Kalei.be

Het kaleien van gevels bij restauratie van gebouwen!

Paper thesis

Opgesteld door Stijn D'hoore (student ind. ing. bouwkunde)

Datum: 07-05-2007

Mededeling

Deze eindverhandeling was een examen; de tijdens de verdediging vastgestelde fouten werden niet gecorrigeerd.
Gebruik als referentie in publicaties is toegelaten na gunstig advies van de KHBO-promotor, vermeld op het titelblad.

Woord vooraf

Hierbij had ik graag iedereen bedankt die mij heeft bijgestaan bij de realisatie van dit eindwerk.
In het bijzonder bedank ik mijn binnenpromotor de heer ir. M. Spegelaere en mijn buitenpromotor de heer ing. D. Vangheluwe (Provo) voor de talrijke raadgevingen en mateloze inspanningen die beiden leverden bij dit eindwerk.
Verder dank ik de vele producenten voor hun medewerking, in het bijzonder S. Bonny (Caparol), Wolf Jordan en Michael Vandeputte (Renofort). Ook bedank ik Dr. H. De Clercq (KIK), Prof. Dr. ir. arch. K. Van Balen (K.U.L.), G. Everaert (Monumentenzorg Gent), Lic. J. Esther (Monumentenzorg Brugge), J. Cherchye (Color), H. De Vuyst (Aquastra), D. Cobbaert (Renotechnic), P. Steen en de vele aannemers voor hen deskundige raadgevingen.
Teneinde dit voorwoord af te sluiten had ik ook graag mijn ouders en vriendin bedankt voor de steun die zij verleenden bij deze thesis.

Samenvatting

Kaleien is één van de minst eenduidige termen in de bouwwereld. We opteren om deze techniek vanuit de aspecten 'historisch', 'esthetisch' en 'technisch' te bekijken. Het ideale kalei-product/mengsel combineert deze drie.
Al sinds de zevende eeuw voor Christus werd kalkverf gebruik. De Grieken verkozen kalk boven gips als bindmiddel voor pleistermortel. Sindsdien kende kalk een sterke groei in gebruik. Boeren gebruikten kalk om hun stallen te ontmesten, deze laag werd elk jaar hernieuwd, waardoor na enkele jaren het kalei-effect ontstond.
Ondertussen verdrong in de twintigste eeuw het cement kalk als bindmiddel. Maar tegenwoordig kent kalk terug een opmars in de restauratiewereld. Ook het kaleien is dezer dagen een zeer populaire techniek geworden. Om het effect van de boerderijen direct te verkrijgen voegt men nu vulstoffen (vb zand) aan de kalk (verschil tussen kaleien en kalken). Zo bekomt men een dunne pleister van enkele millimeters.
Vroeger werd de kalei meestal aangemaakt door de uitvoerder van het werk. Nu maken aannemers gebruik van 'kant en klare' producten. Deze producten kan men onderverdelen in drie grote groepen: op basis van kalk, op basis van kalk met toevoeging van wit cement en op basis van 'andere' bindmiddelen zoals kunststoffen. We bekijken van deze producten de grondstoffen van naderbij.
Hoewel het kaleien een gemakkelijke techniek is om uit voeren, ontstaan er problemen toch nog problemen. Daarom is het aan te raden voor elk werk, hoe klein ook, het restauratieproces te doorlopen. Hierbij bekijken we de bestaande situatie (standvastigheid, vocht & zouten, gevelstenen, …) en verbeteren deze eerst alvorens met de keuze van het product en het kaleien zelf te beginnen! Na stap voor stap te overlopen van dit proces is de kans op fouten al veel kleiner.
Monumentenzorg maakt graag gebruik van de authentieke bindmiddelen. Maar is dit bij elk monument wel aan te raden?
Algemene informatie rond het 'kaleien van gevels bij restauratie van gebouwen' is vanaf nu te vinden op de website Kalei.be.

Inhoudsopgave

Woord vooraf 6
Samenvatting 7
Inhoudsopgave 8
1 Inleiding 10
2 Wat is 'kaleien'? 11
3 Historische bindmiddelen en pleisters 13
3.1 Inleiding 13
3.2 Historische bindmiddelen 14
3.2.1 Het gebruik van kalk door de eeuwen heen 14
3.2.2 Van kalk naar andere bindmiddelen voor mortel 24
3.2.3 De vicieuze cirkel doorbroken 30
4 Van grondstof tot kalei 31
4.1 Inleiding 31
4.2 Grondstoffen 31
4.2.1 Kalk 31
4.2.1.1 Kalksteen 31
4.2.1.2 Schelpen 36
4.2.1.3 Productie 38
4.2.2 Zand 45
4.2.3 Toeslagstoffen 47
4.2.3.1 Puzzolanen 47
4.2.3.2 Wit cement 51
4.2.3.3 Kleurpigmenten 51
4.2.3.4 Marmerpoeder 52
4.2.3.5 Kalksteenmeel 52
4.2.3.6 Compaktuna 53
4.2.3.7 Acrylaten 53
4.2.4 Grondstoffen van verfsystemen 53
4.2.4.1 Caseïne 53
4.2.4.2 Kaliwaterglas (silicaten) 54
4.2.4.3 Siliconenharsen 54
4.3 Verharding van de kalkspecie 55
4.4 Hechting van kalkmortel aan de steen 58
5 De verschillende kaleiproducten 60
5.1 Inleiding 60
5.2 Kalei producten op basis van kalk 60
5.2.1 Unilit (Arte Constructo) 61
5.2.2 Wolf Jordan Kalei 67
5.2.3 RC Kalei (ReynChemie) 70
5.2.4 Calcilane Enduit (Remmers Bouwchemie) 73
5.2.5 FTB Kalei (FTB) 75

5.2.6 Bayosan RK 70 N Kalkkalei (Renofort) ... 77
5.2.7 KalkFinish (Stuc-and-Staff) ... 79
5.2.8 Histolith Kalkschlämme (Caparol) ... 81
5.2.9 Stacepro (PEC International) ... 84
5.2.10 Medolago Finish XF (PEC International) ... 87
5.2.11 Badigeon (Cantillana) ... 89
5.3 Kalei producten met cement ... 90
5.3.1 Bayosan EFP 007/01 (Renofort) ... 90
5.3.2 Seifert Kaleipoeder (Seifert) ... 92
5.3.3 PRB Tradital (Vandeweege) ... 94
5.4 Andere Kalei producten ... 96
5.4.1 Systeem met AmphiSilan (Caparol) ... 96
5.4.2 Systeem met Sylitol (Caparol) ... 99
5.4.3 SikaTop 107 (Sika) ... 102
5.4.4 SikaTop 141 (Sika) ... 104
5.5 Eigen mengsels ... 106
5.6 Overzichtstabel kaleiproducten ... 107

6 Kaleien in de praktijk ... 108
6.1 Inleiding ... 108
6.2 Stap voor stap door het restauratieproces ... 108
6.2.1 Bekijken bestaande situatie ... 108
6.2.2 Gevelreiniging en herstelling metselwerk ... 116
6.2.3 Keuze van kaleiproduct ... 120
6.2.4 Aanbrengen van de kalei ... 126
6.3 Calculatielijst product / uitvoering ... 130

7 Duurzaamheid van de kaleilaag ... 132

8 Kaleien – Monumentenzorg ... 135
8.1 Monumentenzorg ... 135
8.2 Algemene visie ... 135
8.3 Kaleien en Monumentenzorg ... 136

9 Kalei.be ... 138

10 Besluit ... 141

11 Bijlage ... 142

12 Bibliografie ... 143

1 Inleiding

Aangezien heel weinig objectieve informatie te vinden is omtrent het onderwerp 'kaleien', is de bedoeling van deze thesis 'Kaleien van gevels bij restauratie van gebouwen' deze leemte in te vullen. Deze thesis wordt gestart met de vraag 'Wat is kaleien?'. Daarna wordt de geschiedenis van kalk, specifiek voor pleisters, besproken. Vervolgens worden grondstoffen, kaleiproducten en de uitvoering van kaleiwerken besproken.
Een tweede belangrijk aspect van deze thesis is het bekijken en beoordelen van de visie van Monumentenzorg omtrent dit onderwerp.
Deze thesis wordt afgesloten met een hoofdstuk over Kalei.be, een site die gemaakt werd om bouwheren, aannemers en architecten informatie te geven over het onderwerp 'Kaleien van gevels'.

1.1 Abdij Geraardsbergen
© Stijn D'hoore

2 Wat is 'kaleien'?

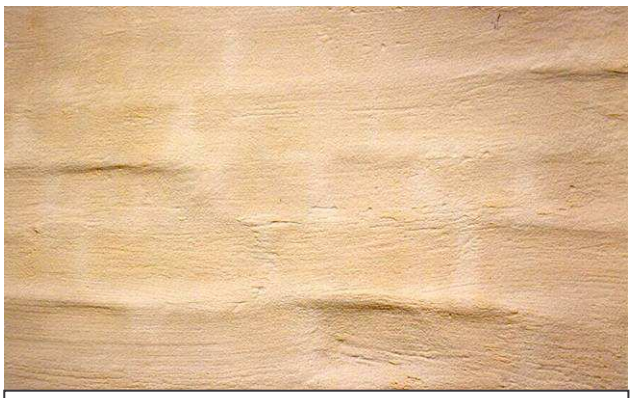
'Kaleien' is waarschijnlijk één van de minst eenduidige termen in de bouwwereld. Het is namelijk geen werkwoord dat in het woordenboek staat.
Het begint al bij de schrijfwijze: breng ik een 'kalei' aan of een 'kallei'. Beide termen worden gebruikt. Bij een navraag aan enkele taalkundigen kwam 'kalei' telkens naar voor als de meest logische schrijfwijze. Daarom zal in deze thesis rond het 'kaleien van gevels' het woord kalei (en zijn vervoegingen) met één 'l' geschreven worden.
Naar de betekenis toe wordt in deze thesis geopteerd om 'kaleien' vanuit drie aspecten te bekijken: historisch, esthetisch & technisch (huishouding muur). Het ideale kalei product/mengsel combineert deze drie aspecten, maar dit is jammer genoeg onmogelijk (zie hoofdstuk 6.2.3 'Keuze van kaleiproduct').

Historisch

Bij het eerste aspect, historisch, wordt het kaleien bekeken als een historische techniek. Nochtans is de kalei-techniek zoals we deze nu kennen nog niet zo oud. In de middeleeuwen was er al sprake van een kalklaag van enkele millimeters dik of van een dunne pleisterlaag op basis van kalk. Maar de eigenlijke techniek zoals we deze nu kennen is een vervolg op het witkalken van de stallen door de boeren. Hierbij werd elk jaar rond Pasen een nieuwe laag kalk(verf) aangebracht, waardoor na enkele jaren het typische 'kalei effect' (zie esthetisch). Omdat de mensen dit effect direct wilden zien op de muur, werd zand toegevoegd aan het kalk om zo direct een dikkere laag (van 2 tot 4 mm) te creëren. Hierdoor werd 'witkalken' (kalkverf) 'kaleien' (dunne kalkpleister).

Esthetisch

In heel wat restauraties wordt voor een kalei gekozen om esthetische redenen. Ook de term 'slemmen', dat soms wordt gebruikt als ander woord voor kaleien, duidt op het esthetische. Hierbij krijgt de gevel, meestal bestaande uit gevelstenen, een schemerig effect. Dit komt doordat de gevelstenen



2.1 Typisch kalei-effect op een oneffen muur.
© http://www.artefino.be

bedekt worden met een pleisterlaag van enkele mm's dik, waarbij de voegen, die niet volledig opgevuld worden, ervoor zorgen dat men de stenen nog door de pleister kan zien. Dit is wel een stuk 'waziger' dan bij een verflaag, maar stukken duidelijker dan bij andere pleisterlagen. Met de blokborstel zorgt men voor het typische 'strepen' effect van een kalei. De kaleien op kalkbasis zullen na enkele jaren verwering en kleurverschillen vertonen. Dit wordt door velen aanzien als een onderdeel van de esthetica van een gekaleide gevel. Veel mensen uit de hedendaagse generatie zien dit liever niet meer gebeuren, waardoor naar andere oplossingen werd gezocht.
Dit geheel zorgt voor een rustiek geheel van de gevel wat bij het renoveren van boerderijen veel wordt toegepast om een authentiek beeld te verkrijgen of bij de restauraties van kerken om de gevel in zijn oorspronkelijke staat te herstellen.
Kaleien is door zijn mooi en rustiek uitzicht tegenwoordig zeer populair bij de restauratie van woningen.

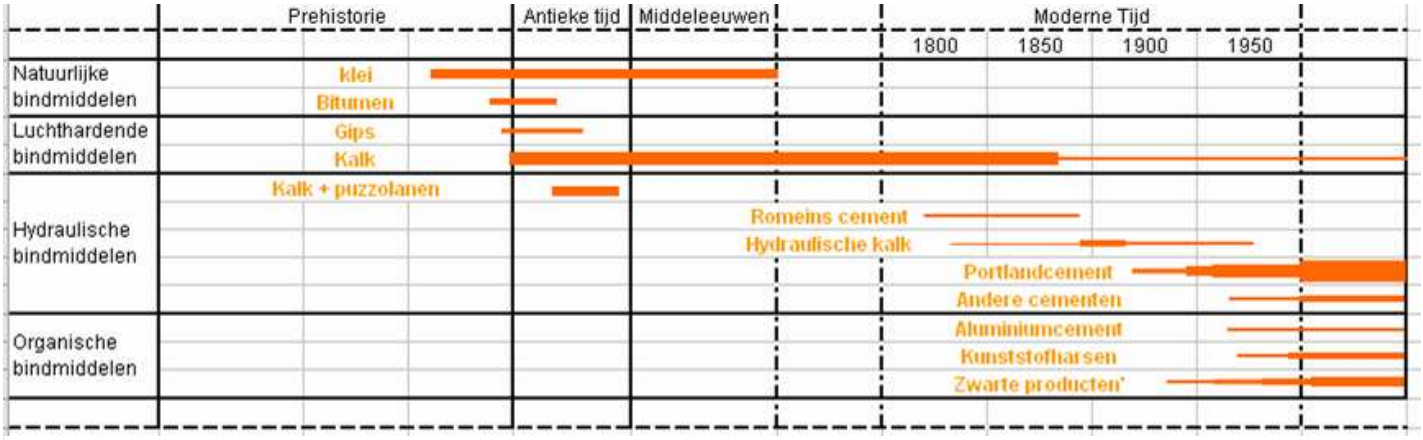
Technisch

Wat bij het 'kaleien van een gevel' niet uit het oog mag verloren worden, is het technische karakter van deze dunne pleister. Een kaleilaag is een goede bescherming van de gevel tegen slagregen en andere weersomstandigheden. Daarnaast is het zeer dampopen waardoor het vocht van binnen naar buiten kan verdampen. Doordat de pleister maar enkele millimeters dik is, kunnen de zouten vrij gemakkelijk door de pleister migreren. Sommige kaleien zorgen voor een goede buffer om de zouten op te vangen.
Een kaleilaag is geen wondermiddel zoals door sommige aannemers wordt voorgesteld. Maar het zal de muurhuishouding zeker verbeteren! Het technische aspect is dan ook het belangrijkste aspect waarnaar gekeken moet worden, wanneer het om kaleien van een gevel gaat. Hierbij mag ook de duurzaamheid niet uit het oog verloren worden.

3 Historische bindmiddelen en pleisters

3.1 Inleiding

Het is niet de bedoeling hier een gedetailleerde studie uiteen te zetten. Er zal meer een overzicht worden geschetst van de evolutie van het gebruik van bindmiddelen voor pleistermortel. Door de eeuwen heen maakte men gebruik van verschillende bindmiddelen in het bouwproces. Deze bindmiddelen waren en zijn nog altijd streekgebonden. Toch kan men een overzicht maken van de evolutie van de bindmiddelen tot vandaag. Hieronder is deze evolutie in een schema gegoten.



3.1 Schema: evolutie bindmiddelen, gebaseerd op schema's van V. Furlan en P. Bissenger

Men kan in het schema 4 grote groepen van bindmiddelen onderscheiden: natuurlijke bindmiddelen (zoals klei, bitumen, …), luchthardende bindmiddelen (gips en luchtkalk), hydraulische bindmiddelen (kalk met puzzolanen, Romeins cement, hydraulisch kalk, portlandcement en verschillende afgeleiden van deze laatste) en organische bindmiddelen (kunststofharsen en aardoliederivaten, door Furlan ook wel *zwarte producten* genoemd).
Deze thesis behandelt voornamelijk de bindmiddelen die luchthardend of hydraulisch zijn.
Uit het schema kan men besluiten dat de mens gedurende een lange periode kalk als belangrijkste bindmiddel gebruikte voor de bouw.
Klei was wellicht het eerste gebruikte bindmiddel voor mortel en pleisters. Dit besluit men uit archeologische vondsten, in Turkije (Catal Hüyük) uit de periode van 6000 voor Christus, en uit het La Tène Tijdperk (eveneens Turkije, omstreeks 450 voor Christus), waarbij men voorbeelden ontdekt heeft van het gebruik van leem en gestampte aarde als mortel. Van het gebruik van kalk zijn er geen voorbeelden bekend uit de prehistorie.

Bronnen: 1

De Egyptenaren kwamen het dichtst bij wat men kalkachtige producten kan noemen. Zij kenden nog geen kalk, maar vervaardigden een artificeel bindmiddel het branden van gipssteen tot gips dat als bindmiddel kon worden gebruikt voor mortel. Een bekend voorbeeld hierbij is de piramide van Cheops (2600 voor Christus), waarbij er een halfhydraat $CaSO_4$. 1/2 H_2O werd gebruikt.

3.2 Historische bindmiddelen

3.2.1 Het gebruik van kalk door de eeuwen heen

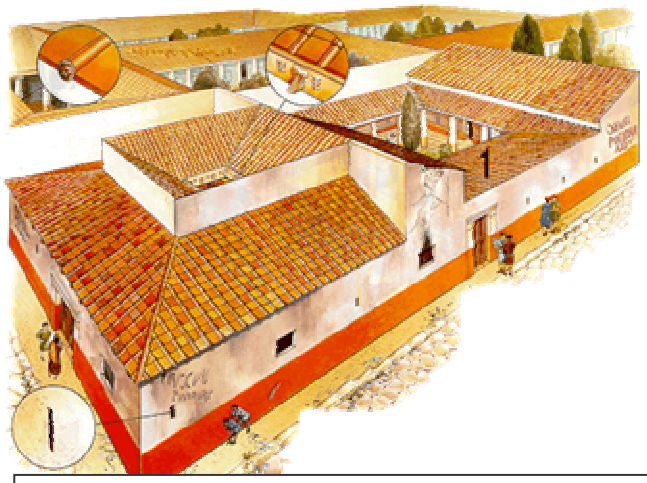
Begin van het kalktijdperk: Griekse mortel

In Griekenland werd volgens P. Martin vanaf de zesde eeuw voor het begin van de jaartelling pleisters en afwerklagen met kalk als bindmiddel op de ruwe oppervlakken van tuf- en kalksteen aangebracht. Eén van de eerste gekende toepassingen van kalkverven zijn de decoraties in de woningen in Delos en Thera, in de zevende eeuw voor Christus. De Grieken verkozen kalk boven gips als bindmiddel voor pleistermortel. Later zullen de Grieken kalkmortel ook als metselmortel gebruiken. Voorheen werden de stenen aan elkaar verlijmd met klei of leem of met een gipsmortel. Maar de Grieken gebruikten kalk voornamelijk voor stucwerk, geschilderd pleisterwerk en pleisterwerk in (water)reservoirs. De Griekse pleisters bevatten soms ook nog gips en marmerpoeder.
In Thera (Griekenland) werd een mengsel van kalk en zand gevonden waarvan het zand uit een vulkanisch poeder bestond: de zogenaamde aarde van Santorini. Hiermee verkreeg men een mortel die immuun was tegen water en zo in zekere zin te vergelijken is met de moderne mortel op basis van hydraulische bindmiddelen. Deze aarde van Santorini werd ook uitgevoerd, want sporen ervan werden teruggevonden in stucwerk in Athene. Wanneer men niet over deze aarde kon beschikken werd de hydrauliciteit van de mortel verhoogd door aan het mengsel van zand en kalk gemalen dakpanscherven of andere vormen van gemalen keramiek toe te voegen. Die techniek zou ingevoerd zijn door de Feniciërs. Deze laatste wisten dat het vermengen van gemalen keramiek met kalk de mortel resistent maakt tegen water. Het verkregen product is de voorloper van de moderne artificiële puzzolanen.

Bronnen: 1, 2

Ontwikkeling met eeuwenlange resultaten: Romeinse mortel

De kalkmorteltechnologie werd door de Romeinen tot hoge ontwikkeling gebracht. Gips en leem werden voor de vervaardiging van metselwerk vervangen door kalkmortel. Hieraan werden een hele reeks toeslagstoffen toegevoegd om de mortel de vereiste eigenschappen te geven. De Romeinen slaagden erin metselwerkstructuren en zelfs een soort beton te vervaardigen met kalk als bindmiddel. De uitgebreidheid van het Romeinse imperium heeft er ook voor gezorgd dat deze techniek wijd verspreid werd in Europa, Klein-Azië en het noorden van Afrika.



3.2 Romeins bepleisterd huis
© http://library.thinkquest.org

Marcus Vitruvius Pollio, een architect van de eerste eeuw voor Christus, geeft de meest volledige beschrijving van de samenstellende delen van een kalkmortel en hun gebruik. In zijn *Tien boeken over architectuur*, die wellicht een goede weergave zijn van de gangbare bouwpraktijk, staan veel gegevens die de technologie van de kalkmortel in zijn tijd weergeven. *Na het blussen van de kalk moet men de mortel mengen, ingeval van groevezand: drie delen zand op een deel kalk; bij rivier- of zeezand: twee delen zand op een deel kalk. Zo wordt de juiste mengverhouding verkregen. Bij toepassing van rivier- of zeezand geeft ook toevoeging van een derde deel fijngestampte en gezeefde baksteen een speciemengsel dat beter is in gebruik. Kalk gebrand uit dicht gegrainde harde steen leverde een kalk op die vooral bruikbaar was voor structureel metselwerk, terwijl kalk van een meer poreuze steen in regel meer bruikbaar was in stucwerk.*

Het vers gedolven groevezand werd als uitstekend beschouwd voor metselspecie of voor beton. Deze was niet altijd aangewezen voor pleisterwerk omdat het door zijn rijkdom bij de vermenging met kalk en stro aanleiding geeft tot krimpscheuring. Rivierzand echter werd perfect hard in stucwerk, vooral wanneer dit stuc volledig werd bewerkt met polijstinstrumenten.

Vitruvius raadt vooral het gebruik van zand uit de omgeving van de Vesuvius aan voor morteltoepassingen die met water in contact komen. Deze materialen noemt men nog altijd puzzolanen, afgeleid van de ontginningsplaats te Pozzuoli, aan de voet van de Vesuvius. Deze substantie gaf, na het mengen ervan met kalk en puin, niet alleen een prachtige mortel

Bronnen: 1, 3

die de weerstand van vele gebouwen verzekerde, maar ook een bindmiddel die eveneens bij constructie van havendammen in de zee, zelfs onder water bleek te verharden!
De band van de hydraulische eigenschap met de vulkanische oorsprong van het materiaal was hem goed bekend, maar de beschrijving van de processen die volgens hem aan de basis zouden liggen van de hydraulische eigenschappen van dit materiaal is mede ingegeven door de natuurfilosofie van de Romeinen. Daarin trachtten ze fenomenen die ze om zich heen zagen te verklaren. Ondanks dit – naar onze maatstaven – gebrekkig inzicht slaagden de Romeinen er echter wel in deze kunstmatige hydraulische kalk te vervaardigen. Met deze natuurlijke puzzolanen en met de kunstmatige puzzolanen – zoals gemalen baksteengruis – maakten de Romeinen van de luchthardende kalk een hydraulisch bindmiddel dat gebruikt werd voor metsel- en pleisterwerk. In Duitsland werden de Italiaanse puzzolanen vervangen door lokale puzzolanen als tras.

De mogelijkheid om aangepaste kalksteen te gebruiken voor het vervaardigen van natuurlijke hydraulische kalk was hen evenwel niet in die mate bekend, dat ze er doelgericht naar zochten. Zo werd in Groot-Brittannië Romeinse mortel gevonden met kunstmatig hydraulische kalk terwijl er in de buurt grondstof voor de productie van natuurlijke hydraulische kalk beschikbaar was.
Naast de samenstelling van de kalkmortel droegen de keuze van de grondstoffen en de verwerking bij aan de sterkte en de duurzaamheid van de Romeinse mortel. De uitvoering van pleisters in lagen met verschillende samenstellingen en het polijsten beïnvloedden het watertransport in de pleister en tevens het carbonatatieproces dat ten grondslag ligt aan de binding van de luchthardende kalkmortel.
Alles lijkt er dus op te wijzen dat de uitzonderlijke resultaten die met de Romeinse mortel konden worden verkregen te danken waren aan een goede controle op het brandproces en bij het blussen van de kalk, aan de homogeniteit van de mortel en aan de verzorgde uitvoeringstechniek.

J.P. Adam heeft zich met een studie van kalkovens een beeld gevormd van het branden en blussen van kalk in de antieke tijd. Hij onderscheidt drie vormen van kalkbranden:

- in een oven waar het vuur onderaan wordt onderhouden. Het branden gebeurt discontinu;
- in een oven waarin laagsgewijs kalksteen en brandstof wordt gestapeld van bovenuit. Het branden gebeurt continu door bovenaan in de oven laagsgewijs bij te laden;

Bronnen: 1, 3

- het branden in de openlucht. Dit procédé is beperkt tot gipssteen vanwege de beperkte temperatuur die ermee kan worden bereikt.

Omdat het branden van de kalk moet gebeuren bij een temperatuur van ongeveer 900°C werden de ovens zo geplaatst dat een optimale isolatie van de buitenwanden van de ovens was verzekerd. Dit was ook nodig om een vrij homogene temperatuur in de oven te verzekeren. Immers, bij een te hoge temperatuur krijgt men doodgebrande kalk die niet goed blust en niet goed bindt. Bij te lage temperatuur wordt de kalksteen onvolledig gecalcineerd en wordt dus in de mortel een gedeelte kalksteen (die niet aan de verhardingsreactie zal bijdragen) in plaats van (reactieve) kalk verwerkt. Cato de Oudere schrijft voor om de ovens in een berghelling int te graven, vaak in de groeve waar de kalksteen werd ontgonnen, en ze zo te oriënteren dat de overheersende wind de oven niet afkoelt.

3.3 Kalk branden in openlucht.
© http://www.about.ch

Het blussen van de kalk gebeurde vaak op de werf omdat het vervoer van de gebrande kalk(steen), die door het branden zowat één derde van zijn gewicht had verloren, gemakkelijker was dan het vervoer van het zwaardere kalkdeeg. Vitruvius behandelde in zijn tien boeken ook het blussen van kalk in functie van de realisatie van stucwerk. Daarbij dient de gebrande kalksteen zorgvuldig te worden geblust en vervolgens in de rot te worden gelegd. Daarbij diende de onvolmaakt gebrande kalksteen te worden verwijderd. Pas wanneer de kalk op een krachtige wijze zich vasthecht aan metalen werktuigen, konden de stellingen worden opgericht. In het Huis van Livia en de Farnesina villa in Rome, die dateren uit Vitruvius' tijdperk, konden er op de gewelven niet minder dan zes lagen worden onderscheiden. Deze bestaan uit drie raaplagen (undercoats) die samengesteld waren uit kalk, zand en puzzolanen en drie afwerkingslagen bestaande uit kalk, zand en marmer- of albastpoeder. Het gebruik van gips werd door Vitruvius sterk afgeraden.

Hij bespreekt ook de specifieke stucwerken die in vertrekken dienen te worden aangelegd die aan een hoge vochtwerking onderhevig zijn. Zo adviseert hij in kamers waarvan de muren vertrekken vanaf het grondniveau, een eerste mortellaag die samengesteld diende te worden uit kalk en gemalen baksteen en dit minstens tot drie voet boven het vloerpeil. Wanneer de muren volledig onderhevig waren aan vocht, raadt Vitruvius het gebruik van brikkenmeel aan om samen met kalk de raaplagen te vormen. Na enkele van deze lagen kon uiteindelijk een normale pleisterafwerking (kalk en marmerpoeder) worden aangebracht.

Bronnen: 1, 3

Volgens Vitruvius was vooral het meest kristallijne marmerpoeder, met nagenoeg transparante kristalen, het meest geschikt om de hagelwitte en glad gepolierde afwerking te bereiken.
Uit archeologische opgravingen in Pompeï blijkt echter dat kalk ook in de vorm van kalkdeeg verhandeld werd in amfora's, vermoedelijk naar plaatsen waar er geen ruimte was voor het maken van een kalkput voor het blussen of waar slechts kleine hoeveelheden nodig waren.
Omdat noch bij het branden noch bij het blussen alle processen even homogeen in het materiaal doorgaan en bij de verwerking van de kalk absoluut moest worden vermeden dat er nog calciumoxide in de mortel zat, raadde men aan het kalkdeeg een hele tijd te laten liggen alvorens het te gebruiken. Plinius schrijft in dit verband een bewaartijd van drie jaar voor. Om dezelfde reden was het goed dooreenmengen van kalk en zand zeer belangrijk. Dit gebeurde met een kalkhouw waarmee de kalkknollen en eventuele brokken calciumoxide konden worden verkleind.
Het uitharden van kalk wordt door Vitruvius beschreven in zijn tweede boek. Hij geeft aan hoe het komt dat men met kalk een mortel kan maken die hard wordt. Vitruvius beroept zich hierbij op de antieke natuurfilosofie die ervan uitgaat dat alle materie bestaat uit een combinatie van de vier oerelementen: water, vuur, aarde en lucht. Volgens hem is de uitharding en de binding van de kalkmortel het gevolg van de porositeit van de materialen waardoor ze goed aan elkaar hechten, alsof ze in elkaar worden verankerd via deze open poriën. Het branden van de kalksteen is in deze opvatting nodig om de openheid van de structuur van het materiaal te vergroten.
Vitrivius schreef dat met een mengsel van kalk en van aarde uit vulkanische gebieden een mortel kan worden gemaakt die bestand is tegen water en zelfs in water kan hard worden.

In de oude geschriften wordt steeds de nadruk gelegd op het gebruik van zuivere kalkstenen voor het branden van de kalk. Deze zuiverheid werd gemeten aan het gewichtsverlies bij het branden van de kalk. Dit heeft zeker tot gevolg gehad dat de natuurlijke hydraulische kalk zo laat werd ontdekt en dat men, in plaats van natuurlijke hydraulische kalk te ontginnen, eerder kunstmatige hydraulische bindmiddelen met puzzolanen vervaardigde.

Kalk in de middeleeuwen

Na onderzoek bleek dat er in de Middeleeuwen geen noemenswaardige veranderingen in de technologie van de kalkmortel plaats hebben gevonden. Dit zelfs tot in de 19^{e} eeuw. Men baseerde zich gewoon op de Romeinse technieken.

Bronnen: 1, 3

De talloze manuscripten van Vitruvius' teksten werden regelmatig door de intellectuele elite, waarvan het grootste deel verbonden was aan de abdijen en aan de hoven, geraadpleegd. Net deze hoven en abdijen waren de grootste bouwheren van deze periode!

De minder goede organisatiestructuur van de handel dwong de bouwers ertoe om de grondstoffen dicht bij de bouwplaats te zoeken. Dit verklaart wellicht de verscheidenheid aan mortelsamenstellingen die zelfs in een klein gebied kunnen worden aangetroffen. De hydrauliciteitsindex van deze mortel, die weergeeft in welke mate de mortel hydraulische bestanddelen bevat, blijkt één van de meest bepalende factoren te zijn om onderscheid te maken tussen verschillende mortels in historische gebouwen. Deze hydrauliciteit is het gevolg van het (bewust en onbewust) gebruik van kalksteen die met kleibestanddelen vervuild is of van het gebruik van kunstmatige of natuurlijke puzzolanen als toeslagstof bij de kalkmortel. Het aandeel van de verschillende samenstellende delen van de mortel loopt vaak sterk uiteen. Zo leidt men uit analyses af dat in sommige gevallen de mortel meer kalk dan zand bevat; in andere gevallen is dat omgekeerd. Blijkbaar nam men het niet zo nauw met de samenstelling van de mortel. Dat zou verklaard kunnen worden door de onzuiverheden van de kalk of van het zand.

3.4 Kalkoven uit middeleeuwen
© http://www.pensiun-heinrich.com

Kalk vervaardigd uit schelpen en kalksteen wordt ook gelijktijdig gebruikt. Dit blijkt onder andere uit Utrechtse domrekeningen van 1469. Naast Leidse kalk (schelpkalk) wordt ook kalk uit Arnhem (steenkalk) genoemd.

De grondstoffen voor de fabricage van natuurlijke hydraulische kalk zijn in de streek van Doornik in overvloed aanwezig. Kalk uit Doornik werd stroomafwaarts langs de Schelde veel gebruikt. De aanwezigheid van deze minder zuivere kalksteen aan de Schelde zou er toe bijgedragen kunnen hebben dat deze hydraulische kalk werd toegepast, zonder dat de gebruikers deze hydraulische eigenschappen voor ogen hadden. Het was wellicht slechts de gemakkelijkst verkrijgbare kalk. Deze kalk werd droog geblust. Men deed dit door de kalk te mengen met nat zand. Binnen een redelijk korte termijn (van enkele dagen of enkele weken) werd de kalk vervolgens verwerkt. Daarom is het goed mogelijk dat de natuurlijke hydraulische kalk gedurende de eerste dagen na het blussen aanvoelde als een kalkhydraat.

