

Technologieproject BRIK XI

Duurzaamheid van metselwerk; fase 1: kennislacunes

Opdrachtgever

Koninklijk Verbond van
Nederlandse Baksteenfabrikanten

Postbus 51
6994 ZH De Steeg
Tel. 08309 - 59110

Uitvoering

DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV

Postbus 85
3800 AB Amersfoort
Tel. 033 - 68 91 11
Afdeling Materiaal- en Bouwtechniek
Rapporteur ir. J.F. den Boer

INHOUD

| | |
|--|-----------|
| SAMENVATTING | 3 |
| SUMMARY. | 4 |
| INLEIDING. | 5 |
| 1 Algemeen | 5 |
| 2 Doel en aanpak | 5 |
| 3 Het BRIK project | 6 |
| 1 BRIK XI: ONDERZOEK DUURZAAMHEID METSELWERK. | 8 |
| 2 VORSTSCHADE | 12 |
| 2.1 Algemeen. | 13 |
| 2.2 Schadebeeld | 13 |
| 2.3 Schademechanisme. | 14 |
| 2.4 Invloedsfactoren. | 15 |
| 2.5 Onderzoekmethoden | 17 |
| 2.6 Reparatie | 17 |
| 2.7 Maatregelen bij nieuwbouw | 18 |
| 2.8 Kennislacunes en tegenstrijdigheden | 19 |
| 3 ZOUTSCHADE. | 20 |
| 3.1 Algemeen. | 21 |
| 3.2 Schadebeeld | 21 |
| 3.3 Schademechanisme. | 22 |
| 3.4 Invloedsfactoren. | 23 |
| 3.5 Onderzoekmethoden | 24 |
| 3.6 Reparatie | 24 |
| 3.7 Maatregelen bij nieuwbouw | 25 |
| 3.8 Kennislacunes | 26 |
| 4 ATMOSFERISCHE AANTASTING | 27 |
| 4.1 Algemeen | 28 |
| 4.2 Schadebeeld. | 28 |
| 4.3 Schademechanisme | 28 |
| 4.4 Invloedsfactoren | 28 |
| 4.5 Onderzoekmethoden. | 29 |
| 4.6 Maatregelen bij nieuwbouw/reparatie. | 29 |
| 4.7 Kennislacunes. | 29 |
| 5 CORROSIE SPOUWANKERS | 31 |
| 5.1 Algemeen | 32 |
| 5.2 Schadebeeld. | 32 |
| 5.3 Schademechanisme | 33 |
| 5.4 Invloedsfactoren | 34 |
| 5.5 Onderzoekmethoden. | 36 |
| 5.6 Reparatie. | 36 |
| 5.7 Maatregelen bij nieuwbouw. | 37 |
| 5.8 Kennislacunes | 37 |

| | | |
|-----|--|----|
| 6 | BIOLOGISCHE AANTASTING. | 38 |
| 6.1 | Inleiding. | 39 |
| 6.2 | Schadebeeld. | 39 |
| 6.3 | Schademechanisme | 40 |
| 6.4 | Invloedsfactoren | 41 |
| 6.5 | Onderzoekmethoden. | 41 |
| 6.6 | Maatregelen bij nieuwbouw/repairatie. | 42 |
| 6.7 | Kennislacunes. | 42 |
| 7 | MOGELIJKE TOEKOMSTIGE ONTWIKKELINGEN. | 43 |
| 7.1 | Algemeen | 43 |
| 7.2 | Toepassing van rest- en afvalstoffen | 43 |
| 7.3 | Alternatieve uitvoeringstechnieken | 45 |
| 7.4 | Kennislacunes. | 46 |
| 8 | KENNISLACUNES | 48 |
| 9 | VOORSTELLEN VOOR NADER ONDERZOEK EN ORGANISATIE. | 50 |
| 9.1 | Inleiding. | 50 |
| 9.2 | Voorstellen voor nader onderzoek | 50 |
| 9.3 | Organisatie. | 51 |
| | LITERATUUR.. . . . | 53 |
| | BIJLAGE | 59 |
| | DISKETTE MET LITERATUUROVERZICHT (CARDBOX-PLUS) | |

SAMENVATTING

Een literatuurstudie is verricht om na te gaan wat er bekend is - maar vooral ook wat er niet bekend is - over de duurzaamheid van baksteenmetselwerk. Deze studie vormt de eerste fase van het onderzoek dat er op gericht is een methodiek te ontwikkelen waarmee de duurzaamheid van baksteenmetselwerk beoordeeld kan worden. In tweede instantie kan er ten aanzien van het aspect duurzaamheid wellicht een vergelijking met andere bouwmaterialen plaatsvinden.

