VAKGIDS | HISTORISCHE MORTELS EN RESTAURATIE

Mortels, materialen, recepturen en methoden

Een praktische gids voor historisch voegwerk en kalkmortels

Kalkshop.nl · De Mortel Compagnie

Oktober 2026

Restaureren begint bij begrijpen.

Inhoud

01 Inleiding en de basisprincipes van historische mortels 4

02 Kalk als historisch bindmiddel 7

03 Aggregaten, zand en poriënstructuur 9

04 Traditionele bereidingsmethoden van kalkmortel 12

05 Verwerking, droging en nazorg 14

06 Onderzoek en herstel van historisch voegwerk 16

07 Tras en puzzolanen in historische mortels 18

08 Schelpkalkmortels in Nederland 20

09 Kalk-cementmortels en incompatibiliteit 22

10 Historische voegprofielen 24

11 Zoutschade en damptransport 26

12 Petrografisch onderzoek en analyse van historische mortels 28

13 Historische pigmenten in voegwerk 31

14 Kalkverf en carbonatatie 33

15 NHL versus luchtkalk 35

16 Traditionele nazorgmethoden 38

Colofon

Literatuurlijst

Wel en niet doen bij historisch kalk- en voegwerk

Inleiding

Historisch metselwerk functioneert als een geheel van steen, mortel, voegen en eventuele minerale afwerkingen. Deze materialen beïnvloeden elkaar in de manier waarop zij belasting verdelen en vocht opnemen of afgeven. Daarom begint een zorgvuldige restauratie niet met een productkeuze, maar met het onderzoeken van het bestaande gebouw.

Deze gids verbindt historische bereidingsmethoden met materiaalkennis en de hedendaagse restauratiepraktijk. De hoofdstukken behandelen bindmiddelen, zand en aggregaten, het onderzoeken en herstellen van voegen, vocht- en zoutschade, historische kleurafwerkingen en de nazorg van kalkmortels. De voorbeelden zijn bedoeld om afwegingen inzichtelijk te maken, niet om eenzelfde mortelrecept voor ieder gebouw voor te schrijven.

Bij restauratie verdient nog goed functionerend historisch materiaal in beginsel behoud. Waar herstel nodig is, moet een nieuwe mortel voldoende duurzaam zijn en tegelijk passen bij de bestaande steen, de constructie en de historische uitstraling. De mortel mag waar nodig vervangbaar zijn; verloren historische steen is dat meestal niet.

HOOFDSTUK 01

Inleiding en de basisprincipes van historische mortels

Mortel als onderdeel van een historisch bouwwerk

Wie historisch metselwerk onderzoekt, kijkt niet uitsluitend naar de bakstenen of de natuursteen. De mortel tussen de stenen maakt deel uit van dezelfde constructie. Zij verdeelt belasting, helpt de afzonderlijke stenen op hun plaats te houden en beïnvloedt hoe vocht door het metselwerk wordt opgenomen en weer kan verdwijnen. Ook het zichtbare voegwerk bepaalt het karakter van een gevel. De kleur, het profiel en de wijze van afwerken kunnen even herkenbaar zijn als het steenformaat of het metselverband.

Een historische mortel is daarom meer dan een combinatie van kalk, zand en water. De eigenschappen ontstaan uit de gekozen grondstoffen, hun onderlinge verhouding en de manier waarop de mortel is bereid en aangebracht. Een poreuze kalksteen, een zachte handvormbaksteen en een dichte, hardgebakken steen stellen bijvoorbeeld niet vanzelf dezelfde eisen aan de aangrenzende mortel. Een restaurateur moet de materialen in hun onderlinge samenhang beoordelen, inclusief de toestand waarin zij zich na soms eeuwen gebruik bevinden.

Bij herstel is het verleidelijk een mortel te kiezen die eenvoudig verkrijgbaar is, snel verhardt en een hoge druksterkte bereikt. Voor kwetsbaar historisch metselwerk kan juist die benadering ongunstig zijn. Een zeer stijve of slecht passende mortel kan spanningen verplaatsen naar de steenranden of bijdragen aan een andere verdeling van vocht en zouten. Dat betekent niet dat iedere harde mortel schadelijk is of iedere zachte mortel geschikt. De keuze moet voortkomen uit onderzoek naar de constructie, de steensoort, de historische mortel en de plaatselijke belasting.

Metselen, voorstrijken en navoegen

Binnen het traditionele metselwerk moeten drie handelingen van elkaar worden onderscheiden: **metselen, voorstrijken en navoegen**. Bij het metselen worden de stenen in legmortel geplaatst. Deze mortel moet voldoende plastisch zijn om het steenbed goed te vullen en de belasting gelijkmatig over te dragen. Bij voorstrijken wordt de nog verse legmortel aan de zichtzijde van het metselwerk afgewerkt. Het voegbeeld ontstaat dan uit dezelfde mortel waarmee is gemetseld; er wordt geen afzonderlijke latere voegmortel ingebracht. In oudere vakbeschrijvingen komen voor deze werkwijze ook andere benamingen voor, waaronder doorstrijken. In deze gids gebruiken we consequent het hier gekozen onderscheid.

Bij navoegen ligt dat anders. Een deel van de oorspronkelijke legmortel wordt aan de zichtzijde vrijgehouden of later zorgvuldig verwijderd, waarna de voeg met een daarvoor samengestelde mortel wordt gevuld en afgewerkt. Dat biedt mogelijkheden voor een afzonderlijke kleur, korrelopbouw en profiel. Het vraagt ook extra aandacht voor de hechting aan de achterliggende mortel, de juiste voegdiepte en de verdichting. Voorstrijken en navoegen zijn dus geen uitwisselbare aanduidingen voor hetzelfde werk.

Het verschil is ook van belang bij restauratie. Wanneer oorspronkelijk voorgestreken voegen worden behandeld alsof zij later zijn nagevoegd, kan bij het uitnemen van het zichtbare oppervlak onnodig historisch materiaal verdwijnen. De bestaande opbouw moet daarom eerst worden onderzocht, bijvoorbeeld aan een beperkte en zorgvuldig gekozen proefopening.

Verwerkbaarheid en samenhang

Voor de metselaar en voeger zijn verwerkbaarheid en samenhang onmiddellijk voelbaar. Een legmortel moet zich goed onder een steen laten verdelen zonder uit de voeg weg te lopen. Zij moet voldoende vocht vasthouden om een goede aansluiting op de steen mogelijk te maken. Een mortel voor het navoegen is doorgaans stijver en bevat minder vrij water; zij moet zich stevig achter in de voeg laten drukken zonder dat het oppervlak wordt besmeurd.

Traditionele luchtkalkmortels kunnen een bijzondere plasticiteit bezitten. Vooral goed bereid kalkdeeg en zorgvuldig met zand gebluste kalk laten zich vaak soepel verwerken. Toch is een aangenaam gevoel onder de troffel niet voldoende om de kwaliteit vast te stellen. Ook het zand bepaalt het gedrag. Een eenzijdig fijn of kleirijk zand kan aanvankelijk gemakkelijk verwerken, maar tegelijk meer water vragen of een ongunstige structuur opleveren. Een mortel moet niet alleen tijdens het aanbrengen prettig aanvoelen, maar na verharding ook passend functioneren.

Te veel aanmaakwater kan leiden tot ontmenging, krimp en kalkrijke strepen op het metselwerk. Voor een fijne voegmortel is het daarom meestal beter te streven naar een stevig, goed samenhangend mengsel dat nauwkeurig kan worden verdicht. De gewenste consistentie hangt samen met de gekozen kalk, de hoeveelheid fijne deeltjes en de zuiging van de ondergrond. Een vast waterrecept zonder kennis van deze factoren is weinig zinvol.

Sterkte, poriën en compatibiliteit

Een metselmortel moet voldoende sterkte ontwikkelen om haar functie te vervullen. Zij hoeft echter niet sterker of stijver te zijn dan voor het bestaande metselwerk noodzakelijk is. Vooral bij monumentale gevels met kwetsbare stenen is het van belang dat vervormingen en verwering niet onnodig tot schade aan het oorspronkelijke steenmateriaal leiden. Het begrip *offermortel* verwijst naar een herstelmortel die, waar de omstandigheden dat vragen, eerder aan slijtage of zoutbelasting mag bezwijken dan de moeilijk vervangbare steen. Een opofferende mortel moet overigens nog steeds voldoende samenhang en levensduur bezitten; opzettelijk een zwak of slecht gemengd materiaal gebruiken is geen verantwoorde restauratiestrategie.

Het vochtgedrag verdient minstens zoveel aandacht als de druksterkte. Water kan zich door het metselwerk verplaatsen als vloeistof via capillaire poriën en als waterdamp via diffusie. Welke route overheerst, hangt af van de poriënstructuur, het vochtgehalte en de omgeving. Het is daarom te eenvoudig om een mortel alleen als ‘ademend’ of ‘niet-ademend’ te beschrijven. De capillaire opname, het droogvermogen, de dampweerstand en de aanwezigheid van zouten moeten in samenhang worden beoordeeld.

Een geschikte restauratiemortel sluit aan bij de steensoort, de constructie, het historische uiterlijk en de omstandigheden waarin het metselwerk moet functioneren. Daarbij kan het nodig zijn de oorspronkelijke mortel niet letterlijk na te maken, maar op onderdelen aan te passen om verdere schade te voorkomen. Het uitgangspunt blijft behoud: oorspronkelijke voegen die hun functie nog vervullen, hoeven niet te worden verwijderd alleen omdat zij oud of enigszins verweerd zijn.

HOOFDSTUK 02

Kalk als historisch bindmiddel

Van kalksteen naar bindmiddel

Kalk werd gedurende vele eeuwen toegepast in metselmortels, pleisters en minerale afwerkingen. De grondstof is doorgaans kalksteen of een andere calciumcarbonaatrijke afzetting, waaronder schelpen. Door dit materiaal op voldoende hoge temperatuur te branden, wordt calciumcarbonaat omgezet in calciumoxide. Daarbij komt koolstofdioxide vrij. Deze omzetting vormt de eerste stap van de kalkcyclus en wordt aangeduid als het calcineren van kalksteen.

De ontstane ongebluste kalk reageert vervolgens met water. Dit blussen is een warmteontwikkelende reactie waarbij calciumhydroxide ontstaat. Afhankelijk van de gebruikte hoeveelheid water en de werkwijze kan men een droog gehydrateerd kalkpoeder of een nat kalkdeeg verkrijgen. Historisch werd ongebluste kalk ook samen met zand geblust, waardoor het bindmiddel tijdens de bereiding al rechtstreeks in contact kwam met het toeslagmateriaal.

Na het aanbrengen kan calciumhydroxide met koolstofdioxide uit de lucht reageren. Daarbij ontstaat opnieuw calciumcarbonaat. Deze **carbonatatie** is de belangrijkste verhardingsreactie van zuivere luchtkalk. Zij vraagt een geschikte vochttoestand: bij zeer snelle uitdroging verloopt de reactie onvoldoende, terwijl langdurige waterverzadiging de toegang van koolstofdioxide kan belemmeren. Een mortel die aan de buitenzijde droog lijkt, hoeft daardoor inwendig nog niet volledig gecarbonateerd te zijn.

De drie kernreacties zijn: bij het branden $\mathbf{CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2}$, bij het blussen $\mathbf{CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2}$ en bij het carbonateren $\mathbf{Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O}$. De formules beschrijven de chemische hoofdlijn. In een werkelijke historische mortel beïnvloeden ook minerale nevenbestanddelen, zand en eventuele puzzolanen het verdere gedrag.

Luchtkalk, CL 90 en kalkdeeg

Luchthardende kalk is kalk waarvan de verharding hoofdzakelijk berust op carbonatatie. In de Europese productindeling verwijst **CL 90** naar calciumrijke luchtkalk die aan bepaalde chemische eisen voldoet. De aanduiding beschrijft niet op zichzelf of de kalk droog is geleverd, rechtstreeks nat is geblust of langdurig als kalkdeeg werd bewaard. Ook geeft zij geen volledig beeld van de deeltjesstructuur of de verwerkingseigenschappen.