Bronnen: 1, 3

3.5 Schelpwining in de middeleeuwen
© http://www.sakrete.nl

In Nederland maakte men gebruik van schelpenwinning ten behoeve van de kalkproductie. Deze schelpenwinning gebeurde voornamelijk langs de Noordzeekust, met de dorpen Scheveningen en Katwijk als zwaartepunten. Een groot deel van de gewonnen schelpen werd via de Oude Rijn of Kromme Rijn vervoerd naar branderijen bij Zoeterwoude en Alphen aan de Rijn. De veengebieden in deze streken leverden de turf, die nodig was om de schelpen tot kalk te branden.
Aanvankelijk was de bereidingswijze van kalk zo gebrekkig dat omvangrijke hoeveelheden ongebrand bleven en bij een volgende lading opnieuw werden ingezet. De schelpkalk uit de Middeleeuwen bevat als gevolg van de gebrekkige bereidingswijze nog schelpengruis en zelfs hele schelpen die niet gebrand waren.

De laatste jaren zijn we beter gedocumenteerd geraakt rond de pleistertechnieken uit die tijd. Hiervan is de Sint Laurentiuskerk te Ename (einde van de tiende eeuw) een mooi voorbeeld. De eerste pleister die omstreeks het jaar 1000 mag worden gedateerd, ziet eruit als een later zo klassiek geworden kalkmortelbepleistering met zand, waarin een tamelijk hoge fractie zwart materiaal voorkomt en die tot 13mm dikte oploopt. Deze pleister was zeer regelmatig aangebracht en werd naderhand afgestreken met de borstel. De kleine regelmatig verspreide kalknodules (ca. 200 µ) wijzen op een gebruik van droog gebluste kalkmortel. Een tweede pleister die zacht en zanderig is en een veel onregelmatiger karakter vertoont (1 mm tot 0,5 cm) lijkt eerder als kaleilaag te zijn aangebracht ter voorbereiding van de abstraherend-decoratieve schilderingen die toen in de kerkruimte werden aangebracht. Dan volgt in het centraal onderzocht timpaan een voorbereidende bepleistering van de daarop volgende schildering van de Christus in Majesteit die enkel in deze zone werd aangebracht. Deze bestaat uit een kalk-zandmortel van 0,5 tot 1 cm dikte waaraan intentioneel gemalen bouwkeramiek of aardewerk werd toegevoegd. Deze pleisterlaag dateert van ca. 1010 – 1020 en grijpt terug naar de Romeinse pleistertraditie.
In een studie van M.C. Laleman en P. Raveschot van de zogenaamde 'Stenen' in het Middeleeuwse Gent blijkt dat men de bepleistering dikwijls liet voorafgaan door het royaal platvol zetten van de voegen. Dit gebeurde met een tamelijk zanderige mortel die vele kleine kalknodules bevatte, samen met plantenresten en vele brokjes ongebrande Doornikse

Bronnen: 1, 3

kalksteen. Deze nog vrij onregelmatige uitvullingslaag was overtrokken met een veel fijnere en hardere pleisterlaag die varieerde van 2 tot 12 mm die duidelijk bindmiddelrijker was en kleinere noduletjes vertoonde. Deze eveneens met fijn groevezand samengestelde laag werd met de borstel effen gestreken.
Op de bestaande, volmaakt gladde en gekantrechte pijlers in Doornikse kalksteen (Kapel van Bijloke te Gent) werd de draagpleister beperkt tot een engobe van maximaal enkele mm. De baksteendrager in groot baksteenformaat werd op hetzelfde moment voorzien van een stevige pleisterlaag van gemiddeld 1 cm dikte. Ook verder in de gotische ontwikkeling bleef het dikkere, soms tweelaags (rekening gehouden met het platvol zetten) pleistersysteem beperkt tot de bakstenen gedeeltes (bvb De gewelven). De fijner gehouwen natuursteen die een steeds belangrijker element uitmaakte van de constructie werd meestal enkel voorzien van een dunne kaleilaag. Deze fijne kaleilaag is traditioneel een fijne mortelspecie die met de borstel in combinatie met de troffel kan worden aangebracht in de vorm van een engobe (mortelpap) waarin, in tegenstelling met een kalkwitsellaag wel degelijk een vulstof (zand) verwerkt zit. Het is ook in deze zin dat we de term terugvinden in zowel de Brabantse als Vlaamse uitdrukkingswijzen. Soms beperkte men zich echter tot het zorgvuldig platvol voegen en met de borstel gelijkstrijken van de pleisterhuid op de natuursteen.

We kunnen dus wel stellen dat de Westerse pleistertraditie, doorheen de verschillende stijlontwikkelingen, in grote lijnen teruggaat naar de Romeinse periode en dit zelfs geldt voor de late Middeleeuwen. De eigenlijke pleistertechniek zou echter nooit meer het complexe technisch karakter vertonen zoals dat in Vitruvius' beschrijvingen is weergegeven.

De Renaissance herontdekt de Romeinse mortel

In de Renaissance ontleenden architecten niet alleen hun vormentaal, maar ook technieken aan de Romeinse oudheid. De Romeinse morteltechnologie werd opgenomen in bekende 'voorbeeldboeken' uit die tijd. De beschrijvingen van het gebruik van kalk en van het effect van de toeslag van puzzolanen van Vitruvius werden daarbij min of meer overgenomen.
Leone Battista Alberti, die de geschriften van Vitruvius doet herleven, is nauwkeuriger en schrijft dat de bouw af en toe moet worden onderbroken in afwachting van de uitharding van de mortel en dat het metselwerk goed moet kunnen drogen. Hier wordt reeds een belangrijk aspect van de carbonatatie aangegeven, namelijk de noodzakelijk droging van de mortel. Pas als de mortel voldoende is gedroogd kan de carbonatatie en daarmee dus de uitharding beginnen. De juiste theoretische achtergrond van dit proces kent men echter nog

Bronnen: 1, 3

niet. In die tijd moet men nog steeds steunen op dezelfde opvattingen als Vitruvius om de kalkcyclus te verklaren.

In de lage landen wijzigde tijdens deze periode de bouwpraktijk met betrekking tot het gebruik van kalk en kalkmortel slechts in geringe mate. De verschillende samenstellingen en doseringen van de mortel berusten op regionale verschillen die op hun beurt beïnvloed worden door de beschikbare (locale) grondstoffen. Transport van materialen blijft duur.
Er komt met de verdere verstening van de architectuur meer aandacht voor de kleurige afwerking van de gevels en aandacht voor verzorgd voegwerk. Zowel voor de pleisters als voor de verven was kalk een begeerde grondstof.

Kalk in de 17e eeuw

Het commentaar van Perrault bij de vertaling die hij maakte van *'De tien boeken over architectuur'* van Vitruvius geeft een goed beeld van de interpretatie die men in de zeventiende eeuw geeft aan de processen van de kalkcyclus. Perrault steunt op de principes van het *iatro-chemisch* gedachtegoed om Vitruvius' redenering te verbeteren. Dit gedachtegoed over de samenstelling van de materialen (de voorloper van onze scheikunde) vangt aan tijdens de eerste helft van de zestiende eeuw. Paracelsus was er een voorloper van. Voor hem bestonden de stoffen uit drie elementen: kwik, zwavel en zout. Ontologisch gesproken, stelde kwik het actieve geestelijke, zout het passieve lichamelijke en zwavel het tussen beide bemiddelende voor. Gebruikmakend van dat verklaringsmodel stelt Perrault dat er wel wat waarheid schuilt in de uitspraak van Vitruvius aangaande wat er gebeurt wanneer de kalk gebrand en geblust wordt en later uithardt. Het waterverlies dat volgens Vitruvius de oorzaak is van het verlies aan sterkte is echter, volgens Perrault, het verlies aan vluchtige en zwavelhoudende zouten door het branden van de kalksteen. Het uitharden is het gevolg van het weer opnemen van deze zouten. De toename van de sterkte door het mengen van de kalk met het zand en de stenen is, nog steeds volgens Perrault, het gevolg van de uitwisseling van de zouten tussen het zand, de stenen en de kalk. De uitharding (carbonatatie) kan zeer lang duren omdat het lang kan duren voor alle zouten, die uit de steen en het zand moeten komen, weer opgenomen zijn door de kalk.
Het is opvallend dat hier sprake is van vluchtige zouten, wat men zou kunnen associëren met iets dat uit de lucht wordt opgenomen. Maar volgens Perrault komen deze bij de uitharding noodzakelijke bestanddelen uit het zand en de (bak)stenen. Dat koolzuurgas uit de lucht een rol speelt kon hij nog niet vermoeden, omdat koolzuurgas nog niet bekend was.

Bronnen: 1, 3

3.6 Witgekalkte boerderij
© Stijn D'hoore

In deze periode leerden de boeren het *kalken* van de stalmuren kennen. Boeren kalkten hen muren regelmatig opnieuw wit om ze op te frissen en omdat deze ook een desinfecterende functie heeft. Kalkverf heeft na carbonatatie nog een pH tot ongeveer 8. Omwille van deze hoge pH-waarden bezit het product schimmelwerende, bacteriedodende en ontsmettende eigenschappen. Hierdoor worden de muren beschermd tegen de meststoffen van de dieren. Of ze dit toen al wisten is onduidelijk.
Doordat de boeren dit elkaar jaar rond Pasen herhaalden, kreeg men na enige tijd een laag van enkele mm's. Hierdoor ontstond het typische 'slem'effect dat het kaleien esthetisch typeert. Het grote verschil (zoals in de inleiding beschreven) is dat in een kalei zand is toegevoegd om direct enige dikte te bekomen.

Kalk in de 18e eeuw

Uit *Le guide de ceux qui veulent bâtir*, van de architect Nicolas le Camus de Mézières, blijkt hoe, op het ogenblik dat elders de chemische kennis beschikbaar komt om de hydraulische reacties te kennen, de alchemie nog steeds het werken met kalk beheerst. Het handboek noemt de beste vindplaats van kalksteen in de omgeving van Parijs (die van Senlis is de beste) en beschrijft de ovens. Voor het branden van de kalksteen wordt een oven gemaakt die binnenin elliptisch is. Goede kalksteen onderscheidt zich volgens deze auteur van andere door het heldere geluid dat men krijgt bij het tegen elkaar slaan van de gebrande kalkstenen, door de stevigheid en door de egale kleur die melkwit moet zijn. Goede kalksteen geeft gebrande kalk die goed geblust kan worden en tweemaal zoveel kalkdeeg geeft als het volume van de gebrande kalk. De kalk wordt beter door hem te laten rusten.

3.7 Kalkoven
© http://www.deregenboogdedemsvaart.nl

Bronnen: 1, 4

Adriaan Bommenee, de stadsbouwkundige van Veere (Zeeland) in het midden van de achttiende eeuw, heeft zijn bevindingen op schrift gesteld. Uit het *Testament van Bommenee* blijkt dat de verschillende soorten kalk, zoals Doornikse of Luikse kalk, niet voor alle toepassingen geschikt waren, en dat kalk lang niet altijd goed werd verwerkt.

Volgens Bommenee wordt Doornikse kalk gebrand met kolen en heeft het een grauwe kleur. Het wordt veel gebruikt voor waterwerken en funderingen. Kalk van *Causinsen steen* uit *Heenegrouwe* wordt gebrand met hout en is witter dan de Doornikse kalk. Het lijkt meer op de kalk uit Luik. Bommenee stelt dat Luikse kalk, die wordt verhandeld in Dordrecht, de belangrijkste steenkalk is in Nederland. Het wordt door hem geschikt geacht voor allerlei soorten werk!

3.8 Binnenzijde kalkoven
© http://www.deregenboogdedemsvaart.nl

Naast het gebruik van steenkalk beschrijft hij het gebruik van schelpkalk. Schelpkalk wordt gebrand met Friese of Groningse turf en het is schraler dan steenkalk. In Zeeland wordt het voornamelijk gebruikt binnenshuis, voor grauwe gevels en voor daken. In noord Nederland en in enkele grote steden worden schelpkalk voor allerlei werk toegepast.

Bommenee gelooft dat schelpkalk in oude tijden werd geput (in de rot gezet). Wanneer voor waterwerken kalk wordt gebruikt, gemengd met cement (tras), wordt volgens Bommenee vaak te weinig tras gebruikt waardoor de mortel te vet is.

Gewoonlijk wordt volgens hem een zak kalk gemengd met een halve zak tras. Naar zijn mening kan voor waterwerken beter een sterke trasmortel worden gebruikt, bestaande uit vier zakken steenkalk en drie zakken tras. Schelpkalk is zijns inziens schraler dan steenkalk en voor een sterke trasmortel is het goed wanneer op een zak kalk een halve zak tras wordt toegevoegd.

3.2.2 Van kalk naar andere bindmiddelen voor mortel

De achttiende eeuw is een scharnierperiode omdat daarin de aanzet wordt gegeven tot de ontdekking van de hydraulische reactie. Van deze reactie werd reeds eeuwen geprofiteerd, maar men had deze nog niet begrepen op de manier waarop we dat tegenwoordig doen

Bronnen: 1

(wat niet betekent dat de op basis van ervaring opgebouwde empirische kennis minderwaardig zou zijn).
Het traditionele gebruik van luchtkalk wordt in deze periode echter voortgezet en vastgesteld is dat de verfijnde onderscheiden die we bijvoorbeeld bij Vitruvius terugvonden ook in bouwbestekken uit de achttiende eeuw kunnen worden teruggevonden.
De kalkmortels blijven in onze ogen nog erg rijk aan kalk. In bestekken uit de achttiende en negentiende eeuw vindt men verhoudingen van twee delen zand op een deel kalk of zelfs verhoudingen van één op één.

Amsterdams of Caziuscement

Om minder afhankelijk te zijn van de invoer van tras ging men in de tweede helft van de achttiende eeuw op zoek naar alternatieven voor tras. Deze zoektocht werd mede ingegeven door de al maar stijgende prijs van tras.
In 1789, voor de prijsexplosie, leidden de hoge kosten van tras al tot de uitvinding van zogenaamd *Amsterdams cement* door Adriaan de Booys. Dit roodachtig poeder met hydraulische eigenschappen verkreeg men door uit het IJ gebaggerde klei te bakken en na afkoeling fijn te malen. De klei, die afkomstig was uit de Amsterdamse haven, werd voor het branden eerst op land uitgestort en gedroogd. Dat werd dan ook wel *beklonken zuivere molenklei* genoemd. Voor de productie van Amsterdams cement werd in 1790 in Amsterdam een fabriek opgericht die, door gebrek aan belangstelling, in 1800 weer moest sluiten.
Uit een verslag van het Koninklijk Nederlandsch Instituut blijkt dat de stof zeer geschikt is om waterdichte werken te maken. De stof versteent echter niet zo snel als tras, maar na dertien weken is er geen verschil meer. Amsterdams cement zou ook een betere hechting aan de stenen gehad hebben en was dichter dan de Duitse tras.
In navolging van Booys produceerde U.W.T. Cazius uit Utrecht sinds 1792 ook een kunstcement. Hij gebruikte naar eigen zeggen klei uit de Vaartsche Rijn en produceerde een rode en een grijze cement.
Omdat een commissie onderzoek in 1810 vond dat het rode en grijze Utrechts cement weinig tot geen trekkracht bezat, werd de productie van Casius cement in 1810 beëindigd. Casius ging samenwerken met Booys en kreeg in 1810 voor dertig jaar een octrooi voor het produceren van Amsterdams cement. Om het gebruik te stimuleren werd bij veel werken voor de overheid het gebruik van Amsterdams cement voorgeschreven. Door particulieren werd het weinig gebruikt en na 1840 raakte het in onbruik.

Bronnen: 1

Ontdekking van de hydraulische reacties

Zoals eerder vermeld, slaagden de Grieken en Romeinen er reeds in mortels te maken die onder water hard konden worden. De chemische verklaring van de hydraulische reactie is te danken aan de proeven die Smeaton in 1756 verrichtte bij zijn zoektocht naar een procédé voor de vervaardiging van een kalk die waterbestendig moest zijn.
Uit de chemische analyse van de kalksteen die gebruikt werd voor hydraulische kalk concludeerde hij dat *de aanwezigheid van klei in de kalksteen… de belangrijkste, misschien wel de enige, bepalende factor… voor de hydrauliciteit moet zijn*.
De invloed van de Romeinse traditie moet deze vondst vertraagd hebben, aangezien deze voorschreef om zuivere kalksteen te gebruiken, die dus weinig hydraulische onzuiverheden zoals klei bevatte. De steen werd immers gekeurd op zijn gewichtsverlies bij het branden. Dat moest één derde van het gewicht van de steen bedragen.

Kalk en andere bindmiddelen in de negentiende eeuw

Een nieuwe stap in deze ontwikkeling was het *Roman cement,* ook wel *Parkers cement* genoemd. Grondstof daarvoor was mergel, een kalksteen met een hoog percentage kleimineralen. (De Nederlandse mergel – Maastrichter steen – is eigenlijk geen mergel, maar juist een tamelijk zuivere kalksteen.) Voor de vervaardiging van *Roman cement* werd mergel gebrand (op een lagere temperatuur dan portlandcement, zodat geen klinkervorming plaatsvond). Dat leverde een natuurlijk hydraulisch bindmiddel op, met een hoog percentage klei mineralen. *Parkers cement* werd gepatenteerd in 1796 en werd vooral gebruikt voor pleisterwerk en ornamenten, maar ook voor navoegwerk.

Rond 1812 toonde Vicat aan dat de hydrauliciteit van het bindmiddel het gevolg is van het samen branden van kalk en bestanddelen van klei. Onder invloed van de warmte is er eerst ontwatering van de klei, vervolgens een chemische ontbinding van de kalk en tenslotte een chemische binding tussen de levende kalk (CaO) en het siliciumoxide, ijzeroxide en aluminiumoxide uit de kleimineralen. Afhankelijk van het kleigehalte, de baktemperatuur en de duur van het branden loopt de reactie meer of minder ver door en dat bepaalt de graad van hydrauliciteit.
De werken van Vicat vormen de wetenschappelijke basis voor al het later verrichtte onderzoek naar de hydrauliciteit van bindmiddelen.

Bronnen: 1

De door Smeaton en Vicat toegepaste onderzoeksmethoden getuigden van het nieuwe wetenschappelijke denken. Na de natuurfilosofie uit de oudheid (Vitruvius) en het iatro-chemische denken van Perrault wierpen de moderne wetenschappen een nieuw licht op de fenomenen die ten grondslag liggen aan de uitharding van kalk en hydraulische bindmiddelen. De volledige kalkcyclus werd zo steeds beter begrepen.

In die tijd was al vele jaren een discussie gaande, betreffend het verschil tussen steenkalk en schelpkalk. Brade spreekt hierover in zijn Bouwkundig Handboek: *Doch daar de schelpkalk ook zeer goed en deugdzaam werk oplevert, en aan een groot aantal ingezetenen een bestaan verschaft, vermeenen wij derzelver gebruik, waar zij maar eenigzins gebezigd kan worden, niet te moeten afraden, te meer, daar zij zich met minder moeite van de steenkalk bewerken laat; komende het gebrek van het doorslaan der vochtigheid, hetwelk men aan deze kalk dikwijls wil bemerkt hebben, welligt niet zoo zeer van de schelpkalk zelve, als wel daarvan, dat zij met te weinig tras, of te veel zand is vermengd geworden.*

Cement

De betekenis van de term 'cement' is in de negentiende eeuw nog niet eenduidig. Enerzijds wordt het gebruikt voor hydraulische kalkmortels en anderzijds voor natuurlijke en synthetische puzzolanen.
Brade gaat in zijn handboek uitvoerig in op proeven die in Nederland en omringende landen worden gedaan om vast te stellen welke bestanddelen van de cementen verantwoordelijk zijn voor het hydraulische gedrag. Volgens hem bevatten de cementen allemaal dezelfde bestanddelen: *aluinaarde, kiezelaarde, kalk* en *ijzerverzuursel* maar in verschillende verhoudingen (zie tabel).

Samenstelling van verschillende puzzolanen
Uit Handboek van Brade

	Aluinaarde (Aluminiumoxide)	**Kiezelaarde** (Siliciumoxide)	**Kalk** (Calciumcarbonaat)	**Ijzerverzuursel** (Ijzeroxide)
Puzzolaanaarde	40	35	5	20
Tras	28	57	6,5	8,5
Kunstcement (Amsterdams cement)	20	57	5,5	17,5
Doornikse asch	40	44	7,5	8,5

Bronnen: 1

Hij concludeert dat om cementen te maken die onder water direct verharden, kalk moet worden gemengd met stoffen met een zo klein mogelijk deel aan aluinaarde (aluminiumoxide) en magnesia (magnesiumoxide) en een zo groot mogelijk deel aan metaalverzuursel (ijzeroxides) en kiezelaarde (siliciumoxide).

In *Bouwkundig Magazijn of Schetsen voor Handwerklieden*, uitgegeven in Gorinchem in 1843, worden verschillende mortelsamenstellingen gegeven die alle gebaseerd zijn op kalk (steenkalk zowel als schelpkalk), zand en eventueel tras.
Er is sprake van de volgende mortels:

- *Gemeene menging* bestaande uit kalk en zand voor muren die droog bleven;
- *Basterd tras* bestaande uit kalk, zand en tras voor metselwerk even onder en boven de grond;
- *Sterke tras*, een mengsel van kalk en tras (zonder zand), voor constructies die in het water stonden.

In het handboek van Devillez, uitgegeven in 1869 te Bergen, blijkt dat de opkomst van cement in België veel sneller verliep dan in Nederland.

De overweldigende opkomst van portlandcement

In 1824 neemt Joseph Aspdin, een metselaar uit Wakefield, een octrooi op een cement waarvan hij zei dat deze zo hard was als de steen van Portland. De samenstelling van dit portlandcement is sindsdien sterk geëvolueerd. L.C. Johnson (1835) ontdekt dat de klinker die ontstaat door het sinteren (gedeeltelijk smelten) van de kalk en de kleiachtige bestanddelen, veel betere resultaten geeft, als deze maar fijn gemaken wordt. Wat wij nu kennen als portlandcement is het product dat wordt verkregen door het malen van de klinker die ontstaat uit het verhitten tot 1450°C van de grondstoffen, waaraan gips – als bindingsvertrager – is toegevoegd.
Sinds de negentiende eeuw zijn de basisprincipes van de productie van portlandcement niet veranderd, maar wel zijn door verder wetenschappelijk onderzoek allerlei verfijningen en varianten van dit cement ontwikkeld.

In de negentiende eeuw is België een grote exporteur van hydraulische kalk. De kalk werd in de streek van Doornik ontgonnen en gebrand. Daarvan getuigen nog verschillende grote kalkovens. Vanwege de daarvoor geschikte samenstelling van de daar ontgonnen kalksteen

Bronnen: 1

werd later overgeschakeld op de productie van cement, een industrietak die daar nog steeds belangrijk is.

Vanaf het begin van de twintigste eeuw komt de portlandcement als bindmiddel sterk opzetten en vervangt daarbij gaandeweg de luchthardende en hydraulische kalk in de metselmortel in geheel Europa en de Verenigde Staten van Amerika. Het schema van figuur (zie inleiding) vat deze evolutie van de bindmiddelen samen.

En stilaan raakt kalk in de vergeethoek

Vanaf het einde van de negentiende eeuw en zeker vanaf het begin van de twintigste eeuw nemen portlandcement voor de metselmortel en gips voor het pleisterwerk de overhand. De opkomst van de portlandcement is in veel opzichten revolutionair. Het sprak tot de verbeelding van veel architecten en bouwers dat met de portlandcement materialen konden worden gemaakt die al na enkele dagen zeer sterk werden. Kalkmortel deed er veel langer over om uit te harden en haalde nooit zo'n grote druksterkte. De (toen) kleine cementindustrie is ook zeer vooruitziend geweest door een uniform systeem van kwaliteitsnormen te organiseren, iets waarin de kalkindustrie niet geslaagd was. De homogeniteit van de kunstmatig vervaardigde portlandcement was een groot voordeel bij de uitwerking van dergelijke normen. Bij de productie van kalk, die meer afhankelijk was van de gebruikte grondstoffen, lag een dergelijke normalisatie toen niet voor de hand. Tenslotte heeft de cementindustrie een geweldige markt kunnen veroveren dankzij haar wereldwijde organisatie met een uitgebreid onderzoeksprogramma en een belangrijke promotieactiviteit.

Het geloof in de grote sterkte en de snelle uitharding van portlandcement heeft ertoe geleid dat veel architecten in het begin van de twintigste eeuw het aspect duurzaamheid uit het oog verloren. De mortel werd in de Verenigde Staten in de periode 1915 - '30 steeds rijker aan cement. Kort daarop ontstond een epidemie van lekkend metselwerk in gebouwen die met zandcementmortels waren gebouwd. Een nieuwe commerciële activiteit zag het daglicht: de waterdichtingsfirma's. De brosheid, de grotere krimp en de minder goede verwerkbaarheid van deze (rijke) cementmortels leidden ertoe dat de hechting van de mortel aan de baksteen minder volledig was, waardoor er meer gevaar was voor waterdoorslag door het metselwerk. Daarop ging in de Verenigde Staten de slinger weer de andere kant op en werd weer meer kalk in de metselmortel gebruikt.

Bronnen: 1

Verschillende andere pogingen werden ondernomen om de verwerkbaarheid van de mortel te verbeteren zonder kalk. Hieruit is de *masonry cement* ontstaan, bestaande uit cement waaraan (goedkopere) gemalen kalksteen werd toegevoegd. De chemische industrie ontwikkelde daarna luchtbelvormers en superplastificeerders om de verwerkbaarheid van de cementmortels te verbeteren. Het gebruik van kalk en portlandcement als bindmiddel blijft echter vrij courant in de Verenigde Staten alhoewel er een hevige controverse bestaat tussen de voorstanders van *masonry cement* en die van *lime-cement mortar*.
In België is het gebruik van kalk in metselmortel eerder afgenomen. Toch lijken een aantal onderzoeken en trends in de bouw te wijzen op een weer stijgende belangstelling voor de eigenschappen van kalk. De interesse in de restauratiesector tezamen met de aandacht voor duurzame bouwen lijken de laatste jaren toch een kentering in de verminderde aandacht voor kalk te veroorzaken.

3.2.3 De vicieuze cirkel doorbroken

Met de opkomst van portlandcement als bindmiddel van mortels is ook de kennis van kalkmortels en de vaardigheid om er mee om te gaan grotendeels verloren gegeaan. De bouwers van nu weten nog maar nauwelijks wat kalk precies is.
In de verdere hoofdstukken worden deze aspecten nog ruimschoots behandeld, wanneer er over de verschillende kaleiproducten wordt gesproken!

Bronnen: 1

4 Van grondstof tot kalei

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt ondermeer de verschillende grondstoffen besproken die de verschillende kaleiproducten bezitten. Een kalei bestaat in principe uit kalk en zand, maar hieraan worden verschillende andere grondstoffen toegevoegd zoals tras, marmerpoeder, wit cement, … Dit verschilt wel van product tot product! De meeste producenten hebben verschillende kaleiproducten in hun gamma waarbij verschillende grondstoffen worden gecombineerd.
De meeste aandacht zal in dit hoofdstuk uitgaan naar productie van het bindmiddel kalk uit kalksteen en schelpen, het blussen van kalk en de menging tot een kalkspecie en waarop hierbij gelet moet worden. Wanneer de kaleispecie is verwerkt als 'gevelbepleistering', zal deze gaan uitharden. De processen die hiervoor verantwoordelijk zijn worden in 4.3 behandeld.
De producenten bleven niet stilzitten en nieuwe producten met nieuwe grondstoffen zoals siliconenhars en silicaten verschenen op de markt. Ook deze nieuwe grondstoffen worden in dit hoofdstuk uitvoerig besproken! De samenstellingen van de kaleiproducten die tegenwoordig op de markt te vinden zijn worden pas in het volgende hoofdstuk besproken.

4.2 Grondstoffen

4.2.1 Kalk

4.2.1.1 Kalksteen

Het ontstaan van kalksteen

Steenkalk wordt verkregen door het bij circa 900°C branden van de grondstof kalksteen. Bij dit branden ontstaat calciumoxide, de *levende kalk*, die vervolgens met water wordt geblust tot calciumhydroxide, ook wel *portlandiet*, of kortweg *kalk* genoemd. De grondstof kalksteen

Bronnen: 1

is een gesteente, dat ontstaan is door verharding van carbonaatafzettingen (kalkafzettingen), die in water (in een zee of een meer) zijn gevormd door anorganische of organische processen. Door hun wijze van ontstaan, namelijk de opeenvolgende sedimentatie, of accumulatie van carbonaat, behoren de kalkstenen tot de zogenoemde *sedimentaire gesteenten*.

Onder de anorganische processen worden alle vormen van neerslag van carbonaat verstaan, waarbij het carbonaat ten gevolge van oververzadiging uit het water neerslaat. Dit kan bijvoorbeeld optreden, wanneer koud zeewater, waarin carbonaat is opgelost, door de zon wordt opgewarmd. Omdat in warm water minder carbonaat kan oplossen dan in koud water, slaat het carbonaat neer in de vorm van zeer fijne carbonaatdeeltjes, die langzaam op de bodem van de zee neerdwarrelen. Daardoor ontstaat daar een laag kalkmodder. Kalk kan ook op of in het sediment zelf neerslaan als cement tussen de korrels of als kalkbolletjes (peloïden, oölieten). Wanneer kalk neerslaat bij warme bronnen worden gesteenten als travertijn gevormd.

4.1 Kalksteen
© http://www.dahab.nl

Bij organische processen die het ontstaan van carbonaatafzettingen tot gevolg hebben is de kalk afkomstig uit de skeletjes van zeediertjes, zoals schelpen, koralen, kalkalgen en zeer kleine, in het water zwevende organismen. Deze organismen maken zelf hun kalkskelet door het in het zeewater opgeloste carbonaat aan het water te onttrekken. Dit wordt omgezet in calciumcarbonaat, in de vorm van de mineralen *aragoniet* en *calciet*. Zowel aragoniet als calciet zijn calciumcarbonaatmineralen, maar ze zijn in verschillende kristalroosters uitgekristalliseerd. Calciet bevat naast calcium ook meer of minder magnesium (respectievelijk hoog- of laag magnesium-calciet). De ionen van calcium-, magnesium- en bicarbonaat worden met de rivieren naar zee aangevoerd. Daarnaast neemt het zeewater ook koolzuurgas uit de lucht op. Wanneer de organismen afsterven, vergaan hun weke delen en blijven hun kalkskeletjes op de zeebodem achter. Zo kan een dik pakket van kalkskeletjes ontstaan.

Bronnen: 1

De door neerslag of door accumulatie van kalkskeletjes gevormde carbonaathang bestaat tussen de componenten (skeletjes, schelpen, en dergelijke). De carbonataatafzettingen zijn nog niet verhard tot kalksteen. Pas na verstening (verkitting) van de carbonaatafzettingen wordt van kalksteen gesproken.

Het proces van verstening is een zeer langdurig proces. Ten gevolge van de druk van bovenliggende pakketten nog los materiaal treden veranderingen op in diepere delen van de afzetting. Daarbij worden de grove componenten (bijvoorbeeld schelpen) door een *cement* aaneen gekit. Dit cement bestaat ook uit carbonaat en kan bijvoorbeeld door druk gerekristalliseerde kalkmodder zijn. Bij het verhardingsproces wordt al het aragoniet en hoogmagnesium calciet omgevormd tot laagmagnesium calciet. Veel later kunnen, ten gevolge van grootschalige geologische processen, zoals gebergtevorming, de oorspronkelijk horizontaal afgezette kalksteenlagen opgeheven en geplooid worden. Hierdoor zijn gebergten ontstaan van kalksteen, zoals de Ardennen in België en Juragebergte in Frankrijk. Het lijkt bijna onvoorstelbaar dat deze kalksteengebergten zijn opgebouwd uit gesteenten, die miljoenen jaren geleden op de bodem van een zee zijn gevormd.
Om de verschillen in de diverse kalksteenafzettingen te kunnen begrijpen is het noodzakelijk te weten dat het aardoppervlak er gedurende de lange, geologische geschiedenis niet altijd heeft uitgezien zoals wij hem nu kennen. Contineten en oceanen groeiden aan en verplaatsten zicht ten opzichte van elkaar. 'Nederland' en 'België' hebben daardoor niet altijd in de gematigde klimaatzone gelegen – voor lange perioden heerste er hier een subtropisch of zelfs tropisch klimaat. Wanneer het land dan werd overspoeld door de zee konden er bijvoorbeeld koraalriffen worden gevormd.

In andere perioden zoals in het *Devoon*, won soms het continent terrein op de zee en soms de zee op het continent, waardoor in deze tijd afwisselingen van kleiige (invloed land) en kalkrijke (invloed zee) afzettingen werden gevormd. Bovendien kon dit van plaats tot plaats sterk verschillen, zodat kalkriffen lokaal omgeven konden zijn met kleirijke sedimenten. Mengsels van carbonaat en klei verstenen uiteindelijk tot kleihoudende en kleirijke kalkstenen. Een kalksteen dat 25-75% klei bevat, wordt in de gesteentekunde *mergel* genoemd. Bij afwezigheid van klei ontstaan kleiloze carbonaatafzettingen die verstenen tot zuivere kalkstenen, zoals *wit krijt*.
In de periode die op het Devoon volgde, het *Carboon*, won het land het tenslotte langzaam van de zee. Dat zou uiteindelijk leiden tot de Carbonische steenkoolafzettingen (van landplanten), maar al in de periode daarvoor werd er nabij de kust tussen het carbonaat veel

Bronnen: 1

meer organisch materiaal in zee afgezet (bijvoorbeeld zeelelies: *crinoiden*). Dat organische materiaal bleef in het gesteente bewaard. Zo ontstonden in de overgangsfase tussen het Devoon en het Carboon de zogeheten *kolenkalken*. De Belgische *hardsteen (crinoïdenkalk*), die veel als bouwsteen wordt toegepast, behoort hiertoe.
In weer latere perioden, zoals in de Jura en het Krijt, was de zeespiegel veel hoger dan tegenwoordig. Daardoor werden grote delen van het continent overspoeld door ondiepe binnenzeeën, waarin zich omvangrijke, veelal zeer pure, kleiarme kalkstenen hebben gevormd. Deze kunnen onder andere worden teruggevonden in Zuid Limburg (de Maastrichter steen of *mergel* van de Sint-Pietersberg), bij Dover en Cap Blanc Nez (de krijtklifen). Al deze verschillende typen kalkafzettingen zijn tegenwoordig zichtbaar als geplooide kalksteengebergten.

