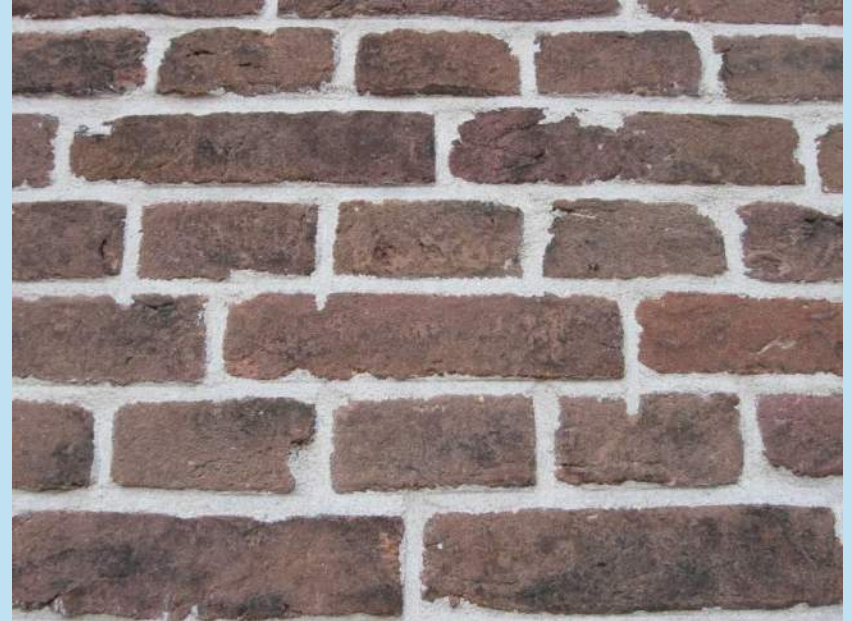
- Foto rechtsboven: Enkele jaren na het aanbrengen vallen grote delen van het voegwerk weg.
- Het voegwerk is te ondiep aangebracht. Uitgangspunt is 2 à 2,5 maal de dikte van de lintvoeg. Dit voegwerk is 8mm diep aangebracht in plaats van 20mm.

Kapotte stenen door het uithakken met een te brede beitel



- Voor het uithakken van voegwerk dienen de juiste beitels gebruikt te worden.
- Eventuele schade dient voor het aanbrengen van nieuw voegwerk hersteld te worden.

Onherstelbaar beschadigd metselwerk



- Schade aan de bakstenen door te ver inslijpen met een slijptol

Verbrand en uitgespoeld voegwerk



- De binding tussen het metselzand en het bindmiddel is verdwenen.
- De oorzaak kan liggen in een onvoldoende nabehandeling van het verse voegwerk of een verkeerd mortelrecept.
- Bij voorkeur partieel herstel uitvoeren, maar indien nodig dient al het voegwerk te worden vervangen.

Voegwerk ook doorzetten onder het maaiveld



- Tot ongeveer 30cm onder het maaiveld dient het voegwerk hersteld te worden om optrekkend vocht te vermijden.

Voorbeeld uit de praktijk



- Voorbeeld van het opnieuw voegen van het metselwerk tot op de funderingsversnijding

Reinigen van gevels



- Gevelreiniging van metselwerk c.q. natuursteen gevels, brengt in alle gevallen een zeker schaderisico met zich mee. Begin eerst met een proefvlak
- Wat voor de ene gevel en/of materiaal een geschikte reinigingsmethode is, kan bij een andere gevel ernstige schade opleveren. Het is derhalve onmogelijk om een uniforme reinigingsmethode aan te geven.
- Kijk voor uitvoeringsrichtlijnen in de URL 20-104 gevelreiniging op de website van de stichting ERM
- Gevelreiniging bij monumenten is vergunningsplichtig.

Hier is het helaas mis gegaan



- Foto links: Metselwerk uit 1891 vervuild met roetaanslag van nabijgelegen spoorwegtraject.
- Foto boven: Om het metselwerk schoon te maken is dit deels gestraald.
- Het oppervlak van de baksteen is verdwenen en de voegen zijn beschadigd.
- De wateropname is hoger en de steen is gevoeliger voor aanhechting van vuil.

Schade door hydrofoberen



- De baksteen schilfert af doordat vocht in de baksteen ophoopt achter de hydrofobeerlaag en bij winterse temperaturen bevroert.

Restaureren is specialistenwerk



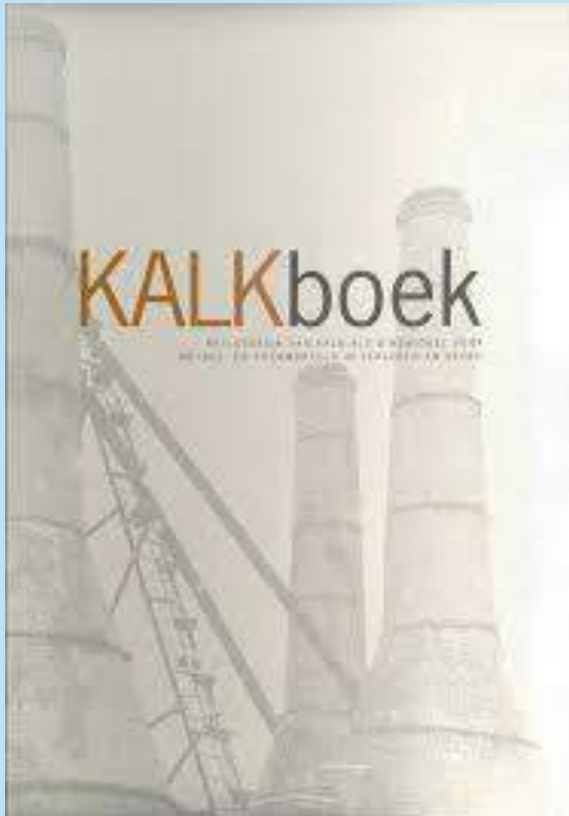
- Vakmanschap en kennis is de basis voor een goede restauratie.
- Gekwalificeerde bedrijven zijn te vinden op de websites:
www.stichtingerm.nl
www.kennisenkunde.info/

Restauratie kostenwijzer



- De restauratie en schilderkostenwijzer van Casadata geeft een goede weergave van de kosten.
- Bron afbeeldingen www.casadata.nl

Interessante literatuur



- Boeken zijn te bestellen via de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed.
- <http://cultureelerfgoed.nl/>



Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed
Ministerie van Onderwijs, Cultuur en
Wetenschap

Einde van deze presentatie:



- Zijn er nog vragen?