Droog kalkhydraat wordt industrieel geproduceerd door ongebluste kalk gecontroleerd te hydrateren. De kalk is dus al geblust voordat zij in een zak wordt geleverd. Wanneer dit poeder later met water wordt aangemaakt, ontstaat een kalkpasta, maar het oorspronkelijke blusproces vindt niet opnieuw plaats. Traditioneel kalkdeeg ontstaat door een natte bluswijze en kan vervolgens onder water worden opgeslagen en gerijpt. Door verschillen in productie en bewaring kunnen de verdeling van de kalkdeeltjes, de plasticiteit en de waterretentie anders zijn. Dit betekent niet dat ieder oud kalkdeeg beter is dan iedere droge hydraatkalk. Voor de keuze blijven de werkelijk gemeten eigenschappen en het doel van de mortel beslissend.

Luchtkalk is historisch gebruikt in leg- en voegmortels, raap- en afwerklagen en kalkverf. Vooral bij zachte of sterk zuigende ondergronden kan een zorgvuldig samengestelde luchtkalkmortel goed passen. De geschiktheid volgt echter niet uitsluitend uit de soort kalk. Ook het zand, de verhouding tussen bindmiddel en toeslagmateriaal, de blootstelling en de nabehandeling bepalen het uiteindelijke resultaat.

Natuurlijke hydraulische kalk

Niet alle kalksteen is zuiver calciumcarbonaat. Wanneer bepaalde kalkstenen voldoende reactieve silicium- en aluminiumhoudende bestanddelen bevatten, kunnen tijdens het branden hydraulische fasen ontstaan. Een daarmee geproduceerde natuurlijke hydraulische kalk kan na het aanmaken zowel via reacties met water als via carbonatatie verharden. Zij ontwikkelt daardoor vaak eerder samenhang dan een zuivere luchtkalk, maar ook binnen deze groep bestaan grote verschillen.

De normatieve aanduidingen **NHL 2, NHL 3.5 en NHL 5** behoren tot productklassen en mogen niet worden opgevat als een eenvoudige keuzeladder voor restauratie. Een hogere klasse kan voor bepaalde toepassingen nuttig zijn, maar vormt bij kwetsbare historische steen niet automatisch de veiligste keuze. Bovendien is een historische ‘zwak hydraulische’ kalk niet zonder meer gelijk aan een moderne NHL 2. In hoofdstuk 15 worden deze verschillen, de sterkteontwikkeling en de productaanduidingen uitgebreider behandeld.

Luchtkalk met puzzolane toevoegingen

Tussen zuivere luchtkalk en sterk hydraulische bindmiddelen bestaat een breed gebied van historische mengsels. Door geschikte reactieve mineralen, zoals bepaalde trasmaterialen of fijn gebakken klei, aan luchtkalk toe te voegen, kunnen aanvullende bindingsproducten ontstaan. Deze puzzolane reactie is niet hetzelfde als de gewone carbonatatie en verschilt sterk per grondstof, fijnheid en dosering. Niet ieder rood baksteenpoeder of vulkanisch materiaal is automatisch een effectieve puzzolaan.

Dergelijke mengsels werden gebruikt wanneer een andere sterkteontwikkeling of een grotere weerstand tegen aanhoudende vochtbelasting gewenst was. Voor restauratie betekent dit dat een historische kalkmortel niet zonder analyse mag worden ingedeeld bij ‘luchtkalk’ of ‘NHL’. Een passend herstelrecept kan een kalkrijke mortel zijn met een beperkte hydraulische bijdrage. De keuze moet worden onderbouwd met materiaalkennis, onderzoek en proefmortels; een hogere sterkte alleen is geen voldoende reden om van het oorspronkelijke systeem af te wijken.

HOOFDSTUK 03

Aggregaten, zand en poriënstructuur

Zand vormt het skelet van de mortel

In een traditionele kalkmortel bepaalt het toeslagmateriaal voor een groot deel de structuur van het mengsel. Zand vormt het minerale skelet waarbinnen de kalk de korrels samenbindt. De herkomst, kleur, korrelvorm en verdeling van de verschillende fracties beïnvloeden hoe de mortel wordt verwerkt en hoe zij er na verharding uitziet. Daarom begint het samenstellen van een restauratiemortel niet met de keuze van een willekeurige kalk-zandverhouding, maar met het bestuderen van het zand.

Historische mortels bevatten dikwijls lokale zandsoorten met een herkenbare menging van lichte en donkere korrels, schelpfragmenten of andere minerale bestanddelen. Deze zichtbare kenmerken kunnen essentieel zijn voor de aansluiting van een nieuwe voeg op het bestaande werk. Een egaal, industrieel gezeefd zand kan dezelfde maximale korrelgrootte hebben als het oorspronkelijke zand en toch een wezenlijk andere textuur opleveren. Beoordeel daarom niet alleen de aanduiding 0–2 mm of 0–4 mm, maar de volledige korrelverdeling.

Korrelopbouw en de ruimte tussen korrels

Een goed gegradeerd zand bevat meerdere korrelgroottes die elkaar kunnen aanvullen. Kleinere korrels nemen een deel van de ruimte tussen grotere korrels in, zodat de korrels bij een passende verhouding betrekkelijk dicht kunnen pakken. Een zand dat vrijwel uitsluitend uit korrels van dezelfde grootte bestaat, kan een grotere tussenruimte behouden en daarmee meer bindmiddel vragen om een verwerkbare mortel te vormen. Ook een overmaat aan zeer fijn materiaal is niet zonder gevolgen: het gezamenlijke deeltjesoppervlak neemt toe en daarmee vaak de behoefte aan water en bindmiddel.

De tussenruimte in een droog zandpakket wordt beschreven met de **holle-ruimtefractie**. Deze is niet hetzelfde als de porositeit van de later verharde mortel. Tijdens het mengen worden de zandkorrels immers met kalkpasta omhuld, verandert hun onderlinge ligging en kan ook lucht worden ingesloten. De samenstelling en verharding van de mortel voegen daar nog andere poriën aan toe. Een zandproef helpt daarom vooral om verschillende toeslagmaterialen te vergelijken en een eerste indruk te krijgen van de mogelijke pastabehoefte.

Praktijkproef: de holle-ruimtefractie met water meten

Voor een eenvoudige praktijkproef zijn een maatcilinder met voldoende inhoud, schoon water en een representatief monster volledig droog zand nodig. Meet **100 ml droog zand** af en zet dit tijdelijk apart. Vul vervolgens de maatcilinder met **100 ml water** en laat het zand langzaam in het water zakken. Tik de cilinder voorzichtig aan, zodat ingesloten lucht kan ontsnappen en de korrels zich zetten. Wacht tot de luchtbelletjes zijn verdwenen en lees het nieuwe totale volume af.

Als het zand en het water zich zonder tussenruimte zouden optellen, zou het totaal 200 ml bedragen. Het werkelijke volume ligt lager omdat een deel van het water tussen de zandkorrels terechtkomt. Stel dat de

maatcilinder na het bezinken **164 ml** aanwijst. Het verschil bedraagt dan **200 − 164 = 36 ml**. Binnen het oorspronkelijke pakket van 100 ml zand was in deze proef dus naar schatting **36%** ruimte tussen de korrels aanwezig.

Strikt genomen heet dit percentage de holle-ruimtefractie, aangeduid met **n = V_v / V_t**. De geotechnische *void ratio*, aangeduid met **e**, gebruikt een andere noemer: **e = V_v / V_s**, waarbij V_v het volume tussen de korrels is en V_s het volume van de vaste korrels. In het voorbeeld is e = 36 / 64 = ongeveer **0,56**. De begrippen worden in de bouwpraktijk soms door elkaar gebruikt, maar beschrijven niet dezelfde verhouding.

De proef geeft een benadering, geen laboratoriumwaarde. Vooral poreuze toeslagmaterialen kunnen water opnemen in de korrels zelf, terwijl ingesloten lucht en verschillen in verdichting het afgelezen volume beïnvloeden. Herhaal de proef daarom onder dezelfde omstandigheden wanneer verschillende zanden worden vergeleken. **36 ml gemeten tussenruimte betekent bovendien niet dat precies 36 ml kalkdeeg de juiste bindmiddelhoeveelheid is.** Een werkbare mortel vraagt ook voldoende pasta om de korrels te omhullen, en kalkdeeg bevat zelf water. Een proefmortel blijft noodzakelijk om plasticiteit, samenhang en het uiteindelijke gedrag te beoordelen.

Bron werkwijze: D. Young (2021), Mortars: Materials, Mixes and Methods, § 9.7 (metingen aan zand); zie literatuurlijst.

Korrelvorm: afgerond en hoekig zand

Naast de korrelgrootte heeft ook de vorm van het zand invloed op de mortel. Afgeronde korrels, zoals bij bepaalde rivier- en zeezanden voorkomen, kunnen gemakkelijk langs elkaar bewegen en bijdragen aan een soepele verwerking. Hoekige of gebroken korrels grijpen sterker in elkaar en geven doorgaans een ander oppervlak en een andere onderlinge wrijving. Toch is het onjuist om alle rivierzanden als rond en alle gebroken zanden als technisch beter te beschouwen. Natuurlijke zanden bevatten vaak verschillende korrelvormen, en de geschiktheid wordt bepaald door de combinatie van vorm, gradatie en reinheid.

Voor historisch herstel is ook de zichtbare structuur belangrijk. Een nieuw zand met een uitgesproken hoekige korrel kan een afwijkend voegbeeld geven wanneer de oude mortel uit overwegend afgeronde korrels bestaat. Omgekeerd kan een te eenzijdig fijn zand het karakter van een grovere oorspronkelijke mortel volledig veranderen. Waar nodig kunnen meerdere zandfracties worden gecombineerd, mits de technische en esthetische gevolgen worden beoordeeld.

Kleur, fijne bestanddelen en verwering

De natuurlijke kleur van een historische voeg komt voor een belangrijk deel uit het zand. IJzerhoudende mineralen kunnen gele of roodbruine tonen geven, terwijl donkere gesteentefragmenten, lichte kwartskorrels en schelpresten het oppervlak nuanceren. Ook de kalkkleur, de verhouding tussen bindmiddel en toeslagmateriaal en de manier waarop de voeg wordt afgewerkt, beïnvloeden het zichtbare resultaat.

Een vers nat proefmengsel is geen betrouwbare weergave van de uiteindelijke kleur. De mortel wordt bij droging meestal lichter en kan door carbonatatie en veranderingen aan het oppervlak geleidelijk een andere uitstraling krijgen. Later kunnen verwering, vervuiling en biologische aangroei de buitenste

millimeters kleuren. Voor een zorgvuldige restauratie wordt daarom zowel het minder verweerde binnenste van een oude voeg als het bestaande gevelbeeld beoordeeld. Uiteindelijk geeft een proefvlak op de daadwerkelijke gevel meer zekerheid dan een los kleurmonster. De uitgebreide behandeling van historische pigmenten en de kleurwerking volgt in hoofdstuk 13.

HOOFDSTUK 04

Traditionele bereidingsmethoden van kalkmortel

Blussen en mengen als onderdeel van het recept

Het oorspronkelijke mortelrecept bestond niet uitsluitend uit een verhouding tussen kalk en zand. Ook de manier van bereiden bepaalde de eigenschappen van het uiteindelijke mengsel. Historisch kon ongebluste kalk afzonderlijk tot kalkdeeg worden geblust, samen met zand worden verwerkt of na het blussen enige tijd worden bewaard voordat de mortel op de bouwplaats werd gebruikt. Deze werkwijzen hebben verschillende gevolgen voor de hoeveelheid beschikbaar bindmiddel, de waterverdeling en de plasticiteit.

Bij **zandblussen** wordt ongebluste kalk in aanwezigheid van zand met water in contact gebracht. Tijdens de reactie komt warmte vrij en ontstaat calciumhydroxide tussen de zandkorrels. Door die gezamenlijke bereiding kan een intensief contact tussen kalk en toeslagmateriaal ontstaan. In sommige historische werkwijzen werd het mengsel pas na voldoende rust opnieuw doorgemengd en verder verwerkt. De exacte verhouding en bereiding waren afhankelijk van de kalksteen, het zand en de plaatselijke traditie. De aanduiding zandblussen beschrijft dus niet één universeel recept.