Onzuivere kalksteen

Wanneer kalksteen niet volledig bestaat uit pure calciumcarbonaat (geen *zuivere kalksteen* is), maar tevens klei of organische componenten bevat, wordt gesproken van *onzuivere kalksteen*.
Natuurlijke variaties in het kleigehalte van kalksteen (en mergel) blijken zeer belangrijke gevolgen te hebben voor het uithardinggedrag van de steenkalkmortel, dat uit deze kalksteen door branden en blussen is verkregen. Tijdens het branden van kleihoudende kalksteen reageren de kleimineralen met de ongebluste kalk tot nieuwe, keramische mineralen. Die reageren tijdens de verharding van de mortel met water (hydrateren) en leveren een extra bijdrage aan de uiteindelijke sterkte. Een hoger kleigehalte van de grondstof resulteert in een toenemend hydraulisch karakter van de mortel. De geologische omstandigheden tijdens de vorming van een kalksteen zijn dus bepalend voor het verhardingsproces van de mortel waarvan het bindmiddel ui deze kalksteen is vervaardig.
Doordat kalksteen onder andere is ontstaan uit zeeorganismen, is het logische dat kalksteen vaak organisch materiaal bevat, omdat dit niet altijd volledig is vergaan (vergelijk de carbonische kolenkalken). Het achtergebleven (relictische) organische materiaal (donker pigment) verbrandt grotendeels tijdens het brandproces. Hierdoor kunnen kalkstenen voor de productie van steenkalk zeer donker van kleur zijn (Doornikse kalksteen is zwart), terwijl de hieruit verkregen steenkalk zeer licht van kleur is (geel, licht beige tot wit).

Bronnen: 1

Kalksteen in België

De belangrijkste kalkstenen voor de bereiding van Belgische steenkalk zijn de Luikse kalksteen en Doornikse kalksteen. Uit oude bestekken blijkt dat vaak hydraulische Doornikse kalk is voorgeschreven. Men komt deze kalk daarin met regelmaat als *cendre de Tournai* tegen.
De *Luikse kalksteen* wordt voornamelijk tussen Maastricht en Luik (vooral bij Visé) gewonnen. Deze kalksteen is, net als de Zuid-Limburgse sibbesteen, een grondstof voor luchtkalk: een pure kalksteen met weinig bijmengingen. De Luikse steen is een rifkalk, vooral opgebouwd uit fossielen en kalkmodderbrokjes. Ook zijn grofkristallijne calcietdomeinen aanwezig (mogelijk gerekristalliseerde fossielen) en calcietaders. De steen dankt zijn donkere kleur aan de aanwezigheid van diffuus verspreide koolstof en (weinig) opaak erts. Ook zijn enkele koolstofstylolietjes (*brandlijnen*) aanwezig. Het calciumcarbonaatgehalte is bijna 100%.

De *Doornikse kalksteen* echter is een grondstof voor hydraulische kalk. Deze steen bevat naast calciet ook klei, ijzeroxide en kwarts. Er werd een onderscheid gemaakt in drie typen, maar voor de Nederlandse steenkalk werd veelal de zogeheten *waterkalk* (de meest hydraulische soort) gebruikt. Ook de Doornikse steen is een donkere steen, maar verder verschilt hij in alle opzichten van de Luikse steen. De Doornikse steen heeft een karakteristieke leiachtige verwering – het gevolg van talloze onder geologische omstandigheden door druk aan elkaar parallel georiënteerde glimmers (mica's) en kleimineralen.
Er is nog steeds een grote productie van steenkalk in België. Slechts een kleine fractie daarvan wordt gebruikt als bouwmateriaal. Het grootste deel wordt verwerkt in de landbouw, de chemische industrie en de metaalindustrie. De lange traditie in de ontginning van kalksteen en de fabricage van kalk in België heeft ertoe geleid dat wereldwijd de grootste kalkbedrijven in Belgische handen zijn.

Zowel de Doornikse (hydraulische) als de Luikse (hydraat) kalkstenen worden gebruikt voor het vervaardigen van kaleien. In het volgende hoofdstuk worden de verschillende producten besproken en komen ook de verschillende eigenschappen van deze kalkstenen aan bod.

Hieronder volgt een overzicht van de verschillende vindplaatsen van de grondstof voor de diverse soorten kalk. Deze tabel is gebaseerd op een technische nota in het *Bulletin des*

Bronnen: 1

Métiers et d'Art van 1909-'10, die informatie geeft over de kalkgroeven die in het begin van de twintigste eeuw in België voor de kalkproductie uitgebaat werden en over de soort kalk die ermee kon worden gefabriceerd. Daaruit blijkt nog eens hoe België, door de aanwezigheid van verschillende soorten kalksteen, alle soorten kalk produceerde, van zuivere luchtkalk (vette kalk) tot sterk hydraulische kalk.

Overzicht van de vindplaatsen van de verschillende soorten kalk in België

Luchtkalk		↔		Hydraulische kalk
Vette kalk	Zwak hydraulische kalk	Matig hydraulische kalk	Hydraulische kalk	Sterk hydraulische kalk
Rhisne en omgeving Arquennes Ecausinnes Soignies Ath (H) Boussu (H) Cerfontaine (N) Ciney (H) Forries (L) La Buissière (H) Maffles (H) Rochefort (N) Wépion (N) Visé (L) (enz....)	Barvaux (L) omgeving Durbuy Blaton (H)	Altert (L) Bouvignes (N) Couvin (N) Fosses (N) Horion (L) Huy (L) Lavoir (L) Muno (L)	Antoing (H) Baelen-lez-Limbourg (L) Basècle (H) Calonne (H) Chokier (L) Fovrières (L) Frasnes (H) Heppignies (H) Hollogne-aux-Pierres (L) La Buissière (H) Wazy (N) Mevergnies (H) Oret (N) Rhisne (N) Rossignol (L) Soy (L) Viesville (H)	Chaudfontaine (L) Chercq (H) Nismes (H) Soire-Sambre (N) Doornik (H) Vaulx (H) Antoing

(H) = Provincie Henegouwen
(L) = Provincie Luik
(N) = Provincie Namen

© Kalkboek

Verschillende van deze groeven produceren nu nog steeds kalk!

4.2.1.2 Schelpen

Schelpen zijn van oudsher de grondstof voor de productie van schelpkalk. Door de schelpen te branden en daarna te blussen met water ontstaat kalk, ofwel *portlandiet*. In mortels worden soms ook hele en gebroken schelpen aangetroffen. Dat geldt vooral voor mortels van zestiende en zeventiende-eeuwse, nabij de kust gelegen monumenten. Primair wijst de aanwezigheid van schelpen en schelpengruis in de mortel op een slecht gebrande schelpkalk. Ze kunnen echter ook afkomstig zijn uit (schelprijk) strandzand, dat als toeslagmateriaal gebruikt kan zijn. Schelpresten in de mortel hoeven dus niet eenduidig te wijzen op schelpkalk als bindmiddel, want schelprijk strandzand kan als verschralingmiddel zijn

Bronnen: 1

toegevoegd aan bijvoorbeeld hydraulische steenkalk. Ook in recente steenkalkmortel zijn soms schelpresten te vinden, bijvoorbeeld omdat de leverancier schelpengruis heeft toegevoegd, om zo zijn product als schelpkalk te kunnen verkopen. Die vervalsing is van alle tijden: schelpkalk is van oudsher duurder dan steenkalk.

4.2 Schelpen voor productie schelpkalk
© http:// www.puiktuincentrum.nl

Schelpen werden voorts ook gebruikt als *bed*, waarop natuurstenen vloerplaten met een weinig kalkmortel, verdeeld in dotten, werden gesteld. Deze wijze van stellen van natuursteen is nu in onbruik geraakt. Tegenwoordig wordt de natuursteen meestal in een aarddroog speciebed van zand en cement gelegd. Omdat het contact van cementmortel met kalksteen en vooral lichtgekleurde marmers kan leiden tot plaatselijke verkleuringen tengevolge van de migratie van stoffen, waaronder metaalverbindingen, uit de mortel, is voorzichtigheid en zorgvuldige detaillering hier geboden.

De winning van schelpen

De schelpen (kleine, gladde soort: *Spinula bivuda*) werden tot 1960 met de hand vergaard op de stranden van de Noordzee, de Waddenzee en de – toenmalige – Zuiderzee. Vanaf 1880 worden de schelpen (grotere, gestreepte soort: *Kokkel*) tevens opgezogen uit schelpenbanken in de Noordzee en Waddenzee. IN 1880 gebeurt dit voor het eerst met een stoomschelpenzuiger. De winplaatsen van schelpen hebben zich dus met verloop van tijd verplaatst van het strand naar de zee. Tot 1900 is de Noordzee het belangrijkste wingebied voor de schelpenvangst en daarna geldt dit ook voor het Waddengebied, met winplaatsen tussen Ameland en Schiermonnikoog en tussen Terschelling en Vlieland. Het wingebied *De Roompot* bij de monding van de Schelde in de Noordzee blijft echter belangrijk.
De expertise op het gebied van het baggeren in Nederland heeft ertoe geleid dat Nederland marktleider is voor de schelpenwinning. Op drie concessielocaties (Roompot, Waddenzee en Noordzee) worden door vijf bedrijven schelpen uit schelpbanken opgezogen. Door het inzetten van een nieuw soort zuiger, de sleephopper, is het mogelijk om ook bij grotere deining schelpen op te zuigen, waardoor de winning ook verder uit de kust kan plaatsvinden.

Bronnen: 1

De concessiegebieden worden door Rijkswaterstaat uitgegeven om te voorkomen dat uitputting ontstaat.
De banken waaruit de schelpen worden gezogen bestaan uit schelpen met slechts weinig organische restanten van de weke delen van deze tweekleppigen. De ouderdom van de schelpen varieert van enkele jaren tot vele millennia; de meeste zijn tussen driehonderd en vijftienhonderd jaar oud. Door het verleggen van getijdegeulen worden recente en oude schelpenbanken bloot gelegd. De aanwas van de schelpen is groot: jaarlijks sterft 70% tot 90% van de kokkelpopulatie af. De schelpen worden door de stroming in (getijde)geulen afgezet in schelpenbanken. Er wordt aangenomen dat de winning deze natuurlijke aanwas niet overschrijdt, wat betekent dat de schelpenvoorraad onuitputtelijk is. Deze regeneratie van de grondstof heeft een belangrijk positief effect op de milieuhygiënische beoordeling van het gebruik van schelpkalk in de bouw.
Voor de winning van schelpen moet een *milieurapportage* (MER) worden opgesteld, waarin de effecten voor het milieu en de ecologie worden afgewogen.

4.2.1.3 Productie

Productie van steenkalk

Tegenwoordig is de productie anders dan vroeger. Kalksteen wordt niet meer op de eerste plaats gebrand en geblust ten behoeve van de bereiding van mortels. Het kalkhydraat wordt hoofdzakelijk toegepast in de industrie, zoals de papier- en staalindustrie en in de chemische industrie. Industriële rookgassen worden op grote schaal gereinigd met gebruikmaking van kalkhydraat. Ook wordt kalkhydraat ingezet in de strijd tegen de verzuring van de bodem en het oppervlaktewater ten gevolge van zure en verzurende neerslag, door deze *base* toe te voegen aan het verzuurde milieu. Slechts een kwart van de gebrande kalk wordt gebruikt in de bouw, maar zeker niet alleen voor de bereiding van kalkmortels: het dient ook als één van de grondstoffen voor de productie van kalkzandsteen bouwelementen, voor de productie van cement en voor het stabiliseren van leem en kleihoudende gronden.
De huidige toepassing van kalkhydraat (lees: steenkalk) is tweeledig: enerzijds wordt het aan geprefabriceerde zandcementmortels toegevoegd ter verhoging van de verwerkbaarheid van de specie en de elasticiteit van de mortel en anderzijds dient het als het bindmiddel voor werkelijke kalkmortels. Deze tweedeling in productlijnen is het gevolg van een grove tweedeling die in de bouwsector is aan te brengen: de nieuwbouw en de restauratie, waarbij

Bronnen: 1

de nieuwbouw een dominante rol speelt. Omdat juist in de nieuwbouw cementgebonden en bastaardmortels worden verwerkt, is het niet verwonderlijk dat de huidige productie van steenkalk als bindmiddel voor zuivere kalkmortels slechts een klein aandeel vormt van de totale mortelproductie. Toch wordt steenkalk steeds meer als bijzonder hoogwaardig (bij)product geproduceerd door de kalkindustrie en door de opleving van dit product, mede ten gevolge van verder geëvolueerde inzichten in de restauratiesector, stijgt de productie van steenkalk langzaamaan. Hierbij moet worden opgemerkt dat de grootschalige economische situatie, de conjunctuur, bepalend is voor de vraag naar (kalk)mortels in de bouwsector en dus ook voor de productie daarvan.

4.3 Productie-plant steenkalk
© http:// www.carmeuse.fr

Zoals hierboven reeds is vermeld, worden ongebluste kalk en kalkhydraat voor diverse takken van de industrie geproduceerd. Het aandeel voor een bepaalde tak van industrie wisselt sterk van land tot land. In Scandinavië bijvoorbeeld wordt kalkhydraat grotendeels gebruikt in de papierindustrie en om verzuring van het milieu tegen te gaan. In Duitsland wordt het hoofdzakelijk gebruikt in de staalindustrie. De productie van steenkalk wordt gedomineerd door Belgische bedrijven, die veelal ook belangen hebben in de buitenlandse kalkindustrie. Dit is een gevolg van de historische ontwikkelingen en de grote rijkdom aan kalksteen in België, waardoor zich hier een sterke bedrijfstak kon ontwikkelen.

De huidige situatie wijkt dus sterk af van de historische: toen produceerden kalkovens de kalk vooral als grondstof voor de (hydraulische) steenkalk en nu is deze productie relatief onbelangrijk. Bovendien werd steenkalk toen veel meer lokaal en op kleine schaal gefabriceerd en nu ten gevolge van de schaalvergroting veel minder lokaal en door de moderne grootschalige kalkindustrie.

Enkel van Wolf Jordan en Remmers Bouwchemie (zie producenten) zijn bekend dat zij voor hun kalei gebruik makend van kalkhydraat, de andere kaleien op basis van kalk zijn gemaakt op basis van hydraulisch kalk.

Ten aanzien van hydraulische kalk is de situatie anders. De productie van hydraulische kalk is nog wel uitsluitend bestemd voor de productie van mortels en zelfs bijna uitsluitend voor de renovatie- en restauratiesector. Hydraulische kalk wordt vervaardigd door mergels uit welbepaalde geologische zones te branden bij relatief lage temperatuur (i.e. 900-1000°C).

Bronnen: 1, 2

Producenten van hydraulische kalk worden in diverse Europese landen, zoals Italië, Frankrijk en Engeland gevonden.

Productie van schelpkalk

De schelpkalkbranderij in Harlingen werd in 1972 opgestart om tot 1987 (met en onderbreking aan het einde van de jaren zeventig en het begin van de jaren tachtig) schelpkalk te produceren. IN 1989 werd de fabriek heropend in de vorm zoals die nu bekend is.
Het is niet duidelijk of deze schelpkalkbranderij tegenwoordig nog produceert. Het zou de enige producent zijn van Nederland en heeft Schelpkalk™ als handelsnaam.

De moderne productie van schelpkalk is gebaseerd op de historische wijze van het branden van schelpen, waarbij als brandstof antraciet wordt gebruikt. Het brandproces wordt echter wel op eigentijdse wijze gestuurd en gevolgd, maar de verbrandingsresten van de brandstof zijn nog steeds aanwezig in het gebrande product. Hierdoor is de zuiverheid van de gebrande kalk vergelijkbaar met die van de historisch gebrande mortels. De fijnheid van de gebrande kalk wordt echter niet bepaald door de wijze van branden, maar door de wijze van blussen. Dat gebeurt tegenwoordig ook nog steeds handmatig. Het fijnste bindmiddel, de kalkbloem, wordt verkregen door het gebluste product machinaal te bewerken en het grofste door na het blussen de kalk niet verder te bewerken. De eigenschappen van recent gefabriceerd schelpkalk zijn hierdoor zeer goed vergelijkbaar met die van de op historische wijze vervaardigde schelpkalk.

Schelpkalk wordt in België niet gebruikt voor pleisters, in Nederland echter wel. De reden hiervoor is de geografische ligging van plaatsen waar schelpalk geproduceerd wordt. België heeft hierdoor al altijd een steenkalk traditie gehad. De Nederlanders gebruiken al altijd zowel steenkalk als schelpkalk.

Blussen van luchthardende kalk

Een veel besproken onderwerp waarover tegenwoordig veel verwarring bestaat, is het blussen van de kalk. Het blussen van de kalk is een noodzakelijke stap in het gebruik van kalk als bindmiddel voor mortel, pleister of als kalkverf.

Bronnen: 1

De aard van de grondstoffen, en uiteraard de aard van de kalk, maar ook de gewenste verwerkbaarheid en het gebruik van de kalk bepalen mogelijke opties voor het blussen van kalk en voor het – eveneens veel besproken – *in de rot zetten*.
Bij het blussen van kalk wordt de ongebluste kalk (CaO) gemengd met een zekere hoeveelheid water. De hoeveelheid water moet minstens voldoende zijn om alle CaO om te zetten in $Ca(OH)_2$ en om de verliezen door verdamping te compenseren. Het blussen van kalk is immers een exotherme reactie, wat wil zeggen dat er warmte vrijkomt bij het blussen. Een deel van het toegevoegde water zal daardoor verdampen. De blusreactie is een sterk expansieve reactie, wat verklaart waarom bij het blussen de kluiten ongebluste kalk uiteenvallen. Het eindproduct is een poeder of een deeg, afhankelijk van de hoeveelheid toegevoegd water. Wanneer er een overmaat water wordt toegevoegd en een kalkdeeg ontstaat, spreken we van nat blussen, wanneer er een poeder ontstaat dan spreken we van droog blussen.

Bij het blussen van luchthardende kalk, of min of meer zuivere CaO, zijn er verschillende mogelijkheden. IN de restauratiewereld wordt vaak benadrukt dat de kalk *in de rot* moet worden gezet en dat goede kalk *goed boterige kalkdeeg* moet zijn. Maar is dat wel altijd het geval? Laten we kort de verschillende mogelijke wijzen van blussen van luchthardende kalk bekijken en de gevolgen voor de bouwpraktijk bespreken. Uiteraard kan de redenering ook worden omgedraaid en zal blijken dat voor bepaalde toepassingen een bepaalde blustechniek meer aangewezen is dan een andere.
Steenkalk werd, in tegenstelling tot schelpkalk, veelal ongeblust geleverd. Door het blussen nemen gewicht en volume sterk toe. Bij vette kalk neemt het volume met een factor drie toe. Vanwege veiligheidsvoorschriften en arbeidswetgeving wordt ongebluste kalk thans niet meer verhandeld, tenzij als industrieel product. Steenkalk kan (afhankelijk van de hydrauliciteit) nat en droog worden geblust.
Vroeger werd luchtkalk meestal (maar zeker niet altijd) *nat geblust*. Het blussen van de kalk gebeurde vaak op de bouwplaats omdat het vervoer van de gebrande kalk(steen), die door het branden zowat één derde van zijn gewicht had verloren, gemakkelijker was dan het vervoer van het zwaardere kalkdeeg. Uit archeologische opgravingen in Pompeï bleek echter dat kalk ook in de vorm van kalkdeeg werd verhandeld in amfora's, vermoedelijk naar plaatsen waar er geen ruimte was voor het maken van een kalkput voor het blussen of waar slechts kleine hoeveelheden fijne kalk nodig waren voor bijvoorbeeld werken van geringe omvang zoals het maken van fresco's of mozaïek.

Bronnen: 1

Omdat noch bij het branden noch bij het blussen alle processen even homogeen in het materiaal verlopen en bij de verwerking van de kalk absoluut vermeden moest worden dat er nog calciumoxide in de mortel zat, raadde men aan het kalkdeeg lange tijd te laten liggen alvorens het te gebruiken. Plinius (24-79 na Christus) schrijft drie jaar voor. Om dezelfde reden was het goed dooreenmengen van de kalk (vaak samen met het zand) zeer belangrijk. Dit gebeurde met een kalkhouw waarmee de kalkknollen en eventuele brokken calciumoxide konden worden verbrijzeld.
Nat blussen en het bewaren van het kalkdeeg voor deze te gebruiken wordt belangrijk geacht voor werken waar de kalk(mortel) een grote smeuïgheid moet hebben (zoals voor kalkverven). Deze werkwijze wordt aangeduid met historische termen zoals het *rotten* van de kalk, het *in de rot zetten*, het *putten* of het *inkuilen* van kalk.
De kalk moet goed uitgerotte, boterige kluitkalk zijn. Over de termijn van het rotten lopen de meningen nogal uiteen. Men spreekt van vier weken tot zes maanden en in heel oude recepten worden rottijden van vijf tot dertig jaar gehanteerd. Voor restaurateurs van muurschilderingen en van pleisterwerk is het *rotten* van de kalk dus erg belangrijk.
Brade stelt in 1827 dat men gebluste kalk zeer lang in een kuil kan bewaren zonder dat de kalk achteruit gaat. Integendeel zullen, door het vocht, delen die bij het blussen niet zijn opgelost alsnog worden geblust. Hij schrijft ook dat als men er voor zorgt dat het blussen goed en met zorg wordt gedaan, vers gebluste kalk evengoed is als kalk die lang ingekuild is geweest. Sommige deskundigen vinden inkuilen zelfs schadelijk omdat hierdoor de kalk te sterk smelt, waardoor klonten ontstaan die niet fijn te maken zijn.
Meestal zal het blussen hebben plaatsgevonden in zogenaamde blusbakken. Nadat de kalk was uitgeblust, liet men de kalkbrij uit de bak in een zogenaamde kalkput stromen. De zwaardere delen bezonken daar, zodat de bovenste laag in de put na verloop van enige tijd uit goed geblust kalkhydraat bestond. Soms werd het goed gebluste kalkhydraat overgeheveld naar een volgende put, waarin het kon opstijven tot een kalkdeeg. Het fijnste (lichtste) kalkhydraat gebruikte men voor pleisterwerk, het zwaardere voor het samenstellen van metselspecie.

Recent onderzoek (Hansen 2000 en Elert 2002) heeft aangetoond dat het rotten van de kalk niet alleen leidt tot de vermindering van de gemiddelde grootte van de kalkhydraatkristallen, maar ook gepaard gaat met een wijziging van het type kristallen naar meer plaatvormige kristallen. Beide fenomenen leiden tot een toename van de specifieke oppervlakte (het blainegetal) van de kalk. Dit effect is aanmerkelijk, ook als de kalk slechts één of twee weken in de rot wordt gezet.

Bronnen: 1

Het gevolg is dat de waterretentie (het vermogen om water vast te houden) en de verwerkbaarheid van het kalkdeeg met de tijd toenemen. In het verleden was het blussen van kalk, voornamelijk wanneer die voor pleister- en stukadoorswerk was bedoeld, ook belangrijk omdat daarmee het nablussen van de kalk kon worden voorkomen. De *nablussers* waren in de kalk aanwezig, doordat tijdens het branden niet alle schelpen of alle kalksteenbrokken volledig werden gebrand en omdat er vaak nog klontjes ongebluste kalk aanwezig waren (*bonen*). Tegenwoordig bestaat dit bezwaar niet meer, omdat er in het gebluste product geen *nablussers* aanwezig zijn. Dit komt door de industriële wijze waarop de kalk thans wordt vervaardigd, waarbij zowel het branden als het blussen op gecontroleerde wijze worden uitgevoerd, maar waarbij wel de historische technieken worden toegepast.

Naast het nat blussen is er ook nog de techniek van het *droog blussen*. Dit kan traditioneel op verschillende manieren uitgevoerd worden. De meest bekende wellicht is het laten zakken van manden met kluiten gebrande (ongebluste) kalk in een waterbassin totdat de hevige exotherme reactie was afgelopen. Dit kon men zien aan het beëindigen van het *bubbelen* van het water. Dan worden de kluiten kalk verzameld en vermalen en vervolgens droog opgeslagen. In de moderne kalkfabrieken gebeurt het blussen van de kalk in een afgesloten mengmachine. Daar wordt net voldoende water voor de chemische reactie op de calciumoxide gesprenkeld. Uiteraard wordt daarbij rekening gehouden met het vochtverlies dat ontstaat door verdamping.
Er bestaat evenwel nog een andere manier van (droog) blussen dit tot voor kort aan de aandacht was ontsnapt en nochtans door wijlen Prof. R. Lemaire werd gebruikt bij de restauratie van het Groot Begijnhof in Leuven in de jaren zeventig van de vorige eeuw. Deze methode is het blussen van de kalk door het vermengen van de ongebluste kalk met nat zand.

Blussen van hydraulische kalk

Hydraulische kalk moet naargelang het aandeel vrije calciumoxide nog min of meer worden geblust. Omdat het eindproduct een hydraulisch bindmiddel is en dus met water verhardt, is duidelijk dat (gebluste) hydraulische kalk een droog poeder moet zijn dat pas gaat binden op het ogenblik dat men er water aan toevoegt bij het vervaardigen van de mortel. Het blusprocédé moet ervoor zorgen dat alle CaO wordt omgezet in $Ca(OH)_2$ maar dat de

Bronnen: 1

hydraulische reactieve stoffen niet beginnen te hydrateren. De enige optie is daarom het *droog blussen* van de kalk!

Recent onderzoek van K. Callebaut (2000) wees uit dat het droog blussen door de kalk te mengen met vochtig zand en de mortel een tijdje te bewaren (afgeschermd van de koolzuur uit de lucht doordat de hoop vochtig werd gehouden) verschillende positieve voordelen zou hebben: een hogere sterkte, betere binding tussen bindmiddel en aggregaten en kleinere krimp door het lagere gehalte aan water nodig om de mortels of pleisters aan te maken. Restauratiemortels worden echter tegenwoordig meestal gemaakt met commercieel gebluste kalk. Enkel in Schotland wordt deze meer traditionele manier om kalk te blussen en mortels te maken nog toegepast. Het blijkt daar zeer goede resultaten te geven. Dit onderzoek is echter nog in een beginstadium en meer onderzoek zou nog moeten gebeuren.

4.4 Kalk en vochtig zand samengemengd
© A.M. Forster

4.5 Droog gebluste kalk
© A.M. Forster

4.6Toevoegen van water om overige kalksteen te blussen
© A.M. Forster

4.7 Gemengde hydraulische kalk
© A.M. Forster

Bronnen: 1, 5

4.2.2 Zand

De verschillende soorten zand

Niet alle zandkorreltjes bereiken de zee en langs en in de rivieren worden grote hoeveelheden van het zand afgezet als *rivierzand*, vooral in de benedenloop van de rivieren, waar de transportsnelheid van het water het geringst is (fluviatiel zand; afgezet door stromend water).
De rivierafzettingen bevatten naast het mineraal kwarts ook andere (voor transport resistente) mineralen en gesteentefragmenten, die afkomstig zijn uit de stroomopwaarts aanwezige typen gesteenten, die in het brongebied van de rivier worden uitgesleten. Het zand van de Rijn bijvoorbeeld bevat mineralen die ontstaan zijn in de vulkanische gesteenten van de Eifel en hieruit door erosie zijn vrijgemaakt. Voor vulkanische gesteenten kenmerkende mineralen, zoals olivijn, sanidien en augiet, zijn wel in Rijn- en IJsselzanden aanwezig, maar ontbreken in de Maaszanden. Ook fragmenten van typische vulkanische gesteenten uit de Eifel zijn niet in Maaszanden aanwezig; zij zijn typisch voor Rijnzanden. De Maaszanden bevatten echter gesteentefragmenten, die kenmerkend zijn voor de Vogezen en Ardennen: graniet, lydiet, diabaas, kalksteen en schalie.
In zee wordt het zandige sediment uit de rivieren verder vervoerd door getijdenstroming, waaruit het nabij de kust naar de bodem van de zee zinkt (*zeezand* of *marien zand*). Het zand wordt ook door golven op het strand gedeponeerd (zandstrand), waar de wind vat krijgt op de losse en drogende korreltjes.
Vanaf het strand begint een derde, doorgaans vrij korte, reis met wind als transportmedium: duinvorming. Afhankelijk van windsnelheden worden zandkorreltjes opgetild en door de wind vervoerd, waarbij veelal een springende beweging ontstaat, in de geologie *salteren* genoemd. De wind, met zijn sterk variabele snelheden, bepaald door lokale hindernissen (bijvoorbeeld helmgras), kan het zand slecht over korte afstanden verplaatsen. Het zand wordt zodoende in de duinen afgezet als *duinzand*. Alleen heel fijnkorrelig zand kan over langere afstanden door de wind worden verplaatst. Voorbeelden hiervan worden in Limburg gevonden, waarde *löss* door de wind is afgezet (*eolisch zand*). Niet alleen langs de kust ontstaan zandduinen, ook in het binnenland kan zand door de wind worden verstoven, wanneer de zandkorreltjes niet door vegetatie tegen de wind worden beschermd. Er ontstaan duinvormige *stuifzandafzettingen*, zoals de stuifzanden van de Veluwe en de rivierduinen die we uit de archeologie kennen als de plaatsen die in de Steentijd voor bewoning werden benut.

Bronnen: 1

Stuwend ijs in de vorm van zich verplaatsend landijs bezit niet de mogelijkheid tot het sorteren van zand. Als een ploeg wordt de bodem omgewoeld en worden zand en stenen door het landijs gemengd. Dergelijke afzettingen worden in Nederland aangetroffen op de Utrechtse heuvelrug, die ten gevolge van deze ploegende werking van het landijs is ontstaan. In de zandafzettingen op de Utrechtse heuvelrug komt hierdoor zeer slecht gesorteerd zand voor. In zandgroeves, bijvoorbeeld in Maarssen, is dit goed te zien: grote keien en kiezels drijven in zandmassa's. Dergelijke zandafzettingen worden *glaciale zanden* genoemd. Zij zijn slecht gesorteerd (er is sprake van grote verschillen in korrelgrootte). Glaciale zandafzettingen komen vaak samen voor met fluviatiele zandafzettingen (zanden, afgezet door stromend water). Wanneer het landijs smelt, wordt zand vervoerd door het wegstromende smeltwater. Zeer dicht bij zandafzettingen met slecht gesorteerd zand (door stuwend ijs) kunnen dus zandafzettingen aanwezig zijn met goed gesorteerd zand (door stromend smeltwater). Glaciale zanden werden in Nederland ook wel *bergzand* genoemd, maar deze term kan beter worden gebruikt voor het zand dat in Duitsland wordt verkregen door het fijnmalen van donker gekleurde soorten gesteenten.

De zandkorrels nader beschouwd

Het hoofdmineraal van zand is in Nederland en België *kwarts*. Dit mineraal bezit geen kristallografische splijtrichtingen, waarlangs de korrels door mechanische belasting tijdens het transport kunnen breken. Bovendien is kwarts chemisch bijna niet reactief, in tegenstelling tot andere mineralen zoals veldspaat. Verkleining van de kwartskorrel tijdens het transport vindt alleen plaats ten gevolge van het afslijten van de korrels, of doordat grotere kwartskorrels tijdens het transport in stukken breken. Door het afslijten bezitten zandkorrels uit rivierafzettingen een glad, gepolijst oppervlak, ofwel: fluviatiel zand heeft een *goede afronding*. Doordat de zandkorrels van eolisch duinzand echter tijdens het transport tegen elkaar aan stuiteren (*salteren*), ontstaan kleine beschadigingen in hun oppervlak. Duinzand heeft hierdoor een slecht (tot matige) afronding. De mate van afronding van de zandkorrels verschaft dus informatie over het transportmechanisme. Het behoeft geen nadere uitleg dat zandafzettingen die door landijs zijn opgestuwd *slecht afgerond zand* bevatten. Er is immers nauwelijks sprake geweest van transport, dus evenmin van afronden of polijsten.

Bronnen: 1

Korrelgrootteverdeling voor kalei

Niet alle zanden zijn geschikt om in een kalei verwerkt te worden! Bij voorkeur wordt gebruik gemaakt van een goed gecalibreerd rivierzand. Meestal wordt hiervoor een 0/1mm gebruikt.
Net zoals bij de pleisters is een goede verdeling 2/3 grove zandkorrels en 1/3 fijne zandkorrels. Dit zand moet gedroogd worden alvorens te mengen met de hydraulische kalk. Anders zal de kalk beginnen uitharden. Dit zand kan men onder andere bij de Belgische firma Sibelco verkrijgen.
Eventueel kan het ook interessant zijn om een aandeel gemalen kalksteen toe te voegen (marmerpoeder of krijt) als granulaat. Dit houdt het water beter vast tijdens de binding van de mortel (zie volgend onderdeel: toeslagstoffen).

4.2.3 Toeslagstoffen

In dit deel bespreken we de meest gebruikte toeslagstoffen die in kaleimengsels of kaleiproducten worden gebruikt.

4.2.3.1 Puzzolanen

Natuurlijke puzzolanen

Natuurlijke puzzolanen zijn gemalen steenpoeder of aardachtige materialen, die de eigenschap bezitten met kalk (calciumhydroxide) te reageren onder vorming van verhardende reactieproducten. Aan matige, of niet hydraulische kalkmortels toegevoegd, leveren zij een extra bijdrage aan de verharding van kalkmortels en daarmee aan hun eindsterkte. De puzzolanen zijn genoemd naar het dorpje Pozzuoli nabij Napels, waar de Romeinen de puzzolane werking van het aldaar gewonnen bodemmateriaal van vulkanische oorpsrong, zowel de tras uit de Eifel als bijvoorbeeld de *aarde van Santorini*.