Uit de literatuurstudie is onder meer gebleken dat vorst/dooi-inwerking en zoutbelasting de grootste bedreigingen zijn voor de duurzaamheid van baksteenmetselwerk: zij komen in de praktijk het meest voor en leiden tot de omvangrijkste schade's (en ontsiering). Minder bekende bedreigingsvormen zijn de atmosferische- en de biologische aantasting: hun bestaan kan niet worden ontkend, doch uit de literatuur blijkt niet dat zij de duurzaamheid van baksteenmetselwerk in belangrijke mate beïnvloeden. Een toenemende invloed zou mogelijk kunnen ontstaan bij een toenemende verontreiniging van de atmosfeer. Verder is er uit de literatuur gebleken dat de gangbare uitvoeringen van spouwankers (d.w.z. de verzinkte uitvoeringen) een relatief geringe duurzaamheid zouden kunnen bezitten: d.w.z. dat zij binnen 10 tot 20 jaar in aanzienlijke mate kunnen corroderen. Deze indicatie is afkomstig uit buitenlandse literatuurbronnen (o.a. het Verenigd Koninkrijk en de VS). Onbekend is of er in Nederland van eenzelfde situatie sprake is.

In het rapport wordt ook ingegaan op mogelijke toekomstige ontwikkelingen. Hieronder vallen onder meer het gebruik van alternatieve grondstoffen (afvalstoffen zoals vliegas, baggerslib e.d.) en alternatieve uitvoeringstechnieken (o.a. doorstrijken, lijmen e.d.). Indicaties zijn aangetroffen dat het gebruik van alternatieve grondstoffen en/of alternatieve uitvoeringen zeer zeker tot de mogelijkheden behoort, doch dat een inzicht in de duurzaamheid van aldus vervaardigd/toegepast metselwerk zo goed als geheel ontbreekt.

Naar aanleiding van de geconstateerde kennislacunes zijn er voorstellen voor nader onderzoek gedaan. Deze variëren van een aanzet voor onderzoek ten behoeve van het ontwikkelen van een duurzaamheidsmodel voor baksteenmetselwerk tot het oplossen van vraagpunten zoals de invloed van het impregneren en hydrofoberen van metselwerk en van hulpstoffen in de metselmortel op de duurzaamheid, alsmede het vaststellen van de omvang van corrosie van spouwankers en het gebruik van metselwerkpuingranulaat c.q. puinwasslib. In het rapport zijn voorstellen gedaan met betrekking tot de aanpak van vervolgonderzoek en de organisatie.

Aan dit rapport is een diskette toegevoegd (Cardbox-plus) met bibliografische gegevens en samenvattingen van de geraadpleegde literatuur, inclusief de bijbehorende zoekprogrammatuur.

SUMMARY

A literature search was carried out in order to establish what information is available - and, even more important, what is not - about the durability of brickwork. This search is the first stage of a survey which aims at developing a method which can be used to mutually compare the durability of brickwork constructions. In the second stage it may be possible to make a comparison with other construction materials.

One of the things that appeared from the literature search is, that the main threats for the durability of brickwork are the action of frost/thaw and salt: they occur most frequently and they lead to the most extensive damage (and disfigurement).

Less well-known threats are the atmospheric and biological damage: their existence cannot be denied, but the available literature does not show that they affect the durability of brickwork substantially. According to the literature, the importance of this influence may increase when the pollution of the atmosphere increases further.

It also appeared from the literature that the commonly used types of ties for cavity walls (that is the galvanized types) may have a relatively low durability: that means they may corrode considerably within a period of 10 to 20 years.

This indication comes from foreign literature sources (e.g. Great Britain and the US). It is not known if the situation in the Netherlands is the same.

The report also pays attention to possible future developments.

These include the use of alternative raw materials (waste products such as fly ash, dredged sludge etc.) and alternative construction techniques (e.g. bonding or laying with excess mortar and wiping off, thus making pointing unnecessary, etc.).

Indications were found that the use of alternative raw materials and/or alternative methods are certainly realistic options, but that an insight into the durability of the thus manufactured/constructed brickwork is almost nonexistent.

The knowledge gaps found have been reason to bring forward proposals for further research. These range from initial research for the purpose of developing a durability model for brickwork, to the solution of problems such as the influence of impregnation and hydrofobation of brickwork and of filling materials in the building mortar on the durability, as well as assessing the scope of corrosion of the wall ties and the use of brickwork rubble granulates or washed-rubble sludge.

The report contains proposals relating to the approach of the continued research and the organization.

To this report a diskette (cardbox-plus) has been added with bibliographical information and a summary of the consulted literature, including the search programs.

INLEIDING

1 Algemeen

"Baksteen is een der duurzaamste, zoo niet het allerduurzaamste der bouwmaterialen" (uit: J.A. van der Kloes, Onze bouwmaterialen deel II, 1923). Deze eigenschap is reeds eeuwenlang bekend getuige het feit dat reeds 8000 jaar geleden bakstenen huizen in Jericho werden gebouwd.

In Mesopotamië werden stenen gemaakt door het drogen van kleitabletten in de zon. Ook bij het bouwen van de Chinese muur werd onder meer gebruik gemaakt van gebakken stenen.