Warme kalkmortels en het juiste blusmoment

Bij een *hot-mixed* mortel worden ongebluste kalk en toeslagmateriaal tijdens of kort na de warmteontwikkelende blusreactie gemengd. De term zegt op zichzelf nog niet wanneer de mortel wordt verwerkt: een warm bereid mengsel kan ook eerst rusten voordat het op de bouwplaats wordt gebruikt. Het is daarom belangrijk de bluswijze, mengvolgorde, rusttijd en het tijdstip van verwerking afzonderlijk vast te leggen.

In de restauratiepraktijk worden bij goed bereide warme kalkmortels vaak gunstige verwerkingseigenschappen ervaren. Het is aannemelijk dat het intensieve contact van kalk en zand, de verdeling van water en de deeltjesstructuur daarbij een rol spelen. Niet iedere ervaring is echter zonder aanvullend onderzoek als een vaste materiaaleigenschap te beschouwen. Vooral uitspraken over grotere duurzaamheid, hoger vochtbufferend vermogen of een gegarandeerd zelfherstellend karakter vragen om voorzichtigheid.

Kalkrijke insluitsels kunnen deel uitmaken van de historische mortelstructuur. Zij mogen niet automatisch worden aangemerkt als een fout in het oorspronkelijke mengsel. Tegelijkertijd moet worden voorkomen dat onvoldoende gebluste stukken calciumoxide achterblijven die pas na verwerking reageren. Zulke **nablussers** kunnen uitzetting en plaatselijke beschadiging veroorzaken. Werken met ongebluste kalk vraagt daarom een beheerste procedure, geschikte persoonlijke bescherming en aantoonbare ervaring.

Mengen, rusten en verwerking

Bij traditionele kalkdeegmortels is het mengen eveneens belangrijk. Goed gerijpt kalkdeeg moet intensief met het zand worden verbonden; louter kort omscheppen geeft niet altijd een gelijkmatige verdeling van het bindmiddel. Het benodigde water hangt mede af van het watergehalte van het kalkdeeg en het

gebruikte zand. Een te nat mengsel laat zich soms eenvoudig verwerken, maar kan na aanbrengen ontmengen of ongewenste kalksluiers veroorzaken.

Historische bereidingswijzen vormen waardevolle kennis, maar zij hoeven niet zonder meer in hun oorspronkelijke vorm te worden herhaald. De restauratiespecificatie bepaalt welke materiaaleigenschappen nodig zijn en welke bereidingswijze verantwoord kan worden uitgevoerd. Voor bijzondere recepten verdient een proefmortel de voorkeur, waarbij grondstoffen, mengvolgorde, rusttijd en verwerking systematisch worden genoteerd. Daarmee wordt een historische werkwijze controleerbaar in plaats van alleen navolgbaar op gevoel.

HOOFDSTUK 05

Verwerking, droging en nazorg

Het moment waarop de mortel begint te verharden

Zodra een kalkmortel in het metselwerk is aangebracht, verandert haar vochttoestand. Een deel van het aanmaakwater wordt door de aangrenzende steen opgenomen, terwijl een ander deel via het oppervlak verdampt. Tegelijkertijd begint of vervolgt de chemische verharding. Bij luchtkalk verloopt die hoofdzakelijk via carbonatatie; bij hydraulische bindmiddelen spelen reacties met water een aanvullende rol. Deze processen verlopen onderling niet op precies dezelfde manier en vragen daarom aandacht voor zowel beschikbaar vocht als de toegang van koolstofdioxide.

Een mortel die aan het oppervlak snel droog lijkt, hoeft nog niet voldoende samenhang te hebben ontwikkeld. Vooral bij sterk zuigende baksteen kan een jonge voeg water verliezen voordat de kalk voldoende heeft gereageerd. Daardoor kan het oppervlak poederend worden of kunnen onvoldoende gehechte delen ontstaan. Een trage droging is echter geen doel op zichzelf: langdurige volledige verzadiging kan bij luchtkalk de verdere carbonatatie bemoeilijken. Het gaat om een beheerste vochttoestand waarin de mortel geleidelijk kan verharden.

Het verband met de ondergrond

Voorbevochtigen is een manier om extreme zuiging te verminderen. De juiste hoeveelheid hangt af van de poreusheid van de steen, de toestand van de bestaande mortel en het weer. Bij een zeer zuigende muur kan eerder beginnen met bevochtigen noodzakelijk zijn, maar bij het voegen mag geen vrije waterfilm in de voegruimte achterblijven. De nieuwe mortel moet voldoende contact kunnen maken met de ondergrond en mag niet worden verdund door aflopend water.

Ook de consistentie bij het aanbrengen speelt een rol. Een voegmortel die te veel water bevat, kan bij het verdichten kalkrijk vocht afgeven en de steen vervuilen. Een stevig maar plastisch mengsel kan beter worden aangedrukt en geeft de voeger meer controle over de vorm van het oppervlak. Het gekozen voegprofiel wordt vervolgens afgewerkt op het moment dat de mortel daarvoor voldoende is aangetrokken.

Beschermde verharding

Bescherming tegen directe zon, harde wind, stortregen en vorst moet onderdeel zijn van de uitvoering. Jute of steigerdoek kan helpen om vochtverlies te beperken, mits de afscherming daadwerkelijk functioneert. Een dun doek dat zelf onmiddellijk uitdroogt, levert bij warm en winderig weer nauwelijks een vochtbuffer op. Het is daarom noodzakelijk de toestand van zowel de mortel als de bescherming te blijven controleren.

In bepaalde restauratietechnische publicaties wordt voor kalkgebonden hervoegwerk een langdurige nazorg met afwisselende vochtige en minder vochtige perioden beschreven. Een dergelijke vierweekse aanpak kan voor specifieke toepassingen zinvol zijn, maar vormt geen algemeen Nederlands voorschrift.

De benodigde duur en intensiteit zijn afhankelijk van bindmiddel, steen, voegdiepte, temperatuur en blootstelling. De praktische organisatie van deze zorg, ook tijdens weekenden en werkonderbrekingen, wordt verder uitgewerkt in hoofdstuk 16.

HOOFDSTUK 06

Onderzoek en herstel van historisch voegwerk

Eerst onderzoeken wat behouden kan blijven

Historisch voegwerk bezit niet alleen een beschermende functie, maar kan ook informatie bevatten over de oorspronkelijke bouwfase, latere wijzigingen en ambachtelijke technieken. Het verwijderen van een bestaande voeg betekent daarom soms verlies van materiaal dat niet opnieuw kan worden vervaardigd. Een verantwoord herstelplan begint met de vraag of vervanging werkelijk noodzakelijk is. Een licht verweerd maar nog samenhangend voegoppervlak verdient in beginsel behoud.

Bij het onderzoek worden de steensoort, de zichtbare mortelstructuur, de voegvorm en eventuele oudere kleur- of afwerkingslagen bekeken. Ook de ligging van de schade is belangrijk. Aantasting onder een lekkende goot vraagt om een andere beoordeling dan een voeg die door jarenlange blootstelling geleidelijk is uitgesleten. Scheuren, zoutuitbloei, afschilferende stenen en plaatselijke vochtplekken kunnen wijzen op oorzaken die niet door opnieuw voegen alleen worden opgelost.

Materiaalonderzoek kan vervolgens inzicht geven in het bindmiddel, de zandsoort en de opbouw van de bestaande mortel. De mate van onderzoek moet aansluiten bij de waarde van het gebouw en de concrete vraag. Een laboratoriumanalyse levert belangrijke gegevens, maar de uiteindelijke keuze voor een herstelmortel moet ook de constructie, de vochtbelasting en de toestand van het steenmateriaal meenemen.

Uithalen zonder de steen te beschadigen

Wanneer het voegwerk werkelijk vervangen moet worden, is de wijze van uithalen bepalend voor het behoud van de historische steen. Vooral bij smalle voegen en zachte handvormbaksteen kunnen slijpgereedschappen de steenranden gemakkelijk beschadigen of de oorspronkelijke voeg verbreden. Handmatig werken of het zeer gecontroleerd gebruiken van passend gereedschap verdient daarom vaak de voorkeur. De keuze van een methode moet met een proefstuk worden getoetst.

De voeg moet voldoende diep worden voorbereid om de nieuwe mortel goed te kunnen aanbrengen en verdichten. De noodzakelijke diepte hangt onder meer af van de voegbreedte, de toestand van de achterliggende legmortel en de ingreep. Een universeel getal zonder beoordeling van het bestaande metselwerk kan tot onnodig verlies van historische mortel leiden. Losse deeltjes moeten zorgvuldig worden verwijderd, terwijl de aangrenzende steen zoveel mogelijk intact blijft.

Navoegen en de oorspronkelijke afwerking terugbrengen

Bij het navoegen wordt een mortel gebruikt die voldoende stevig is om in de voeg te worden gedrukt, maar tegelijk plastisch genoeg blijft om goed contact te maken met de achterliggende mortel. Diepere voegen worden zorgvuldig in passende lagen gevuld, zodat verborgen holten worden beperkt. De uiteindelijke profilering volgt pas wanneer de mortel voldoende is aangetrokken. Een te natte of te vroeg bewerkte voeg kan kalk naar het oppervlak brengen en een andere kleur of poriënstructuur ontwikkelen dan bedoeld.

Het oorspronkelijke voegprofiel is richtinggevend. Een moderne, scherpe voeg aanbrengen op een gevel die historisch een eenvoudige platvolle afwerking bezat, kan het hele gevelbeeld veranderen. Maak daarom proefvlakken die niet alleen kleur en korrelstructuur tonen, maar ook de gevolgen van het gekozen gereedschap, de bewerking en de nazorg. Het doel is geen algemene esthetische verbetering, maar zorgvuldig herstel van het historische karakter.

Wanneer is vervanging nodig?

Als praktische aanwijzing kan opnieuw voegen in beeld komen wanneer de bestaande mortel dieper is uitgesleten dan ongeveer de breedte van de voeg. Dit is geen absolute grens. Ook een minder ver uitgesleten voeg kan nader onderzoek vragen als waterindringing, scheuren of verlies van samenhang optreden. Omgekeerd kan een sterk verweerd uiterlijk op zichzelf onvoldoende reden zijn om nog functionerende historische mortel te verwijderen.

Een goede restauratie beperkt de ingreep tot wat voor het behoud van de constructie nodig is. Waar plaatselijk herstel volstaat, moet niet automatisch een hele gevel worden uitgehaald. Het behouden van oorspronkelijk materiaal is zowel bouwkundig als cultuurhistorisch vaak de beste keuze.

HOOFDSTUK 07

Tras en puzzolanen in historische mortels

De betekenis van een puzzolane reactie

Een puzzolaan is een materiaal dat op zichzelf weinig of geen bindende werking hoeft te bezitten, maar in aanwezigheid van calciumhydroxide en voldoende vocht kan bijdragen aan de vorming van hydraulische bindingsproducten. Daardoor kan een kalkmortel naast carbonatatie ook via aanvullende reacties samenhang ontwikkelen. Niet ieder mineraal poeder of vulkanisch toeslagmateriaal bezit deze eigenschap. De werkelijke reactie hangt onder meer af van de chemische en mineralogische samenstelling, de fijnheid en de omstandigheden waaronder de mortel verhardt.

De kennis van kalk met reactieve mineraaltoevoegingen is oud. Vooral bij waterbouwkundige toepassingen en andere constructies die langdurig aan vocht waren blootgesteld, konden dergelijke mengsels voordelen bieden. Toch mag men een historische toevoeging niet uitsluitend beoordelen op haar mogelijke bijdrage aan de druksterkte. Ook de verwerkbaarheid, de poriënstructuur en het gedrag onder zoutbelasting veranderden door de gekozen grondstoffen.