In Vlaanderen, Nederland en Duitsland gebruikte men als natuurlijke puzzolaan vooral *tras*. Erg gewaardeerd was de *Dordtse tras*, vervaardigd uit tufsteen uit de streek van Andernach in Duitsland. De Andernachse tufsteen werd per schip over de Rijn naar Nederland vervoerd.

Bronnen: 1, 6

In het aan de Merwede gelegen Dordrecht werd daaruit tras geproduceerd en daarna verhandeld.

4.8 Tras ontginning
© http://www.bgr.bund.de

Zelfs de tras die in Vlaanderen werd verwerkt werd via Nederland verhandeld, ondanks het feit dat deze in de Rijnvallei in Duitsland werd ontgonnen.

Tras wordt verkregen door het malen van tufsteen, die in het Brohlerdal en het Nettedal voorkomt (Duitse Vulkaaneifel) en ook als bouwsteen werd en wordt toegepast. Deze tufsteen is ontstaan door verharding van zogenoemde *ignimbritische tufafzettingen*, die in het Tertiair en Kwartair door de Eifelvulkanen werden uitgestoten. Ignimbrieten zijn zeer hete wolken vulkanische as, waterdamp en vulkanische gassen, die uit de vulkaanmond worden gedreven ten gevolge van de hoge gasdruk. De wolken raasden de vulkaanhelling af en volgden daarbij vaak de beekdalen. Het fijn verdeelde tuf zakte hierbij uit de ignimbriet en werd in bijna niet gelaagde banken afgezet. Op een verse ignimbrietafzetting kunnen vulkanische bommen inslaan. Die zijn ook nu nog zichtbaar als grote blokken van lava, die met kracht in de niet samenhangende ignimbritische tuf zijn ingeslagen.

De samenstelling van het tuf in het Brohlerdal en Nettedal is trachitisch. Dat wil zeggen dat de lava – die door de enorme gasuitbarsting niet rustig kon uitstromen, maar geheel gefragmenteerd werd – bestond uit kristallen van veldspaat (*sanidien*), die omgeven werden door een niet kristallijne grondmassa (in tegenstelling tot perperino, een rustig afgekoelde trachiet). Ten gevolge van de snelle afkoeling na uitbarsting van de ignimbriet verstard deze grondmassa tot een glasachtige materie. Juist aan deze niet kristallijne, glasachtige component van de tufsteen, heeft de tras zijn reactiviteit te danken. Tras bestaat verder uit vermalen sanidienkristallen, die echter geen bijdrage leveren aan de puzzolane reactie van de tras. Dit geldt overigens voor alle vermalen kristallijne stollingsgesteenten.

De ontwikkeling van de maal- en zeeftechnieken hebben ertoe geleid dat met het verloop van de tijd de tras steeds fijner gemalen kon worden en bovendien steeds beter kon worden uitgezeefd. Zeventiende-eeuwse tras bevat daardoor nog grovere korreltjes, in tegenstelling tot de twintigste-eeuwse tras.

Tras kan gescheiden als los poeder aan een kalkmortel worden toegevoegd, maar de tras en kalk kunnen ook samen zijn gemalen. Daardoor zou een betere menging van beide componenten tot stand komen, die tot betere uitharding zou leiden. Tegenwoordig wordt

Bronnen: 1

traskalk op deze wijze vervaardigd. Of beide componenten een positieve werking op elkaar uitoefenen tijdens het malen is niet zeker, maar de werking van tras neemt in ieder geval toe naarmate dit puzzolaan fijner is gemalen. Samen malen zou mogelijkerwijs kunnen resulteren in een fijnere korrelgrootte van de tras.
Omdat tras en kalk met elkaar reageren, zijn kant en klare trasbevattende mortelmengsels onder vochtige omstandigheden maar beperkt houdbaar. De opslag van dergelijke bouwmaterialen verdient daarom extra zorg en aandacht.
De werking van de aarde van Santorini, de aarde van Pozzuoli en vulkanische bodemsoorten in Indonesië is geheel vergelijkbaar met de werking van tras. Ook bij deze puzzolanen is de glasachtige component het met kalk reactieve deel.
De reactie van puzzolanen met kalk verloopt langzamer dan de hydratatiereactie van hydraulische componenten in hydraulische kalk en cement. Daarom wordt tras ook wel – vaak ten onrechte – vervangen door cement.

Synthetische puzzolanen

Synthetische puzzolanen zijn gemalen producten die niet in de natuur zijn gevormd, maar die dezelfde puzzolane eigenschappen hebben als de natuurlijke puzzolanen, zoals die bekend zijn van tras. Dit betekent dat synthetische puzzolanen met kalk reageren onder vorming van verhardende reactieproducten, die een bijdrage leveren aan de sterkte van de kalkmortel. De grondstoffen voor de synthetische puzzolanen bestaan uit gebakken materialen, zoals baksteen en kolenas. De mate waarin gebakken klei geschikt is als puzzolane toeslagstof is afhankelijk van de temperatuur waarbij de klei werd gebakken. Ongebakken of te zacht gebakken klei heeft geen puzzolane werking. Dat geldt ook voor te hard gebakken klei, die geheel is gesinterd en een kristallijne vorm heeft aangenomen. Het gaat bij puzzolanen om amorf silica. In de amorfe (glasachtige) fase is silica uiterst reactief, een eigenschap die het grotendeels verliest als het (bij hoge temperatuur) in een kristallijne vorm overgaat. Amorf silica blijft over wanneer de kleimineralen bij het bakken hun chemisch gebonden water hebben verloren en bovendien een zekere tijd bij de in dit verband optimale baktemperatuur zijn gebleven. Het gehalte aan amorf silica is bij illitische klei optimaal bij het branden op circa 600°C. In Nederland wordt bij de baksteenfabricage voornamelijk illitische klei gebruikt.

Vanaf de achttiende eeuw wordt een aantal verschillende benamingen gebruikt voor synthetische puzzolanen gebaseerd op gebakken klei. Het meest bekend in Nederland is

Bronnen: 1

waarschijnlijk het *Amsterdams of Caziuscement*. Dit is een roodachtige poeder met hydraulische eigenschappen, dat wordt verkregen door uit het IJ gebaggerde klei te bakken en na afkoelen fijn te malen. Een andere hiervoor gebruikte naam is *rood cement*. Een meer algemene naam voor een puzzolaan die is verkregen door gebrande klei fijn te malen – veelal redelijk harde doorbakken metselstenen – is *brikkenmeel*.

Niet geheel verbrande steenkool, *steenkoolsintel*, werd ook gebruikt als hydraulische component in kalkmortels. Soms verving het zowel het zand al het natuurlijke puzzolaan. Volgens Van der Kloes is de toepassing ervan niet aan te bevelen. Het kan onder meer tot zoutschade leiden. Zogenaamde *Doornikse asch* bestaat uit as van de steenkolen uit Doornikse kalkovens vermengd met fijngestampte gebrande kalksteen.

Het fijngemalen poeder van niet-blusbare grovere delen die na het branden en blussen in steenkalk aanwezig (kunnen) zijn, gedraagt zich ook als een puzzolane stof. Het leidt tot een zogenaamde *Cementkalk (petits cement)* of *Ciments romains*.

Alle synthetische puzzolanen bevatten, zoals ook het geval is bij alle natuurlijke puzzolanen, een niet kristallijne, *glasachtige component*. Deze component reageert met de kalk. De glasachtige component is het gevolg van snelle afkoeling na gehele, of gedeeltelijke smelt, geheel vergelijkbaar met het ontstaan van de glasachtige component in natuurlijke puzzolanen, die van vulkanische oorsprong zijn.

Synthetische puzzolanen worden verkregen door het vermalen van keramische producten, zoals bakstenen (brikkenmeel) en dakpannen, kolensintels, en as uit kalkovens, dus uit producten die aan grote hitte hebben blootgestaan en redelijk snel zijn afgekoeld zodat een onstabiel materiaal wordt gevormd, dat niet of nauwelijks kristallijn is. Dit materiaal verleent de synthetische puzzolanen hun puzzolane werking.

Tegenwoordig wordt ook vliegas als puzzolaan verwerkt, voornamelijk in cement. Ook vliegas is een substantie die bestaat uit zeer fijne bolletjes van amorf, glasachtig materiaal. Ook het amorfe silicaproduct *silicafume* is een sterk puzzolaan materiaal. Door zijn zwarte kleur verkleurt het kalkmortels tot sterk grijs gekleurde mortels, hetgeen in de restauratiepraktijk veelal gezien wordt als een visueel gebrek.

Bronnen: 1

4.2.3.2 Wit cement

4.9 Wit cement
©http://www.bouwsuper.nl

Wit cement is portlandcement waaruit het ijzeroxide geweerd is en hierdoor een witte kleur krijgt. Het wordt toegevoegd aan de kalei opdat deze pleister harder en sneller zou uitdrogen. Het zorgt er ook voor dat de kalei extra slagregendicht is. In pleisters maakt men gebruik van wit cement in plaats van de typische grijze cement omdat de kalei met deze cement nog moet ingekleurd worden. Dit lukt veel moeilijker met grijs cement.
In hoofdstuk 6.2.3 (Keuze van Kaleiproduct) worden de gevaren vermeld van toevoegen van wit cement. Dit zorgt namelijk ervoor dat de kalei minder dampdoorlatend is, wat bij vochtige muren voor problemen kan zorgen.

4.2.3.3 Kleurpigmenten

Enkele kaleiproducten worden in de massa gekleurd. Hiervoor worden pigmenten toegevoegd. Men kan de kleurpigmenten in twee grote groepen verdelen, de organische en de anorganische.

4.10 Aardpigmenten
©http://www.natuurinformatie.nl

Bij de groep van de anorganische zijn de pigmenten afgeleid van verbindingen die nooit deel uitmaakten van levend materiaal en geen koolstof bevatten. Deze groep omvat de aardes, maar ook cadmiums, kobalt, ultramarijn en vele andere… Aardepigmenten zijn de oudste pigmenten ter wereld. Natuurlijke aardes zijn onmisbaar vanwege hun geringe kleurkracht en natuurlijke kleurtoon. Deze zijn niet te imiteren door tinten te mengen mengen met zwart en wit. Aardes zijn gekleurde afzettingen die hun tint meestal danken aan het contact met ijzer in de loop van miljoenen jaren. Ze behoren tot de meest inerte, permanente pigmenten die er bestaan. Aardepigmenten worden uit de grond gehaald, gezuiverd en gewassen.
In de loop van vele decennia zijn veel goede natuurlijke afzettingen van aardes uitgeput geraakt en vervangen door synthetische ijzeroxiden. Hoewel synthetische ijzeroxiden hun

Bronnen: 1

eigen uitstekende eigenschappen hebben, kunnen ze aardepigmenten niet volledig vervangen.

Bij de groep van de organische zijn de pigmenten afgeleid van levend materiaal of stoffen die ooit deel uitmaakten van levende organismen. Deze groep omvat veel moderne pigmenten die bekend staan om hun helderheid, transparantie en veel-lettergrepige namen, zoals ftalocyanine, quinacridon, peryleen en benzimidazolon. Het zijn pigmenten op basis van koolstof.

4.2.3.4 Marmerpoeder

Marmerpoeder is neergeslagen kalk of calciumcarbonaat, gewonnen uit steen. Dit wordt gebruikt als vulstof in verven en pleisters, zoals kaleien op basis van kalk. Dit omwille van de sterkte die dit marmerpoeder geeft aan de vulstoffen. Aangezien dit poeder net zoals kalk calciumcarbonaat is, maar in een andere vorm, zijn deze perfect compatibel. Marmerpoeder kan men onder andere uit Italië halen.

4.2.3.5 Kalksteenmeel

Kalksteenmeel wordt gebruikt als vulstof van kaleiproducten op basis van kalk om de hoeveelheid fijn materiaal aan te vullen. Door het aandeel zeer fijne vulstof, geeft het een goede aansluiting op de korrelopbouw van de kalei. Dit zorgt ervoor dat de kalei extra slagregendicht is.
Kalksteenmeel is een steenmeel dat wordt verkregen door het mechanisch bewerken van uitsluitend kalksteen dat voor ten minste 50% m/m uit $CaCO_3$ en voor ten minste 60% m/m uit $CaCO_3$ en $MgCO_3$ bestaat.

Bronnen: 7, 8, 9

4.2.3.6 Compaktuna

4.11 Compaktuna
©http://www.compaktuna.be

Compaktuna is een stabiele, witte kunststof van vloeibaar hars, bijzonder samengesteld en afgestemd, als plastiekbindmiddel, voor cement, kalk, gips e.d. Dit product veredelt en verbetert alle mortels (vb Kaleiproducten). Enkele eigenschappen zijn: rotsvaste hechtkracht, scheurvrij, waterdicht, elastisch, stofvrij, …
Mensen die zelf hen kalei aanmaken maken hier regelmatig gebruik van. Het geeft betere eigenschappen aan je kalei, zoals hierboven beschreven, maar er zijn ook gevaren! Zo zorgt Compaktuna in redelijke hoeveelheid dat de kalei waterdicht wordt, maar ook vrij dampdicht. Als er dan vocht achter de kalei kruipt kan dit voor grote gevaren zorgen (zie 6.2.3 Keuze van Kaleiproduct).

4.2.3.7 Acrylaten

Acrylaten zijn een bindmiddel van polymeerhars uit de acrylgroep. Ze worden toegevoegd aan een kalei, om bepaalde eigenschappen van een acrylverf over te nemen. Deze acrylaten zorgen voor een verbeterde hechting en zijn bestand tegen water. Een nadeel is net zoals bij Compactuna dat de kalei minder ademend wordt. Hierdoor kunnen problemen ontstaan bij vochtige muren!

4.2.4 Grondstoffen van verfsystemen

4.2.4.1 Caseïne

Caseïne is de meest gebruikte toeslagstof bij kalkverf. Het is een bindmiddel op basis van kaas en kalk. De bedoeling van dit product is het meer bestand maken tegen regen (uitwassen) en de hinderlijke eigenschap van een kalkverf, wit afgeven, tegen te gaan.

Bronnen: 10, 11, 12, 13

4.2.4.2 Kaliwaterglas (silicaten)

Kaliwaterglas (kalisilicaat) is de basis van silicaatverven. Deze silicaatverven werden door KEIM al in de 19e eeuw geproduceerd. Deze verven hebbeen een goede duurzaamheid (beter dan de kalkverven), goede bescherming en lichtechtheid.
Het principe van de silicaat verftechniek berust op een verstening van de mineraalverf met de ondergrond. Er ontstaat een vaste, minerale en onoplosbare verbinding van de verf met de verfdrager (vb. kalei).
Het chemische proces hiervan gaat als volgt:
SiO_2 (kwartszand) + K_2CO_3 (potas) + H_2O -> $K_2(SiO_2)_4$ (kaliwaterglas) + CO_2
$K_2(SiO_2)_4$ (kaliwaterglas) + CO_2 -> $[SiO_2.x(H_2O)]$ (kiezelzuurgel) + K_2CO_3 (potas)

Toch heeft deze verf een hoge waterdampdoorlaatbaarheid, waardoor vocht ongehinderd naar buiten kan verdampen. Dit is een belangrijke eigenschap van het 'kalei geheel'. De silicaatverven zijn daarnaast ook bestand tegen zuren, die door de luchtvervuiling op minerale oppervlakken inwerken (vb. zwavelzuur).

4.2.4.3 Siliconenharsen

Siloxanen of oligomere siliconen hebben zwak gepolymeriseerde moleculen die reageren op de ondergrond en een (polymere) siliconenhars vormen. Hierbij gaat slechts weinig actieve stof verloren. De werking wordt ook slechts weinig beïnvloed door de aard van de ondergrond. 90% van de verven hebben siloxanen als bindmiddel.
Siloxanen hebben chemisch gezien een Si-O-Si ruggengraat en een basis structuur volgens $SiH_3(OSiH_2)_nOSiH_3$.

Bronnen: 14, 15

4.3 Verharding van de kalkspecie

Carbonatatie of de uitharding van de luchtkalk

De carbonatatie kan wellicht het best worden toegelicht aan de hand van de beschrijving van de kalkcyclus. De kalkcyclus beschrijft hoe uit kalksteen kalkhydraat wordt vervaardigd en hoe door de carbonatatie deze kalk uithardt in een chemische vorm die dezelfde is als die van de grondstof.
Wanneer de kalksteen wordt verhit tot een temperatuur van ongeveer 900°C, wordt $CaCO_3$ omgezet in CaO, of ongebluste kalk. Hierbij ontsnapt koolzuurgas (CO_2). De reactie kan als volgt worden geschreven:
$CaCO_3$ -> [bij 900°C] CaO + CO_2 (↑ gas)

Door het mengen van de gebrande kalk met water wordt het CaO geblust. Dit is een sterk exotherme en expansieve reactie waardoor de kluiten worden verpulverd en omgezet in kalkhydraat:
CaO + H_2O -> $Ca(OH)_2$

Bij de carbonatatie van het kalkhydraat met het koolzuurgas uit de lucht wordt de cyclus gesloten. Immers de versteende kalk – zoals dat genoemd werd in oude geschriften – heeft dezelfde chemische formule als de oorspronkelijke steen. Deze carbonatatie verloopt volgens twee reacties. Tijdens de eerste reactie wordt koolzuurgas omgezet in koolzuur, bij de tweede verbindt dat koolzuur zich met de gebluste kalk. Het koolzuurgas is afkomstig uit de atmosfeer.
CO_2 + H_2O -> H_2CO_3
$Ca(OH)_2$ + H_2CO_3 -> $CaCO_3$ + 2 H_2O
Voor het gemak voegen we de laatste twee formules vaak samen:
$Ca(OH)_2$ + CO_2 -> $CaCO_3$ + H_2O
Deze reactie is eveneens exotherm.

Meestal gaat het carbonatatieproces in kalkmortel traag omdat de diffusie van het koolzuurgas uit de lucht, dat slechts in zeer geringe concentratie aanwezig is, in de poriënstructuur van de mortel moeilijk verloopt. De carbonatatie begint pas als de mortel het grootste deel van zijn vocht kwijt is, omdat het koolzuurgas uit de lucht pas dan de kalk kan

Bronnen: 1

bereiken. De eerste 'verharding' is dus vergelijkbaar met die van klei en ontstaat alleen door het droger worden. In het inwendige van dikke muren kan het soms letterlijk eeuwen duren, voordat de echte verharding, de carbonatatie, plaatsvindt. Maar helemaal droog mag de mortel niet zijn, want zoals we in de formule "$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$" kunnen zien, is er voor de verharding ook water nodig.

Hydratatie of de uitharding van hydraulische kalk

Met hydratatie is men vandaag de dag vertrouwd aangezien het aan de basis ligt van de uitharding van portlandcement. Calciumsilicaten en andere oxiden die in hydraulische bindmiddelen voorkomen zullen, wanneer ze met water in contact worden gebracht, reageren tot *gels* en later tot structuren die de mortel doen verstarren en uitharden. Aangezien het water in de massa van de mortel aanwezig is, gebeurt deze reactie in de massa van de mortel overal tegelijk. Hydraulische bindmiddelen die voornamelijk bestaan uit dicalciumsiclicaten zullen echter veel trager reageren dan deze bestaande uit voornamelijk tricalciumsilicaten, zoals portlandcement. Juist dit maakt voor een belangrijk deel het verschil uit tussen de verharding van hydraulische kalk en portlandcement.
Een hydraulische kalk bestaat voornamelijk uit $CaO \cdot SiO_2$ en $Ca(OH)_2$. Hoe meer kalk uit de eerste stof bestaat, des te sterker hydraulisch de kalk is. Cao · SiO2 verhardt met water.
$2 (2 CaO \cdot SiO_2) + 4 H_2O \rightarrow 3 CaO \cdot 2 SiO_2 \cdot 3 H_2O + Ca(OH)_2$
De $Ca(OH)_2$ zal mogelijk met reactieve silicium-, alumunium- of ijzerverbindingen reageren (voor zover aanwezig), maar het grootste deel ervan kan alleen volgens de formule zoals bij carbonatatie verharden. Onder water zal die component dus niet of nauwelijks verharden.
Voor de verharding van deze hydraulische bindmiddelen is dus water nodig. Indien dit water niet aanwezig is, verlopen deze reacties niet. Men spreekt dan van *verbranden* van de mortel. Onder gunstige omstandigheden kan de reactie verder verlopen als de mortel naderhand weer nat wordt. Vaak leidt verbranden echter tot verminderde samenhang.

Werking van puzzolanen

De reactie van puzzolanen met de vrije kalk in de mortel levert een bijdrage aan het verhardingsproces en aan de sterkte van de kalkmortels. Puzzolanen en voornamelijk tras bevatten vrije silica, die dus niet gebonden is in de kristalroosters van kristallijne mineralen. Deze vrije silica reageert met het kalkhydraat onder de vorming van calciumsilicaathydraat (C-S-H).

Bronnen: 1

$3\ Ca\ (OH)_2 + 2\ SiO_2 \cdot H_2O \rightarrow 3\ CaO \cdot 2\ SiO_2 \cdot 3\ H_2O + H_2O$

In mindere mate vinden ook andere, vergelijkbare reacties plaats:

$3\ Ca\ (OH)_2 + Al_2O_3 \cdot H_2O \rightarrow 3\ CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6\ H_2O$

$3\ Ca\ (OH)_2 + Fe_2O_3 \cdot H_2O \rightarrow 3\ CaO \cdot Fe_2O_3 \cdot 6\ H_2O$

De volgens deze formules gevormde calciumverbindingen zijn respectievelijk tricalcium-disilicaat-hydraat, tricalcium-aluminium-hydraat en tricalcium-ferriet-hydraat.

Een andere mogelijkheid is om *gebakken klei* ($Al_2O_3 \cdot 2\ SiO_2$) te vermalen en met de gebluste kalk te vermengen. Gemalen gebakken klei is een *synthetisch puzzolaan*. Samen met kalk verhardt dit puzzolaan volgens de formule:

$7\ Ca(OH)_2 + 2\ (Al_2O_3 \cdot 2\ SiO_2) + 2\ H_2O \rightarrow$

$2\ (2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot H_2O) + 3\ CaO \cdot 2\ SiO_2 \cdot H_2O + 6\ H_2O$

Hierbij ontstaan dus twee verschillende verbindingen, te weten dicalcium-aluminium-silicaat-hydraat $2\ CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot H_2O$ en tricalcium-trisilicaat-hydraat $3\ CaO \cdot 2\ SiO_2 \cdot H_2O$.

Omdat hydraulische reacties in hydraulische kalkmortels eveneens hun bijdrage leveren aan het verhardingsproces, worden puzzolanen voornamelijk toegevoegd aan bindmiddelen met geringe of afwezige hydraulische eigenschappen, zoals lucht-kalk. Puzzolanen zijn dus geen bindmiddel op zichzelf, ze vormen een hydraulisch bindmiddel door de reactie met kalkhydraat.

Kalkhydraat in kalkmortels waaraan puzzolanen zijn toegevoegd verhardt op twee wijzen. Ten dele vindt een puzzolane reactie plaats waarbij calciumgels ontstaan (mits de mortel voldoende lang vochtig blijft), die vervolgens uitharden en daarnaast gebeurt de uitharding door carbonatatie (mits voldoende koolzuurgas uit de lucht de vrije kalk kan bereiken) zoals bij luchtkalk.

Bronnen: 1

4.4 Hechting van kalkmortel aan de steen

Wanneer kalkmortel toegepast wordt bij het metselen, pleisteren of voegen, dan is het voor de duurzaamheid noodzakelijk dat de mortel goed aan de steen hecht. Bij de hechting aan steen komt er een dubbele mechanische hechting tussen de mortel en de steen tot stand.
De eerste vorm van mechanische hechting of verankering aan het ruwe steenoppervlak ontstaat, wanneer de mortel voldoende plastisch is en bovendien voldoende bindmiddel bevat, zodat een dun laagje bindmiddel het reliëf van de steen kan volgen. Teneinde dit laagje te kunnen vormen mag de mortel niet te droog zijn. Anderzijds heeft een te natte mortel een te geringe cohesie, waardoor de stenen als het ware op de mortel gaan drijven. Ook dat komt de samenhang van de constructie niet ten goede, temeer daar in dit geval bovendien te veel drogingskrimp kan optreden.
De tweede vorm van mechanische hechting op het grensvlak tussen mortel en steen ontstaat wanneer de steen op vele plaatsen kalksuspensie uit de mortel opzuigt. Na carbonatatie is er hierdoor kalk aanwezig ter weerszijden van dat grensvlak. Door deze *verankerende* werking van deze kalk wordt gesproken over het ontstaan van *kalkankertjes*. Omdat kalksuspensie een mengsel is van vrije kalk en water mag het opzuigen van deze suspensie door de steen niet te sterk zijn. Anders zal hierdoor het voor de verharding van de mortel noodzakelijke water ontbreken en de mortel in de nabijheid van dit grensvlak verbranden. Dit heeft een slecht samenhang van de mortel tot gevolg en daardoor een slechte hechting van de steen aan de mortel. Wanneer de mortel tevens puzzolanen bevat, zullen bij de reactie van de vrije kalk met de puzzolanen naaldvormige kristallen ontstaan. Die kristallen kunnen ook in de *kalkankertjes* aanwezig zijn, waardoor zij een positieve bijdrage leveren aan de hechting van de mortel op de steen.
Uit het bovenstaande blijkt, dat voordat wordt begonnen met de verwerking van specie en baksteen, proefondervindelijk moet worden vastgesteld wat de beste consistentie is van de specie, afhankelijk van de hoeveelheid toegevoegd water. Die hoeveelheid moet optimaal zijn voor de verharding van het desbetreffende type mortel. Uiteraard moet daarbij rekening worden gehouden met de vereiste verwerkbaarheid zodat de pleisteraar goed werk kan afleveren. Het capillaire gedrag van de te verwerken stenen is hierbij de meest bepalende factor. Een zachtgebakken (poreuze) steen heeft een veel sterkere capillaire werking dan een hardgebakken klinker en zal dus meer water opzuigen. Beschikbaarheid van voldoende water in de mortel en goed voorbevochtigen van de baksteen is bij zachtgebakken stenen daarom nog belangrijker dan bij hardgebakken stenen!

Bronnen: 1

Doordat vette kalkmortels over het algemeen moeilijker zijn te verwerken dan even vette cementgebonden mortels, hebben pleisteraars de neiging de kalkspecie te nat te maken. Deze werkwijze komt de consolidatie van het te realiseren werk echter niet ten goede.
Ter voorkoming van het aanmaken van niet optimaal viskeuze kalkspecies, is het noodzakelijk per werk een vast recept op te stellen, waarin tevens de toe te voegen hoeveelheid water wordt opgenomen. Hierbij kan rekening gehouden worden met de ervaring van goede vaklui die het gebruik van kalkmortel kennen. Van het optimale watergehalte mag niet worden afgeweken, behalve wanneer daar goede redenen voor zijn, zoals veranderende buitentemperaturen en dergelijke. Alleen wanneer de mortel met de juiste hoeveelheid water is aangemaakt en de stenen op de juiste manier zijn voorbevochtigd, ontstaat een goede mechanische hechting van de mortel op het ruwe steenoppervlak en kunnen kalkankertjes zich optimaal ontwikkelen.

Bronnen: 1

5 De verschillende kaleiproducten

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de meeste kaleiproducten objectief besproken die vandaag de dag gebruikt worden. Hierbij horen ook enkele mengsels die zelf aangemaakt worden. Deze lijst is niet limitatief, maar houdt de producten in die info verschaften voor deze thesis.
We splitsen de kaleiproducten op in enkele grote groepen. De ene groep bevat de kaleien op basis van hoofdzakelijk kalk, de tweede groep bevat de kaleien die naast kalk ook cement bevatten en de andere soorten kaleien worden in een derde deel besproken. Verschillende producenten hebben zowel een kalei op basis van kalk, als op basis van andere grondstoffen, deze worden elk in hun passend deel besproken.
In dit hoofdstuk vellen we geen oordeel op basis van praktijkvoorbeelden, dit gebeurt in het hoofdstuk rond kaleien in de praktijk. Hier bespreken we objectief elk product met zijn verschillende grondstoffen.
Bij elk product wordt ook de aannemersprijs vermeld. Deze is niet bindend. De voorgestelde hoeveelheden zijn deze voorgeschreven door de producenten, deze zijn dus subjectief.

5.2 Kalei producten op basis van kalk

Kalk wordt al duizenden jaren gebruikt als bindmiddel voor pleisters. Ook nu nog bestaan heel wat pleisterproducten op basis van kalk, alsook kaleien. Het mengsel, waarbij men enkel een passende hoeveelheid kalk en zand mengden en hieraan water toevoegden, wordt tegenwoordig niet veel meer toegepast, meestal maakt men gebruik van enkele toeslagstoffen om de kalei te verbeteren. Van elk product bespreken we welke grondstoffen aanwezig zijn. Het effect van elke grondstof werd besproken in het voorgaande hoofdstuk!

5.2.1 Unilit (Arte Constructo)

Algemeenheden

De kant en klare Unilit kalei, op basis van een zuivere natuurlijke hydraulische kalk, van verdeler Arte Constructo wordt in twee lagen aangebracht. Unilit is een productreeks van de fabrikant H.D. System uit Tassullo (Italië). De kalk wordt gehaald uit de mijnen van San Romedio.
Volgens Arte Constructo is de gekalleide afwerking waterdicht, maar tegelijkertijd perfect dampopen. Hierdoor wordt de uitwisseling van waterdamp met de buitenomgeving verzekerd. Eventueel opstijgend vocht of condensatievocht kan vrij doorheen de kaleilaag verdampen.

Het lage zoutgehalte van het bindmiddel, evenals de goede dampdoorlaatbaarheid, maken dat er geen risico bestaat op de vorming van zoutuitbloeiingen na droging. Tenminste wanneer de ondergrond op zichzelf geen zouten naar de kaleilaag aanvoert.

Grondstoffen van kaleilaag

De Unilit kalei wordt uitgevoerd met het product Unilit 15/P1. Voor de tweede laag wordt soms ook gebruik gemaakt van Unilit 400, maar bij 'afwerking' lees je hier meer over.
De Unilit 15/P1 bestaat uit zuivere natuurlijke hydraulische kalk met passende toeslagstoffen. Er wordt geen toevoeging van cement, tras, klinker of enig ander synthetisch bindmiddel aanvaard. De maximale korrelgrootte bedraagt 1 mm.
Deze natuurlijk hydraulische kalk ontstaat als gevolg van het branden en vervolgens blussen van een kleihoudende kalksteen. Hydraulisch actieve bestanddelen, voornamelijk calciumsilicaten en calciumaluminaten, calciet (calciumcarbonaat), natuurlijke puzzolanen, minerale toeslagstoffen (kwartszand) en gips (max. 5%) vormen de voornaamste bestanddelen van het bindmiddel. Een beperkte hoeveelheid aan ongebluste kalk, maximaal 5%, kan aangetroffen worden.

Bronnen: Arte Constructo

Technische kenmerken

Voorkomen:	vast (in poedervorm)
Kleur:	lichtbeige
Geur:	geurloos
pH-waarde:	> 10,5 (alkalisch)
Ontvlambaarheid:	klasse M0 (onbrandbaar)
Relatieve Dichtheid:	1,50 – 1,60 g/cm³
Oplosbaarheid:	1,5 g/l bij 20°C
Korrelgrootte:	max. 1 mm
Soortelijke massa:	1580 kg/m³
Druksterkte:	4 N/mm² na 60 dagen
	6 N/mm² na 90 dagen
Hechtsterkte (DIN 18.555):	> 2 N/mm²
Dampdiffusieweerstand (μ):	10
Verbruik:	~ 2 – 2,5 kg/m²
Leveringsvorm:	poeder in zakken van 30 kg

Verwerking:
De mortel wordt gemengd met zuiver water in een verhouding van 7 l water op een zak van 30 kg natuurlijk hydraulische kant-en-klare kalkmortel. De menging dient te gebeuren met een traag draaiende elektrische mixer voor een periode van 3 tot 5 minuten. Aldus bekomt men een zeer goed verwerkbare mortel, die gedurende twee uur verwerkbaar blijft.
De mortel wordt in twee lagen aangebracht met een zachte blokborstel. Er dient bijzondere aandacht besteed te worden aan het vullen van scheuren, barsten en holten.
De volgende dag wordt de ondergrond afgeborsteld met een zachte borstel teneinde alle loszittende korrels te verwijderen.

Een droogtijd van één tot twee dagen dient gerespecteerd te worden.

In de bijlage (p. 141) van deze paper zit de uitgebreide technische fiche van dit product.

Bronnen: Arte Constructo

Afwerking

Op de Unilit 15/P1 grondlaag zijn er drie afwerkingmogelijkheden. Men kan op de twee Unilit 15/P1 lagen nog een extra in de massa gekleurde kaleilaag (Unilit 400) aanbrengen, maar men kan ook op de twee Unilit 15/P1 lagen schilderen met ofwel een minerale kalkverf of met een minerale silicaatverf. Hieronder volgt een bespreking per mogelijkheid.

Unilit 400

Dit product bestaat net zoals de Unilit 15/P1 uit zuivere natuurlijke hydraulisch kalk met passende toeslagstoffen en eventueel aangevuld met natuurlijke puzzolanen om een constante hydrauliciteit te verzekeren, maar bezit hierbij ook pigmenten. De maximale korrelgrootte bedraagt 0,7 mm.

De kleur en de wijze van afwerking van de toplaag wordt bepaald door de architect en de bouwheer.