Van de Romein Cato de Oude is bekend dat deze kwaliteitseisen stelde aan bakstenen: vijf jaar dienden de stenen nadat deze waren gevormd te worden opgeslagen. De Romeinen introduceerden de kunst van het metselen in ons land, maar deze kennis ging met het vertrek van de Romeinen verloren.

In de 11e eeuw werd het metselen van gebakken stenen opnieuw geïntroduceerd door de kloosteroorden.

Aanvankelijk werden constructies massief gemetseld, soms wel tot 1 m dik. Ook de steenafmeting werd op dit robuuste werk aangepast: steenafmetingen van 38 cm lang en 10 cm dik kwamen veelvuldig voor.

Met de opkomst van het metselen van dunwandige constructies deze eeuw en het introduceren van de spouwmuur worden de stenen handzamer en ontstaat het formaat dat nu nog steeds wordt gebruikt.

Waar vroeger baksteen als constructiemateriaal werd gebruikt, vaak leidend tot ingenieuze gewelven, worden bakstenen de laatste decennia steeds meer als bekledingsmateriaal toegepast.

Deze tendens is beïnvloed door de opkomst van andere materialen (bijvoorbeeld gewapend en voorgespannen beton) die de dragende functie van baksteen overnamen en waarmee grotere vrije overspanningen kunnen worden gerealiseerd. Anderzijds speelt een rol de enorme stijging van de arbeidskosten ten opzichte van het materiaal, waardoor het vakmanschap van de metselaar sterk onder druk is komen te staan.

KNB heeft niet alleen het voortouw genomen om het gebruik van baksteen weer nieuw leven in te blazen, maar blijft door middel van een omvangrijk technologie-programma (bekend onder de naam BRIK) activiteiten ontplooiën die de plaats van baksteen in het bouwen duurzaam zullen garanderen.

Het genoemde initiatief van KNB resulteerde in het opzetten van het BRIK-programma.

Dit rapport bevat de bevindingen van de eerste fase van het BRIK deelproject XI: "Duurzaamheid van baksteenmetselwerk".

2 Doel en aanpak

Het doel van het onderzoek is om via een literatuurstudie te komen tot het signaleren van kennislacunes, tegenstrijdigheden in opvattingen of onderzoekresultaten met betrekking tot de duurzaamheid van baksteenmetselwerk. In het rapport zijn naar aanleiding van de gesignaleerde kennislacunes en tegenstrijdigheden tevens globale voorstellen voor nader onderzoek aangegeven.

De literatuurstudie is verricht met gebruikmaking van de databestanden Brix, Compendex en Iconda. Aan dit rapport is een diskette toegevoegd waarop de gegevens van geraadpleegde literatuurstukken/bronnen zijn vastgelegd. Naast raadpleging van literatuur zijn er ook interviews geweest met personen die professionele ervaring hebben met baksteenmetselwerk op uitvoerings- of researchgebied (bijlage 1).

De totstandkoming van dit rapport is begeleid door een commissie bestaande uit:

| | |
|-----------------------------|---|
| ir. J.G.A. van Hulst | - DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV (voorzitter) |
| ir. M.H.M. Nieuwenhuys | - KNB (coördinator m.i.v. 1 januari 1989) |
| ir. A. de Vries | - GITP/D.I.S. (coördinator tot 1 januari 1989) |
| ir. J.C. Keller | - KNB |
| ir. G.W. van Hoogevest | - Architectenbureau ir. T. van Hoogevest BV |
| ing. L.J.A.R. van der Klugt | - IBBC-TNO |
| E. Kjaer, MSc | - KTL Hasselager - Denemarken |
| ir. J.F. den Boer | - DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV (secretaris/rapporteur) |

3 Het BRIK project

Het onderzoeksprogramma BRIK (Baksteen Research Innovatie Kennisoverdracht) dat in 1988 van start is gegaan, heeft tot doel het materiaal baksteen en zijn toepassingen weer de positie te geven in de zich snel veranderende bouwmarkt die het, gezien de vele positieve eigenschappen en veelzijdige mogelijkheden, toekomt. Het project betekent een zodanige versterking van de gehele bedrijfstak, dat het Ministerie van Economische Zaken het door middel van een subsidie in het kader van de stimuleringsregeling van collectief onderzoek ondersteunt.

De filosofie achter het BRIK-project is het stimuleren van beslissers in het bouwproces om innovatief te denken met baksteen en metselwerk.

Het BRIK-programma omvat elf deelprojecten die in vier hoofdgroepen zijn ondergebracht:

1. Logistiek

Aandacht voor het bouwproces met als doelgroep het uitvoerend bouwbedrijf en het metsel- en voegbedrijf. Het onderzoek concentreert zich op nieuwe, klein-mechanische technieken met betrekking tot steigerwerk, intern transport van stenen en specie op de bouwplaats, verbeterde maatvoering, organisatie, prefabricage van baksteenelementen en nieuwe hechtmiddelen.

2. Vormgeving

Aandacht voor de constructieve en architectonische vormgeving met als doelgroep de architect.