Tras in de Nederlandse bouwtraditie

Tras, afkomstig uit bepaalde vulkanische afzettingen, werd in de Nederlandse bouwpraktijk toegepast in kalkmortels wanneer een aanvullende hydraulische werking gewenst was. De herkomst en kwaliteit konden verschillen. Een tras-kalkmortel is daarom geen universeel recept en kan ook niet zonder meer worden gekarakteriseerd als een moderne NHL-mortel. De verhouding tussen kalk, tras en zand en de wijze van verwerken moesten aansluiten bij de beoogde toepassing.

Historisch komen trasbevattende mortels voor in onder meer waterwerken, kelders, funderingen en andere vochtbelaste onderdelen. Maar dezelfde toevoeging is niet automatisch geschikt voor het navoegen van een zachte baksteengevel. Het oorspronkelijk gebruik, de staat van het metselwerk en de sterkte van het steenmateriaal blijven bepalend.

Gemalen baksteen en andere reactieve mineralen

Fijn gemalen gebakken klei en bepaalde keramische toevoegingen kunnen onder geschikte omstandigheden puzzolaanreactiviteit bezitten. De mate daarvan hangt sterk samen met de oorspronkelijke klei, de baktemperatuur en de fijnheid van het gemalen product. Een rood poeder kan de mortel zichtbaar kleuren zonder een betekenisvolle hydraulische bijdrage te leveren. Omgekeerd kan een minder opvallende toevoeging sterk reactief zijn. Kleur is daarom geen maat voor puzzolane kwaliteit.

Ook moderne materialen zoals metakaolien kunnen een krachtige reactie met luchtkalk aangaan. Dat kan gunstig zijn wanneer een gerichte hydraulische ontwikkeling noodzakelijk is, maar kan bij een onjuiste dosering eveneens leiden tot een ongewenste verandering van porositeit, stijfheid en watertransport. Hetzelfde geldt voor andere sterk reactieve toevoegingen. Een ‘kleine hoeveelheid extra zekerheid’ is geen voldoende technische motivering voor het toevoegen van een puzzolaan.

De keuze voor een kalk-puzzolaanmortel

Bij het reconstrueren van een historische mortel moet eerst worden onderzocht of de hydraulische bestanddelen oorspronkelijk aanwezig waren, of dat de huidige samenstelling mede het gevolg is van latere herstelcampagnes of verwering. Vervolgens kan worden bepaald welke eigenschappen een nieuwe mortel daadwerkelijk nodig heeft. Soms sluit zuivere luchtkalk beter aan bij het bestaande metselwerk; in een andere situatie is een beperkte puzzolane bijdrage zinvol.

Een grotere puzzolaandosering kan de sterkteontwikkeling bevorderen, maar tegelijk een dichtere of stijvere structuur veroorzaken die minder goed past bij kwetsbare steen. De juiste afweging vereist kennis van het gebruikte materiaal en van de constructie waarin het wordt toegepast. Ook proefmortels en een passende nazorg horen daarbij. **Een puzzolaan is een middel om materiaaleigenschappen gericht aan te passen, geen algemene verbetering die bij iedere kalkmortel hoort.**

HOOFDSTUK 08

Schelpkalkmortels in Nederland

Een bouwmateriaal uit de kuststreken

Schelpkalk maakte eeuwenlang deel uit van de Nederlandse bouwtraditie. In gebieden waar schelpen beschikbaar waren, vormden zij een grondstof voor het vervaardigen van kalk. De schelpen werden verzameld, gedroogd en in kalkovens gebrand, waarna de ongebluste kalk werd geblust en voor mortel of andere kalktoepassingen kon worden gebruikt. Dat schelpen oorspronkelijk het uitgangsmateriaal vormden, zegt iets over de historische herkomst, maar niet dat iedere schelpkalkmortel dezelfde samenstelling of eigenschappen bezat.

Schelpen bestaan grotendeels uit calciumcarbonaat. Na voldoende branden en blussen ontstaat daarom in beginsel hetzelfde belangrijkste luchthardende bindmiddel, calciumhydroxide, als bij het gebruik van een calciumrijke kalksteen. Verschillen in oorspronkelijke nevenbestanddelen, brandproces en bluswijze kunnen wel van invloed zijn op de kwaliteit en het karakter van de geproduceerde kalk. Een vergelijking moet daarom niet alleen op de naam ‘schelpkalk’ worden gebaseerd.

Bereiding en gebruik van schelpkalk

Schelpkalk kon als kalkdeeg worden verwerkt en met zand tot een leg- of voegmortel worden bereid. Net als bij andere luchtkalkmortels waren de zandkeuze, mengverhouding en hoeveelheid water van groot belang. De historische mortels konden herkenbare insluitsels of een specifieke kleur hebben, maar zulke verschijnselen mogen niet automatisch aan het gebruik van schelpen worden toegeschreven. Zij kunnen ook voortkomen uit het zand, uit het brandproces of uit bewuste toeslagstoffen.

De kalk werd niet uitsluitend in droge bovengrondse gevels gebruikt. De historische bouwpraktijk kende uiteenlopende toepassingen, vaak met mengsels die waren aangepast aan plaatselijke omstandigheden. Waar een grotere weerstand tegen vocht gewenst was, konden geschikte hydraulische of puzzolane toevoegingen worden toegepast. Een schelpkalkmortel met tras verschilt daardoor wezenlijk van een mortel uit overwegend zuivere, luchthardende schelpkalk.

Schelpkalk en het gedrag van historische muren

Bij zachte baksteen en kalkgebonden metselwerk kan een passende schelpkalkmortel goed functioneren, mits de ondergrond en de weersbelasting dat toelaten. De kwaliteit blijkt niet uit een vanzelfsprekend hoog damptransport of een gegarandeerde offerwerking. Die eigenschappen hangen samen met de gehele poriënstructuur en de samenstelling van de mortel. Een mortel kan bovendien in sommige opzichten voldoende poreus zijn, maar bij de aangrenzende steen toch een minder gunstig capillair gedrag vertonen.

Bij vocht- en zoutbelaste muren kan een bewust opofferende mortel nodig zijn. Deze moet zodanig worden ontworpen dat schade zich onder de betreffende omstandigheden bij voorkeur in het vervangbare materiaal ontwikkelt, terwijl zij voldoende bestand blijft tegen normaal gebruik. De aanduiding ‘schelpkalk’ alleen biedt voor deze functie geen garantie.

Historische naam en hedendaags product

Een aandachtspunt bij restauratie is dat de naam schelpkalk tegenwoordig niet altijd betekent dat de aangeboden kalk daadwerkelijk uit gebrande schelpen is vervaardigd. Sommige producten worden onder een traditionele handelsnaam verkocht terwijl hun belangrijkste grondstof kalksteen is. Voor een nauwkeurige historische reconstructie verdient het aanbeveling de feitelijke herkomst en productsamenstelling te controleren.

De meest verantwoorde keuze ontstaat wanneer de oorspronkelijke mortel wordt onderzocht en de beschikbare kalken worden vergeleken op de eigenschappen die voor het gebouw belangrijk zijn. Een materiaal hoeft niet uitsluitend vanwege zijn historische naam te worden gekozen, maar mag evenmin worden afgewezen omdat een modern alternatief gemakkelijker verkrijgbaar is. Het doel blijft het behoud van de bestaande constructie, met respect voor haar oorspronkelijke materiaalkarakter.

HOOFDSTUK 09

Kalk-cementmortels en incompatibiliteit

De verandering van bindmiddelen

Vanaf de negentiende eeuw veranderde de mortelpraktijk ingrijpend door de opkomst van natuurlijke cementen en vervolgens Portlandcement. De ontwikkeling verliep niet overal op dezelfde manier en ook de samenstelling van oudere cementen verschilde van die van hedendaagse producten. Naast zuivere kalkmortels ontstonden mengsels van kalk, cement en zand die de snellere verharding van cement combineerden met een deel van de verwerkbaarheid van kalk. Zulke mengsels werden vaak bastaardmortels genoemd.

Bij historisch herstel is het belangrijk om deze ontwikkeling niet als een eenvoudig onderscheid tussen ‘goed’ kalk en ‘slecht’ cement voor te stellen. Cementgebonden mortels behoren zelf tot de bouwgeschiedenis en kunnen op bepaalde gebouwen oorspronkelijk en passend zijn. De problemen ontstaan vooral wanneer een herstelmortel qua stijfheid, hechting, poriënstructuur of vochtgedrag onvoldoende aansluit bij het bestaande metselwerk.

Waarom een sterke voeg schade kan veroorzaken

Een hoge druksterkte is niet hetzelfde als bouwkundige geschiktheid. Bij zachte of sterk poreuze baksteen kan een dichte en stijve voegmortel andere spanningen veroorzaken dan de oorspronkelijk gebruikte kalkmortel. Wanneer steen en mortel bij temperatuur- en vochtveranderingen verschillend reageren, kunnen scheuren of afschilferingen aan de randen van de stenen ontstaan. Dezelfde situatie kan zich voordoen wanneer het metselwerk door zouten wordt belast en het vocht niet meer op dezelfde manier via de voeg kan worden afgevoerd.

De precieze schade hangt af van de steen en de constructie. Het is daarom onjuist om te stellen dat alle cementmortels het vochttransport volledig blokkeren of dat alle kalkmortels automatisch meer dampdoorlatend zijn. De volledige korrel- en poriënstructuur, het bindmiddelgehalte en de afwerking bepalen mee hoe een mortel functioneert. Een cementrijke, fijn verdichte herstelvoeg kan echter aanzienlijk minder geschikt zijn dan de oorspronkelijke kalkmortel, vooral wanneer de steen zachter en poreuzer is.

Herkennen van vroegere herstelcampagnes

Veel monumentale gevels bevatten voegen uit meerdere bouwfasen. Een harde, grijze voeg kan uit een latere restauratie komen, terwijl daarachter een zachtere oorspronkelijke legmortel aanwezig is. Het zonder onderscheid overnemen van de meest zichtbare bestaande voeg kan daarom leiden tot herhaling van een eerdere fout. De restaurateur moet vaststellen welke laag oorspronkelijk is, welke later is aangebracht en welke schadepatronen daarmee samenhangen.

Soms kan een oude kalk-cementmortel technisch passend zijn geweest bij het toen gebruikte metselwerk. Ook dan is een letterlijk identiek modern recept niet vanzelfsprekend. Moderne cementen en grondstoffen

kunnen andere eigenschappen hebben, zelfs bij een gelijkluidende volumeverhouding. Het nabouwen van een historisch mengsel vergt dus inzicht in de toenmalige materialen, niet alleen het kopiëren van een getal uit een bestek.

Compatibiliteit als leidraad

Wanneer voegwerk moet worden hersteld, is het verstandig eerst het bestaande materiaal en de schadeoorzaak te onderzoeken. Een geschikte mortel moet voldoende duurzaam zijn, maar mag geen onnodige belasting aan de oorspronkelijke steen opleggen. Bij sommige constructies betekent dit een kalkrijke mortel; bij andere kan een gerichte hydraulische of cementhoudende bijdrage verantwoord zijn. De noodzakelijke samenstelling volgt uit de situatie van het gebouw.

Vooral bij zoutschade en langdurige vochtbelasting moet worden gekeken waar water en zout zich concentreren. Een opofferende voeg kan alleen functioneren wanneer haar poriënstructuur, hechting en sterkte voldoende goed zijn ontworpen. Een willekeurig zwak mengsel biedt die zekerheid niet. Juist daarom behoort het onderzoek naar steen, mortel en vochttransport tot de kern van het restauratieadvies.

HOOFDSTUK 10

Historische voegprofielen

Het profiel als onderdeel van de architectuur

De zichtbare voeg is veel meer dan de smalle strook mortel tussen de stenen. De vorm, diepte en afwerking bepalen in belangrijke mate hoe licht over de gevel valt en hoe het metselverband wordt gelezen. Een platvolle voeg geeft doorgaans een rustig gevelvlak; een verdiepte voeg laat de steenranden nadrukkelijker spreken; een scherp gevormde snij- of knipvoeg kan juist een uitgesproken lijnenspel opleveren. Deze verschillen zijn niet uitsluitend decoratief: zij beïnvloeden ook de blootstelling van de steenranden en het gedrag van regenwater aan het gevelvlak.