Korrelgrootte:	max. 0,7 mm
Soortelijk gewicht:	1560 kg/m³
Elasiciteitsmodulus:	6130 N/mm²
Druksterkte:	5 N/mm² na 60 dagen
	6 N/mm² na 90 dagen
Treksterkte:	0,5 N/mm²
Dampdiffusieweerstand (μ):	10,4
Warmtegeleidingscoëfficiënt (λ):	0,30 W/mK
Capillaire waterabsorptiecoëfficiënt:	0,19 l/m²√h
pH-waarde:	> 10,5
Brandweerstand:	Klasse MO (onbrandbaar)
Verbruik:	~ 1 tot 1,5 kg/m²
Leveringsvorm:	poeder in zakken van 30 kg
Kleur:	12 kleuren, volgens kleurenkaart op staal, vanaf wit met een maximale toevoeging van 10% aan natuurlijke pigmenten.

Verwerking:

Bronnen: Arte Constructo

De mortel wordt gemengd met zuiver water in een verhouding van 7 l water op een zak van 30 kg natuurlijk hydraulische kant-en-klare kalkmortel. De menging dient te gebeuren met een traag draaiende elektrische mixer voor een periode van drie tot vijf minuten. Aldus bekomt men een zeer goed verwerkbare mortel, die gedurende twee uur verwerkbaar blijft.
De mortel wordt aangebracht met een zachte blokborstel.
De volgende dag wordt de ondergrond afgeborsteld met een zachte borstel teneinde alle loszittende korrels te verwijderen.

Corical

De met een natuurlijk hydraulisch gekaleide gevel wordt met een traditionele, minerale, matte kalkverf geschilderd. De kant en klare kalkverf is geformuleerd uit een vette kalk van hoogwaardige kwaliteit, minerale additieven en natuurlijke pigmenten. De kalkverf bezit schimmelwerende, bacteriedodende en ontsmettende eigenschappen.
De kleur en de afwerkingtechniek van de schilderwerken wordt bepaald door de architect en bouwheer.

Bindmiddel:	vette kalk
Oplosmiddel:	water
Soortelijk gewicht (kleur wit):	1,3 kg/l
Dampdiffusieweerstand (μ):	12
pH-waarde:	> 12
Brandweerstand	Klasse M0 (onbrandbaar)
Droging (bij 20°C en 75% R.V.):	overschilderbaar na min. 12 uur
	belastbaar na min. 48 uur
	doorgehard na 28 dagen
Verbruik:	~ 350 à 400 g/m² in 2 lagen
Leveringsvorm:	vloeibare pasta in potten van 5 l tot 15 l

Verwerking:
Teneinde het uitstrijkvermogen en de verwerkingssnelheid van de kalkverf te verbeteren, wordt de verf voorafgaand goed mechanisch opgeroerd.
Het gekaleide oppervlak wordt in twee lagen geschilderd. De eerste kalkverf wordt verdund met 30 tot 40% water en de tweede laag met 5 tot 10% water. Tussen de beide verflagen

Bronnen: Arte Constructo

in, dient een droogtijd van minimaal twaalf uren gerespecteerd te worden, de precieze droogtijd is evenwel afhankelijk van de weersomstandigheden.
Het oppervlak kan hetzij met een blokborstel, hetzij met een kortharige rol, waarvan de haren aan de zijkanten zijn kortgeknipt, geschilderd worden al naargelang het gewenste effect. Het schilderen met een blokborstel versterkt de natuurlijke nuances van de kalkverf en schilderpatronen. Bij het schilderen kan er hetzij gewerkt worden in banden met een breedte van zo'n 80 tot 100 cm, hetzij in bewegingen die kriskras, op onregelmatige wijze op de muur gezet worden, teneinde een gewolkt effect te bekomen. Dit laatste kan men evenwel enkel bekomen met behulp van een blokborstel.

Keim Granital

De met een natuurlijk hydraulisch gekaleide gevel wordt met een traditionele, minerale, matte silicaatverf geschilderd. De silicaatverf is geformuleerd uit kaliwaterglas van hoogwaardige kwaliteit, minerale additieven en lichtbestendige, anorganische pigmenten. De silicaatverf bezit schimmelwerende en bacteriedodende eigenschappen en is dampopen, onontvlambaar en zeer licht- en zuurbestendig.
Deze verf is duurzamer dan de kalkverf.
De kleur en de afwerkingstechniek van de schilderwerken wordt bepaald door de architect en de bouwheer.

Bindmiddel:	kaliwaterglas
Oplosmiddel:	water
Soortelijk gewicht (kleur wit):	1,45 kg/l
Dampdoorlaatbaarheid (S_d):	0,02 m
pH-waarde:	> 12
Brandweerstand:	klasse M0 (onbrandbaar)
Droging (bij 20°C en 75% R.V.):	overschilderbaar na min. 12 uur
Verbruik	~ 300 g/m² in 2 lagen Keim Granital
	~ 50 ml/m² verdunning Keim SpeciaalFixatief
Leveringsvorm:	vloeibare pasta in potten van 5 l, 10 l of 15 l

Verwerking:
Om het uitstrijkvermogen en de verwerkingssnelheid van de silicaatverf te verbeteren, wordt de verf voorafgaand goed mechanisch opgeroerd.

Bronnen: Arte Constructo

Het winddroge gekaleide oppervlak wordt in twee lagen geschilderd. De eerste laag wordt verdund met 20 tot 30% speciaalfixatief, terwijl de tweede laag onverdund wordt aangebracht.
Tussen beide verflagen in dient een droogtijd van minimaal twaalf uren gerespecteerd te worden. De precieze droogtijd is evenwel afhankelijk van de weersomstandigheden.
De silicaatverf wordt aangebracht met de borstel, de rol of met behulp van spuitapparatuur. In het geval men van dit laatste gebruik maakt, dient dit bij de bestelling aan de leverancier van de silicaatverf medegedeeld te worden.

Prijzen

Hierbij nemen we de gemiddelde m² prijzen, berekent voor een muuroppervlak van 100 m².

Unilit 15/P1:	2,5 kg/m² per laag verbruik -> 1,13 €/kg -> 5,64 €/m²
Unilit 400:	1,5 kg/m² verbruik -> 1,60 €/kg -> 2,4 €/m²
Corical kalkverf:	3,5 m²/l verbruik -> 6,91 €/l -> 1,97 €/m² (in potten van 15l voor 103,65€)
Keim silicaatverf:	5,5 m²/l verbruikt -> 9,05€/l -> 1,65€/m² (in potte van 15l voor 135,75€)

Totalen (afhankelijk van afwerking):

Unilit 400:	8,04 €/m²
Corical kalkverf:	7,61 €/m²
Keim silicaatverf:	7,29 €/m²

De vermelde tarieven zijn schilderstarieven voor grote afname en excl. BTW.

5.1 Begijnhof Hoogstraten
© Arte Constructo

Referenties

- Begijnhof in Kortrijk
- Begijnhof in Hoogstraten (10-15 jaar zonder ingrijpen)
- Windmolen in Boeghout

Bronnen: Arte Constructo

5.2.2 Wolf Jordan Kalei

Algemeenheden

Wolf Jordan heeft zijn eigen kaleiproduct, deze wordt gemaakt zoals volgens hem het vroeger gebeurde. Dit wil zeggen met hydraatkalk, tras en roggemeel om zo tot een hydraulisch kalkproduct te komen. Hij haalt hiervoor zijn info uit boeken die historische pleisterwerken bespreken (zoals de Bouwkunde boeken van Vitruvius, zie hfdst. 2: 'Historische bindmiddelen en pleisters').
De kalei van Wolf Jordan bestaat uit een 'twee lagen' systeem. De eerste laag bestaat uit een kaleipleister, de tweede laag uit kalkverf. Dit geheel beschermt de gevel tegen slagregen en garandeert toch een goede dampdoorlaatbaarheid.

Grondstoffen van kaleilaag

De kalei van Wolf Jordan bestaat uit hydraatkalk, tras, zand, marmerpoeder en kalksteenmeel. Voor dat laatste kan ook roggemeel gebruikt worden. Dit zorgt voor een goede waterdichtheid, waarbij het geheel dampopen blijft. De kalei zet de zouten ook naar buiten af (witte kleur). Zo kan men een muur terug gezond maken, maar dit kan jaren duren.
Wolf haalt zijn tras rechtstreeks van de fabrikant Meurin (Duitsland). Zij leveren een pure tras, zonder toevoegingen (wat bij Tubag wel gebeurd) en van een goede, constante en zuivere kwaliteit. Hij probeert ook zijn kalk zo vers mogelijk te halen bij producent Carmeuse (Frankrijk). Zand en marmerpoeder vormen samen met de kalksteenmeel de granulatenstructuur van de kalei.

Technische kenmerken

Voorkomen:	vast (in poedervorm)
Kleur:	lichtbeige
Geur:	geurloos
Verbruik:	~ 1,2 tot 2 kg/m²
Leveringsvorm:	poeder in zakken van 10 of 25 kg
	per palet bij minimum afname van 300 kg

Bronnen: Wolf Jordan

De twee lagen van Wolf Jordans kalei samen zorgen samen voor een capillair netwerk van grof (kaleilaag) naar fijn (kalkverflaag), waardoor vocht in de gevel actief naar buiten wordt getrokken. Deze eigenschap is onmogelijk te verkrijgen door één laag van een in de massa gekleurd systeem.
De capillairen zijn zeer klein. Bij het uitkristalliseren van het kalk zet de pleister uit en worden deze nog kleiner, de waterdamp wordt eruit geduwd en de capillairen worden te klein voor de zouten. Hierdoor kunnen er geen zouten in deze 'gaatjes' komen en uitkristalliseren, wat voor het kapotgaan van je pleister kan zorgen.

Verwerking:
Aan te maken met relatief veel water, omdat deze pleister erg dun moet worden opgezet.
Gewoonlijk wordt deze vrij dunne pap opgezet (dikte 2 tot 3 mm) met een spaan en met een kwast verder gelijkmatig uitgestreken. Daardoor kan dit ook op een onregelmatige ondergrond worden aangebracht. Treden kleine barstjes op, dan kan men deze met de kwast weer dichtstrijken.
Het geheel langzaam en gelijkmatig laten drogen. Dus opletten voor warmte en ook wind. Eventueel een aantal dagen nanevelen om een te snelle droging te vermijden. Te snelle droging kan scheurvorming of hechtingsproblemen met de ondergrond veroorzaken.
Binnen enkele uren moet de aangemaakte kalei verwerkt zijn.

In de bijlage (p. 141) van deze paper zit de uitgebreide technische fiche van dit product.

Afwerking

<u>Calcatex</u>
Op de kaleilaag wordt een kalk-caseïne verf aangebracht. Deze is beschikbaar in 45 kleuren (zie kleurenkaart in bijlage).

Voorkomen:	vast (in poedervorm)
Grondstoffen:	hydraatkalk, caseïne, marmerpoeder, zwaarspaat, natuurlijke aardpigmenten of fabrieksmatige minerale pigmenten
Verbruik:	~ 10 à 20 m² / kg poeder

Bronnen: Wolf Jordan

Verwerking:
Neem 1 deel water op 1 deel poederverf, goed mengen en 30 tot 45 minuten laten staan. Terug oproeren en zonodig, met water verder afdunnen. Tijdens het verwerken regelmatig omroeren, omdat de pigmenten anders uitzakken.
Wanneer de kalei begint aan te trekken, kan reeds de kalkverf worden aangebracht. Deze echte 'affresco'-techniek maakt de kalkverf extra dekkend en extra sterk. Deze kalkverf vormt een essentieel onderdeel van het totale kalei-systeem en dient in slechts één laag opgezet te worden.

Prijzen

Hierbij nemen we de gemiddelde m² prijzen, berekent voor een muuroppervlak van 100 m².

Wolf Jordan Kalei:	2 kg/m² verbruik -> 1,18 €/kg -> 2,36 €/m² (in zakken van 30 kg voor 44,75 €)
Calcatex kalkverf:	12 m²/kg poeder -> 12,7 €/kg -> 1,06 €/m² (per 2 kg voor 32,11 €)
Totaalprijs:	3,42 €/m²

De vermelde tarieven zijn schilderstarieven voor grote afname en excl. BTW.

Referenties

- Pastorei in Melveren (Sint-Truiden)
- Hof ter Steen
- De Vlek in Merelbeke
- Kruishoutem

Bronnen: Wolf Jordan

5.2.3 RC Kalei (ReynChemie)

Algemeenheden

Reynchemie fabriceert een kaleimortel "RC Kalei" op basis van de witte natuurlijke hydraulische kalk van St Astier, gemalen calciumcarbonaat en een kleine hoeveelheid wit zand.
De dosering van de kalk en een ideale keuze en opbouw van de granulometrie van de vulstof geven aan RC Kalei uitstekende eigenschappen voor toepassing in de restauratie: plasticiteit, goede hechting, geen krimpscheuren, dampdoorlaatbaarheid en het vochtregulerend effect; ongevoeligheid voor zouten, dwz. dat eventuele bestaande zouten door de kalei kunnen migreren tot aan de buitenkant (waar ze afregenen of kunnen afgeborsteld worden).
RC Kalei functioneert als een structuurlaag op bakstenen en beton om nadien eventueel te overschilderen met kalkverven.

Grondstoffen van kaleilaag

RC Kalei is een kaleimortel op basis van de natuurlijke hydraulische kalk van St.-Astier en passende toeslagstoffen. RC Kalei bevat 0% cement en benadert hiermee het best de traditionele duurzame techniek van weleer.

RC Kalei heeft een granulometrie (gemalen calciumcarbonaat en een kleine hoeveelheid wit zand) van 500 micron tot 1 mm.

Technische kenmerken

Voorkomen:	vast (in poedervorm)
Kleur:	beige
pH-waarde (in water):	12
Volumieke massa:	1,3 kg/dm³
Korrelgrootte:	tussen 0,01 en 1 mm
Verbruik:	~ 2 – 6 kg/m²
Leveringsvorm:	zak van 25 kg

Bronnen: ReynChemie

Verwerking:
RC Kalei dient enkel aangelengd te worden met proper water tot een smeuïge massa (6 à 6,5 l per zak van 25 kg) en is dan eenvoudig met een blokborstel (dikte 2 à 4 mm) aan te brengen (voor grote oppervlaktes kan een projectiesysteem met bv. een wormpomp gebruikt worden om dan af te strijken met borstel). De menging dient het liefst mechanisch te gebeuren voor een periode van 4 minuten. Bij sterk zuigende ondergronden licht voorbevochtigen.
RC Kalei kan gedurende 2 uur verwerkt worden. De droogtijd schommelt tussen 24 en 48 uur. RC Kalei moet beschermd worden gedurende 48 uur tegen de regen en tot 72 uur na het aanbrengen tegen de vorst.

Vorstvrij en droog opslaan gedurende een maximale opslagtijd van 6 maanden.
In de bijlage (p. 141) van deze paper zit de uitgebreide technische fiche van dit product.

Afwerking

RC Calco
Op de RC Kalei laag kan RC Calco kalkverf aangebracht worden om een andere kleur te bekomen. RC Calco is een mineraal product voor afwerkingen op de oude wijze. De basis is luchtkalk, gedurende 4 maanden verouderd, in pastavorm geleverd en geformuleerd om witte of gekleurde afwerkingen te realiseren, zowel voor binnen als voor buiten, op nieuwe en oude constructies.
Een aangepaste basische samenstelling maakt van de RC CALCO een ideale, esthetische en langdurige bescherming voor alle minerale ondergronden (metselwerk, pleister, beton, …) en in het bijzonder voor restauratie en renovatie. Het is zeer dampdoorlatend, remt de vorming van algen, schimmels, etc. en heeft een goede krasweerstand.

Voorkomen:	luchtkalk in pastavorm (CL)
Soortelijke massa:	1,6 $\pm$ 0,1 kg/dm³
Verbruik:	0,4 kg/m² per laag
Leveringsvorm:	emmers van 20 kg

Verwerking:
RC CALCO klassiek aanbrengen met borstel of rol, in twee lagen, verdund met 10 tot 20% water, met tussentijd van min. 12 uren na elke laag.

Bronnen: ReynChemie

Prijzen

RC Kalei: 4 kg/m² verbruik -> 1,34 €/kg -> 5,36 €/m²

RC Calco: 0,4 kg/m² verbruik -> afhankelijk van kleur (7 – 14 €/kg) -> 2,8 à 5,6 €/m²

Totaalprijs: 8,16 à 10,96 €/m²

De vermelde tarieven zijn schilderstarieven voor grote afname en excl. BTW.

Referenties

- Molen, Oude Baan naar Oostende, Brugge

Bronnen: ReynChemie

5.2.4 Calcilane Enduit (Remmers Bouwchemie)

Algemeenheden

Calcilane Enduit is een minerale gevelbekleding op basis van luchtkalk in pastavorm (min. 4 maanden oud), bestemd om gekleurde afwerkingen te realiseren op zowel oude als nieuwe gebouwen.
Eerst dient een laag Calcilane Fond (art. 9350) aangebracht te worden als regulator/fixateur.
Daarop komen dan twee lagen Calcilane Enduit.

Grondstoffen van kaleilaag

Calcilane Enduit bestaat uit luchtkalk (Lafarge Mortiers, Frankrijk) in pastavorm met natuurlijke kleurstoffen en natuurlijke toeslagstoffen. Daarnaast bevat Calcilane Enduit ook marmerpoeder en minder dan 5% organische additieven. De concentratie gehydrateerde luchtkalk ligt tussen 10 en 25%.

Technische kenmerken

Voorkomen:	pasta
Kleur:	parex-kleurenkaart
PH-waarde:	12,5 (sterk basisch)
Soortelijk gewicht:	1,9 $\pm$ 0,1 g/cm³
Oplosbaarheid:	verdunbaar in water
Ontvlambaarheid:	klasse M0 (onbrandbaar)
Verbruik:	
▪ Calcilane Fond	~ 0,05 – 0,15 l/m²
▪ Calcilane Enduit	~ 3,5 kg/m²
Leveringsvorm:	emmer

Verwerking:
Op gereinigde ondergrond een laag Calcilane Fond aanbrengen als regulator/fixateur.
Na een droogtijd van minimum 24 uren van de Calcilane Fond, een eerste laag Calcilane Enduit aanbrengen met een inox spaan. Na een minimum droogtijd van twaalf uur van de

Bronnen: Remmers Bouwchemie

eerste laag, een tweede laag Calcilane Enduit aanbrengen. Met een grove borstel afwerken om kalei effect te bekomen.

In de bijlage (p. 141) van deze paper zit de uitgebreide technische fiche van dit product.

Afwerking

Calcilane Enduit bevat kleurpigmenten, waardoor het niet meer nodig is een extra laag aan te brengen om het kleur te bepalen! De twee lagen Calcilane Enduit volstaan dus.

Prijzen

Calcilane Fond: ~ 0,10 l/m² verbruikt -> 8,74 €/l -> 0,874€/m²
Calcilane Enduit: ~ 3,5 kg/m² verbruik -> 2,62 €/kg -> 9,17 €/m²

Totaalprijs: 10,04 €/m²

De vermelde tarieven zijn schilderstarieven voor grote afname en excl. BTW.

Referenties

- Marktplein, Wingene (+ krabpleister)
- Steenweg op Mol, Oud-Turnhout
- Otterstraat, Turnhout
- Singellaan, Mol
- Laks, Oud-Turnhout
- Abtsdreef, Stabroek
- Hallestraat, Mechelen
- Oude Graanmarkt, Brussel (G20 + G40)
- Steenweg op Turnhout, Turnhout
- Blokstraat, Lier

Bronnen: Remmers Bouwchemie

5.2.5 FTB Kalei (FTB)

Algemeen

FTB Kalei is een cementvrije kaleimortel op basis van natuurlijke hydraulische kalk. Deze kalei is uitermate geschikt voor het afwerken van oude gevels.

Grondstoffen van kaleilaag

FTB kalei bestaat uit natuurlijke hydraulische kalk en minerale toeslagstoffen.

Technische kenmerken

Voorkomen:	vast (in poedervorm)
Kleur:	beigewit
soortelijk gewicht:	~ 1,3 kg/dm²
Korrelgrootte:	0,01 tot 0,63 mm
Verbruik:	2,6 à 5 kg/m²
Leveringsvorm:	zak van 20 kg

Verwerking:
De FTB Kalei aanmaken met 4 à 5 liter water per zak van 20 kg poeder.
Mechanisch mengen gedurende vier minuten. Aanbrengen met een blokborstel in laagdiktes van 1 à 2 mm. Dit komt neer op een verbruik van ongeveer 1,3 à 2,5 kg/m² per laag. Men brengt meestal twee lagen aan, om een totale laagdikte van 2 à 4 mm te bekomen, waardoor het typisch kalei-effect bekomen wordt.

Er moet een droogtijd voorzien worden van ongeveer 24 uur, afhankelijk van de weersomstandigheden. De gevel dient beschermd te zijn tegen regen tijdens de eerste 48 uur. Tussen elke laag dient een droogtijd van ongeveer 12 uur gerespecteerd te worden.

In de bijlage (p. 141) van deze paper zit de uitgebreide technische fiche van dit product.

Bronnen: FTB

Afwerking

Artecoat Kalkverf

Artecoat Kalkverf is een zeer dampdoorlatende verf bestaande uit vette kalk met toeslagstoffen, ideaal voor buitengevels van historische gebouwen en als afwerking op de FTB Kalei. Bij buitengebruik dient de ondergrond (kaleilaag) vooraf nat gemaakt te worden (overvloedig bij droge pleisters of bij hoge buitentemperaturen).

Voorkomen:	vloeibare pasta
kleur:	wit of ingekleurd volgens kleurenwaaier (230 kleuren)
soortelijk gewicht:	
wit	~ 1,360 kg/l
kleur	~ 1,399 tot 1,519 kg/l
pH:	~ 12
gehalte niet-petrochemische stoffen:	~97%
gehalte aan additieven:	minder dan 3%
verbruik:	~ 0,25 à 0,4 l/m²
leveringsvorm:	potten van 12 l

verwerking:

Artecoat Kalkverf is klaar voor gebruik. De Kalkverf goed opmengen voor gebruik, en aanbrengen met kwast, borstel of rol, zonder overmatig op ééndezelfde plaats te kwasten.
Deze kalkverf dient verdund te worden met 20 à 30% water. Op een homogene ondergrond zijn twee lagen meestal voldoende. Tussen verschillende lagen dient 4 à 8 uur gewacht te worden (afhankelijk van de weersomstandigheden).
In bijlage (p.) van deze paper zit een uitgebreide technische fiche van Artecoat Kalkverf met een reeks 'ongewenste effecten en remedies'.

Prijzen

FTB Kalei:	4 kg/m² verbruik -> 1,40 €/kg -> 5,60 €/m²
Artecoat Kalkverf:	0,4 l/m² verbruik -> afhankelijk van kleur (7,39 – 9,93 €/kg) -> 2,96 à 3,97 €/m²
Totaalprijs:	8,56 à 9,57 €/m²

De vermelde tarieven zijn schilderstarieven voor grote afname en excl. BTW.

Bronnen: FTB

5.2.6 Bayosan RK 70 N Kalkkalei (Renofort)

Algemeen

De Bayosan RK 70 N is een zuivere natuurkalk kalei voor de renovatie van (historische) gevels en metselwerk. Door toepassing van een natuurlijke, zeer hydraulische kalksoort (romaankalk) voldoet Bayosan Kalkkalei RK 70 N aan alle eisen die aan een cementloos en dus historisch materiaal gesteld kunnen worden. Deze kalei bezit alle positieve eigenschappen met betrekking tot bouwbiologische en bouwfysische eisen aangaande waterbestendigheid, waterdampdoorlaatbaarheid, gezond wonen en mechanische drukvastheid.
Deze kaleimortel is in de massa fabrieksklaar ingekleurd. Afwerking met hydrofobering of verven mogelijk.

Grondstoffen van kaleilaag

Bayosan Kalkkalei RK 70 N bestaat uit droog mortelmateriaal op basis van zand en natuurlijke, zeer hydraulische romaankalk (gegarandeerd zonder cement) met toevoegingen voor betere verwerking en hechting.

Technische kenmerken

Voorkomen:	vast (in poedervorm)
Kleur:	grijsbeige
Korrelgrootte:	0 tot 0,6 mm
Druksterkte:	1,5 – 5,0 N/mm²
Warmtegeleidingscoëfficiënt $\lambda_{10,dry}$:	$\leq$ 0,83 W/mK (voor P=50%)
	$\leq$ 0,93 W/mK (voor P=90%)
Dampdiffusieweerstand (μ):	~ 10
Verbruik:	2,4 à 4,8 kg/m²
Leveringsvorm:	papierzak van 25 kg

Bronnen: Renofort

Verwerking:
Per zak dient ongeveer 7 à 8 l water toegevoegd te worden. Bayosan Kalkkalei RK 70 N kan met de hand, met de mixer of met de in de handel verkrijgbare doorloop- of dwangmengers gemengd worden. Het laat zich uitstekend verwerken. De kalei wordt gewoonlijk met de stalen spaan opgebracht en in de eerste werkfase volledig dekkend geëgaliseerd. Bij beginnend hard worden, kan het afwerken van de structuur, bijv. door opschuren, geschieden. Als kaleilaag wordt Bayosan Kalkkalei RK 70 N slechts dun (3-4 mm) aangebracht.
Bij dun aanbrengen of bij te snel opdrogen moet de pleisterlaag naderhand éénmaal of meermaals natgemaakt worden.
De verwerkingstijd bedraagt ongeveer drie uur. De verhardingstijd wordt bepaald door het absorberend gedrag van de ondergrond, de omgevingstemperatuur en de gekozen consistentie.

In de bijlage (p. 141) van deze paper zit de uitgebreide technische fiche van dit product.

Afwerking

Bayosan Kalkkalei RK 70 N enkel in zijn natuurkleur verkrijgbaar. Wilt u een andere kleur, kunt u hierop nog een kalkverf aanbrengen.

Prijzen

Bayosan Kalkkalei RK 70 N ~ 4,8 kg/m² -> 0,79 €/kg -> 3,79 €/m²

Aannemersprijzen, per zak, voor afname van ca. 300 à 400 kg

Referenties

- Pearl Vision, Waver
- Colletijnenhof Portaalgebouw, Brugge
- Restaurant La Comedia, Mazenzele
- Grot Sint Hilarius, Wevelgem
- Wulvennest, Watou
- Beenhouwerij Langestraat, Brugge

Bronnen: Renofort

5.2.7 KalkFinish (Stuc-and-Staff)

Algemeen

KalkFinish is een gebruiksklare voorgemengde afwerkpleister voor binnen en buiten. Deze pleister kan gebruikt worden voor toepassingen op metselwerk als kaleilaag of glad afgewerkt worden als dunlagige afwerkpleister op een vlakke minerale ondergrond.
KalkFinish bevat enkel natuurzuivere grondstoffen.
Het ademende karakter van de KalkFinish heeft een gunstig effect op het binnenklimaat.

Grondstoffen van kaleilaag

KalkFinish bestaat uit natuurlijke hydraulische kalk (NHL 2.5), marmermeel en natuurlijke aardpigmenten.

Technische kenmerken

Voorkomen:	vast (in poedervorm)
Kleur:	ClayFinish-kleurenkaart
Verbruik:	3,125 à 5 kg/m²
Leveringsvorm:	zak van 25 kg

Verwerking:
De mortel manueel of mechanisch in een kuip met water mengen. Door het hydraulisch karakter van de mortel is het aan te raden geen te grote hoeveelheden per keer te mengen.
De kaleimortel wordt bij voorkeur in twee lagen aangebracht met een speciale tampicoborstel. De mortel wordt met deze borstel uitgestreken, op zodanige wijze dat de structuur en bekapping van het onderliggende muurvlak steeds duidelijk herkenbaar blijft. De tweede laag wordt op dezelfde wijze aangebracht als de eerste laag, en na een korte tijd, afhankelijk van de weersomstandigheden, wordt de mortel afgewerkt met een natgemaakte zachte blokkwast om de borstelstrepen weg te werken.
Alle voorzorgsmaatregelen die gelden voor klassieke bepleisteringen dienen ook hier in acht genomen te worden.

Bronnen: Stuc-and-Staff

Het kaleiwerk moet tegen te snelle uitdroging beschermd worden door telkens de ondergrond grondig nat te maken en erop toe te zien dat zon en wind het droogproces niet teveel beïnvloeden.

In de bijlage (p. 141) van deze paper zit de uitgebreide technische fiche van dit product.

Afwerking

KalkFinish is verkrijgbaar in alle kleuren van de ClayFinish-kleurenkaart. De kalei is ook overschilderbaar met een gekleurde kalklaag.

Prijzen

KalkFinish: ~ 5 kg/m² verbruik -> 0,925 à 1,09 €/kg (afhankelijk van kleur) -> 4,63 à 5,44 €/m²

De vermelde tarieven zijn schilderstarieven voor grote afname en excl. BTW.

Bronnen: Stuc-and-Staff

5.2.8 Histolith Kalkschlämme (Caparol)

Algemeen

Histolith Kalkschlämme (vroegere naam Calcimur) is een hoogwaardige, gebruiksklare kalk-kalei voor buiten en binnen op basis van gedispergeerd wit kalkhydraat. (Gedispergeerd wil zeggen dat er kunststoffen aan toegevoegd worden.)
Vullend kaleiproduct voor minerale oppervlakken buiten, in het bijzonder voor historische en onder monumentenzorg vallende objecten. Geschikt voor het dicht kaleien van krimpscheuren tot 0,2 mm scheurbreedte.
Deze kalei is weerbestendig, zeer waterdampdoorlatend en remt de aangroei van algen en schimmels.

Grondstoffen van kaleilaag

Histolith Kalkschlämme bestaat uit gedispergeerd kalkhydraat, minerale vulstoffen, metaaloxidepigmenten en geringe toeslag van organische additieven.

Technische kenmerken

Voorkomen:	pastavorm
Kleur:	wit
Verbruik:	0,300 à 0,400 kg/m² per laag
Leveringsvorm:	emmer van 20 kg

Verwerking:
Op de voorbereide ondergrond een grond-, tussen- en eindlaag aanbrengen, 10% verdund met water.
Liefst aanbrengen met de borstel
Bij 20° C en 65% relatieve luchtvochtigheid na 4 à 6 uur oppervlaktedroog, na 24 uur overschilderbaar.

In de bijlage (p. 141) van deze paper zit de uitgebreide technische fiche van dit product.

Bronnen: Caparol

Afwerking

De standaard kleur van Histolith Kalkschlämme is wit. Deze kalei kan af-fabriek gekleurd worden tegen meerprijs.
Een andere mogelijkheid is overschilderen met Histolith Fassaden-Kalkfarbe.

Histolith Fassaden-Kalkfarbe

Voor de behandeling van minerale buitenvlakken, speciaal voor historische objecten en gebouwen die onder monumentenzorg vallen. Uiterst geschikt als renovatieverf op oude, goed hechtende kalk- of silicaatverflagen, evenals voor de bekleding van kalkrijke pleisters.

Histolith Fassaden-Kalkfarbe bestaat uit gedispergeerd wit kalkhydraat en geringe toevoegingen van organische additieven. Het kleuren met droge pigmentpoeders, die bevochtigd kunnen worden, laat toe krachtige kleuren te bereiden.

Voorkomen:	vloeibare pasta
Kleur:	wit / kleuren op aanvraag
Waterdampdoorlaatbaarheid:	S_d - H_2O < 0,1 m volgens DIN 52 615
Verbruik:	~ 0,150 à 0,200 l/m² per laag
Leveringsvorm:	emmer van 12,5 l

Verwerking:
Na de voorbehandeling van de ondergrond een grond-, tussen- en eindlaag aanbrengen, naargelang het absorptievermogen van de ondergrond tot maximum 10% met water verdund.
Aanbrengen met de kwast, de rol of verspuiten.
Bij + 20 °C en 65 % relatieve luchtvochtigheid na 4 – 6 uur oppervlaktedroog, na 24 uur overschilderbaar. Bij lagere temperaturen en een hogere luchtvochtigheid rekening houden met een langere droogtijd. Er bestaat een gevaar van vlekkenvorming door de ontwikkeling van sinterhuid aan de oppervlakte.

Bronnen: Caparol

Prijzen

Histolith Kalkschlämme:	1,2 kg/m² verbruik -> 2,84 €/kg -> 3,40 €/m²
Histolith Fassaden-Kalkfarbe:	0,6 l/m² verbruikt -> 7,09 €/l -> 4,26 €/m²
Totaalprijs:	7,66 €/m²

De vermelde tarieven zijn schilderstarieven voor grote afname en excl. BTW.

5.2 Dekenij Zele
© Stijn D'hoore

Referenties

- Begijnhof Hansbeke
- Dekenij Zele

Bronnen: Caparol

5.2.9 Stacepro (PEC International)

Algemeen

Stacepro is een fijne witte kaleimortel en krimpvrije afwerkpleister op basis van zuivere natuurlijk hydraulische kalk en luchtkalk en specifieke kristallijne carbonaten als vulmiddel.
Doordat deze pleister krimpvrij is, ontstaan geen haarscheurtjes en is Stacepro een ideale drager voor dampopen verven en afwerklagen.
Deze kalei is resistent tegen alkalische aantastingen (atmosfeer) en ongevoelig voor bacteriën en zwammen.
Omwille van zijn sterke dampdoorlaatbaarheid en specifieke eigenschappen is Stacepro bijzonder geschikt voor restauratieprojecten. Dit product is ook ecologisch verantwoord, zowel in productie als in gebruik.

Grondstoffen van kaleilaag

Stacepro bestaat uit een mengsel van witte, natuurlijke hydraulische kalk en luchtkalk met chemische inerte carbonaten als vulstof. Er worden geen pigmenten in verwerkt, waardoor deze kalei een perfect neutrale drager is voor gekleurde afwerklagen.