Door de verschraling in de vormgeving met baksteen zijn de capaciteiten van het materiaal onvoldoende bekend. Het onderzoek laat "de taal van het metselwerk" spreken en zoekt naar nieuwe bouwvormen en detailleringen met sterke nadruk op communicatie met ontwerpers en architectuuropleidingen en daarna zullen de projecten een beeldend karakter dragen.

3. Constructie

De constructieve voorschriften van (baksteen)metselwerk zijn verouderd, terwijl de harmonisatie van de normalisering in Europees verband de bakens voor de toekomst zet.

KNB heeft Stichting CUR (Civieltechnisch Centrum Uitvoering, Research en Regelgeving) opgedragen de kennisleemtes te inventariseren en een complete onderzoeksstructuur op te zetten voor fundamentele research, beproevingen en rekenmethodes.

4. Duurzaamheid

Voor dit onderzoek wordt in het onderhavige rapport de aanzet gegeven.

1 BRIK XI: ONDERZOEK DUURZAAMHEID METSELWERK

1.1 Algemeen

1.1.1 "Duurzaamheid metselwerk" is de titel van één van de projecten die behoort tot het BRIK programma.

Door DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV is medio 1988 een projectvoorstel uitgewerkt voor onderzoek naar de duurzaamheid van metselwerk.

1.1.2 Doelstelling

Het ontwikkelen van methodieken om de duurzaamheid van metselwerk te kunnen beoordelen, met het oog op de bepaling van de (rest)levensduur en noodzakelijke onderhoudswerkzaamheden.

1.1.3 Randvoorwaarden

* De te ontwikkelen methodiek dient te zijn gebaseerd op huidige kennis en te verwachten ontwikkelingen, daarom heeft het onderzoek een sterke relatie met de BRIK-projecten IV, V en IX.

* Het onderzoek richt zich primair op de duurzaamheid van nieuw metselwerk.

1.1.4 Probleemaanpak

Gezien de omvang en de complexiteit van het probleem wordt het project gefaseerd uitgevoerd. Daarbij wordt per fase de doelstelling duidelijk gekozen, zodat iedere fase relatief eenvoudig gestuurd kan worden. Na een aanvankelijk brede aanpak (in inventarisatiefase de gehele problematiek overzien) volgt een insnoering: om praktische en budgetaire redenen zal het aantal deelonderzoeken moeten worden beperkt. Bij het integreren van de resultaten van de deelonderzoeken en het opstellen van de modellen zal weer een overall aanpak nodig zijn, zeer zeker wanneer de resultaten van de andere BRIK-projecten van invloed blijken te zijn op het onderzoek duurzaamheid metselwerk.

Na iedere fase kan, op basis van de verkregen inzichten uit de voorgaande fase(n), richting gegeven worden aan het onderzoek. Het onderzoek zal bestaan uit een aantal deelonderzoeken die nader moeten worden gedefinieerd en die in het laboratorium of in de praktijk worden uitgevoerd. Daarnaast is het van belang dat er een commissie wordt gevormd die zich bezighoudt met het toetsen van werkhypothesen c.q. die de onderzoekresultaten integreert.

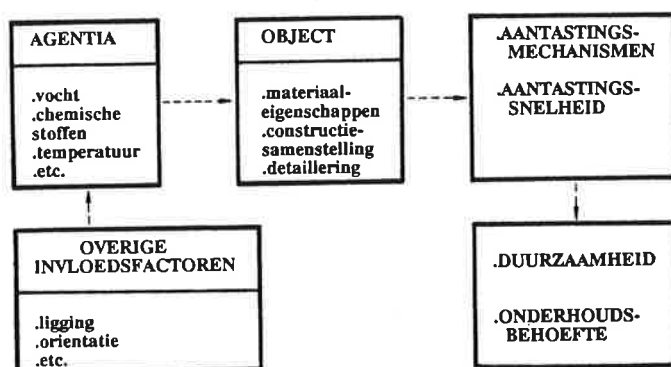
1.1.5 Te verwachten eindresultaat

Er wordt naar gestreefd om uiteindelijk te komen tot een methodiek en een model ter bepaling van de duurzaamheid van metselwerk.

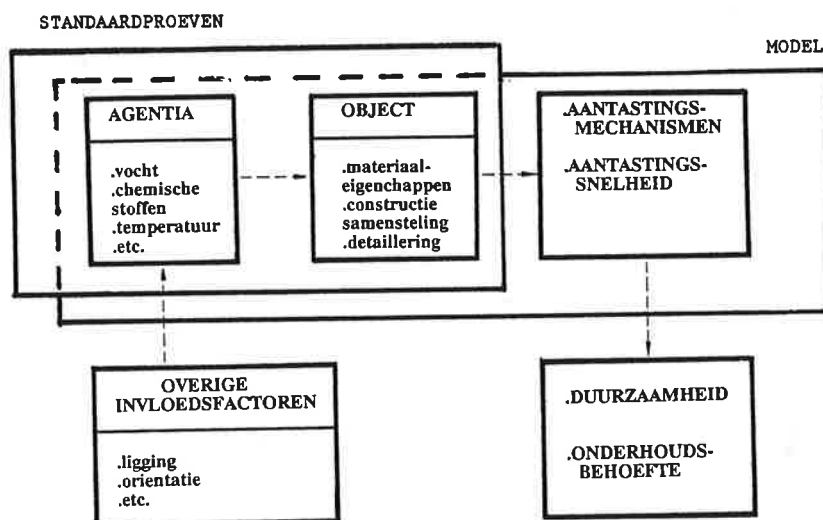
De methodiek zal een aantal gestandaardiseerde proefnemingen inhouden.