Historische voegprofielen kunnen sterk verschillen per streek, gebouwtype en bouwfase. Benamingen zijn bovendien niet overal identiek gebruikt. Daarom mag een profiel niet alleen op basis van zijn naam of vermeende bouwperiode worden gekozen. De aanwezige sporen op de gevel, de laagopbouw en de oorspronkelijke gereedschapsafdrukken zijn betrouwbaarder uitgangspunten dan een algemeen stijlbeeld.

Platvol, voorgestreken en verdiepte voegen

Bij een **platvolle voeg** sluit de mortel ongeveer aan op het vlak van de steen. Het oppervlak kan vlak zijn afgestreken of een meer ambachtelijke structuur vertonen, afhankelijk van het moment van afwerken en het gebruikte gereedschap. Wanneer het uiterlijk tijdens het metselen in de nog verse legmortel wordt gevormd, spreken we in deze gids van **voorstrijken**. Het gaat dan om een andere werkwijze dan het later aanbrengen van een afzonderlijke voegmortel.

Bij een **verdiepte voeg** ligt het afgewerkte morteloppervlak achter het zichtvlak van de stenen. Daardoor worden de steenranden duidelijker zichtbaar en ontstaat meer schaduwwerking. De diepte moet echter aansluiten bij het oorspronkelijke werk. Een onnodig diep terugliggende voeg kan water langer op gevoelige randen laten staan of een onhistorisch gevelbeeld opleveren. Een verdiepte voeg is dus niet zonder meer een betere of slechtere afwerking dan een platvolle voeg; de geschiktheid is afhankelijk van de constructie en haar historie.

Dagvoegen, bagoutvoegen en gepouleerde voegen

Bij een **dagvoeg** wordt een lijn of indruk in het voegoppervlak aangebracht om de maatvoering optisch te accentueren. De ligging en vorm van die lijn kunnen uiteenlopen. Soms vormt zij een verfijning van een verder platvolle voeg, soms maakt zij deel uit van een uitgesproken decoratieve bewerking. Kleine verschillen in gereedschap en druk kunnen het uiteindelijke lichtbeeld sterk beïnvloeden.

Ook **bagoutvoegen** en **gepoleerde of gepouleerde platte voegen** komen als historische afwerkingsbenamingen voor. Hun precieze verschijningsvorm moet aan het bestaande werk worden getoetst, omdat regionale terminologie en de beschrijving van gereedschapshandelingen kunnen verschillen. Bij restauratie verdient het de voorkeur de aanwezige doorsnede en oppervlaktestructuur zorgvuldig vast te leggen alvorens een profiel na te maken.

Holle, bolle, gekamde en V-vormige voegen

Een **holle voeg** heeft een naar binnen gebogen doorsnede, terwijl een **bolle voeg** naar buiten is gewelfd. Een **V-voeg** bezit een meer uitgesproken hoekige insnijding. Met een **gekamde voeg** wordt het oppervlak met daarvoor geschikt gereedschap van een herkenbare ribbelstructuur voorzien. Ook een **varkensrug** of ander verhoogd profiel kan een gevel een duidelijk ander karakter geven dan een vlak afgewerkte voeg. Zulke vormen worden niet louter door de naam gedefinieerd; ook de breedte, hoogte en textuur van de afwerking zijn onderdeel van de historische uitvoering.

Bij het reconstrueren van een profiel is het niet voldoende om alleen een moderne proefvorm te tonen. De aangrenzende steen, de dikte van de voeg en de bestaande sporen moeten bepalen welke vorm kan worden aangebracht zonder historische steenranden te beschadigen. Vooral bij smalle of onregelmatige voegen kan een ogenschijnlijk eenvoudig profiel grote vaardigheid vereisen.

Snijvoegen en knipvoegen

Snijvoegen en **knipvoegen** zijn verwante, maar niet volledig identieke technieken. Kenmerkend is de verfijnde lijnvoering, waarvoor een geschikte mortel en speciaal gereedschap worden gebruikt. Bij het vormen van een snijvoeg kan een houten **rei** dienen als geleiding voor de snijdende bewerking. De mortel moet voldoende fijn en plastisch zijn om een scherp profiel te vormen, maar na het aanbrengen ook voldoende samenhang ontwikkelen om de vorm te behouden.

Het reconstrueren van dergelijke voegen vraagt om onderzoek naar de oorspronkelijke opbouw, niet alleen naar de zichtbare snijlijn. Soms zijn er verschillende mortellagen of decoratieve kleurafwerkingen aanwezig. De oorspronkelijke mortel kan ook gedeeltelijk achter latere reparaties verborgen zitten. Daarom kan een beperkte, zorgvuldig gedocumenteerde proefopening noodzakelijk zijn voordat over de juiste werkwijze wordt besloten.

Herstel van het bestaande gevelbeeld

Bij historisch voegwerk verdient behoud de voorkeur zolang de oude voegen voldoende functioneren. Wanneer navoegen noodzakelijk is, moeten proefvlakken worden gemaakt waarin korrelbeeld, kleur, profiel en wijze van afwerken gezamenlijk worden beoordeeld. Ook de schaduwwerking verandert door de dag en bij een andere stand van de zon. Een proefstuk dat alleen binnen bij kunstlicht wordt beoordeeld, geeft daarom weinig zekerheid over het gevelbeeld.

Restauratie betekent niet dat een gevel overal weer even strak moet worden. Plaatselijke verschillen, ambachtelijke sporen en een zekere ouderdomsuitstraling kunnen deel uitmaken van het historische karakter. Het doel is een herstel dat bij het gebouw past en geen nieuwe, niet-aangetoonde bouwfase suggereert.

HOOFDSTUK 11

Zoutschade en damptransport

Zoutschade begint vaak bij een vochtprobleem

Oplosbare zouten kunnen gedurende lange tijd in historisch metselwerk aanwezig blijven zonder dat direct schade zichtbaar is. Problemen ontstaan vooral wanneer vocht de zouten oplost, verplaatst en vervolgens onder veranderende omstandigheden laat uitkristalliseren. Bij kristallisatie in de poriën van baksteen, natuursteen of mortel kunnen spanningen ontstaan die het oorspronkelijke materiaal aantasten. Schilfering, poedering en verlies van steenoppervlak zijn mogelijke gevolgen.

De aanwezigheid van zouten betekent daarom niet automatisch dat de mortel de oorzaak van de schade is. Het kan gaan om optrekkend vocht, insijpelend regenwater, lekkende afvoeren, historische verontreinigingen of vroegere materiaaltoepassingen. Herstel van voegwerk heeft pas duurzaam effect wanneer ook de belangrijkste vochtbron en de zoutbelasting zijn onderzocht.

Capillair transport en waterdamp

Bij het begrijpen van vochttransport moet onderscheid worden gemaakt tussen vloeibaar water en waterdamp. In capillaire poriën kan water door zuigwerking worden opgenomen en verplaatst. Tegelijkertijd kan waterdamp zich onder invloed van verschillen in dampdruk door poreuze materialen verspreiden. De snelheid en richting van het transport hangen af van de poriëngrootte, de verbinding tussen poriën, het vochtgehalte en de omgeving.

Een muur kan daardoor gedeeltelijk nat zijn terwijl het oppervlak plaatselijk droog lijkt. Ook de verdeling van voegen, steen en pleisterlagen kan bepalen waar water verdampt en waar zouten zich concentreren. Daarom zegt een algemene aanduiding als ‘dampopen’ onvoldoende over de werkelijk te verwachten prestaties. Voor restauratie moeten ook capillaire opname en drooggedrag worden betrokken.

Welke zouten komen voor?

In historisch metselwerk kunnen onder meer sulfaten, nitraten en chloriden voorkomen. Hun herkomst en gedrag verschillen. Sommige verbindingen veranderen van kristalvorm afhankelijk van de vochttoestand, terwijl andere sterk vocht aantrekken. Door wisselende luchtvochtigheid en temperatuur kan het zout herhaaldelijk oplossen en uitkristalliseren. Daardoor kan schade ontstaan zonder dat de gevel voortdurend zichtbaar nat is.

Een zichtbare witte uitslag op het oppervlak bewijst niet welk zout aanwezig is of hoe groot de verborgen belasting in het metselwerk is. Wanneer de schade ernstig of terugkerend is, kan een gerichte monstername en laboratoriumanalyse nodig zijn. De uitkomsten moeten in verband worden gebracht met de verdeling van vocht in het gebouw en met eventuele eerdere behandelingen.

Offermortels en herstel

Bij sterk zoutbelast metselwerk kan een bewust opofferende voeg- of pleistermortel een nuttige maatregel zijn. Het doel is dan om onder passende omstandigheden een deel van de zoutkristallisatie en verwering in vervangbaar materiaal te laten plaatsvinden, in plaats van in kwetsbare historische steen. Hiervoor moeten de korrelopbouw, hechting, samenhang, sterkte en poriënstructuur zorgvuldig worden afgestemd. Een eenvoudig ‘mager’ mengsel is niet automatisch een goede offermortel.

Ook een zeer dichte of stijve herstelvoeg kan ongewenst zijn wanneer zij het vochttransport ten opzichte van de aangrenzende steen sterk verandert. Toch bestaat er geen algemene wet dat zouten altijd via de voeg verdwijnen of dat iedere luchtkalkmortel zich vanzelf opoffert. De plaats waar kristallisatie optreedt, wordt bepaald door de hele vocht- en poriënstructuur van de constructie.

Onderzoeken voordat wordt ingegrepen

Een goed herstelplan begint met het in kaart brengen van vochtbronnen, zouttypen, schadepatronen en eerdere behandelingen. Daarbij moet ook worden gekeken naar het oorspronkelijke gebruik van de ruimte, de aanwezige afwerkingen en de mogelijkheden voor natuurlijke droging. Soms zijn bouwkundige maatregelen noodzakelijk voordat nieuwe mortels worden aangebracht. In andere situaties kan een gecontroleerd opofferend afwerksysteem een onderdeel van de oplossing vormen.

De restaurateur moet daarbij accepteren dat niet alle vocht en zouten onmiddellijk uit een monument kunnen worden verwijderd. Het doel is het bestaande metselwerk zo te beheren dat verdere schade wordt beperkt en waardevol materiaal behouden blijft. Regelmatige inspectie en zo nodig vervanging van bewust opofferende lagen kunnen onderdeel zijn van een langdurige onderhoudsstrategie.

HOOFDSTUK 12

Petrografisch onderzoek en analyse van historische mortels

Materiaalonderzoek begint bij de juiste vraag

Bij herstel van historisch metselwerk kan een mortelanalyse inzicht geven in de grondstoffen en de ontwikkeling van de oorspronkelijke mortel. Zij kan helpen bepalen welke bindmiddelen en toeslagmaterialen aanwezig zijn, hoe de korrels verdeeld zijn en welke veranderingen door gebruik en verwering zijn opgetreden. Toch is het onderzoek pas zinvol wanneer vooraf duidelijk is welke vraag moet worden beantwoord. Soms is het voldoende een zandsoort te vergelijken of een verdachte reparatielaag te onderscheiden; bij complexere monumenten kan uitgebreider laboratoriumonderzoek noodzakelijk zijn.

Een goed monster moet representatief zijn voor de te onderzoeken mortel. Dat betekent dat de plaats van monstername zorgvuldig wordt gekozen en wordt vastgelegd uit welke laag of bouwfase het materiaal afkomstig is. Losse oppervlakkige korrels, een plaatselijk verontreinigde voeg of een latere reparatie vertellen niet automatisch iets over de oorspronkelijke legmortel. Bij een gelaagde voeg is het van belang de zichtbare afwerklaag te onderscheiden van het materiaal daarachter. Ook de verhouding tussen mortelonderzoek en mogelijk verlies van waardevol historisch materiaal moet worden afgewogen.

Visueel onderzoek en stereomicroscopie

Het eerste onderzoek bestaat uit het nauwkeurig beschrijven van kleur, samenhang, korrelgrootte, zichtbare insluitsels en eventuele afzonderlijke lagen. Met een loep of stereomicroscoop kunnen de zandkorrels, kalkrijke fragmenten, schelpresten of mogelijke keramische bestanddelen beter worden bekeken. Ook kan worden vastgesteld of de mortel een uitgesproken bindmiddelrijke huid heeft of dat het buitenste oppervlak door verwering is veranderd.