Technische kenmerken

Voorkomen:	poeder
Kleur:	wit
Soortelijk gewicht:	1,100 kg/dm³
Verbruik:	~ 3,5 kg/m²
Leveringsvorm:	papieren zak van 25 kg

Verwerking:
Stacepro kan zowel met de hand als machinaal aangemaakt worden. Voor het aanmaken van de mortel wordt enkel zuiver water gebruikt. Voor het aanbrengen bij fel drogend weer of op een sterk zuigende ondergrond kan Calceplast BD 066 aan het aanmaakwater van de mortel

Bronnen: PEC International

toegevoegd worden (1 deel Calceplas op 4 delen zuiver water). Calceplast BD 066 is een acrylgebaseerd toeslagmiddel dat het 'verbranden' van de mortel helpt voorkomen.
Als kaleimortel wordt Stacepro aangebracht met een speciale 'tampicoborstel', die een goed contact met de ondergrond helpt verwezenlijken. De aangemaakte mortel wordt in een laag van 1 à 2 mm aangebracht, waarbij door het kruislings inwerken met de borstel een goede binding met de ondergrond gerealiseerd wordt.
Na een korte tijd, afhankelijk van de weersomstandigheden, wordt de mortel indien gewenst afgewerkt met een vochtige zachte blokkwast.

In de bijlage (p. 141) van deze paper zit de uitgebreide technische fiche van dit product.

Afwerking

Fresco

Traditionele kalkverf voor een hoogwaardige decoratieve, weerbestendige afwerking van muren, kaleiwerk, pleisterwerk, … Geschikt voor toepassing binnen en buiten. Verkrijgbaar in meer dan 100 kleuren. Fresco is UV bestendig en blijft bijzonder kleurecht door de minerale pigmentering.

Fresco kan zowel met de borstel als met de geschikte spuitapparatuur verwerkt worden.

Deze kalkverf is samengesteld uit vette gebluste kalk (luchtkalk) en gemicroniseerde carbonaten in poedervorm, speciale oliën en natuurlijke lijmen. Fresco wordt gekleurd met (anorganische) minerale pigmentpasta's. Hierdoor zijn alle aardkleuren mogelijk.
Fresco werd gemaakt naar de recepturen van de historische kalkverven en is dus bijzonder geschikt voor restauratieprojecten.

Voorkomen:	pasta
Kleur:	meer dan 100 kleuren
pH:	13 tot 13,5
Carbonatatietijd:	30 tot 60 dagen
Verbruik:	~ 0,28 à 0,5 l/m²
Leveringsvorm:	emmer van 15 l

Bronnen: PEC International

Verwerking:
Fresco wordt in een met de borstel uitstrijkbare pastavorm geleverd. Het volstaat het product goed om te roeren. Bovenop de verf kan een laagje water staan. Dit is volkomen normaal en het water moet onder de verf geroerd worden. Het mag zeker niet weggegoten worden.
Om een vullend effect te verkrijgen kan Fresco onverdund gebruikt worden. Dit gebeurt vooral op ruwe ondergronden of op ondergronden die met Stacepro of Medolago Finish XF werden afgewerkt. In het laatste geval verkrijgt men het effect alsof de ondergronden reeds vele malen gekalkt werd.

In de bijlage (p. 141) van deze paper zit de uitgebreide technische fiche van dit product.

Prijzen

Stacepro: ~ 3,5 kg/m² -> 0,84 €/kg -> 2,94 €/m²
Fresco: ~ 0,4 l/m² -> 4,3 €/l -> 1,72 €/m²

Totaalprijs: 4,66 €/m²

De vermelde tarieven zijn schilderstarieven en excl. BTW. Bij grote afname zijn kortingen mogelijk.

Bronnen: PEC International

5.2.10 Medolago Finish XF (PEC International)

Algemeen

Medolago Finish XF is een zeer fijne geprefabriceerde mortel op basis van natuurlijk hydraulische kalk. Dit product wordt gebruikt als fijne kaleimortel.
Deze kalei sluit nauw aan bij de eigenschappen van het historisch metselwerk waarbij veelal kalkmortel werd gebruikt. Door zijn uitzicht en samenstelling een verantwoorde keuze bij restauratie.
Dankzij zijn grote waterdampdoorlaatbaarheid en zijn kleine waterabsorptie wordt de water- en waterdamphuishouding van het metselwerk gunstig beïnvloed.
Medolago Finish XF is eenvoudig te verwerken met een plakspaan, borstel of trechterpistool.

Grondstoffen van kaleilaag

Medolago Finish XF heeft enkel natuurlijke hydraulische kalk als bindmiddel. De vulstoffen zijn geselecteerde witte gemalen kalksteen. Er zijn in deze kalei geen pigmenten verwerkt.

Technische kenmerken

Voorkomen:	poeder
Kleur:	wit
Soortelijk gewicht:	1,100 kg/dm³
Verbruik:	~ 2,5 kg/m²
Leveringsvorm:	papieren zak van 20 kg

Verwerking:
Meng Medolago Finish XF enkel met zuiver water of met een mengsel van één deel Calceplast BD 066 en vier delen water. Het mengen kan zowel mechanisch als manueel gebeuren. Meng tot een homogene pasta zonder luchtbellen. Calceplast BD 066 is een acrylaatemulsie die de verwerkbaarheid, de hechting op de ondergrond en de weerstand tegen atmosferische invloeden verbetert.
Bij het gebruik als kaleimortel wordt Medolago Finish XF toegepast met een speciale 'tampicoborstel' die een goed contact met de ondergrond helpt verwezenlijken of met een

Bronnen: PEC International

trechterpistool. De aangemaakte mortel wordt in twee lagen van ongeveer 1 mm aangebracht waarbij hij door het kruislings inwerken met de borstel een goede binding met de ondergrond verkrijgt. Na een korte tijd, afhankelijk van de weersomstandigheden, kan de tweede laag afgewerkt worden met een natgemaakte zachte 'blokkwast'. De wachttijd tussen beide lagen is minstens 24 u.

In de bijlage (p. 141) van deze paper zit de uitgebreide technische fiche van dit product.

Afwerking

Fresco

Zie 'afwerking' bij Stacepro (vorig kaleiproduct).

Prijzen

Medolago Finish XF:	~ 2,5 kg/m² -> 1,15 €/kg -> 2,88 €/m²
Fresco:	~ 0,4 l/m² -> 4,30 €/l -> 1,72 €/m²
Totaalprijs:	4,60 €/m²

De vermelde tarieven zijn schilderstarieven en excl. BTW. Bij grote afname zijn kortingen mogelijk.

Bronnen: PEC International

5.2.11 Badigeon (Cantillana)

Algemeen

Badigeon is een decoratieve verbeterde kalkverf. Dit zorgt voor een dunne (weinig vullende) kaleilaag. Het is geschikt voor het schilderen van elke minerale ondergrond, zowel binnen als buiten. Badigeon kan aangebracht worden met verscheidene verftechnieken zoals het traditioneel kaleien.

Grondstoffen van kaleilaag

Badigeon is een watergedragen dispersie van luchtkalk, versterkt met copolymeerharsen. De verf is ingekleurd met minerale pigmenten.

Technische kenmerken

Voorkomen:	pastavorm
Kleur:	185 standaardkleuren
Soortelijk gewicht:	1,250 kg/dm³
pH:	$\geq$ 12
Dampdoorlaatbaarheid (μ):	12
Verbruik:	~ 0,5 à 0,8 kg/m² (zeer dunne kaleilaag)
Leveringsvorm:	emmer van 18 kg

Verwerking:
De verfdispersie wordt verdund met zuiver water. De hoeveelheid is afhankelijk van het aanzuigvermogen van de ondergrond en de gewenste afwerking. Per volume Badigeon wordt driekwart tot tweemaal eenzelfde volume aan water toegevoegd. Tijdens het aanbrengen de verf regelmatig omroeren.
Badigeon wordt aangebracht in twee of drie lagen met een kwast of kan verspoten worden met een verfspuitmachine. Tussen de verschillende lagen enkele uren wachttijd voorzien.
In de bijlage (p. 141) van deze paper zit de uitgebreide technische fiche van dit product.

Prijzen Prijzen zijn niet bekend.

Bronnen: Cantillana

5.3 Kalei producten met cement

5.3.1 Bayosan EFP 007/01 (Renofort)

Algemeen

Fabrieksklare kaleimortel op basis van cement en hydraulische natuurkalk. Soepel materiaal dat geschikt is voor alle ondergronden. Is in verschillende korrelgrootteverdelingen en kleuren leverbaar. Geschikt voor manuele en machineverwerking.
Deze kalei heeft een zeer goede hechting, soepele verwerkbaarheid, waterafstotend systeem, vuilwerend en een goede CO2- en waterdampdoorlaatbaarheid.
Deze kalei wordt toegepast in nieuwbouw.

Grondstoffen van kaleilaag

Bayosan EFP 007/01 bestaat uit wit cement, hydraulische natuurkalk (wit), marmerzand, zand en additieven voor een betere verwerking en hechting.

Technische kenmerken

Voorkomen:	vast (in poedervorm)
Kleur:	bayosan kleurenkaart
Korrelgrootte:	0 tot 0,7 mm
Soortelijk gewicht:	1,60 kg / dm³
Druksterkte:	1,5 – 5,0 N/mm²
Warmtegeleidingscoëfficiënt $\lambda_{10,dry}$:	$\leq$ 0,83 W/mK (voor P=50%)
	$\leq$ 0,93 W/mK (voor P=90%)
Dampdiffusieweerstand (μ):	~ 10 - 15
Verbruik:	~ 4,5 kg/m²
Leveringsvorm:	papierzak van 25 kg

Verwerking:
EFP aanmaken tot de gebruikelijke consistentie. Kan met de hand worden verwerkt. Kleine hoeveelheden met de handmenger aanmaken. Bij grote oppervlaktes is een pleistermachine

Bronnen: Renofort

aanbevolen. Steeds een constante watertoeslag aanhouden. Voor een beter gebonden oppervlak eventueel 5 tot 15 % geconcentreerde alkalibestendige kunststofdispersie (bijv. RF Macoplus Concentraat) toevoegen aan het aanmaakwater. Bij het aanmaken steeds letten op een propere machine, recipiënt en gereedschap. Aanbrengen in een laagdikte van minstens driemaal de maximale korrelgrootte, manueel of machinaal. Eventueel afreien en na aantrekken fijn polieren.
Continu en gelijkmatig werken.

In de bijlage (p. 141) van deze paper zit de uitgebreide technische fiche van dit product.

Afwerking

Bayosan EFP 007/01 is 'in de fabriek gekleurd' verkrijgbaar. (Bayosan kleurenkaart)

Prijzen

Bayosan EFP 007/01 ~ 4,5 kg/m² -> 0,91 €/kg -> 4,10 €/m²

Aannemersprijzen, per zak, voor afname van ca. 300 à 400 kg

Referenties

- Pearl Vision, Waver
- Colletijnenhof Portaalgebouw, Brugge
- Restaurant La Comedia, Mazenzele
- Grot Sint Hilarius, Wevelgem
- Wulvennest, Watou
- Beenhouwerij Langestraat, Brugge
- Egmontlaan, Gent
- Kasteelstraat, Meulebeke

Bronnen: Renofort

5.3.2 Seifert Kaleipoeder (Seifert)

Algemeen

Seifert Kaleipoeder is het best te omschrijven als een minerale, fabrieksklare cementverf. In de fabriek wordt ook de kleurpigmenten toegevoegd.

Grondstoffen van kaleilaag

Seifert Kalei bestaat uit witte cement (kleurvast), gewassen krijt, hydraulische kalk en minerale kleurstoffen.

Technische kenmerken

Voorkomen:	vast (in poedervorm)
Kleur:	Seifert kleurenkaart
Verbruik:	~ 1 kg/m²
Leveringsvorm:	papierzak van 25 kg

Verwerking:
Door vermenging met water verkrijgt men een kaleiverf. Er is geen specifieke verhouding tussen het kaleipoeder en het aanmaakwater. Deze is afhankelijk van de ondergrond en het gewenste resultaat. Algemeen kan men stellen dat na vermenging met water een consistentie moet bekomen worden zoals een plastiekverf. In de praktijk is dit meestal zes delen poeder vermengen met vier delen water. Dit water kan men ook aanlengen met een hechtemulsie om de aanhechting en de waterwerendheid te verhogen.
Bij droog weer of bij een poreuze ondergrond is het aangewezen om de muur vooraf lichtjes met water te benevelen en dit te herhalen nadat de muur geverfd is opdat de kaleiverf langzaam zou kunnen drogen.
Om kleurenverschil door verschillende weersomstandigheden te vermijden, steeds per vlak afwerken. Bij sommige poreuze ondergronden is het zelfs nodig om de propere muur vooraf te behandelen met een fixeermiddel om zo een optimaal resultaat te verkrijgen. Het is echter niet aan te raden om de kaleiverf aan te brengen waar er een plastiekverf op aangebracht is

Bronnen: Seifert

aangezien er problemen kunnen ontstaan qua aanhechting en het is ook niet aan te raden om te kaleien op een te natte ondergrond om vochtplekken te voorkomen.
Eventuele haarscheurtjes of barstjes zijn meestal te wijten aan een te droge ondergrond of door het aan-brengen van een te dikke kaleiverf. Zodoende is het aangewezen om bij een ruwe of niet-homogene ondergrond twee dunnere lagen kaleiverf aan te brengen met een tijdspanne van 1 dag per laag.
Kaleiverf kan aangebracht worden met een kwast en kan ook aangebracht worden met een spuitpistool naargelang het gewenste resultaat.

In de bijlage (p. 141) van deze paper zit de uitgebreide technische fiche van dit product.

Afwerking

Seifert Kalei is 'in de fabriek gekleurd' verkrijgbaar. (Seifert kleurenkaart)

Prijzen

Seifert Kalei: ~ 1 kg/m² verbruik -> 1 à 1,20 €/kg (afhankelijk van kleur)-> 1 à 1,20 €/m²

De vermelde tarieven zijn schilderstarieven voor grote afname en excl. BTW.

Referenties

- Veldestraat, Merendree
- Duinaertweg, Erpe-Mere
- Lindelaan, Scheldelindeke
- Vlasstraat, Lommel
- Mexicaans restaurant, Gent
- Kinderkledingwinkel, Kortijksesteenweg, Deinze

Bronnen: Seifert

5.3.3 PRB Tradital (Vandeweege)

Algemeen

PRB Tradital is een minerale regendichte en decoratieve binnen en buitenpleister voor kaleiwerken op basis van hydraulisch bindmiddel (natuurlijk hydraulisch kalk en cement), klaar om te mengen.

Grondstoffen van kaleilaag

PRB Tradital bestaat uit witte cement, natuurlijke hydraulische kalk, kwartszand, lichte toeslagstoffen en kleurpigmenten.

Technische kenmerken

Voorkomen:	vast (in poedervorm)
Kleur:	48 kleuren
Korrelgrootte:	0 tot 0,8 mm
Brandweerstand:	M 0
Verbruik:	~ 3 à 4 kg/m² (2 lagen)
Leveringsvorm:	papierzak van 25 kg

Verwerking:
De PRB Tradital aanmaken met Disbon 760 Baudispersion: 1:2 verdund met water.
De juiste hoeveelheid mengwater moet constant worden aangehouden om nadien geen kleurverschillen te krijgen gedurende de uitvoering.
De toepassing gebeurd met een blokkwast in één tot twee lagen naargelang de ondergrond structuur.In geval het product in twee lagen wordt uitgevoerd, wordt de eerste laag aangenat .

In de bijlage (p. 141) van deze paper zit de uitgebreide technische fiche van dit product.

Afwerking

Bronnen: Vandeweege

PRB Tradital is in de massa gekleurd (48 kleuren).

Prijzen

PRB Tradital: ~ 4 kg/m² verbruik -> 0,41 €/kg -> 1,63 €/m²

De vermelde tarieven zijn schilderstarieven voor grote afname en excl. BTW.

5.4 Andere Kalei producten

5.4.1 Systeem met AmphiSilan (Caparol)

Algemeen

Caparol heeft twee eigen systemen die geen kalk meer bevatten. Deze hebben een op kunststof gebaseerde cementmortel Disbon 505 als kaleilaag met daarop afwerklagen.
Bij het Systeem met AmphiSilan bestaat de totale kalei uit vijf lagen: Disboxan 485 (hydrofuge product, een eerste buffer tegen zouten), Disbon 505 (kaleilaag, tweede buffer tegen zouten), AmphiSilan GrundierFarbe (grondverf), AmphiSilan Compact (kwartsverf) en Amphisilan Fassadenfarbe (eindlaag). De AmphiSilan verflagen bestaan uit siliconenharsen.
Deze zijn zeer waterafstotend, waardoor de gevels langer zuiver blijven. Daarnaast blijft het geheel zeer dampopen, waardoor de muur een ideale vochthuishouding krijgt. AmphiSilan is ook CO_2-open en geeft het oppervlak een edelmat, kalkachtig karakter.
Deze eigenschappen maken AmphiSilan uiterst geschikt voor door monumentenzorg beschermde objecten, evenals voor het schilderen van kalkhoudende pleisters.

Grondstoffen van kaleilaag

De kaleilaag Disbon 505 bestaat uit een kunststof-gemodificeerde cementmortel. De AmphiSilan lagen bestaan uit een siliconenharsemulsie.

Technische kenmerken

Hierbij bekijken we de technische kenmerken van de eigenlijke kaleilaag Disbon 505.
De technische fiche van de eerste laag Disboxan 485 zit in bijlage.

Voorkomen:	poeder
Kleur:	48 kleuren
Korrelgrootte:	0 tot 0,4 mm
Soortelijk gewicht (verse mortel):	1,9 kg/dm³
Hecht-treksterkte (28d):	> 1,5 N/mm²

Bronnen: Caparol

Verbruik:	~ 3,2 à 6,4 kg/m² (2 lagen)
Leveringsvorm:	papierzak van 25 kg

Verwerking:
Afgemeten hoeveelheid water in een zuivere recipiënt gieten (6,5l water per zak van 25kg mortel). Grondig mengen met een mengapparaat (max. 400 omw./min.); de volledige inhoud van de zak droge mortel langzaam toevoegen en ca. 3 minuten mengen tot een klontervrije plamuurmassa ontstaat. Na een rijptijd van circa 2 minuten het materiaal nogmaals kort doormengen.
De Feinspachtel met gepast gereedschap (bijvoorbeeld plekspaan, troffel of plamuurspaan) vast verdichtend aanbrengen. Op ondergronden met veel poriën een weinig materiaal kruislings met de spaan aanbrengen.
De Feinspachtel kan met nat-spuit-techniek (vb PFT N2V) verwerkt worden.
Wachttijd ca. 1-3 uren, naar gelang het weer.
Min. 1 mm, max. 5 mm. Dikkere lagen kunnen in meerdere keren aangebracht worden.

In de bijlage (p. 141) van deze paper zit de uitgebreide technische fiche van dit product.

Afwerking

<u>AmphiSilan:</u>

Voorkomen:	pasta
Kleur:	wit (AmphiSilan FassadenFarbe in 228 kleuren)
Waterdampdoorlaatbaarheid (S_d):	< 0,14 m
Verbruik:	
AmphiSilan	~ 0,15 à 0,20 l/m²
AmphiSilan-Compact	~ 0,35 à 0,4 l/m²
AmphiSilan FassadenFarbe	~ 0,15 à 0,2 l/m²
Leveringsvorm:	emmer van 12,5 l

Verwerking:
De drie AmphiSilan lagen worden laag per laag aangebracht met een tussentijd om te drogen van minimum 12 uur. Verwerken met kwast, rol of airlessapparatuur.

Bronnen: Caparol

Prijzen

Disboxan 485:	~ 04 l/m² verbruik -> 6,25 €/l -> 2,50 €/m²
Disbon 505:	~ 5 kg/m² verbruik -> 1,78 €/kg -> 8,90 €/m²
AmphiSilan GrundierFarbe:	~ 0,2 l/m² verbruik -> 4,65 €/l -> 0,93 €/m²
AmphiSilan Compact :	~ 0,4 l/m² verbruik -> 6,12 €/l -> 2,45 €/m²
Amphisilan Fassadenfarbe:	~ 0,2 l/m² verbruik -> 9.69 €/l -> 1,94 €/m²

Totaalprijs: 16,72 €/m²

De vermelde tarieven zijn schilderstarieven voor grote afname en excl. BTW.

5.3 Kerk Bassevelde
© Stijn D'hoore

Referenties

- Molen, Marke
- Restaurant De Koetse, Brugge
- Godshuis De Meulenaere, Brugge
- Godshuisjes, Brugge
- Kerk, Bassevelde
- Sint-Martens-Latem

Bronnen: Caparol

5.4.2 Systeem met Sylitol (Caparol)

Algemeen

Dit is het tweede systeem van Caparol waarbij geen kalk meer te pas komt. Deze heeft ook een op kunststof gebaseerde cementmortel Disbon 505 als kaleilaag met daarop afwerklagen.
Bij het Systeem met Sylitol bestaat de totale kalei uit vijf lagen: Disboxan 485 (hydrofuge product, een eerste buffer tegen zouten), Disbon 505 (kaleilaag, tweede buffer tegen zouten), Sylitol Minera (kwartsverf), Sylitol FassadenFarbe (eindlaag).
De Sylitol-verven zijn gebruiksklare bekledingsstoffen op silicaatbasis. Deze verven zijn geschikt voor het schilderen van onbehandelde, minerale pleisters. Tevens geschikt voor de renovatie van oude, draagkrachtige silicaatverflagen en silicaatpleisters.
Sylitol-verven zijn weervast, beschikken over een uitstekende dekkracht en zijn daarenboven zeer waterdampdoorlatend.

Grondstoffen van kaleilaag

De kaleilaag Disbon 505 bestaat uit een kunststof-gemodificeerde cementmortel. De Sylitol lagen bestaan uit een Kaliwaterglas met organische stabilisatoren als bindmiddel.

Technische kenmerken

De technische kenmerken van de eigenlijke kaleilaag Disbon 505, werden al bij het AmphiSilan systeem besproken.
De technische fiche van de eerste laag Disboxan 485 zit in bijlage.

Na deze twee lagen dient men te *fluateren*, dit is met een fluaat op de gevel het sinterhuidje afspoelen.

Bronnen: Caparol

Afwerking

Sylitol Minera:

Voorkomen:	verf met zandkorrels
Kleur:	wit
Soortelijk gewicht:	1,7 kg/dm³
Waterdampdoorlaatbaarheid (S_d):	< 0,1 m
Verbruik:	0,4 à 0,5 kg/m²
Leveringsvorm:	emmer van 22 kg

Verwerking:
Tussen de verschillende lagen is een minimum droogtijd van 12 uur aangeraden.
Sylitol Minera als grondlaag met max. 10 % Sylitol Konzentrat verdunnen.
Op gladde ondergronden word er aangeraden Sylitol-Minera met de borstel aan te brengen.
Op gestructureerde ondergronden echter wordt aangeraden het product met de rol aan te brengen.

Sylitol FassadenFarbe:

Voorkomen:	pasta
Kleur:	wit (met Sylitol-Volltonfarben in te kleuren)
Soortelijk gewicht:	1,4 kg/dm³
Waterdampdoorlaatbaarheid (S_d):	< 0,04 m
Verbruik:	0,2 à 0,25 l/m²
Leveringsvorm:	emmer van 12,5 l

Verwerking:
Sylitol FassadenFarbe met de rol of de borstel aanbrengen.
Maximum met 5 % Sylitol-Konzentrat verdunnen.

Bronnen: Caparol

Prijzen

Disboxan 485:	~ 04 l/m² verbruik -> 6,25 €/l -> 2,50 €/m²
Disbon 505:	~ 5 kg/m² verbruik -> 1,78 €/kg -> 8,90 €/m²
Sylitol Minera:	~ 0,5 kg/m² verbruik -> 3,12 €/kg -> 1,56 €/m²
Sylitol FassadenFarbe :	~ 0,25 l/m² verbruik -> 8,56 €/l -> 2,14 €/m²
Totaalprijs:	15,1 €/m²

De vermelde tarieven zijn schilderstarieven voor grote afname en excl. BTW.

5.4 Hotel de Tuilerleen, Brugge
© Caparol

Referenties

- Hoeve, Jabbeke
- Hoeve, Loppem
- Hotel de Tuilerleen, Brugge
- Huis, Gent

Bronnen: Caparol

5.4.3 SikaTop 107 (Sika)

Algemeen

SikaTop 107 is een flexibele waterdichte micromortel op basis van hydraulisch bindmiddel en kunststof verbeterd. Dit product wordt onder andere ook gebruikt als bekleding van stallingen en melkerijen of als bijkomende waterdichting van zwembaden. Het is waterdicht, maar toch ook dampdoorlatend. Het heeft ook een goede hechting op baksteen en natuursteen. SikaTop 107 zorgt ook voor een goede stabiliteit aan de ozon.

Grondstoffen van kaleilaag

SikaTop 107 is bestaat uit twee componenten. Het ene component is een hars (component A), het ander een cement met speciale toeslagstoffen (component B).

Technische kenmerken

Voorkomen:	component A: vloeibaar, component B: poeder
Kleur:	grijs of wit
Soortelijk gewicht:	2 kg/dm³
Hecht-treksterkte (op beton):	> 1 N/mm²
Verbruik:	~ 4 kg/m² (2 lagen)
Leveringsvorm:	Kit van 25kg bevattende: ▪ Component A: bus van 5 l ▪ Component B: zak van 20 kg

Verwerking:
De totaliteit van de component A (hars) in een open kuip gieten. Geleidelijk aan de totaliteit van component B toevoegen, terwijl men mengt met een elektrisch mengapparaat gedurende 2 à 3 minuten tot men een plastische mortel bekomt van uniforme kleur.
De praktische gebruiksduur is 30 tot 40 min (bij 20°C).
Het aanbrengen mag gebeuren met de borstel of de rol. Minimum 2 lagen zijn nodig voor het verwezenlijken van een bijkomende waterdichting. De tweede laag zal aangebracht worden van zodra de eerste uitgehard is (hetzij 2 à 6 uren, al naargelang de temperatuur).

Bronnen: Sika

In de bijlage (p. 141) van deze paper zit de uitgebreide technische fiche van dit product.

Prijzen

SikaTop-107 Bescherming	~ 4 kg/m² verbruik -> 2,80 €/kg (grijs) of 3,17 €/kg (wit) -> 11,2 €/m² (grijs) of 12,68 €/m²

De vermelde tarieven zijn schilderstarieven voor grote afname en excl. BTW.

Referenties

- Langemarkstraat, Kuurne
- Kortrijksestraat, Kortrijk

Bronnen: Sika

5.4.4 SikaTop 141 (Sika)

Algemeen

SikaTop 141 is een voorgedoseerde micromortel op basis van hydraulisch bindmiddel en kunststof verbeterd. Het is een verfijndere versie van SikaTop 107. Dit product wordt onder andere ook gebruikt als bekleding van stallingen en melkerijen of als bijkomende waterdichting van zwembaden. Het is waterdicht, maar toch ook dampdoorlatend. Het heeft ook een goede hechting op baksteen en natuursteen.

Grondstoffen van kaleilaag

SikaTop 141 is bestaat uit twee componenten. Het ene component is een hars in emulsie (component A), het ander een cement met speciale toeslagstoffen (component B). Men kan pasteltinten bekomen door toevoeging van pigmenten voor vinylbepleisteringen.

Technische kenmerken

Voorkomen:	component A: vloeibaar, component B: poeder
Kleur:	grijs of wit
Soortelijk gewicht:	1,5 kg/dm³
Verbruik:	~ 1,03 kg/m²
Leveringsvorm:	Karton van 3 kitten van 6,165 kg: ▪ Component A: bus van 2 l ▪ Component B: zak van 4,165 kg

Verwerking:
De totaliteit van de component A (hars) in een propere mengkuip gieten. Geleidelijk aan de totaliteit van component B toevoegen, terwijl men mengt met een elektrisch mengapparaat gedurende 2 à 3 minuten tot men een plastische mortel bekomt van uniforme kleur. Het product vervolgens 10 minuten laten rusten, alvorens te verwerken.
De praktische gebruiksduur is 60 min (bij 20°C).
Het aanbrengen mag gebeuren met de borstel of de verfrol. Minimum 2 lagen zijn nodig voor het verwezenlijken van een bijkomende waterdichting.

Bronnen: Sika

Indien de ondergrond plaatselijke oneffenheden zou vertonen, mag de SikaTop 141 aangevuld worden met eenzelfde gewichtshoeveelheid fijn zand voor het uitvlakken.

In de bijlage (p. 141) van deze paper zit de uitgebreide technische fiche van dit product.

Prijzen

SikaTop-141 ~ 1,03 kg/m² -> 4,51 €/kg -> 4,65 €/m²

De vermelde tarieven zijn schilderstarieven voor grote afname en excl. BTW.

Referenties

- Langemarkstraat, Kuurne
- Kortrijksestraat, Kortrijk

5.5 Langemarkstraat, Kuurne
© Jan Cherchye – Color

Bronnen: Sika

5.5 Eigen mengsels

Decennia geleden bestonden veel kaleien uit eigen mengsels. Deze werden aangemaakt op basis van overgeleverde informatie van de oudere generaties. Ze vertonen veel gelijkenissen met de bestaande reeks producten op basis van kalk.
Omdat het zelf aankopen en mengen van de verschillende grondstoffen heel wat tijd en energie kosten en omdat het financiële voordeel van zelf mengen gering is, maken de meeste aannemers momenteel gebruik van kant en klare producten. Deze producten zijn ook een stuk eenvoudiger om aan te maken, waardoor de arbeiders minder fouten kunnen maken bij het aanmaken van het product. Enkel met de hoeveelheid water kan het nog fout lopen.
De basis van deze mengsels is altijd dezelfde. Men neemt een derde hydraulisch kalk, twee derde rivierzand en een hoeveelheid water tot de kalei een smeuïge brij wordt. Soms vervangt men het hydraulisch kalk door hydraatkalk die men dan met tras hydraulisch maakt. Men zou ook nog betere resultaten kunnen halen met kalkpasta. Dit is kalk die met een overmaat aan water geblust zijn. Kalkpasta is wel duurder dan gewoon hydraulisch kalk. Er zijn ook mensen die experimenteren met andere bronnen om hun kalk uit te halen. Voorbeelden hiervan zijn op basis van zeewierkalk en krijt (fossiele coccoliethen).
Vanuit deze basis voegt men dan andere stoffen toe. Cement, compactuna, kalksteenmeel en acrylaten zijn enkele van deze toeslagstoffen. In sommige mengsels werd tot 1/3 toeslagstoffen (vooral bij cement) toegevoegd. Hun eigenschappen worden in hoofdstuk 4.3.3 (Toeslagstoffen) besproken. Er wordt ook besproken wat de mogelijke nadelen zijn van het toevoegen van deze toeslagstoffen.
Het grote voordeel van cement, compactuna en acrylaten is dat deze zorgen voor een betere hechting. Het grote nadeel is dat deze producten zorgen dat de kalei veel minder dampopen is. Dit kan vooral bij vochtige muren grote problemen veroorzaken!
Men kan dus nooit zeggen: "Die persoon heeft goede ervaring met dat mengsel, ik ga dat ook gebruiken, het zal dan ook wel goed zijn… ". Niet elk product is goed voor elke gevel (zie 6.2.3. Keuze van Kaleiproduct).

5.6 Overzichtstabel kaleiproducten

6 Kaleien in de praktijk

6.1 Inleiding

In het vorige hoofdstuk werden de verschillende kaleiproducten, die momenteel op de Vlaamse markt aanwezig zijn, besproken. In dit hoofdstuk wordt het kaleien met de verschillende producten in de praktijk bekeken. 'Bij welke ondergrond passen welke kaleiproducten?', 'Hoe bereiden we de ondergrond voor?', 'Hoe wordt de kalei aangebracht?', , … Op dergelijke vragen wordt er in dit hoofdstuk een antwoord gegeven.
Ook bekijken we enkele fouten uit het verleden, zodat deze niet meer herhaald worden, want dit komt niemand ten goede.
In een apart deel in dit vijfde hoofdstuk worden dan enkele vragen gesteld die via Kalei.be werden gemaild! Deze vragen variëren van de meest absurde situaties tot heel interessante vragen.

6.2 Stap voor stap door het restauratieproces

Het is belangrijk volgende stappen één voor één te doorlopen, vooraleer men daadwerkelijk aan het kaleien begint. Heel veel fouten bij de uitvoer van kaleiwerken komen door het overslaan van bepaalde stappen in het restauratieproces of de onwetendheid er rond.

6.2.1 Bekijken bestaande situatie

Het is belangrijk eerst een goed beeld te hebben van de huidige situatie, vooraleer over te gaan op de eigenlijke restauratiewerken (waaronder het kaleien van de gevel). Hierdoor kunnen heel wat latere fouten vermeden worden. Ook de mogelijke verbeteringswerken worden in dit deel kort besproken.

Bronnen: 16

Standvastigheid

Zowel tijdens het onderzoek dat voorafgaat aan het opstellen van het restauratiedossier als tijdens de eigenlijke restauratie van een historisch gebouw, gaat de eerste aandacht naar de standzekerheid.
Het heeft weinig zin aan kaleiwerken te starten vooraleer men weet of het gebouw nog altijd een goede stabiliteit heeft en er geen kans is op verzakkingen en dergelijke. Deze kunnen namelijk scheurvorming veroorzaken in het metselwerk, waardoor ook de kalei mee zal scheuren.
Het is ook belangrijk oog te hebben naar de andere werken die moeten gebeuren. Als er in de toekomst nog grote grondwerken dienen te gebeuren in de buurt van het te restaureren gebouw, dan moet men zeker oppassen voor grondverzakkingen.

Eerst en vooral dient men de bestaande situatie te controleren. Dit kan volgens volgende procedure gebeuren:

- Eerste benadering van de standzekerheid:

Niet voor elk restauratieproject is een grondig en volledig onderzoek van de standzekerheid noodzakelijk! Wel zou men voor elk gebouw in een eerste benadering nagaan of de stabiliteit nog verzekerd is.
De eerste benadering houdt een visueel onderzoek uit van de draagconstructie en een historisch onderzoek van de draagconstructie (voorbeeld via de oorspronkelijke plannen). Hieruit kan men al vrij goed besluiten indien verder onderzoek noodzakelijk is of indien geen verdere acties ondernomen moeten worden. De beperking van een eerste benadering is dat verborgen problemen niet aan het licht komen. Bij twijfel is het aan te raden een deskundige ter plaatse te laten komen of verder onderzoek uit te voeren.