Op basis van de resultaten van deze proefnemingen kunnen verschillende soorten metselwerk op deelaspekten met elkaar vergeleken worden. Om de duurzaamheid als sommatie van alle invloedsfactoren te kunnen beoordelen, zal er een duurzaamheidsmodel worden ontwikkeld waarmee op basis van de uitgevoerde proeven en een aantal (niet-materiaalspecifieke) parameters een indicatie voor de duurzaamheid kan worden verkregen.

In onderstaande figuur is in schema weergegeven hoe de methodiek en het model passen op de probleembeschrijving.



Methodiek van de beschrijving van de duurzaamheid



Model ter bepaling van de duurzaamheid

Als afgeleide van dit onderzoek m.b.t. metselwerk kan de duurzaamheid van metselwerk vergeleken worden met die van andere materialen, mits de duurzaamheid van andere materialen op dezelfde wijze (via gestandaardiseerde proeven) wordt bepaald.

1.1.6 Onderzoekopzet

doelstellingen eerste fase:

- het globaal inventariseren van het probleemveld
- rangschikken van de factoren die de duurzaamheid beïnvloeden naar grootte van de invloed
- basis leggen voor onderlinge vergelijkbaarheid duurzaamheidsonderzoek van verschillende materialen
- belangrijkste kennislacunes inventariseren

doelstellingen tweede fase:

- opvullen belangrijkste kennislacunes door middel van theoretisch onderzoek, praktijk onderzoek en laboratorium onderzoek
- theoretisch opbouwen van het duurzaamheidsmodel

doelstellingen derde fase:

- kiezen en uittesten van standaardbeproevingmethoden
- door middel van praktijkonderzoek aangeven van het verband tussen beproevingsresultaten en invloed op duurzaamheid in de praktijk
- uitwerking en validatie van het duurzaamheidsmodel

doelstellingen vierde fase:

- vanuit het duurzaamheidsmodel komen tot bepaling van (rest)levensduur en onderhoudsbehoefte
- het maken van een basis voor vergelijking van de duurzaamheid van metselwerk met die van andere materialen

1.2 Opdracht fase 1

KNB heeft eind 1988 aan DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV opdracht gegeven om fase 1 uit te voeren.

In dit rapport wordt verslag gedaan van het literatuuronderzoek naar de beschikbare kennis en kennislacunes met betrekking tot de duurzaamheid van baksteenmetselwerk.

1.3 Afbakening en structuur literatuuronderzoek

1.3.1 Materialen

In eerste instantie was het de bedoeling om alleen de stenen en de mortel te beschouwen, omdat deze veruit het grootste aandeel van baksteenmetselwerk uitmaken en omdat de eerste signalen/gegevens aangaven dat vooral daarin de aantastingen zich manifesteren. Gaandeweg het onderzoek werd het echter zinvol geacht ook de spouwankers mee te beschouwen. Uit de interviews en de vergaarde literatuur kwamen namelijk tegenstrijdige indicaties over de omvang van de corrosie van spouwankers.

1.3.1 Aantastingsprocessen

Het rapport richt zich op de belangrijkste aantastingsprocessen zoals die zich voordoen ten aanzien van baksteenmetselwerk dat wordt gebruikt in de woning- en utiliteitsbouw. Dit zijn chemische, fysische en chemisch/fysische aantastingen. Daarnaast is in het rapport een hoofdstuk opgenomen over atmosferische aantasting en microbiologische aantasting omdat er bij aanvang van het onderzoek onzekerheid bestond of deze serieuze vormen van aantasting zijn of kunnen worden ten gevolge van de toegenomen luchtverontreiniging.

De volgende aantastingsprocessen komen in de volgende hoofdstukken aan de orde:

- * Vorstschade
- * Zoutschade
- * Atmosferische aantasting
- * Corrosie spouwankers
- * Biologische aantasting

De hoofdstukindeling is als volgt:


Allereerst wordt een overzicht gegeven van de kenmerken van de desbetreffende aantastingsprocessen en het schadebeeld gevisualiseerd; in het overzicht zijn tevens de mechanismen en de invloedsfactoren met trefwoorden vermeld.