Deze waarnemingen zijn waardevol, maar leveren geen volledig chemisch recept op. Een lichte korrel kan kwarts zijn, maar ook een kalkrijk fragment of een ander mineraal. Evenmin bewijst een rood korreltje vanzelf dat bewust gemalen baksteen als puzzolaan is toegevoegd. Daarom moeten zichtbare kenmerken steeds worden onderscheiden van conclusies over de oorspronkelijke bereidingswijze.

Zuurontleding en korrelverdeling

Bij zuurontleding wordt een mortelmonster met zuur behandeld om zuur-oplosbare bestanddelen te verwijderen. Vervolgens kan het resterende materiaal worden onderzocht, bijvoorbeeld door verschillende zandfracties te zeven. Deze werkwijze kan inzicht geven in het toeslagmateriaal en in de verhouding tussen zuur-oplosbare en niet-oplosbare bestanddelen. De resultaten mogen echter niet rechtstreeks worden vertaald naar de oorspronkelijke mengverhouding tussen kalk en zand.

Dat komt doordat niet alleen het kalkbindmiddel in zuur kan oplossen. Ook kalksteenkorrels, schelpresten en andere carbonaathoudende toeslagmaterialen kunnen worden aangetast. Omgekeerd kunnen bepaalde hydraulische reactieproducten zich anders gedragen dan het oorspronkelijke bindmiddel. Een berekening van de oorspronkelijke hoeveelheid kalk vraagt daarom aannames over de samenstelling van het hele monster. Juist deze aannames moeten bij het rapporteren zichtbaar blijven.

Petrografisch onderzoek met de polarisatiemicroscoop

Bij petrografisch onderzoek wordt een representatief mortelmonster doorgaans met kunsthars geïmpregneerd en tot een zeer dunne doorsnede, een zogenoemde slijpplaat, verwerkt. Onder een polarisatiemicroscoop kunnen de optische eigenschappen van mineralen en hun onderlinge samenhang worden onderzocht. De slijpplaat is dus het preparaat, de polarisatiemicroscoop het instrument en de petrografie de onderzoeksmethode. Het zijn geen drie afzonderlijke technieken.

Een slijpplaat kan veel vertellen over de mineralogische samenstelling en korrelvorm van het zand, de structuur van het bindmiddel, kalkrijke insluitsels en mogelijke reactiezones rond puzzolane bestanddelen. Ook microscheuren, poriën en grenzen tussen verschillende mortellagen kunnen zichtbaar zijn. Daarmee is het mogelijk de oorspronkelijke structuur te onderscheiden van sommige veranderingen die tijdens het gebruik van het gebouw zijn opgetreden.

Tegelijkertijd blijft voorzichtigheid nodig. Een tweedimensionale doorsnede geeft geen rechtstreekse meting van het volledige verbonden poriënstelsel of van de waterdoorlatendheid. Niet iedere amorfe hydraulische fase kan uitsluitend met polarisatiemicroscopie betrouwbaar worden vastgesteld. Wanneer zulke vragen voor het herstel van belang zijn, kan aanvullend onderzoek met andere methoden zinvol zijn.

Aanvullende analytische methoden

Röntgendiffractie kan helpen om kristallijne minerale fasen te herkennen, terwijl elektronenmicroscopie en elementanalyse plaatselijk meer informatie geven over de samenstelling en fijne structuur. Thermische analysetechnieken kunnen aanvullend inzicht bieden in bepaalde reacties en aanwezige bestanddelen. Geen van deze technieken is op zichzelf een machine die een historisch mengrecept oplevert. De onderzoeksmethode wordt gekozen op basis van de vraag en de beperkingen van het beschikbare monster.

Ook de aanwezigheid van zouten moet afzonderlijk worden beoordeeld. Sommige veranderingen in een oude mortel zijn het gevolg van kristallisatie of chemische aantasting tijdens het gebruik, niet van de oorspronkelijke bereiding. Hetzelfde geldt voor vervuiling, uitloging en latere oppervlaktebehandelingen. Een goede interpretatie onderscheidt rechtstreeks waarneembare feiten, vermoedelijke historische bestanddelen en aannames over vroegere verwerkingsmethoden.

Van mortelanalyse naar restauratiespecificatie

Een mortelanalyse vormt een belangrijke basis voor het ontwikkelen van een geschikte herstelmortel, maar levert op zichzelf **geen volledige restauratiespecificatie** op. Het onderzoek geeft inzicht in samenstelling, structuur en eigenschappen van de oorspronkelijke mortel. Deze gegevens moeten echter worden beoordeeld binnen de bouwkundige en historische context van het gebouw.

Bij het samenstellen van een herstelmortel zijn ook de aangrenzende baksteen of natuursteen, de constructieve opbouw, de aanwezige vocht- en zoutbelasting, de blootstelling aan weersinvloeden en de huidige toestand van het gebouw van belang. Een mortel die chemisch sterk overeenkomt met het historische voorbeeld hoeft daarom niet automatisch de beste keuze te zijn. Soms is een gerichte aanpassing wenselijk om nieuwe schade te voorkomen, zolang de historische samenhang en het oorspronkelijke materiaal worden gerespecteerd.

Een verantwoorde specificatie verbindt laboratoriumonderzoek met bouwhistorische kennis, bouwfysisch inzicht en praktische ervaring. Daarin worden niet alleen de grondstoffen en mengverhouding omschreven, maar ook de gewenste eigenschappen, de wijze van verwerking, de voegafwerking, het proefvlak en de nabehandeling. Mortelonderzoek vertelt wat er in het bestaande materiaal aanwezig is en hoe dat materiaal zich heeft ontwikkeld. De restauratiespecificatie bepaalt vervolgens hoe met die kennis het historische metselwerk verantwoord kan worden behouden.

HOOFDSTUK 13

Historische pigmenten in voegwerk

De kleur van mortel ontstaat uit het hele mengsel

De kleur van historisch voegwerk wordt vaak grotendeels bepaald door zand en kalk, zonder dat afzonderlijke pigmenten zijn toegevoegd. Lichte kwartskorrels, ijzerhoudende mineralen, schelpfragmenten en andere minerale bestanddelen geven een natuurlijke verscheidenheid aan tinten. Ook de kleur en fijnheid van het kalkbindmiddel spelen mee. Een mortel die uit zuivere witte luchtkalk wordt samengesteld kan bijvoorbeeld zichtbaar lichter zijn dan een historisch mengsel met een warmer gekleurde kalk en plaatselijk zand.

De kleur beïnvloedt rechtstreeks hoe het metselverband in de gevel wordt gelezen. Een lichte voeg kan de stenen sterk omlijnen, terwijl een voeg in de kleur van de baksteen het gevelvlak rustiger maakt. Bij rijk afgewerkte historische gevels kon de kleur bewust worden ingezet om voegen smaller of regelmatiger te laten lijken. Daarom verdient de oorspronkelijke kleurstelling evenveel aandacht als het profiel en de korrelstructuur van de voeg.

Minerale pigmenten en gekleurde toeslagmaterialen

Wanneer een gerichte kleurcorrectie nodig was, konden minerale aardepigmenten worden gebruikt. Gele oker dankt zijn kleur vaak aan ijzerhoudende mineralen zoals goethiet, rode oker aan hematiet en bepaalde ombers en sienna's aan mengsels van ijzer- en andere minerale bestanddelen. Ook koolstofhoudende zwartpigmenten komen in historische toepassingen voor. Het is echter niet verantwoord om van de aanwezigheid van een donkere voeg onmiddellijk op bewust toegevoegd roet of koolzwart te besluiten; het gebruikte zand en latere vervuiling kunnen eveneens een rol spelen.

Fijn gemalen baksteen en pannengruis konden de kleur en de structuur van de mortel veranderen. Afhankelijk van de aard van het materiaal was soms daarnaast een puzzolane werking mogelijk. Een zichtbare rode tint vormt echter geen bewijs voor een hydraulische reactie. Ook bij andere minerale vulstoffen moet onderscheid worden gemaakt tussen het kleurende effect, de korrelopbouw en eventuele chemische reactiviteit.

De keuze van pigmenten voor een nieuwe kalkmortel vraagt om aandacht voor hun kalkbestendigheid, kleurkracht en deeltjesgrootte. Zeer fijne pigmenten kunnen de waterbehoefte en het gedrag van de mortel veranderen. Vooral bij sterke zwartpigmenten kan een geringe dosering al een duidelijk effect hebben. Een universeel pigmentpercentage is daarom niet verantwoord; leg bij ieder proefmengsel vast op welke hoeveelheid droog bindmiddel of totale droge mortel de dosering betrekking heeft.

Lichte, donkere en decoratieve voegen

Historisch voegwerk kent zowel vrijwel witte als warmbeige, roodbruine en donkergrijze varianten. Bij lichte snij- en knipvoegen versterkt de voegkleur vaak het fijne lijnenspel. Een opvallend witte moderne kalk kan op zo'n gevel echter te scherp afsteken wanneer de oorspronkelijke mortel gebroken wit of

lichtcrème was. In dat geval verdient een zorgvuldige combinatie van bindmiddel, zand en eventueel een beperkte kleurcorrectie de voorkeur boven het op grote schaal toevoegen van pigment.

Sommige historische voegen werden niet door en door gekleurd, maar kregen een afzonderlijke geschilderde lijn of een andere decoratieve oppervlaktebehandeling. Deze afwerking moet los van de kleur van de onderliggende mortel worden onderzocht. Het verwijderen van een dunne historische verflaag kan onherstelbaar verlies van de oorspronkelijke architectonische bedoeling veroorzaken.

Oorspronkelijke kleur en patina

De huidige kleur van een oude voeg is niet noodzakelijk de kleur waarin de mortel oorspronkelijk is aangebracht. Door stof, roet, regen, biologische aangroei, uitloging en andere verweringsprocessen kan vooral de buitenste laag veranderen. Om het historische materiaal te begrijpen is het daarom nuttig ook het minder verweerde binnenste van een representatief monster te bekijken. De bestaande patina kan waardevol zijn, maar zij mag niet zonder meer als oorspronkelijke mengkleur worden nagebootst.

Bij het samenstellen van een restauratiemortel worden eerst zandsoort en bindmiddel afgestemd. Pas wanneer die basis technisch geschikt is en de kleur nog niet voldoende aansluit, komt een beperkte pigmenttoevoeging in beeld. Kleine proefstukken helpen om mengverhoudingen te vergelijken, maar een proefvlak op de werkelijke gevel is noodzakelijk om korrelbeeld, voegprofiel, lichtwerking en droging gezamenlijk te beoordelen. Een natte kleurstaal is daarvoor onvoldoende.

Een technisch ongeschikte mortel wordt niet verantwoord doordat de kleur goed is getroffen. Het historische gevelbeeld verdient nauwkeurig herstel, maar de bescherming van het oorspronkelijke steenmateriaal blijft leidend.

HOOFDSTUK 14

Kalkverf en carbonatatie

Traditionele kalkafwerkingen

Kalkverf behoort tot de oudste minerale afwerkingen op pleisterwerk, baksteen en andere geschikte ondergronden. Eenvoudige traditionele witkalk wordt bereid als een dunne suspensie van gebluste luchtkalk en water. Daarbij bevinden fijne deeltjes calciumhydroxide zich in de vloeistof. Dit **kalkmelk** genoemde materiaal moet worden onderscheiden van **kalkwater**: een betrekkelijk heldere oplossing waarin slechts een beperkte hoeveelheid calciumhydroxide is opgelost.

Historische kalkafwerkingen waren vaak onderdeel van een terugkerende onderhoudscyclus. Dunne lagen werden waar nodig opnieuw aangebracht nadat eerdere lagen door gebruik of weersinvloeden waren verouderd. Bij monumentale gebouwen kan juist die opeenvolging van lagen informatie bevatten over oudere kleurstellingen en bouwfasen. Het routinematig verwijderen of overschilderen van waardevolle oorspronkelijke afwerkingen is daarom niet altijd verantwoord.