Soms kan ook uit een eerste benadering blijken dat de standzekerheid van een gebouw zeer twijfelachtig is. In dergelijk geval dient men snel in te grijpen, vb. door tijdelijke maatregelen te nemen. Zo worden op korte termijn gevaren op instorting, loskomen van stenen, etc. vermeden worden. Na deze werken dient dan zeker een grondig onderzoek te gebeuren op de standzekerheid (zie volgend punt).

Bronnen: 16

- Grondig onderzoek van de standzekerheid:

Dergelijk onderzoek bestaat meestal uit een ganse reeks acties (inspecties en metingen in situ, monsternemingen, laboratoriumonderzoeken, …). Hieruit haalt men dan nuttige informatie voor de beoordeling van de standzekerheid. Onderzoeksmethoden kunnen niet destructief, weinig destructief of (zeer) destructief zijn. Men moet altijd proberen het aantal destructieve proeven tot een minimum te beperken.
Door de heterogeniteit van het metselwerk is voor een grondige studie van de standzekerheid doorgaans een groot aantal metingen en proeven nodig.
In 'De gids voor de restauratie van metselwerk – Standzekerheid' van het WTCB staat een uitgebreide beschrijving van de mogelijke metingen en proeven.

- Standzekerheid berekenen:

Bij de berekening van de standzekerheid van historische structuren maakt men gebruik van de interpretatie en de bevindingen van inspecties, alsook van de resultaten van metingen en proeven tijdens het onderzoek. Aan de hand van deze beoordeling, kan vastgelegd worden welke ingrepen nodig zijn om de standzekerheid te verbeteren en op een aanvaardbaar niveau te brengen (zie volgend punt).
De beoordeling van de standzekerheid houdt in dat men op zijn minst een kwalitatieve – en indien mogelijk een kwantitatieve – aanduiding geeft van de bezwijkkans van de structuur gedurende een zekere levensduur.

- Ingrepen om de standzekerheid te verbeteren:

Versterkingswerkzaamheden dringen zich op wanneer hogere of anders verdeelde belastingen worden voorzien of indien de nadelige invloed van werkzaamheden in de direct omgeving wordt gevreesd. Als uit het onderzoek en de berekening van de standzekerheid blijkt dat dergelijke ingrepen noodzakelijk zijn, worden deze best in het begin van het restauratieproces uitgevoerd.

- Beoordeling van een ingreep om de standzekerheid te verbeteren:

Nadat de ingrepen werden uitgevoerd, dient men ook te beoordelen of de standzekerheid van de structuur verbeterd is. Hiervoor is meestal opnieuw een grondig onderzoek nodig. Bij voorkeur worden de proeven en metingen gekozen uit de onderzoekstechnieken die ook voor de restauratie toegepast werden. Hierbij is ook de berekeningswijze dezelfde.

Bronnen: 16

Vocht en zouten

Vocht- en zoutproblemen zijn de grootste oorzaken van heel wat problemen bij gekaleide gevels. Dit vocht is afkomstig van regenwater, vochttoetreding uit de bodem of uit het oppervlaktewater. Het zoutaanbod is meestal afkomstig uit de bodem of het grondwater of vanuit het gebruik (stallen, zoutopslag).

Bij vocht moet op heel wat zaken gelet worden om een goede muurhuishouding te bekomen. Enkele van deze zaken zijn: capillariteit van de ondergrond, condensatie, dampdiffusie, dauwpunt, hygroscopie, porositeit, regen, optrekkend vocht, vochttransport, vorstschade, waterdichtheid, …

De meeste kaleiproducten zijn zeer dampopen, en kunnen zo heel wat dampvocht naar buiten leiden. Maar deze hoeveelheid vocht is beperkt! Als er een blijvende toevoer is van vocht naar de stenen achter de kaleilaag, dan ben je 'aan het dweilen met de kraan open'. Nochtans wordt door sommige mensen gesuggereerd dat kaleien de oplossing is voor vochtproblemen.

Zouten op zich vormen niet direct een probleem. Het is water en met name het zich verplaatsende water dat in eerste instantie de problemen veroorzaakt. Water fungeert als oplosmiddel en zorgt dat zoutkristallen kunnen groeien, zwellen en krimpen. Zouten worden gemobiliseerd door optrekkend vocht vanuit de fundering en het maaiveld.

6.1 Vocht- en zoutprobleem
© Luc Stommelinck

Zoutkristallen ontstaan wanneer het water verdampt, bijvoorbeeld wanneer er een kamertemperatuur heerst. Verdampt het water aan het oppervlak van de constructie, dan kristalliseren de zouten op het oppervlak en is de schade miniem. Er ontstaat dan de zogenoemde 'poes'. Deze moet droog worden verwijderd door zuigen, borstelen of opvegen. Gebruikt men voor het verwijderen vocht, dan lossen de zouten op en worden weer door de constructie opgenomen.

Vindt de verdamping in de poriën plaats, dan veroorzaken de zoutkristallen schade. Dit komt omdat ze groter worden dan de poriën waarin ze tot ontwikkeling komen en zo het materiaal uit elkaar drukken. Zo kan bijvoorbeeld natriumchloride kristalliseren in de steen, waardoor de steen kan verpoederen, voornamelijk een zacht gebakken baksteen. Zijn de stenen

Bronnen: 16, 17

harder dan worden stukken van de steen afgedrukt. Ook pleisterlagen in het interieur kunnen verpoederen of in lagen afbreken.
Nitraten behoren tot de hygroscopische zouten. Deze zouten trekken vocht aan uit de lucht en houden dit vast en voorkomen dat het omringende bouwmateriaal volledig droogt. Dit uit zich in vochtplekken van onregelmatige vorm, die afhankelijk van de luchtvochtigheid van afmeting kunnen veranderen. Nitraten leiden daarom niet altijd tot uitbloei, maar vaak tot natte plekken. (http://home.planet.nl/~taco.hermans/boer.htm)
Doordat een kalei een dunne pleisterlaag is, kunnen bij de meeste kaleiproducten de zouten gemakkelijk naar buiten komen. Maar toch kan bij een te grote hoeveelheid zouten de kalei de doorgang niet meer aan, en stapelen er zich zouten op in de kalei (in de capillairen). Wanneer deze dan uitzetten, kan de kaleilaag van de muur afgestoten worden.
Maar dit is meestal niet het grootste problemen van zouten. Meestal zijn het de bakstenen zelf die kapot springen door grote hoeveelheden zouten in combinatie met teveel vocht (dat door de zouten wordt opgenomen).

Indien men voor de uitvoering van kaleiwerken alle gevels zou controleren op vochtigheid en zoutgehaltes, dan zouden heel wat latere problemen vermeden kunnen worden! Ook naar keuze van het kaleiproduct kan veel afhangen van deze waarnemingen.

Hieronder een overzicht van de te volgen procedure:

- Vooronderzoek naar de aanwezigheid van vocht en zouten:

Eerst en vooral dient men te onderzoeken of er in de structuur grote hoeveelheden vocht aanwezig zijn en dient men de afkomst van dit vocht te bekijken. Capillair opstijgend grondvocht is in oude gebouwen de belangrijkste oorzaak. Maar er zijn ook andere mogelijke oorzaken zoals lekkende leidingen, regendoorslag, condensatie, bouwvocht, hygroscopiciteit (bouwmaterialen en zouten) …
Dit vooronderzoek bestaat uit visuele waarnemingen en metingen.
Bij de visuele waarnemingen gaan we het vocht lokaliseren en bestuderen van waar dit vocht vandaan komt. Dit kan ook gebeuren met hulpmiddelen zoals een IR(infrarood)-camera. Ook aan de hand van vochtschade kan men al een goed beeld krijgen wat de mogelijke oorzaken hiervan zijn (zie tabel).

Bronnen: 16, 17

	VASTSTELLINGEN	RISICO'S OF MOGELIJKE OORZAKEN VAN VOCHTPROBLEMEN					
		CONDENSATIE – HYGROSCOPICITEIT	SLAGREGEN	OPSTIJGEND VOCHT	PLAATSELIJKE INFILTRATIE	PATHOLOGISCHE ZOUTEN	BOUWVOCHT
VROEGERE TUSSENKOMSTEN	Bepleisterde en/of geteerde plinten	–	–	X	–	–	–
	Oud huis met lambrisering of cementbepleistering aan de buitenzijde	–	–	X	–	–	–
	Cementering en/of lood- of aluminiumpapier aan de binnenzijde	–	–	X	–	–	–
	Oud huis dat werd geïsoleerd (verbetering van de luchtdichtheid of vervanging van ramen, plaatsing van dubbel glas of voorzetramen, isolatie van de zolder of van muren, ...)	X	–	–	–	–	–
PATHOLOGIE	Beschadigde voegen of baksteen onderaan de muur	–	–	X	–	X	–
	Mosvorming onderaan de muur aan de buitenzijde	–	X	X	–	–	–
	Hoge algemene luchtvochtigheid in de woning	X	–	X	–	–	X
	Schimmels en/of zwammen (zwarte en gekleurde vlekken) :						
	- in hoeken	X	–	–	–	–	X
	- onderaan de muren	X	–	X	–	–	X
	- rond vensters	X	X	–	–	–	X
	Witte zouten op wanden en/of loskomen van behangsel en afwerking (onderaan de muren)	–	X	X	–	X	X
	Losgekomen pleisterwerk (holle klank) onderaan de muren	–	X	X	–	X	–
	Meeste muren vochtig over een hoogte van 0,5 tot 1,5 m	–	–	X	X	X	–
	Vochtige buitenmuren, vooral aan de zuid- en/of westkant	–	X	–	–	–	–
	Vochtige buitenmuren, vooral aan de noord- en/of oostkant	X	–	–	–	–	–
	Vochtige muren, vooral in de hoeken	X	–	–	–	–	–
	Plaatselijke vochtige zones	X	X	–	X	X	–
	Vochtige muren, vooral in de "koude" ruimten (slaapkamers, bergruimten, ...)	X	–	–	–	–	X

In de gespecialiseerde lectuur (vb WTCB – Gids voor de restauratie van metselwerk – deel 2) staat uitgebreid beschreven hoe men vochtproblemen goed kan herkennen.

Na de visuele waarnemingen dient men ook een reeks metingen van het vochtgehalte of van de capillaire bewegingen in het metselwerk uit te voeren. Exacte informatie betreffende aanvaardbare vochtgehalten in metselwerk bestaan niet. Algemeen wordt volgens het WTCB aangenomen dat bij een gemeten vochtgehalte (in massaprocent) groter dan 7 % een behandeling noodzakelijk is!

Bronnen: 16

Een ander belangrijk punt is het bepalen van het zoutgehalte in materialen. Dit maakt deel uit van het globaal onderzoek naar vochtproblemen. De bepaling van het zoutgehalte is bijzonder belangrijk vóór het aanbrengen van een bepleistering (zoals een kalei), een verfsysteem of een andere muurafwerking.
Vooraf wordt visueel nagegaan of er verschijnselen zijn die wijzen op een hoog gehalte aan oplosbare zouten in de ondergrond. De aanwezigheid van *uitbloeiende* zouten, zoals sulfaten of carbonaten, kan bijvoorbeeld blijken uit: zichtbare zoutuitbloeiingen (meestal met een witte kleur), loskomend pleisterwerk (holle klank) en afbladerende verf. De aanwezigheid van *hygroscopische* zouten, zoals de meest voorkomende nitraten of chloriden, blijkt meestal uit het verschijnen van duidelijk afgetekende vochtplekken op de muren.
Wanneer men één van bovenvermelde kenmerken aantreft, is het best over te gaan op de bepaling van het zoutgehalte. Dit kan op verschillende manieren (afhankelijk van de gewenste nauwkeurigheid) met teststripjes.
Net zoals bij het vochtgehalte bestaat er nagenoeg geen informatie over aanvaardbare concentraties aan oplosbare zouten in metselwerk. In de praktijk blijkt een zoutgehalte van minder dan 0,5 massaprocent zelden aanleiding te geven tot schade.

- Behandeling tegen vocht en zouten:

Wanneer een te grote hoeveelheid vocht of een te grote concentratie zouten werd aangetroffen, dient men over te gaan op een behandeling. Hierbij dient eerst en vooral de toevoer stopgezet te worden. In sommige gevallen kan dit simpelweg door een leiding te herstellen, maar in de meeste gevallen dient men het grondvocht tegen te houden door middel van een vochtscherm. Hierbij dienen eerst enkele voorbereidende werken te gebeuren en de bepaling van het niveau van de behandeling tegen opstijgend grondvocht. Daarna wordt een doeltreffende sperlaag, die het opstijgende grondvocht blokkeert, aangebracht. Dit kan men verwezenlijken door een waterdicht materiaal in het metselwerk aan te brengen (zoals een soepele folie) of door het metselwerk te injecteren (een vochtwerend of poriënvullend product wordt langs vooraf geboorde injectiegaten in de poriën van het metselwerk gebracht).

- Controle na behandeling tegen vocht en vóór afwerking:

Na de behandeling tegen opstijgend grondvocht en vooraleer de muurafwerking wordt aangebracht, kan het nuttig zijn een controle uit te voeren. Zo verkrijgt men een beeld van de doeltreffendheid van de ingreep en van de vordering van het droogproces en kan men schade aan de nieuwe muurafwerking vermijden.

Bronnen: 16

Men dient rekening te houden met de evolutie van het vochtgehalte van de behandelde muren, de doeltreffendheid van de uitgevoerde behandeling en mogelijke aanwezigheid van zouten.

Indien het metselwerk na de behandeling tegen opstijgend grondvocht een hoog gehalte aan oplosbare zouten bevat, zijn bijkomende ingrepen noodzakelijk.
Uitbloeiende zouten zijn grotendeels afkomstig van de bouwmaterialen zelf (vb bij het gebruik van cement). Bij het drogen van zichtbaar metselwerk kristalliseren ze aan het oppervlak en vormen witte uitbloeiingen op de muren, die esthetische schade berokkenen, maar meestal vrij gemakkelijk kunnen afgeborsteld worden. Als ze in of achter de muurafwerking (pleisterwerk, schilderwerk, …) uitbloeien, kunnen ze deze beschadigen en doen loskomen. Hierbij dient de oude muurafwerking weggenomen te worden.
Hygroscopische zouten zijn afkomstig van soms zeer oud contact van het metselwerk met de bodem, afvalwater, meststoffen, enz. Ze absorberen vocht uit de lucht, bemoeilijken de normale droging van het metselwerk, vormen nagenoeg nooit uitbloeiingen en kunnen daardoor niet droog worden afgeborsteld. Dergelijke zouten komen vooral voor in landelijke gebouwen (waarop kaleien een veel toegepaste techniek is). Hiervoor bestaat geen doeltreffende, veilige en economische verantwoorde techniek. In dergelijke gevallen wordt vaak een bescherming voorzien die vochtbestendig is en de zoutmigratie blokkeert. In het geval van kaleien kan men eerst een dunnen saneerlaag voorzien.

- Afwerking van de muren na behandeling tegen opstijgend vocht:

De muurafwerking (vb. kalei) mag slechts aangebracht worden nadat het metselwerk voldoende gedroogd is. Naargelang de ondergrond en voorziene afwerking worden meestal waarden van 3 tot 5 massaproducenten vermeld als toelaatbare bovengrens voor het aanbrengen van de afwerking. De vereiste droogtijd hangt af van de muurdikte en van de drogingomstandigheden, maar is altijd vrij lang. Om het droogproces te versnellen, wordt aanbevolen steeds een voldoende en permanente ventilatie van de ruimte en een minimale verwarming tijdens koude periodes te voorzien.
Indien de bepleistering aangebracht wordt op voldoende droge en niet-zoutbelaste muren, is de duurzaamheid doorgaans goed.

Bronnen: 16

Gevelstenen

Alvorens de kaleilaag aan te brengen, dient men ook de eigenschappen van de ondergrond goed te kennen. Aangezien een kalei esthetisch gezien zorgt voor de verdoezeling van oud metselwerk, bespreken we hier enkel gevelstenen als ondergrond. In principe kan een kaleilaag ook op andere ondergronden worden aangebracht.

6.2 Kalkzandsteen
© http://www.metselstenen.nl

De twee belangrijkste eigenschappen die men moet kennen van de gevelsteen zijn zen sterkte en hoe goed de pleister (kalei) zal hechten aan de steen.
De eerste eigenschap (steensterkte) is vooral belangrijk bij de keuze van het kaleiproduct. Op harde stenen passen alle kaleisystemen, maar bij zachte gevelstenen zijn er kaleisystemen die problemen kunnen veroorzaken (deze waaraan vrij veel cement werd toegevoegd). Zo werd al regelmatig vastgesteld dat een kaleilaag met cement de bovenste laag kalkzandsteen van een gevel kapot maakt doordat de kaleilaag te hard was tegenover de steensterkte. Hierdoor ontstaat een hol effect tussen de kalei en de gevel, doordat er geen hechting meer aanwezig is op die plaatsen. Daarom is het belangrijk te onderzoeken welke soort stenen (meestal meerdere) aanwezig zijn in de gevel, en hoe hard deze stenen zijn.
De tweede eigenschap (hechting) is bij de meeste gevelstenen geen probleem. Enkel stenen met een glazuurlaag kunnen voor problemen zorgen omdat de kalei (vb op kalkbasis) niet kan indringen in de steen om zo tot een stevig geheel te komen. Ook hierbij kan onderzoek uitsluitsel brengen.

6.2.2 Gevelreiniging en herstelling metselwerk

Nadat de algemene controles en voorbereidingswerken over het restaureren van een gevel werden uitgevoerd en de bestaande situatie volledig is gekend (zie 6.2.1), kan men overgaan tot de voorbereidingswerken van het kaleien van de gevel.
Hierbij is voornamelijk gevelreiniging het belangrijkste aspect!

Bronnen: 16

Gevelreiniging

- Afscherming van geveldelen tijdens restauratiewerken:

Vanaf men start met het reinigen van de gevel tot de kalei is aangebracht, is het aan te raden tijdens de werken bepaalde geveldelen en materialen (zoals schrijnwerk, ramen, bebordingen enz.), die niet deel uitmaken van de gevelrestauratiewerken, af te schermen.

De meest gebruikte afschermingsmethoden zijn:

- een polyethyleenfolie die aan de randen vastgekleefd wordt met kleefband
- een zelfklevende kunststoffolie
- een afscherming in plaatmateriaal (hout, polyacrylaat, polycarbonaat, …)
- een polyethyleenfolie op een houten kader
- een gehele of gedeeltelijke mobiele afscherming, onder de vorm van panelen die verplaatst worden naargelang de werkzaamheden vorderen.

- Gevelreiniging:

Gevelreiniging wordt meestal beschouwd als een esthetische ingreep, die zoveel mogelijk vervuiling en zo weinig mogelijk materiaal wegneemt.
Bij het kaleien van een gevel heeft de gevelreiniging een andere functie, namelijk het verwijderen van loszittende delen, stof en vetten. Dit is nodig opdat de kalei goed aan de ondergrond (gevelstenen) zou hechten. Wanneer men dit niet zou doen is de kans dat de kalei later loskomt van de muur aanzienlijk groter. De kaleilaag is niet sterk genoeg (door zijn minieme dikte van enkele millimeters) om grote stukken die niet vasthechten aan de ondergrond (vb door losse voegen) te overbruggen. Het esthetische is hierbij dus veel minder belangrijk, aangezien de kalei deze gevelstenen toch nog zal bedekken!

6.3 Gevelreiniging
© http://www.prestoreiniging.nl

Het reinigen van een gevel waarop later een kaleilaag wordt aangebracht gebeurt als volgt:
Water wordt onder hoge druk tegen de muur gespoten. Met een simpele hogedrukreiniger kan dit al voldoende zijn. Men dient ervoor te zorgen dat alle losse delen mee verwijdert zijn. Deze zouden later problemen kunnen veroorzaken. Al wat na een grondige reinigingsbeurt aan de muur hangt, is stevig genoeg om te blijven

Bronnen: 16

hangen. De gevel dient dus niet perfect proper te zijn (vb zwarte roetkleur op de stenen).

Soms dient men ook nog bestaande pleisterlagen te verwijderen. Dit hoeft niet altijd te gebeuren. Op een bestaande kaleilaag die nog in goede staat is, kan men een extra kaleilaag of enkel een (kalk)verflaag aanbrengen. Het verwijderen van de pleisterlagen doet men als volgt:
Wanneer het gaat om hydraulische pleisters kan men deze mechanisch verwijderen (stralen). Dit gebeurt het best met fijne granulaten. Wanneer het gaat om een synthetische pleister, wordt gebruik gemaakt van chemische producten om de pleister van de gevel te halen. Andere mogelijkheid is om de pleisters manueel of mechanisch van de muur te 'hakken'.

Indien er een verflaag aanwezig is en men hierop wil kaleien is het sterk aan te raden deze verflaag eerst volledig te verwijderen. De meeste verven zijn dampdicht, waardoor de muurhuishouding ernstig verstoord wordt! Ook de hechting van een kalei op een verflaag (ook al gebruikt men primers) is veel minder goed dan rechtstreeks op de gevelstenen.
De verflaag wordt als volgt verwijderd:
Synthetische verven zal men met chemische producten (verfafbijters) van de gevel halen. Het kan nodig zijn bijkomend te stralen.

Restauratie van het metselwerk (bron: WTCB)

Een kaleilaag kan aanzien worden als een pleisterlaag, maar dan wel een laag van slechts enkele millimeters dik. Dit wil zeggen dat de opvulling van voegen en dergelijke zeer miniem is, wat esthetisch ook de bedoeling is van een kalei. Grote loszittende stukken (zoals stukken gevelstenen, voegen, …) die verwijderd werden of door het reinigen van de gevel zijn losgekomen, laten diepe inkepingen in de muur achter. Deze dienen eerst terug opgevuld te worden alvorens over te gaan met de kaleiwerken. Dit om het esthetisch mooie effect dat een dunne kaleilaag met zich mee brengt, te kunnen verwezenlijken!

Volgende procedure dient opgevolgd te worden voor de restauratie van het metselwerk:

- Materiaaltechnisch vooronderzoek:

Bij het onderzoek van de gevelmaterialen wordt voornamelijk gelet op de technische aspecten van de elementen: oorspronkelijke materialen, gebruikt voor de constructie van het gebouw (baksteen, natuursteen, mortel, bepleistering, …), toegepaste grondstoffen,

Bronnen: 16

gebruikte fabricage- en uitvoeringstechnieken, veroudering en verwering van de materialen, vroegere behandelingen, …

Dit kan uitgevoerd worden door een visueel onderzoek van de gevelmaterialen en materiaaltechnisch historisch onderzoek. Bij dit laatste hoort ook de gebruikte mortels voor metsel- en pleisterwerk. Bij een materiaaltechnisch onderzoek bepaalt men chemisch welke bestanddelen in de mortels aanwezig zijn. Dergelijke onderzoeken worden onder andere door universiteiten en het KIK (Koninklijk Instituut voor het Kunstpatrimonium) uitgevoerd. Hierbij worden soms ook oude plannen, tekeningen of andere documenten verzameld en onderzocht.

Het kan nuttig zijn vooronderzoeken uit te voeren voor de gevelreiniging die sporen van vroegere verf- en pleisterlagen zal verwijderen.

Al deze informatie is zeer nuttig om een beeld te krijgen van de omvang van de herstellingswerken aan de gevel, alvorens men wil kaleien, alsook met welke soort materialen men deze herstellingen kan uitvoeren. Indien men oorspronkelijk met een kalkmortel heeft gevoegd en er moeten enkele voegen opnieuw opgevuld worden, is het aan te raden opnieuw een kalkmortel te gebruiken. Ook later bij de keuze van het kaleiproduct is het belangrijk te weten welke materialen oorspronkelijk werden gebruikt en welke behandelingen al werden uitgevoerd.

Als beperking heeft dit vooronderzoek wel dat de betrouwbaarheid in grote mate afhangt van de deskundigheid van de personen waardoor deze onderzoeken werden uitgevoerd.

- Uitvoering van de restauratie van gevelmaterialen:

Met de informatie uit het vooronderzoek kan men overgaan tot de uitvoering van de herstellingen. Omdat er nog een kaleilaag op de gevel wordt aangebracht, is het esthetische van minder belang. Enkel de structuur dient terug zo goed mogelijk gerestaureerd te worden.

Verwering van de stenen die maar enkele millimeters diep gaat, dient niet hersteld te worden. De kaleilaag kan op deze plaats extra dik worden aangebracht, waardoor deze na de volledige restauratie van de gevel niet meer te zien is.

Sommige gevelstenen kunnen zo sterk verweerd zijn dat het niet langer zinvol is om ze te behouden. In dergelijke gevallen kan men enkel een duurzame restauratie bekomen door de beschadigde elementen volledig of gedeeltelijk te vervangen. De vervanging van de verwijderde stenen moet gebeuren met een geschikt vervangmateriaal. Afhankelijk van het geval, kan het hier gaan om een nieuw materiaal, om een recuperatiemateriaal of zelfs om

Bronnen: 16

hetzelfde materiaal dat gedemonteerd en achterstevoren teruggeplaatst wordt. Het vervangmateriaal wordt in het metselwerk ingewerkt met behulp van een aangepaste mortel.

Op de plaatsen waar het voegwerk beschadigd of verweerd is, kan men deze plaatselijk hervoegen. Om de keuze van een geschikte mortelsamenstelling te waarborgen, wordt zowel rekening gehouden met de eigenschappen van de voorkomende natuursteen- of baksteensoorten en de aanwezige metsel- en voegmortel. Het esthetische is hierbij veel minder belangrijk dan bij andere voegwerken, omdat er toch nog een kaleilaag op de gevel wordt aangebracht.
Het hervoegen is een delicaat punt in de restauratieprocedure. Het is belangrijk de juiste mortelsamenstelling te kiezen. Wanneer de voegen niet voldoende hechten of na enkele jaren loskomen van de stenen, heeft dit ook grote gevolgen voor de kaleilaag! Het raadplegen van gespecialiseerde lectuur is hierbij aan te raden.

6.2.3 Keuze van kaleiproduct

In hoofdstuk 4 wordt een overzicht gegeven van de meeste kaleiproducten die in België te verkrijgen zijn. De meeste van deze producten zijn gemaakt op kalkbasis met hulpstoffen, sommige ook met toevoeging van wit cement en een laatste deel die geen kalk meer bevatten en eerder op verfsystemen zijn gebaseerd. Daarnaast prefereren sommige aannemers hun eigen mengsels.
Mogen we nu elk van deze producten aanbrengen op eender welke gevel? Elk product beweert van wel, maar de praktijk wijst uit dat bepaalde producten in bepaalde omstandigheden beter niet worden toegepast. De eigen mengsels laten we hier buiten beschouwing. Weinig aannemers maken hier nog gebruik van. Maar indien de aannemer toch zijn eigen mengsel naar voren schuift, is het aan te raden hier onderzoeken (zoals verouderingsproeven) op te doen. Zo heeft men meer zekerheid omtrent het mengsel.

We laten de keuze van het kaleiproduct afhangen van drie parameters. Ondergrond, onderhoudsfrequentie (duurzaamheid) en prijs.

Bronnen: 16

Ondergrond

Eerst en vooral moet bekeken worden op welke ondergrond men de kalei zal aanbrengen. Indien men het restauratieproces (zoals hiervoor beschreven) mooi heeft doorlopen, dan zou men op de hoogte moeten zijn van welk soort stenen in de gevel gebruikt werden, en hoe het vocht- en zoutgehalte is net voor de kaleiwerken (mogelijks na restauratiewerken om de muurhuishouding te verbeteren).
Op basis van deze gegevens maken we nu een onderscheid tussen de verschillende kaleiproducten. We overlopen enkele mogelijkheden van gevels. Aangezien dit veralgemeende beschrijvingen van verschillende gevels betreft, is het aan te raden bij twijfel een deskundige ter plaatse te laten komen.

- Harde stenen + weinig vocht en zouten + goede afdek/oversteek (vb door dak):

Hierop kunnen alle kaleiproducten gebruikt worden. Alle beschreven kaleiproducten zijn dampopen (anders worden ze niet als een kaleiproduct beschouwd), waardoor ze het weinige aanwezige vocht en het 'toekomstige' condensatievocht gemakkelijk door de kaleilaag zullen laten migreren. Hierbij moet men ook voor de toekomst met zekerheid kunnen zeggen dat er geen grote hoeveelheden vocht achter de kaleilaag kunnen opstapelen. De reden hiervoor wordt bij het volgend punt, waarin een vochtige muur wordt besproken, meegedeeld.

- Gevelstenen + <u>matige</u> hoeveelheid vocht en zouten + goede afdek/oversteek (vb door dak):

Er dient benadrukt te worden dat het gaat om een matige hoeveelheid vocht en zouten. Een kalei is allerminst een oplossing om op een 'kletsnatte' muur aan te brengen! Hierbij dient zoals in de restauratieprocedure, zoals hiervoor beschreven, eerst een oplossing gezocht worden om de toevoer van het vocht te stoppen en daarna dient men de muur eerste te laten uitdrogen alvorens men begint met de kaleiwerken.
Wanneer men verwacht dat een matige hoeveelheid vocht (vb damp) door de muur getransporteerd moet worden, is dit een bepalende factor naar de keuze van het kaleiproduct toe. De meeste kaleiproducten zijn zeer dampopen en hebben geen problemen met dit vochttransport. Uit de praktijk is wel gebleken dat kaleiproducten, waarin een hoeveelheid wit cement werd toegevoegd, hier problemen mee kunnen hebben. Deze producten zijn een stuk minder dampdoorlatend waardoor vocht zich achter de kalei kan opstapelen. Dit levert vooral problemen op wanneer het begint te vriezen. Het vocht zet uit

en kan de stenen of de kaleilaag kapot doen springen. Dit damptransport wordt in technische fiches van de kaleiproducten meestal uitgedrukt als dampdiffusieweerstand (μ). Wanneer men dit vermenigvuldigt met de dikte van de kaleilaag kent men de dampdiffusieweerstand voor de volledige dikte. Dit is de dikte van een stilstaande luchtlaag met vergelijkbare dampdoorlaatbaarheid. Hoe kleiner dit getal, hoe dampopener de kalei!

In verband met de zouten is vooral de korrelverdeling, maar ook het bindmiddel belangrijk. Wanneer er zouten in te kleine capillairen aanwezig zijn, zal dit bij het uitkristalliseren van de zouten problemen geven. Bij te grote capillairen zal het zout na het uitkristalliseren vocht aantrekken. In de winter zal dit vocht bevriezen (vocht zet uit) en is er kans op vorstschade. Bij het uitkristalliseren van de kalk zouden de capillairen te klein worden om zouten op te nemen, waardoor de kalei de zouten niet vasthoudt. Een bufferlaag waarin de zouten worden vastgehouden kan een oplossing bieden. Maar deze functie blijft beperkt in de hoeveelheid zouten.
Bij een kalei op kalkbasis kan de gevel 'vlekken' vertonen wanneer zouten in de kalei water opnemen. Dit kan ook gebeuren bij slagregen. Dit heeft enkel esthetische gevolgen, waarbij men rekening kan houden.

- Zachte stenen + weinig vocht en zouten + goede afdek/oversteek (vb door dak):

Bij deze mogelijkheid benadrukken we dat de gevel uit 'zachte' stenen zoals kalkzandstenen opgebouwd is. Het gaat hier voornamelijk over gevels van monumenten en oude gebouwen (> 50 jaar). Zie hoofdstuk 6.2.1 – gevelstenen om meer informatie rond de gevelstenen te lezen.
Dit moet ook een bepalende factor zijn in de keuze van het kaleiproduct. Er geldt namelijk een algemeen principe dat zegt dat de pleisterlaag minder hard moet zijn dan de drager waarop de pleister wordt aangebracht. Bij harde stenen zal de pleister de hardheid van de stenen nooit halen. Maar bij zachte stenen zoals kalkzandsteen kan dit probleem wel voorkomen. Hierbij moet men vooral oppassen met het gebruik van de hoeveelheid wit cement! Cement wordt een stuk harder dan kalk. Hierdoor zou de pleister de buitenste laag van de steen kunnen kapot knijpen en loskomen van zijn drager.
Dit brengt grote schade met zich mee, waarmee men bij oude restauraties van monumenten al in aanraking kwam.

Onderhoudsfrequentie (duurzaamheid)

Een belangrijk aspect voor de hedendaagse bouwheren is de onderhoudsfrequentie. Wanneer men op zijn gevel een kalei aanbrengt wil men deze liefst zo weinig mogelijk onderhouden! Dit kan een belangrijk aspect zijn bij de keuze van het kaleiproduct. Bouwheren die geen problemen zien in het regelmatig onderhouden (vb door aanbrengen nieuwe laag) van hun gevel laten meer keuzes over dan bouwheren die de onderhoudsfrequentie liefst zo laag mogelijk zien (vb 1 keer / 10 jaar) .

- Harde stenen + weinig vocht en zouten + open gevel (geen afdek):

Bij deze mogelijkheid wordt dezelfde ondergrond beschouwd als bij het eerste punt in het deel 'ondergrond'. Het grote verschil is dat de vorige muur vrij was van slagregen door voldoende oversteek. De gevel in dit punt wordt aan de verschillende weersomstandigheden onderworpen.

Hierbij krijgen vooral de kaleiproducten enkel op kalkbasis het moeilijk! Hun duurzaamheid van de buitenste laag tegenover de weersomstandigheden anno 2007 is minder dan wanneer er cement werd aan toegevoegd of men op basis van verfsystemen werkt. We bespreken de duurzaamheid van de verschillende kaleien in hoofdstuk 7, waarin duidelijk wordt waarom dit hier vermeld wordt.