Na een algemene paragraaf worden voor ieder aantastingsproces respectievelijk de volgende onderwerpen behandeld:

- * Schadebeeld
- * Schademechanisme
- * Invloedsfactoren
- * Onderzoekmethoden
- * Reparatie
- * Maatregelen bij nieuwbouw
- * Kennislacunes en tegenstrijdigheden

Het rapport gaat niet in op aantastingen die specifiek het gevolg zijn van industriële toepassingen en toepassingen in de weg- en waterbouw, noch op andere bijzondere schadetypes zoals schade ontstaan door een overmatige mechanische belasting, schade t.g.v. calamiteiten (zoals brand), schade door wortelgroei van bomen e.d.

2 VORSTSCHADE

| SCHADEBEELD | |
|---|---|
| <p>Steen</p> <ul style="list-style-type: none"> - scheurvorming - afschilfering <p>Mortel</p> <ul style="list-style-type: none"> - scheurvorming tussen voeg en steen - vergruizing metselmortel direct achter de voeg - losraken voegmortel - voegmortel uitgedrukt - laagsgewijs opdelen v/d metselmortel - omzettingen v/h metselwerk <p style="text-align: right; font-size: small;">foto's: IBBC-TNO</p> |  |

| MECHANISMEN | INVLOEDSFACTOREN | INVLOED 1) |
|---|--|---|
| <p>Steen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - volumetoename bij overgang water/ijs - drukopbouw t.g.v. weggedreven water - krimp ijs - verschil in thermodyn. potentiaal tussen grote en kleine ijskrist. - osmotische druk tgv uitvriezende zouten - herkristallisatie zouten <p>Mortel:</p> <p>naast bovengenoemde mechanismen vermoedelijk ook andere</p> | <ul style="list-style-type: none"> - fijnheid porien (S,M) - gelaagdheid steen (S) - hoge verzadigingsgraad (S,M) - geringe sinteringsgraad steen (S) - strenge vorst (S,M) - spouwmuurisolatie (S,M) - ongunstige structuur mortel (M) - ongunstige verhardingsomstandigheden (M) - carbonatatie (M) - hulpstoffen (M) - veroudering (M) | <p>--</p> <p>--</p> <p>--</p> <p>--</p> <p>-</p> <p>?</p> <p>--</p> <p>?</p> <p>?</p> <p>?</p> <p>?</p> |

1) - = toenemende kans op aantasting
 -- = sterk toenemende kans op aantasting

? = onduidelijke invloed op kans op aantasting
 (S) = betreft stenen (M) = betreft mortel

2.1 Algemeen

Over vorstschade aan baksteenmetselwerk is veel gepubliceerd (in binnen- en buitenland) [1 t/m 10, 22, 23, 60]. Ongetwijfeld speelt hierin mee dat het een van de frequentste en ergste vormen van aantasting betreft. Zowel vrijstaand metselwerk als metselwerk dat behoort tot een gebouw kan deze vorm van schade vertonen. Vrijstaand metselwerk wordt overigens eerder getroffen omdat het meer blootstaat aan de extremiteiten van het klimaat. Constructies met vorstschade hebben met elkaar gemeen dat zij voorafgaand aan het optreden van de schade veel water hebben opgenomen (regen, smeltende sneeuw, lekwater).

De vorstschade die in de praktijk het meest voorkomt bij baksteenmetselwerk heeft betrekking op de stenen.

Opgemerkt kan worden dat het soms niet direct duidelijk is of een bepaalde schadevorm het gevolg is van vorstinwerking dan wel van zoutzwellings.

Voorts kan worden opgemerkt dat vorstschade geen éénmalig fenomeen is: zowel over meerdere winters als binnen één winter zijn herhalingen mogelijk.

2.2 Schadebeeld

2.2.1 Schade aan de stenen

Het meest opvallende verschijnsel van vorstschade aan de stenen is het afschilferen van dunne lagen van het steenoppervlak [4][61]. Het afschilferen hoeft echter niet altijd meteen te ontstaan. De schade kan in eerste instantie beperkt blijven tot het optreden van scheuren. Voortschrijdende vorstschade aan stenen kan leiden tot omvangrijke doorsnede- en verminderingen van de constructie.

Door het voornoemde afschilferen van steenlagen wordt doorgaans ook de voegmortel beschadigd.

Voorts is er sprake van visuele aantasting omdat de beschadigde stenen zich duidelijk aftekenen ten opzichte van het overige metselwerk[4].

2.2.2 Schade aan de voegmortel

De schade aan de voegmortel bestaat eruit dat hele staafjes worden uitgedrukt [1] (volgens dezelfde bron is het onwaarschijnlijk dat vorstschade aan de voegmortel zich manifesteert als een geleidelijk verkrumelingsproces).

2.2.3 Schade aan de metselmortel

Van metselmortel is in Nederland nog maar vrij recent vorstschade bekend. De ontdekking dateert van 1982 [6] en de schade zou sindsdien bij meerdere projecten verspreid in den lande zijn waargenomen. In België zou het probleem ook spelen. De verschijnselen zijn het meest zichtbaar in de lintvoegen en bestaan volgens [6] uit:

- het ontstaan van spleten tussen voegmortel en stenen
- het losraken van de voegmortel t.o.v. de stenen en t.o.v. de achterliggende metselmortel
- het naar voren komen en uitvallen van de voegmortel
- het ontstaan van een dunne laag vergruisde metselmortel op het scheidingsvlak met de voegmortel
- het ontstaan van horizontale scheuren in de metselmortel van de lintvoegen achter de vergruisde zone
- toename van breedte en hoogte van het metselwerk, met ontzettingen en soms ook het scheuren van het binnenblad als gevolg.