Droging, hechting en carbonatatie

Na het aanbrengen van traditionele kalkmelk verplaatst een deel van het water zich naar de ondergrond en verdampt een deel uit het oppervlak. De kalkdeeltjes blijven achter en kunnen geleidelijk door carbonatatie samenhang ontwikkelen. Hiervoor is een geschikte vochttoestand en de toevoer van koolstofdioxide nodig. Wanneer een zeer zuigende ondergrond het water onmiddellijk onttrekt, kan de hechting onvoldoende worden. Ook te dikke lagen of sterke windbelasting kunnen een poederende of ongelijkmatige afwerking veroorzaken.

Het lichter worden van kalkverf tijdens het drogen mag niet worden verward met de chemische verharding. Het verdwijnen van water verandert de lichtverstrooiing aan het oppervlak al sterk, terwijl de carbonatatie later kan doorgaan. Vooral gepigmenteerde kalkverf kan nat opvallend donker lijken en uiteindelijk een veel lichtere tint krijgen. Daarom moeten proefvlakken pas na voldoende droging en onder representatieve lichtomstandigheden worden beoordeeld.

Bij het aanbrengen zijn dunne lagen en een passende kwasttechniek belangrijk. De kalkverf wordt op een geschikte, samenhangende en waar nodig matvochtig gemaakte ondergrond ingewerkt. De volgende laag mag pas worden aangebracht wanneer de vorige daarvoor voldoende is aangetrokken. Het precieze aantal lagen en de verdunning hangen af van de verf en de ondergrond; één universeel recept bestaat niet.

Kalkverf, kalei en andere minerale verven

Niet ieder product dat tegenwoordig als kalkverf wordt verkocht, is identiek aan traditionele witkalk. Sommige moderne formuleringen bevatten minerale vulstoffen, aanvullende bindmiddelen of hulpstoffen die de dekking en verwerking beïnvloeden. Daardoor kunnen hun poriënstructuur, vochtgedrag en hechting van zuivere kalkmelk verschillen. De werkelijke productsamenstelling is bij restauratie belangrijker dan alleen de aanduiding op de verpakking.

Kalei is doorgaans een vollere minerale afwerking, vaak met een zichtbare fijne zandfractie. Silicaatverf vormt een andere productgroep en verhardt niet uitsluitend via de carbonatatiereactie van luchtkalk. Ook kunstharsbevattende afwerkingen kunnen onder een mineraal ogende handelsnaam voorkomen. Zulke systemen moeten afzonderlijk worden beoordeeld op hun geschiktheid voor het historische materiaal.

Kleur, bescherming en onderhoud

Kalkverf kan met geschikte, alkalibestendige minerale pigmenten worden gekleurd. De pigmentdeeltjes moeten gelijkmatig verdeeld worden en de totale hoeveelheid mag de samenhang van de afwerking niet onnodig verminderen. De ondergrond, de laagdikte en de wijze van drogen beïnvloeden de kleur minstens zo sterk als de pigmentkeuze.

Traditionele dunne kalkverf kan een relatief dampopen, vernieuwbare afwerking opleveren, maar zij is geen oplossing voor een lekkende constructie of een aanhoudend vochtprobleem. Ook vormt zij niet automatisch een waterdichte bescherming tegen slagregen. Goed onderhoud begint daarom met een stabiele ondergrond, het beperken van schadelijke vochtbelasting en het beschermen van verse afwerkingslagen tegen zon, wind, stortregen en vorst. Binnen monumentenzorg gaat het behoud van historische schilderlagen vóór het gemak van een nieuwe uniforme afwerking.

HOOFDSTUK 15

NHL versus luchtkalk

De classificatie vertelt niet het hele verhaal

Luchtkalk en natuurlijk hydraulische kalk verschillen in de manier waarop zij verharden. Zuivere luchtkalk ontwikkelt haar samenhang hoofdzakelijk door carbonatatie. Een natuurlijke hydraulische kalk bevat daarnaast minerale fasen die met water kunnen reageren en daardoor een aanvullende sterkteontwikkeling mogelijk maken. De keuze tussen beide hangt af van het oorspronkelijke metselwerk, de blootstelling en de functie van de mortel; een hogere sterkte is niet automatisch gunstiger.

De normatieve aanduiding **CL 90** verwijst naar calciumrijke luchtkalk en beschrijft niet alle eigenschappen van de geleverde productvorm. Droog kalkhydraat is tijdens de productie al chemisch geblust. Wanneer het poeder met water tot een pasta wordt aangemaakt, vindt de oorspronkelijke blusreactie niet opnieuw plaats. Traditioneel kalkdeeg kan daarentegen rechtstreeks nat zijn geblust en gedurende langere tijd onder water zijn opgeslagen. Verschillen in brand- en blusproces kunnen doorwerken in de structuur, plasticiteit en waterretentie van de kalkdeeltjes.

Dit betekent niet dat een gerijpt kalkdeeg altijd een sterkere of duurzamere mortel oplevert. De hoeveelheid werkelijk bindmiddel, het watergehalte en de wijze van mengen blijven van groot belang. Het aantal jaren dat kalkdeeg is bewaard, vormt bovendien geen zelfstandig kwaliteitskeurmerk. De vergelijking tussen droog poeder en nat kalkdeeg moet daarom uitgaan van geschikte productgegevens en doelgerichte verwerkingstesten, niet van een volumetrische vervanging één op één.

Zetapotentiaal en deeltjesgedrag

Een bijzondere aanwijzing voor verschillen tussen kalkproducten kan worden gevonden in het **zetapotentiaal**. Wanneer zeer fijne kalkdeeltjes in water zijn verdeeld, bevindt zich rond hun oppervlak een elektrische dubbellaag. Het zetapotentiaal beschrijft het elektrische potentiaal nabij het afschuifvlak van de vloeistof rond een bewegend deeltje. Die waarde kan mede inzicht geven in de onderlinge interacties tussen deeltjes en hun neiging om zich te verspreiden of samen te klonteren.

Onderzoek naar traditioneel en industrieel geproduceerde kalken heeft duidelijke verschillen in deze meetwaarde laten zien. De onderzochte traditionele kalken bleken na het branden en ook na het blussen hogere zetapotentiaalwaarden te bezitten dan het industriële vergelijkingsmateriaal. De oorspronkelijke kalksteen, de brandtemperatuur, het blusproces en de samenstelling van het water kunnen hierin een rol spelen. Het zetapotentiaal is echter geen rechtstreekse meting van druksterkte, duurzaamheid of algemene productkwaliteit.

De onderstaande tabel bevat de besproken onderzoekswaarden. **Het gaat om monsters van ongebluste kalk die vervolgens onder laboratoriumomstandigheden werden geblust.** De gegevens zijn dus geen directe vergelijking tussen een zak droge CL 90 en een vat tien jaar gerijpt kalkdeeg. Wel maken zij inzichtelijk dat de productiegeschiedenis van kalk meetbaar kan doorwerken in het gedrag van het gevormde calciumhydroxide.

Onderzocht monster	Productie	CaO	Na blussen
Gordillo TL(1) · 1100 °C	Traditioneel	32,1 mV	24,6 mV
Gordillo TL(2) · 900 °C	Traditioneel	34,7 mV	25,35 mV
Gordillo TL(3) · 850 °C	Traditioneel	34,7 mV	24,7 mV
Calcinor · 1000 °C	Industrieel	4,63 mV	3,36 mV
Panreac	Analytische kalk	19,16 mV	11,93 mV

Zetapotentiaal in millivolt, gemeten aan de genoemde onderzochte kalkmonsters. De eerste kolom met waarden betreft ongebluste kalk; de laatste kolom laboratoriumgebluste monsters. De resultaten zijn niet bedoeld als algemene merkenvergelijking.
Bron: Ontiveros-Ortega e.a. (2017), Construction and Building Materials 151, 809–818, onderzoeksgegevens; zie literatuurlijst.

De ontwikkeling van hydraulische kalk

Kalksteen met voldoende geschikte klei- en kiezelhoudende bestanddelen kan tijdens het branden hydraulisch actieve fasen vormen. Daarmee was al vóór de industriële productie van moderne NHL-producten bekend dat niet iedere kalk op dezelfde manier verhardt. In verschillende bouwperioden werd bovendien luchtkalk met tras of andere puzzolanen gecombineerd. Historische benamingen als zwak hydraulische kalk mogen daarom niet zonder meer op de moderne normklassen worden geprojecteerd.

De opkomst van Portlandcement in de negentiende eeuw en de verdere industrialisatie van bindmiddelen in de twintigste eeuw veranderden de materiaalpraktijk ingrijpend. Toch bestaan tussen zuivere luchtkalk en moderne cementen veel verschillende samenstellingen. De eigenschappen daarvan worden niet uitsluitend door de productnaam, maar ook door het zand, de mengverhouding en de verhardingsomstandigheden bepaald.

NHL 2, NHL 3.5 en NHL 5

De klassen NHL 2, NHL 3.5 en NHL 5 verwijzen onder andere naar druksterkte-eisen bij genormeerde beproeving na 28 dagen. De sterktebereiken overlappen. Een product in een lagere klasse kan bovendien na langdurige verharding eigenschappen ontwikkelen die niet alleen uit de vroege sterkte zijn af te leiden. De aanduiding is daarom waardevol voor productidentificatie, maar vormt geen voorspelling van alle materiaaleigenschappen van een herstelmortel.

Klasse	Druksterkte na 28 dagen	Betekenis
NHL 2	2–7 MPa	Laagste genormeerde NHL-klasse
NHL 3.5	3,5–10 MPa	Middelste klasse; overlappend bereik
NHL 5	5–15 MPa	Hoogste genormeerde NHL-klasse

Druksterktebereiken volgens genormeerde proefomstandigheden; geen voorspelling van de uiteindelijke sterkte of vochttechnische geschiktheid van iedere restauratiemortel.
Bron: NEN-EN 459-1:2015, Bouwkalk – Deel 1. De waarden gelden voor de voorgeschreven classificatieproef.

Ook de termen **NHL**, **HL** en **FL** mogen niet worden verward. Zij verwijzen naar verschillende genormeerde productcategorieën met eigen eisen aan de samenstelling. Een hydraulische kalk met de aanduiding HL 3.5 is niet zonder meer gelijk aan een natuurlijke hydraulische kalk NHL 3.5. Vooral bij

restauratie moet worden vastgesteld welk bindmiddel werkelijk wordt geleverd en welke componenten aanwezig kunnen zijn.

De juiste keuze binnen een historisch gebouw

Voor een zachte baksteengevel kan een goed samengestelde luchtkalkmortel passend zijn wanneer de blootstelling en de verhardingsomstandigheden dit toelaten. Waar een hydraulische bijdrage noodzakelijk is, kan een geschikte NHL of een luchtkalkmortel met een zorgvuldig gekozen puzzolaan in aanmerking komen. Een zwaardere weersbelasting betekent echter niet automatisch dat de hoogste NHL-klasse moet worden gekozen.

De restaurateur moet kijken naar de bestaande steensoort, de poriënstructuur, de vocht- en zoutbelasting, de gewenste vervormbaarheid en de historische context. Ook het afwerken van de voegen en de nabehandeling hebben invloed op de prestaties. **De juiste kalk is niet de sterkste of de oudste, maar de kalk die in een zorgvuldig samengestelde mortel het beste bij het gebouw past.**

HOOFDSTUK 16

Traditionele nazorgmethoden

Nazorg is uitvoeringswerk

Het aanbrengen van de mortel is niet het einde van het restauratieproces. Juist in de eerste periode daarna ontwikkelt de mortel de samenhang die voor haar verdere functioneren nodig is. Een zorgvuldig gekozen recept kan alsnog voortijdig beschadigen wanneer de verse voegen te snel uitdrogen of aan harde regen en vorst worden blootgesteld. Daarom moet de bescherming al worden georganiseerd vóór het werk begint.