De hechting van de kalei (enkel op basis van kalk) aan de muur blijft in dit geval hetzelfde, maar doordat de verwering van de buitenste (kalkverf)laag een stuk sneller gebeurt dan bij de andere kaleiproducten, dient deze buitenste laag regelmatiger onderhouden te worden. Dit gebeurt meestal door het aanbrengen van een nieuwe laag op de bestaande kalei-lagen. In het slechtste geval kan de onderhoudsfrequentie 1 keer per 3 jaar zijn.

Men kan de duurzaamheid van de kaleien op kalkbasis verbeteren door in plaats van een kalkverf, een matte silicaatverf te gebruiken. Ook het toevoegen van acrylaten verbetert de duurzaamheid van de kalei, maar zorgt ook voor een mindere dampdoorlaatbaarheid. Wanneer men voor deze optie kiest, moet men dus zeker zijn dat er geen grote hoeveelheden vocht achter de kalei kunnen opstapelen!

Wanneer men bij een dergelijke open muur toch verkiest (of door verplichting door openbare diensten zoals Monumentenzorg) om een kalei op puur kalkbasis te nemen, dient men rekening te houden met de onderhoudsfrequentie!

Prijs

In de Belgische bouwwereld is de prijs meestal de belangrijkste factor. Dit is niet zonder gevaren! Bij 'ondergrond' en 'onderhoudsfrequentie' is duidelijk dat niet elk product in elke situatie toepasbaar is.
Bij de kaleiproducten geldt dat de goedkoopste producten in de minste situaties (zonder gevaren) toepasbaar zijn.
Bij 'overzicht' wordt de tabel met de verschillende producten en prijzen (hoofdstuk 5.6) overgenomen en aangevuld met de verschillende situaties die in dit hoofdstuk besproken werden.

Overzicht

Aangezien er nog geen enkel objectief onderzoek werd uitgevoerd omtrent de verschillende kaleiproducten, is dit overzicht gebaseerd op praktijkervaringen en meningen van deskundigen.
Hierbij dient men ook rekening te houden dat niet elke kalei op dezelfde manier wordt aangebracht (1 laag <-> 7 lagen). Men moet dus ook rekening houden met de loonkosten van de aannemer. Deze tabel zal in hoofdstuk 6.3 hiervoor nog verder aangevuld worden!

In het algemeen:
+ = aan te raden
0 = valt te overwegen
- = af te raden in deze situatie

Bij onderhoudsfrequentie (hierbij wordt een gevel beschouwd die slagregen ontvangt. Bij een goede overdek is de onderhoudsfrequentie nog een stuk lager!):
+ = laag (>10 jaar)
0 = matig (5 à 10 jaar)
- = hoog (< 5 jaar)

6.2.4 Aanbrengen van de kalei

Weersomstandigheden

De meeste leveranciers raden aan enkel te kaleien wanneer de temperaturen tussen de 5°C en de 30°C gelegen zijn. In de eerste dagen mag er zeker geen vorst optreden! Hierbij dient men vooral op te letten voor nachtvorst.
Bij regenweer moet de gevel afgeschermd worden van slagregen. Er mag geen fel zonlicht op gevel schijnen. Ook dient de muur afgeschermd te worden van felle wind.
Deze omstandigheden zijn vooral haalbaar in het voor- en najaar! Het is dan ook sterk aan te raden werven waar er gekaleid moet worden in deze periodes te plannen!

Werfinrichting

Een punt waar weinig rekening mee gehouden wordt, maar wat toch een belangrijke rol kan betekenen, is de werfinrichting. Bij 'weersomstandigheden' werd opgesomd aan welke voorwaarden moet voldaan worden om zonder toekomstige problemen een kalei aan te brengen. In ons wisselvallig klimaat zijn deze omstandigheden moeilijk haalbaar! Een goede werfinrichting kan hierbij helpen.

Bij het plaatsen van een stelling is het aan te raden zeilen aan de stelling op te hangen. Deze constructie kan soms al aanwezig zijn, indien er een gevelreiniging nodig was. Deze zeilen kunnen dan wind, slagregen en felle zon tegenhouden. Wanneer men dan ook nog een verbinding (met zeil) maakt tussen bovenste deel van de stelling en het dak, is de gevel volledig vrij van vernoemde factoren. Hierdoor is enkel de temperatuur nog een bepalende factor en is men als aannemer al heel wat minder afhankelijk van het weer.
Toch raadt men aan niet teveel op deze werfinrichting te rekenen, maar ook met de weersomstandigheden rekening te houden.

Een tweede aspect bij de werfinrichting is het afplakken van ramen, schrijnwerk en dergelijke. Dit kan soms ook nog aanwezig zijn, indien er een gevelreiniging nodig was. Wanneer er veel ramen en openingen aanwezig zijn is dit nog een uitgebreid werk, waar men rekening mee moet houden bij de keuze van de aanbrengtechniek van de kalei (zie verder).

Voorbevochtigen gevel

Een belangrijk aspect, alvorens de kalei aan te brengen, is het voorbevochtigen van de gevel. Dit is zeer belangrijk om een goede hechting tussen kalei en ondergrond te garanderen. Het is niet de bedoeling dat de muur 'kletsnat' staat wanneer de kalei wordt aangebracht of het water enkel langs de gevelstenen loopt.
De beste manier is om de avond voor de eigenlijke kaleiwerken de muur goed te bevochtigen, zodat het water de tijd krijgt in de gevelstenen te dringen. Dit is vooral belangrijk voor de kaleiproducten op kalkbasis, omdat de kalei hierbij één geheel dient te vormen met de gevelstenen.

Aanbrengen kalei

6.4 Kaleien met blokborstel
© http:// www.voegwerken-kaleien.be

Nadat de ganse restauratieprocedure werd doorlopen, waardoor de muur optimaal in gereedheid werd gebracht om een afwerkinglaag op aan te brengen, kan men nu overgaan tot het aanbrengen van de kaleilagen.
Zoals eerder beschreven is het belangrijk dat dit in de juiste weersomstandigheden gebeurt en dat de muur goed bevochtigd werd.
Een ander belangrijk punt is de 'pot life' van het aangemaakte kaleiproduct. Eens het kaleiproduct wordt aangelengd met de passende hoeveelheid water (zie hoofdstuk 5), heeft deze 'brei' een beperkte levensduur. Binnen deze levensduur, wat soms maar twee uur bedraagt, moet de kalei op de gevel worden aangebracht. Het is dus belangrijk dat er geen al te grote hoeveelheden in één keer worden aangemaakt.
Men moet ook op het feit letten dat elke keer de kalei wordt aangemaakt dit met een zelfde hoeveelheid water gebeurt om geen kleurverschillen te creëren.
De verschillende kaleilagen dienen nat op nat op elkaar aangebracht te worden. Indien een te lange periode zit tussen het aanbrengen van de verschillende lagen dient men de vorige kaleilaag nog eens voor te bevochtigen!

Het aanbrengen van de kalei kan op twee manieren worden aangebracht:

- Blokborstel:

Dit is de oorspronkelijke manier van aanbrengen van een kalei. Het kaleiproduct wordt aangelengd met een juiste hoeveelheid water (afhankelijk van product tot product) en met de blokborstel op de muur aangebracht. Hierbij worden horizontale vlakken over de volledige breedte van de gevel gekaleid en gaat men zo strook per strook van boven naar beneden. Hierdoor ontstaan geen duidelijke aftekeningen (kleurverschillen) van waar de strook/stelling eindigde.

De dikte van aanbrengen hangt af van product tot product. Sommige kaleien worden in 2 lagen van 1 à 2 mm aangebracht, anderen in 1 laag van 2 à 4 mm. Het is belangrijk dat de diktes van de kaleilagen overal dezelfde zijn, anders kunnen kleurverschillen optreden.

Tussen de verschillende kaleilagen moet men bij bepaalde producten tot 24u wachten, alvorens de nieuwe laag aan te brengen. De nieuwe laag dient nat op nat op de vorige aangebracht te worden. Indien de vorige laag al te droog staat, is het aan te raden deze laag voor te bevochtigen alvorens de nieuwe laag aan te brengen.

6.5 Kaleien met blokborstel
© ReynChemie

Bij het aanbrengen van de laatste kaleilaag is het belangrijk te weten welk effect (de richting van de 'strepen') de architect en/of de bouwheer hebben vooropgesteld.

Wanneer men deze techniek met de blokborstel gebruikt dient men veel minder af te plakken dan bij het gebruik van een wormpomp (zie volgend punt). Dit kan een belangrijke factor zijn bij de keuze tussen deze twee technieken (rendement van manuren).

Een nadeel aan deze techniek is dat het aanbrengen met de blokborstel een arbeidsintensief werk is.

6.6 Kaleien met wormpomp
© Torfs Gebroeders

- Wormpomp + blokborstel:

De meeste kaleiproducten kunnen ook met de wormpomp aangebracht worden. Hierbij wordt de kalei laag per laag op de gevel gespoten. Dit brengt met zich mee dat de afdekking van ramen, schrijnwerk en andere zones zeer belangrijk is!
Ook hier moeten de lagen nat op nat worden aangebracht en is het belangrijk dat de dikte overal gelijk is.

Wanneer alle lagen met de wormpomp werden aangebracht, gaat men met een blokborstel over de kalei om het typisch uitzicht (opgedragen door bouwheer/architect) te creëren.
Deze techniek is veel minder arbeidsintensief en haalt een veel hoger rendement (betr. manuren) bij het kaleien van een vlakke muur.

Enkele voorbeelden van wormpompen: RC KSM 250 (ReynChemie), MPE 150/250/400 (leverancier: Nicover), Nicostar (leverancier: Nicover)
Technische fiches zitten in bijlage.

Eventuele afwerkingslagen

Indien de kaleiproducten geen pigmenten bevatten wordt nog een extra afwerkingslaag aangebracht. Dit gebeurt meestal met een kalkverf, een silicaatverf of een siliconeharsverf. Deze worden met de rol of met de borstel aangebracht. Hierbij dient de ondergrond nog nat te zijn om de hechting te verbeteren. Indien de ondergrond al volledig uitgedroogd is, moet men de gevel nogmaals voorbevochtigen alvorens de afwerkinglaag aan te brengen.
Deze afwerkinglaag moet een passende laag vormen met de kaleilaag! Het raadplegen van de producenten is hierbij aan te raden. Zo mag de bovenste laag de gevel niet afsluiten van damptransport wanneer er grote kans bestaat dat deze in de muren in grote hoeveelheden aanwezig is.

6.7 Kaleien met wormpomp
© Color.be

Wanneer men zeker is dat achter de kaleilaag geen vocht meer zal opstapelen, en men de kalei tegen slechte weersomstandigheden wil beschermen is het hydrofoberen van gevel een mogelijkheid. Hierdoor zal de kalei het vocht van zich afstoten en is de gevel gemakkelijker te reinigen. De dampdoorlaatbaarheid van de gevel verdwijnt hiermee wel, waardoor deze interessante functie van een kalei verdwijnt!

Afwerking gevel

Na het verwijderen van de afschermingen is het aan te raden eens na te denken wat er gebeurt met het water dat langs de gevel loopt. Hierdoor kan men toekomstige vlekvorming vermijden. Zo kan men opstaande zijkanten voorzien aan dorpels, ervoor zorgen dat het water van het dak niet langs de muur loopt, etc… Deze kleine ingrepen kunnen de duurzaamheid en het uitzicht blijvend verbeteren!
Daarnaast is het aan te raden om de onderste meter van de gevel van iets anders dan een kalei te voorzien of om een 'afwasbare' laag aan te brengen. Dit kan bijvoorbeeld met natuursteen. Hierdoor krijgt de kalei niet te maken met opspattend water en vuil, wat de duurzaamheid zeker ten goede zal komen!

6.3 Calculatielijst product / uitvoering

Deze lijst dient als voorbeeld en is niet bindend! Hierbij werd rekening gehouden met een rendement gehaald met een wormpomp waarbij achteraf met de blokborstel het kalei-effect werd gecreëerd. Wanneer alles met de blokborstel wordt uitgevoerd, dient men niet af te plakken, maar gaat men trager te werk. Deze prijs zal dus verschillen met de voorgestelde.
Hou rekening mee dat het kaleien afhankelijk is van de gevel en de eigen wensen! Soms dient een dunnere laag dan de voorgestelde laag aangebracht te worden. De voorgestelde hoeveelheden zijn deze voorgeschreven door de producenten, deze zijn dus subjectief. Ook het gekozen kleur zorgt voor verschillen in de prijs. Daarom is deze lijst louter informatief om een idee te krijgen hoeveel een volledig uitgevoerd kaleiwerk ongeveer kost met een bepaald product.

7 Duurzaamheid van de kaleilaag

Bij de duurzaamheid van kaleien spelen heel wat factoren een rol. Een zelfde kaleiproduct reageert op het ene gebouw heel anders dan op een ander gebouw. De belangrijkste factoren die van invloed zijn op degradatieprocessen liggen op het gebied van omgeving, materialen, ontwerp, vakmanschap van de uitvoering en het onderhoud.

Omgevingsfactoren

Tot de omgevingsfactoren behoren bijvoorbeeld het vochtaanbod, het zoutaanbod, luchtverontreiniging, temperatuursinvloeden, dynamische belastingen en zetting van de bodem.
Bij kaleiwerken zijn vooral de factoren vocht, zout en luchtverontreiniging van belang. Vocht en zouten tegenover de verschillende producten werden al besproken in hoofdstukken 6.2.1 (Bekijken van bestaande situatie) en 6.2.3 (Keuze van Kaleiproduct). Deze factoren zitten in de muur en willen naar buiten.
De factor luchtverontreiniging reageert aan de buitenzijde van de gevel (met kalei). Vooral in steden is dit een belangrijk punt om mee rekening te houden bij de keuze van het product! Door het vele verkeer worden de gevels hier snel zwart en grauw. Vroeger kon men een gevel om de tien jaar reinigen. Nu gebeurt dit soms al om de drie jaar! Er is weinig bekend over hoe de verschillende mengsels en producten hierop reageren. Algemeen kan beschouwd worden dat hoe minder waterdoorlatend de kalei is, hoe minder de kalei vuil uit de omgeving absorbeert. Maar deze veronderstelling klopt niet altijd.
Naast het verkeer als vervuiler voor pleisterwerken, zorgt ook de zure regen voor aantasting van de gevel. Dit is de vijand van de kalkproducten (zoals de meeste kaleiproducten) die zeer basisch zijn. Men probeert de kalkproducten met toeslagstoffen te verbeteren. Een goede oplossing tegen de zure regen is het bedekken van de kalei met een silicaatverf. Op plaatsen waar men meer en meer 'sterk' zure regen verwacht, moet zeker nagedacht worden over de mogelijkheden van kaleisystemen die niet op basis van kalk gemaakt zijn! Dit is een probleem die in de toekomst belangrijker zal worden. Gebouwen die honderden jaren mooi bleven, verouderen nu aan een snel tempo.
Ook muren die teveel slagregen moeten opvangen hebben extra aandacht nodig. Dit heeft voornamelijk met de oriëntatie van het gebouw te maken. Soms wordt een ander product gebruikt om de regenzijde van het gebouw te kaleien, dit kan een mogelijke oplossing zijn!

Bronnen: 1, 16

Soms wordt deze zijde gehydrofobeerd. Hier hangen wel gevaren aan vast. Want het vocht van binnenuit kan niet meer naar buiten. Hierdoor zijn er soms meer vochtproblemen na de hydrofobering dan ervoor.
Water is de belangrijkste factor in het degradatieproces van pleisters. Het is dus belangrijk deze factor nooit uit het oog te verliezen!

Materiaalfactoren

Hierbij is vooral de samenstelling van de kalei belangrijk. Hoe hecht een bepaald kalei aan zijn ondergrond? Met welke toeslagstoffen kan men de kalei verbeteren? Op deze vragen zoekt men hierbij op een antwoord.
Qua hechting zijn enkel gegevens bekend bij de producenten zelf. Deze duiden aan dat de kaleiproducten die in België te verkrijgen zijn op de meeste stenen gevels goede resultaten vertonen. Enkel kaleimengsels met 'veel' cement kunnen problemen geven in restauraties van oude gebouwen waarbij zachte gevelstenen (vb kalksteen) aanwezig zijn. Dergelijke producten vormen een kalei die na enige tijd loskomt van de gevel (cement is te sterk voor zachte stenen).
Er zijn heel wat toeslagstoffen om de kalei te verbeteren. Deze werden in andere hoofdstukken besproken en geven goede resultaten op het gebied van hechting. Men dient enkel op te letten dat door deze toeslagstoffen de vochthuishouding door de muur niet verstoord wordt!

Ontwerpfactoren

Bij restauraties waar grote veranderingen plaatsvinden, kan men door het ontwerp een betere duurzaamheid van de kaleilaag bekomen! Hoe minder de kalei blootgesteld wordt aan omgevingsfactoren, hoe minder weerbaar de kalei moet zijn. Hierbij is voornamelijk een grote oversteek van het dak belangrijk. Deze geeft een goede bescherming aan de gevel en de kaleilaag tegenover 'zure' slagregen, zon en andere weersfactoren die de duurzaamheid van de kalei kunnen doen verminderen.

Bronnen: 1, 16

Vakmanschap van de uitvoering

De uitvoering van een kaleiwerk is zeer belangrijk voor de duurzaamheid. Er kan met een uitstekend product gewerkt worden, als de kaleilaag slecht wordt uitgevoerd, kan dit grote gevolgen hebben. Hierbij is vooral het voorbevochtigen van belang. Ook bij het combineren van verschillende producten is vakkennis belangrijk. Hierbij worden soms ook fouten gemaakt (zie hoofdstuk 5.3 'Bespreking van schadegevallen'). De meeste producten dienen nat op nat op elkaar aangebracht te worden. Dit mag men dan ook niet uit het oog verliezen en eventueel opnieuw voorbevochtigen alvorens aan een nieuwe laag te beginnen!

Schade

Schade wordt gedefinieerd als 'een op zeker moment merkbare vorm van achteruitgang van het bouwmateriaal (hier kalei)'. Schade kan dus zowel op esthetische als op functionele zaken betrekking hebben. Overigens, uiteindelijk zal elk materiaal vergaan, zelfs wanneer het onder optimale omstandigheden wordt bewaard. Van belang is echter vooral het tijdsbestek waarin het vergaan plaats zal vinden (binnen enkele jaren of enkele eeuwen?).

In deze thesis worden geen schadegevallen besproken. Meestal was te weinig informatie bekend om een oordeel te vellen. Wat uit de schadegevallen van de laatste jaren geleerd werd, staat in de thesis tussendoor vermeld.

Bronnen: 1, 16

8 Kaleien – Monumentenzorg

8.1 Monumentenzorg

Van kasteel tot arbeiderswoning, van hoeve tot industrieel complex, van dorpsplein tot interbellumwijk, het bouwkundig erfgoed van Vlaanderen is even kleurrijk als divers en herinnert ons dagelijks aan ons rijke verleden.
De zorg voor monumenten bestaat al lang in onze contreien. De eerste maatregelen met het oog op het behoud van monumenten worden uitgevaardigd door Napoleon. Op 7 januari 1835 richt het pas onafhankelijke België een Koninklijke Commissie voor Monumenten op, een primeur op Europees vlak. De eerste omvattende wetgeving komt er in 1931, met de wet van 7 augustus 1931 op de bescherming van monumenten en landschappen.
Het Agentschap R-O Vlaanderen Onroerend Erfgoed is verantwoordelijk voor de bescherming van monumenten en stads- en dorpsgezichten. Ze adviseert over stedenbouwkundige vergunningen en verleent toelatingen voor werken aan beschermde onroerende goederen.
Steden (zoals Brugge, Gent, etc.) hebben vaak een eigen dienst Monumentenzorg die dan instaat voor alle monumenten in die stad, ook deze die niet beschermd zijn. Zo kan het algemeen stadsgezicht beter bepaald worden.

8.2 Algemene visie

Bij de restauratie van een monument bekijkt Monumentenzorg verschillende aspecten bij zijn adviserende raadgevingen.
Een eerste punt is het *esthetisch perspectief*. Hierbij wil men de authenticiteit bewaren van een gebouw en deze zijn oorspronkelijk uitzicht teruggeven. Het kleur en de textuur van de pleisterlaag moet passen in het geheel van de restauratie van het gebouw. Dit noemt men *esthetische compatibiliteit*.
Monumentenzorg kiest ook voor een *filologische aanpak*. Dit houdt in dat men de originele uitvoeringswijze en materiaalsamenstelling zo nauwkeurig mogelijk navolgt. Deze aanpak vereist een diepgaande bestudering van het monument. De oude mortelsamenstellingen worden onderzocht en men bekijkt ook andere bronnen zoals oude bestekken. Dit is een belangrijk onderdeel in het in stand houden van de authenticiteit van een gebouw.

Bronnen: 1, 18

Een derde aspect waarmee Monumentenzorg rekening houdt, is de *reversibiliteit* (omkeerbaarheid). Een restauratie kan achteraf op verkeerde keuzen gebaseerd blijken te zijn. Ook is het mogelijk dat een toekomstige generatie niet kan instemmen met onze zienswijze. De ultieme manier om daarmee rekening te houden, is een aanpak die door latere generaties eventueel weer volledig ongedaan gemaakt kan worden. Hoewel reversibiliteit nooit volledig is te bereiken, streeft men wel altijd naar een zo veel mogelijke reversibele ingreep.

8.3 Kaleien en Monumentenzorg

Kaleien is een techniek die in de restauratie van monumenten veel wordt toegepast. De keuze van het product wordt dan beïnvloed door de raadgevende functie van Monumentenzorg. In 8.2 werden de verschillende aspecten waarmee deze dienst rekening houdt, besproken.

De filologische aanpak en de reversibiliteit zorgen ervoor dat de voorkeur van monumentenzorg uitgaat naar kaleiproducten op kalkbasis. Wanneer men het puur esthetisch beschouwd zijn ook andere kaleiproducten mogelijk. Tegenwoordig laat men de keuze meer en meer afhangen van de waarde van het gebouw. Bij beschermde, waardevolle monumenten zal men er strenger op toezien dat er met kalk gekaleid wordt. Dit in tegenstelling tot gebouwen die historisch minder waardevol zijn, waar men de keuze in beperkte mate vrij laat.

Omtrent deze aanpak van Monumentenzorg zijn er toch ook enkele bedenkingen. Er bestaan heel wat goede kaleiproducten of -mengsels op basis van kalk, maar zonder toevoegingen laten deze qua duurzaamheid soms wat te wensen over. Dit uit zich vooral in het uitzicht van de kalei. Sommige van deze veranderingen van het uitzicht, zoals de typische vochtvlekken, worden door sommige als een onderdeel van een gekaleide gevel beschouwd.

De duurzaamheid is, zoals eerder in deze thesis besproken, vooral afhankelijk van de algemene structuur van het gebouw. Wanneer de gekaleide gevel beschermd is tegen slagregen (vb door een grote oversteek) en er weinig zouten aanwezig zijn, zal een kalei op kalkbasis zeker lang duurzaam blijven. Bij gevels die dagelijks aan de weersomstandigheden worden blootgesteld kan dit voor problemen zorgen. Zo is het onmogelijk (voornamelijk financieel) om elke 5 jaar een volledige kerktoren van een extra kalkverflaag te voorzien.

Bronnen: 1, 18

Daarom is het aan te raden bij de keuze van het kaleiproduct naast de drie aspecten die Monumentenzorg (terecht) hoog in het vaandel draagt, ook het aspect duurzaamheid zeker niet te vergeten! Hiervoor dient men wel open te staan voor kaleien op basis van silicaten, siloxanen en kunststofharsen. Voor elk monument afzonderlijk moet beoordeeld worden welke producten aan zoveel mogelijk voorwaarden kan voldoen. Deze visie wordt in sommige steden al gevolgd.

9 Kalei.be

Wat begon als een website om informatie te verzamelen over het onderwerp 'Kaleien van gevels' werd een succes verhaal!
Op 12 december werd een site ineen gestoken met basisinformatie over het kaleien. Hieraan werd een blog gekoppeld om te kunnen discussiëren over het onderwerp. Via het emailadres 'info@kalei.be' kon iedereen informatie geven en vragen stellen rond kaleien.
Bijna vijf maanden verder hebben meer dan 5000 unieke bezoekers deze site bezocht! Deze bezoekers postten een twintigtal berichten op de blog en mailden massaal. Een twee honderdtal mails werd ontvangen op info@kalei.be, hiervan bestaat 50% uit vragen. Deze werden zo goed mogelijk beantwoord. Verder in dit hoofdstuk volgt een overzicht van enkele van de belangrijkste vragen en hun antwoorden (of waar men de antwoorden in deze thesis kan terugvinden).
In de toekomst zal 'Kalei.be' blijven bestaan en komt er een samenvatting van deze thesis. Hierdoor zullen al heel wat vragen opgelost zijn, waar de mensen die willen kaleien nu nog mee zitten.

'Vragen en antwoorden'

1) Wij hebben keldermuren in ruwe betonsteen. Zou het mogelijk zijn om dergelijke muren te kaleien zodanig dat de ruwheid van deze stenen weg is (dus zodanig dat de poriën van de betonsteen opgevuld worden)? Of is kaleien enkel van toepassing op buitenmuren?

   Kaleien kan zeker ook binnen toegepast worden! Doordat een kaleilaag zeer dampopen is, kan het vocht gemakkelijk naar buiten toe migreren. Binnenmuren die niet in aanraking komen met de buitenzijde van het gebouw hebben minder te maken met vocht, waardoor latere problemen minder zullen voorkomen.

   Kaleien op betonsteen kan zeker. De kalei zal goed kunnen vasthechten in de poriën van dit bouwmateriaal.

2) Moet ik de muren eerst kletsnat spuiten met de tuinslang en dan er met de borstel op vliegen of mogen ze droog blijven. Hoeveel lagen mogen er over elkaar en hoeveel tijd moet je er tussen laten?
De muren dienen zeker goed voorbevochtigd te worden! Dit liefst de avond voordat met de werken gestart wordt, zodat de stenen de tijd krijgen het vocht op te nemen. De hoeveelheid vocht die hiervoor gebruikt moet worden, hangt af van de weersomstandigheden. In droog weer mag je de avond voordien de muur gerust kletsnat spuiten. Een gedeelte hiervan zal verdampen, een ander gedeelte in de muur dringen. (zie hoofdstuk '6.2.4 Aanbrengen van de kalei')
Het aantal lagen en de tussentijd hangen af van product tot product. Het lezen van de technische fiche is hierbij van groot belang! (zie hoofdstuk '5. De verschillende kaleiproducten')

3) Welke producten zijn op de markt?
Zie hoofdstuk '5. De verschillende kaleiproducten' voor een niet bindende lijst.

4) Hoeveel kost het kaleien van onze gevel?
Dit is afhankelijk van de oppervlakte van de gevel, en het percentage delen dat niet dient gekaleid te worden (vb ramen en deuren). In hoofdstuk '5. De verschillende kaleiproducten' worden ook de schildersprijzen exclusief BTW meegedeeld. Deze prijzen zijn echter niet bindend!
In hoofdstuk '6.4. Calculatielijst product/uitvoering' komt hierbij ook nog de aannemerkost.

5) Zelf kaleien of laten uitvoeren?
Het kaleien op zich is geen moeilijke techniek en kan iedereen uitvoeren. Het grote verschil is de kennis en de ervaring die aannemers hieromtrent hebben. De keuze van de juiste producten ten opzichte van het type muur (met eventueel vocht en zouten) is het moeilijkste aan het kalei-verhaal. Hier hebben heel wat aannemers een goede kennis over die onmisbaar is om te kaleien.

6) Mag je kaleien op een bestaande verflaag?
   Hiervoor bestaan er enkele 'primers' om de hechting te verzorgen tussen kalei en verf, maar dit is sterk af te raden! De muurhuishouding zal volledig verstoord geraken en er zal altijd een grote kans blijven dat de kalei van de verf loskomt.
   De verf eraf halen is dus de beste oplossing! (zie hoofdstuk '6.2.2 Gevelreiniging en herstelling metselwerk')

7) Mag men met het kaleiproduct 'putten' in de voegen opvullen?
   Wanneer bij het reinigen van de gevel heel wat voegen loskomen is het aan te raden deze eerst te hervoegen alvorens te kaleien! Wanneer het slechts om enkele putten gaat in de bestaande voegen, dan kan men door op deze plaatsen wat extra kaleiproduct aan te brengen, deze gemakkelijk opvullen. Hierbij dient men wel op te passen dat er geen kleurverschillen ontstaan.

8) Waar zijn de producten om te kaleien te koop?
   Navragen bij de gewenste producenten is hierbij de beste manier om dit te weten te komen. Meestal verkopen deze producenten hun kaleiproducten in redelijke hoeveelheden zelf.

10 Besluit

In deze thesis werd theoretisch, met de praktijk als achtergrond, getracht het kaleien te doorgronden. Met deze paper in de hand zou men al heel wat problemen met kaleiwerken in de toekomst moeten kunnen vermijden!
Stap voor stap werd het ganse restauratieproces op basis van de bevindingen van het WTCB overlopen alvorens het over het kaleien in de praktijk te hebben. Het is dan ook sterk aan te raden deze procedure voor elk kaleiwerk, hoe klein ook, te volgen. Het pleisteren van een gevel in de restauratie van een gebouw is veel meer dan enkel het esthetisch bedekken van de stenen alleen!
De meeste kaleiproducten en -mengsels hebben hun waarde al bewezen. Maar niet elk product is geschikt voor iedere toepassing. Men dient rekening te houden met de verschillende aspecten die in hoofdstuk 6.2.3 (Keuze van Kaleiproduct) uitvoerig werden besproken om het best passend product of mengsel te kiezen.
Bij het restaureren van monumenten komen hier nog extra aspecten bij. Dit vergemakkelijkt de keuze zeker niet. Monumentenzorg en andere diensten die toekijken op ons patrimonium houden terecht met andere aspecten (zoals reversibiliteit, authenticiteit, …) rekening, maar mogen het aspect duurzaamheid zeker niet uit het oog verliezen!

Deze thesis is een theoretische leidraad voor de praktijk, gebaseerd op praktijkervaringen. Wanneer men wil weten hoe elk product of mengsel exact reageert onder de hedendaagse weersomstandigheden en onder de muurhuishouding (vocht en zouten); wanneer men wil weten welke producten of mengsels het best hechten aan de verschillende ondergronden; wanneer men wil weten vanaf welke hoeveelheid cement de kalei te sterk wordt voor bepaalde zachte stenen; dan raad ik ten sterkste aan om rond het kaleien naast deze theoretische bespreking ook een labonderzoek uit te voeren. Hierbij kunnen proeven met vocht en zouten, verouderingsproeven, etc. meer duidelijkheid scheppen betreffende deze problematiek.

De vele opzoekingen, gesprekken en bezoeken die ik voerde voor deze thesis vond ik erg boeiend. Ik hoop dan ook dat deze thesis, samen met de website Kalei.be, als objectieve bron het kaleien in de toekomst zal stimuleren en verbeteren.

11 Bijlage

- Fotoreportage kaleien
- Statistieken Kalei.be
- CD-rom (Kaft achteraan):
  - Productinformatie (technische fiches)
  - Extra foto's
  - Calculatietabellen

12 Bibliografie

1) Van Balen, Koen; van Bommel, Bert; van Hees, Rob; van Hunen, Michiel; van Rhijn, Jeroen n van Rooden, Matth. (2003). *Kalkboek. Het gebruik van kalk als bindmiddel voor metsel- en voegmortels in verleden en heden.* Zeist, Rijksdienst voor de Monumentenzorg. ISBN 90 72691 36 9.

2) Arte Constructo. Historiek kalkverven en marmerafwerkingen. http://www.arteconstructo.be/historiek1.htm (14-03-2007).

3) De Clercq, Lode (2000). *Historiek van de pleistersystemen. Een inleiding op de vorming van de Westerse traditie vanaf de Romeinse periode tot de late middeleeuwen.* niet-gepubliceerd document.

4) 't Stilleven. Verftechnieken. http://www.stilleven.com/Frameset1.html (18-04-2007)

5) Callebout, K.; Van Balen, K.; Ottenburgs, R. (2000). *Praktijk en eigenschappen van traditioneel droog gebluste kalk.* niet-gepubliceerd onderzoeksverslag, Leuven, K.U.L.

6) Ecole d'Avignon. (1998) *Techniques et Pratique de la Chaux.* Vijfde druk. Saint-Germain, Editions Eyrolles.

7) Winsor & Newton (2005). *De kunst van het aquarelleren, perfectie tot in de details*. niet-gepubliceerde folder.

8) Peter van Ginkel. Marmerpoeder fijn. http://www.petervanginkel.nl/cat/82?id=82 (18-04-2007)

9) Europese Kalk(steenmeel) Verkoopmij. Kalksteenmeel vor o.a. zelfverdichtend beton. http://www.kalksteenmeel.info (18-04-2007)

10) PTB (Polytechnisch Bedrijf). Compactuna. http://www.compaktuna.be/nl/product.asp?id=24 (18-04-2007)

11) InfoTalia. Soorten Verf. http://www.infotalia.be/nl/wonen/bouwgids_verven_detail.asp?id=503 (18-04-2007)

12) Wikipedia. Acrylverf. http://nl.wikipedia.org/wiki/Acrylverf (18-04-2007)

13) Van Balen, Koen (2001). *Witkalk en kalkverf. Gebruik en restauratie.* niet-gepubliceerd document, Leuven, K.U.L. .

14) Keim Nederland B.V. *Het unieke spektrum van de KEIM silikaat-techniek.* niet-gepubliceerde folder.

15) PM Group. Decoratie, Vakinformatie voor schilders en interieurinrichters. http://www.decosite.be/insidenews/103/default.aspx?_vs=0_N&id=EVD31n04.mth (20-04-2007)

16) (2002). Gids voor de restauratie van metselwerk. Publicatie, Limelette, WTCB

17) Hermans, Taco. Boerderijdrop. Zouten in boerderijen. http://home.planet.nl/~taco.hermans/boer.htm (23-04-2007)

18) Onroerend Erfgoed. http://www.onroerenderfgoed.be/nl/index.cgi?id=750&nav=true (1-05-2007)