De schade zou het resultaat zijn van de specifieke strenge omstandigheden (vorst, vocht) van de winters '78/'79, '81/'82, '83/'84 en '86/'87.

2.3 Schademechanisme

2.3.1 Ten aanzien van stenen

Volgens literatuur [1], [5] en [33] is het niet uitsluitend de volumevergroting bij de overgang van water naar ijs, die vorstschade tot gevolg heeft. Er zijn meer mechanismen die tot inwendige drukopbouw leiden. Door Van Keulen [5] worden deze als volgt samengevat:

- De volumetoeneming:
 1. als water door ijs in zakvormige porien is ingesloten;
 2. als water door de ijsvorming wordt weggedreven naar andere plaatsen in het materiaal.
- De excessieve krimp van ijs vergeleken met die van andere materialen.
- De verschillen in thermodynamisch potentiaal tussen grote ijskristallen en kleine, zoals die zich in nauwe capillairen moeten vormen.
- Als er opgeloste zouten aanwezig zijn, dan worden die vóór het ijsfront afgezet. De hogere zoutconcentratie ten opzichte van die in het nog niet bevroren materiaal gaat gepaard met het ontstaan van osmotische druk. Als gevolg hiervan kan extra water naar het ijsfront vloeien. Ook kunnen de zouten uitkristalliseren. Dat levert kristallisatiedruk op.
- Verschillende zouten herkristalliseren in de buurt van 0 °C van een lager tot hoger hydraat. Enorme drukken kunnen daarbij optreden.

2.3.2 Ten aanzien van mortel

Met betrekking tot de mortel zijn er geen publikaties die zo specifiek ingaan op de schademechanismen als het geval voor de stenen, maar er kan worden aangenomen dat hier dezelfde mechanismen aan ten grondslag liggen als die genoemd voor de stenen. Enige informatie is te vinden in [63].

Met betrekking tot de schade aan de metselmortel, die, zoals in het voorgaande is vermeld, nog niet zo lang geleden is ontdekt, spelen er vermoedelijk naast de voor de stenen genoemde mechanismen ook andere (nog onbekende) mechanismen een rol [6][63].

2.4 Invloedsfactoren

2.4.1 Met betrekking tot stenen

Volgens de literatuur is er een goed inzicht in de factoren die van invloed zijn op vorstschade aan stenen [1].
Schadebevorderende factoren zijn:

Steeneigenschappen:

- fijne poriën
- gelaagdheid van de stenen
- een geringe sinteringsgraad

Expositieomstandigheden:

- een hoge verzadigingsgraad
- aanzienlijke vriespuntonderschrijding

Tot een exacte kwantificering van deze zaken komt men in de literatuur echter niet en het is ook zeer de vraag of dat wel kan. Wel bestaat er op basis van ervaringen een vrij goed inzicht welke type stenen vorstgevoelig kunnen zijn en welke dat niet of nauwelijks zijn. Ten behoeve van fabrikanten bestaat er dan ook vrij veel kennis over de maatregelen die genomen moeten worden om vorstbestendige stenen te produceren [1]. Vooral strengpersstenen blijken vorstgevoelig te kunnen zijn. Dit komt vanwege de gelaagdheid en de veelal fijne poriën (de gelaagdheid hangt samen met de aard van het vormproces, te weten extrusie; de fijne poriën zijn het gevolg van de daarvoor benodigde vette kleisoorten) [62]. Handvorm en vormbakstenen blijken slechts incidenteel vorstgevoelig te zijn, namelijk als ze tamelijk zacht zijn gebakken (geringe sinteringsgraad), dan wel het metselwerk sterk zouthoudend is geworden onder invloed van specifieke expositieomstandigheden [61].

Met betrekking tot de invloed van spouwisolatie wordt nog het volgende opgemerkt:

Een geïsoleerde spouwmuur zal ter plaatse van het buitenblad kouder en langer nat blijven dan een ongeïsoleerde spouwmuur. Daarom wordt bij isolatie de kans op vorstschade enigszins vergroot, aldus wordt vermeld in [2]. Verder werd gevonden dat de schade die dan ontstaat, sneller voortschrijdt en op termijn veelal omvangrijker wordt dan de vorstschade die optreedt bij een ongeïsoleerde muur.