In traditionele kalkpraktijken hield men rekening met de tijd die het materiaal nodig had om te verharden. Bij luchtkalk betekent dit dat voldoende vocht en toegang van koolstofdioxide aanwezig moeten blijven. Bij hydraulische kalk en puzzolane mengsels is ook water noodzakelijk voor aanvullende reacties. Beide typen mortel vragen dus om zorg, maar niet noodzakelijk om precies dezelfde omstandigheden of duur.

De zuiging van de muur beheersen

Voorbevochtigen voorkomt dat een zeer droge, poreuze steen onmiddellijk een groot deel van het aanmaakwater uit een verse mortel onttrekt. De hoeveelheid en het moment hangen af van de steen en de omgeving. Het doel is een gelijkmatig matvochtige voegruimte zonder zichtbare waterfilm. Te weinig voorbevochtiging kan de verharding belemmeren; te veel water kan hechting en verdichting juist nadelig beïnvloeden.

Ook de samenstelling en consistentie van de mortel zijn van belang. Een voegmortel voor navoegen moet voldoende stevig zijn om in de voeg te worden gedrukt en daar volledig aan te sluiten. Zij mag niet door extra water zo vloeibaar worden gemaakt dat bindmiddel uitspoelt of het steenoppervlak vervuilt. Goede nazorg kan een gebrekkig mengsel of slecht verdichte voeg niet alsnog verbeteren.

Schermen tegen wind, zon en regen

Directe bezonning, warme steenoppervlakken en droge wind versnellen de verdamping uit jong mortelwerk. Een steigerdoek of ander beschermend scherm kan deze belasting verminderen. Vochtige jute of geschikte afdekmaterialen kunnen helpen om de omgeving van het werk vochtiger te houden, maar een dun doek dat zelf snel droogt vormt nauwelijks een vochtbuffer. De afscherming moet daarom bereikbaar blijven voor controle en waar nodig opnieuw worden bevochtigd.

Tegelijkertijd is bescherming nodig tegen hevige regen. Een nog kwetsbare mortel kan worden uitgespoeld wanneer water rechtstreeks op het oppervlak slaat. Bij fijne snij- en knipvoegen kan bovendien de profilering worden beschadigd. Afdekkingen moeten daarom bij voorkeur niet tegen vers, kwetsbaar voegwerk drukken en mogen geen vervuiling of kleur afgeven.

Voorzichtig nabevochtigen

Wanneer het verse werk voldoende samenhang heeft ontwikkeld, kan een fijne waternevel helpen om buitensporig vochtverlies te voorkomen. Het juiste moment is belangrijk. Een nog plastische voeg kan door rechtstreeks sproeien beschadigd raken, terwijl overmatig water kalkdeeltjes en pigment verplaatst. Soms is het aanvankelijk verstandiger vooral de afscherming en de omgeving vochtig te houden.

De bedoeling is een geschikte vochttoestand, geen voortdurende volledige verzadiging. Bij langdurig met water gevulde poriën kan de toevoer van koolstofdioxide beperkt raken. Bij te snelle uitdroging worden juist de carbonatatie en mogelijke hydraulische reacties belemmerd. De verharding moet daarom worden gevolgd door naar de mortel en de weersomstandigheden te kijken, niet uitsluitend door een vast aantal sproeibeurten op de klok uit te voeren.

Vorst en het moment van verwijderen

Een jonge kalkmortel kan bij vorst beschadigen zolang nog voldoende vrij water aanwezig is en de samenhang onvoldoende is ontwikkeld. Ook hydraulische mortels zijn tijdens hun vroege verharding niet automatisch vorstbestendig. De weersverwachting voor de dagen na de uitvoering hoort daarom bij de beslissing om werkzaamheden te starten. Bij een serieus vorstrisico is uitstel vaak verstandiger dan vertrouwen op een korte afdekking.

Ook het verwijderen van steigerdoeken vraagt om een beslissing op basis van de toestand van de mortel. De datum van aanbrengen is niet het enige criterium. Bindmiddel, voegdiepte, vochtgehalte en weersblootstelling bepalen mede of een gevel zonder de eerdere bescherming kan functioneren. Vooral torens, schoorstenen en vrijstaande geveltoppen kunnen langer kwetsbaar blijven door hun hoge windbelasting.

Overdracht en kwaliteitscontrole

Nazorg moet ook tijdens weekenden en werkonderbrekingen plaatsvinden. Een gevel op vrijdag navoegen en de bescherming tot maandag onbeheerd laten, kan bij ongunstig weer tot schade leiden. Bij grotere projecten is het daarom verstandig vast te leggen wie controleert, wanneer wordt bevochtigd en hoe de weersbescherming wordt aangepast. De kosten en de benodigde tijd horen in de werkvoorbereiding thuis.

Tijdens de verharding worden de kleur, de oppervlaktesamenhang, de voegvorm en eventuele aanwijzingen voor uitspoeling of scheurvorming beoordeeld. Problemen moeten worden onderzocht voordat extra coatings of verstevigingsmiddelen worden toegepast. Bij bijzondere restauraties is het zinvol de gebruikte mortel, de verwerking, het weer en de nazorg vast te leggen. Op die manier blijft later herleidbaar onder welke omstandigheden het nieuwe werk is uitgevoerd.

De duurzaamheid van een historische mortel wordt niet alleen bepaald door de keuze van kalk en zand. Ook de zorg waarmee het materiaal na het aanbrengen kan verharden, is deel van de restauratiekwaliteit. **Een mortel is pas goed uitgevoerd wanneer zij voldoende gelegenheid heeft gekregen om in het bestaande metselwerk haar functie te ontwikkelen.**

UITGAVEGEGEVENS

Colofon

Mortels, materialen, recepturen en methoden

Een praktische gids voor historisch voegwerk en kalkmortels

UITGAVE
Kalkshop / De Mortel Compagnie

SAMENSTELLING EN REDACTIE
De Mortel Compagnie

EERSTE UITGAVE
2026

WEBSITE
www.kalkshop.nl

Deze vakgids is samengesteld vanuit praktijkervaring met historisch metsel- en voegwerk, restauratietechnisch materiaalonderzoek en nationale en internationale vakliteratuur. Het doel is kennis over traditionele kalkmortels, historische materialen en verantwoorde restauratiemethoden toegankelijk te maken voor restaurateurs, vakmensen, ontwerpers en andere geïnteresseerden.

De gebruikte publicaties, technische onderzoeken en restauratierichtlijnen zijn opgenomen in de hierop volgende literatuurlijst. De beschreven werkwijzen vormen een vakinhoudelijk uitgangspunt. Bij de restauratie van historische gebouwen blijven de toestand van het bestaande metselwerk, de uitkomsten van onderzoek en de toepasselijke uitvoeringsrichtlijnen en projectspecificaties bepalend voor de uiteindelijke materiaalkeuze en werkwijze.

© 2026 Kalkshop / De Mortel Compagnie. Alle rechten voorbehouden.

LITERATUUR EN ACHTERGROND

Literatuurlijst

Deze gids berust op een samenhangende lezing van Nederlandse restauratierichtlijnen, technische vakliteratuur, onderzoek aan historische mortels en praktische materiaalervaring. De gebruikte publicaties worden hier centraal verantwoord. Bij werkzaamheden aan beschermde monumenten blijven de toepasselijke actuele richtlijnen, vergunningen en projectspecificaties leidend.

Van Balen, K., Van Bommel, B., Van Hees, R., Van Hunen, M., Van Rhijn, J. en Van Rooden, M. (2003). *Kalkboek: het gebruik van kalk als bindmiddel voor metsel- en voegmortels in verleden en heden*. Rijksdienst voor de Monumentenzorg.

https://www.cultureelerfgoed.nl/documenten/2003/01/01/kalkboek-het-gebruik-van-kalk-als-bindmiddel-voor-metsel-en-voegmortels-in-verleden-en-heden

Young, D. (2021). *Mortars: Materials, Mixes and Methods. A Guide to Repointing Mortar Joints in Older Buildings*. Heritage Council of Victoria en samenwerkende Australische erfgoedorganisaties.

https://heritagecouncil.vic.gov.au/research-guidance/manage-and-maintain-heritage/repointing-mortar-joints-in-older-buildings

Stichting ERM. *URL 4003: Historisch metselwerk* (versie 1.3, 6 november 2020).

https://www.stichtingerm.nl/kennis-richtlijnen/url4003

Stichting ERM. *URL 4006: Historisch voegwerk* (versie 2.1, 26 juni 2015).

https://stichtingerm.nl/kennis-richtlijnen/url4006

Stichting ERM. *URL 4009: Historisch schilderwerk* (versie 2.1, 21 mei 2021).

https://www.stichtingerm.nl/richtlijnen

NEN-EN 459-1:2015. Bouwkalk – Deel 1: Definities, eisen en conformiteitscriteria.

Scottish Lime Centre Trust. Technische achtergrond en advies over mortelanalyse, kalkmortels, zand en restauratie.

https://www.scotlime.org/

Historic Environment Scotland. Technische publicaties over traditionele kalkmortels en minerale afwerkingen.

https://www.historicenvironment.scot/

Historic England. Technische publicatie *Repointing Brick and Stone Walls* en restauratiekennis over traditioneel metselwerk.

https://historicengland.org.uk/images-books/publications/repointing-brick-and-stone-walls/

Ontiveros-Ortega, E. e.a. (2017). *Electrokinetic and thermodynamic characterization of lime-water interface: Physical and rheological properties of lime mortar*. Construction and Building Materials, 151, 809–818.

https://www.ugr.es/~grupo179/pdf/Ontiveros%202017.pdf

Kalkshop. *Kalkdeeg versus droge kalk: wat is het verschil?* Toelichting bij onderzoek naar de productie, plasticiteit en het zetapotentiaal van kalk.

https://kalkshop.nl/kalkdeeg-vs-droge-kalk/

SLOTOVERZICHT / PRAKTISCHE CONTROLEKAART

Wel en niet doen bij historisch kalk- en voegwerk

Een beknopt overzicht voor onderzoek, materiaalkeuze en uitvoering. Het bestaande gebouw blijft bepalend; dit is geen standaardrecept.

ONDERWERP	WEL DOEN	NIET DOEN
Onderzoek	Onderzoek bouwfasen, schade, vocht en de oorspronkelijke mortel.	Kies geen mortel op basis van alleen kleur of hardheid.
Behoud	Laat historisch voegwerk zitten waar het nog goed functioneert.	Vervang niet zonder noodzaak een complete gevel.
Mortelkeuze	Stem sterkte, poriënstructuur en vochtgedrag af op de steen.	Neem geen sterkere NHL of cementrijke mortel omdat die ‘beter’ lijkt.
Zand	Kies passend zand op korrelvorm, gradatie, kleur en zuiverheid.	Gebruik geen kleirijk of eenzijdig fijn zand zonder beoordeling.
Receptuur	Leg kalksoort, zand, mengverhouding en bereidingswijze vast.	Stel kalkdeeg, droog hydraat en ongebluste kalk volumetrisch gelijk.
Uithalen	Werk zorgvuldig met gereedschap dat de voegen en steenranden ontziet.	Verbreed voegen of beschadig de oorspronkelijke steen niet.
Zuiging	Beheers de zuiging; werk op passend matvochtig metselwerk.	Voeg niet op kurkdroog metselwerk of tegen vrij oppervlaktewater.
Aanbrengen	Gebruik voor navoegen een stijve, plastische mortel; vul en druk goed aan.	Maak de mortel niet dun door extra water en smeer niet op de steen.
Afwerking	Respecteer het historische voegprofiel en maak een proefvlak.	Forceer geen modern profiel of beoordeel de kleur alleen nat.
Zouten en vocht	Onderzoek de vochtbron en overweeg zo nodig opofferende mortel.	Sluit zoutbelast metselwerk niet achteloos af met dichte coatings.
Nazorg	Bescherm tegen wind, regen, zon en vorst; volg het verhardingsgedrag.	Laat vers kalkwerk niet te snel uitdrogen of voortdurend uitspoelen.
Controle	Documenteer monsters, mengsels, uitvoering en nazorg.	Zie een laboratoriumrecept niet als een complete restauratiespecificatie.

Uitgangspunt: onderzoek eerst wat behouden kan blijven. De mortel moet waar nodig vervangbaar zijn; de historische steen is dat niet.