Voor geïsoleerde spouwmuren wordt in [2] dan ook de toepassing van stenen geadviseerd die qua vorstbestandheid een klasse beter dienen te zijn dan die voor ongeïsoleerde muren kunnen worden gebruikt. De vorstbestandheid/-gevoeligheid van stenen wordt in deze literatuurbron ingedeeld in 4 klassen; de klasse is te bepalen door een standaard proef, zie hiervoor par. 2.5.1. Overigens wordt in de desbetreffende literatuurbron ook geconcludeerd dat het verbreden van de spouw (een methode om gevels een hogere warmteweerstand te geven) niet tot een verdere toename van de vorstgevoeligheid zal leiden. Door een aantal leveranciers van spouwisolatiematerialen wordt het toenemen van de kans op vorstschade bestreden.

Vorstschade ontstaat volgens [2] vooral in winters die zich kenmerken door een periode van langdurige regenval, direct gevolgd (i.h.a. binnen een dag) door een periode van extreem lage temperaturen (-10 tot -15°C). Voor dit soort winters is de term "schadewinter" geïntroduceerd [3].

2.4.2 Met betrekking tot voegmortel

Specifiek over invloedsfactoren zijn in de literatuur geen gegevens aangetroffen. Vermoedelijk houdt dit verband met het geringe voorkomen van deze vorm van schade.

2.4.3 Met betrekking tot metselmortel

Voor wat betreft de belangrijkste invloedsfactoren op vorstschade aan metselmortels tast men momenteel nog grotendeels in het duister. Bekend is in elk geval dat de volgende situatie bevorderend is [6]:

- een hoge verzadigingsgraad gevolgd door een snelle en aanzienlijke vriespuntonderschrijding van de lucht (de schade manifesteerde zich in typische 'schadewinters').

Als factoren die mogelijk meespelen worden genoemd [1][6]:

- ongunstige verhardingsomstandigheden (o.a. door extreme uitdroging, verharding van de mortel met te veel water, het gebruik van bepaalde hulpstoffen)
- ongunstige combinatie poriënafmetingen steen en mortel, zowel voor wat betreft de verharding van de mortel als voor wat betreft de ijsvorming in de mortel.
- afbraak van de hydratatieproducten door verregaande carbonatatie of andere verouderingsverschijnselen, waardoor de mortel vorstgevoelig of meer vorstgevoelig kan worden.

De onderzoeken die tot nu toe zijn uitgevoerd geven aan dat hier sprake zou kunnen zijn van een gecompliceerde samenhang van factoren. Zolang nadere kennis ontbreekt, blijft de kans op herhalingen van dit soort schade bestaan.

2.5 Onderzoekmethoden

2.5.1 Met betrekking tot stenen

Er zijn veel literatuurverwijzingen over methoden waarmee bakstenen vooraf kunnen worden onderzocht op hun vorstbestendigheid [7][8][10][22][63]. De resultaten van de methoden zijn echter niet zodanig dat gesteld kan worden dat men over een algemeen bruikbare methode beschikt waarmee een uitspraak kan worden gedaan over het gedrag van de stenen onder alle praktijkomstandigheden (de correlatie van de proefresultaten met het gedrag van de stenen in de praktijk is vaak niet optimaal).

Vaak denken onderzoekers verschillend over de diverse methoden. Zo is volgens Grimm [22] de ASTM-vries/dooiproef voor bakstenen met al zijn onvolkomenheden de beste methode om vorstbestendige en niet-vorstbestendige stenen te onderscheiden.

Daar tegenover staat het feit dat in Nederland door TNO een laboratoriumproef is ontwikkeld, waarmee is gebleken dat met een grote mate van betrouwbaarheid het praktijkgedrag van stenen bij vorst te voorspellen is [4]. Het betreft een proef waarbij eenzijdige bevroering plaatsvindt. De toe te passen bevochtiging is afhankelijk van het produkt. De proef is vastgelegd in NEN 2872 [60]. Deze proef is niet opgenomen in NEN 2489 (de baksteennorm): deze norm beperkt zich ten aanzien van de weerstand tegen bevroering tot de opmerking dat de fabrikant deze op grond van ervaring dient te garanderen [31]. Dit schept problemen voor nieuwe stenen c.q. samenstellingen waar geen of weinig ervaring mee is. Bovendien is men afhankelijk van het optreden van echte schadewinters om op ervaringen te kunnen bogen. Voor de onderlinge vergelijkbaarheid van stenen is een objectieve maatstaf in de vorm van een proef dan ook geschikter. De proef die in Denemarken wordt toegepast is weer anders. Hierbij worden proefmuurtjes verticaal geplaatst en aan (kunstmatige) beregening en aan vorstcycli blootgesteld.

2.5.2 Met betrekking tot mortels

De literatuur vermeldt geen onderzoekmethoden waarmee specifiek de vorstbestandheid van mortels kan worden vastgesteld. TNO heeft ten behoeve van het onderzoek van het onder 2.2.3 gesignaleerde probleem met de metselmortels gebruik gemaakt van dezelfde proef als in het voorgaande genoemd voor de stenen, zij het dat hier gebruik is gemaakt van uitgezaagde stukken metselwerk [6].

De ervaring van het instituut is dat de proef ook voor dit doel goed voldoet. De proef blijkt volgens het instituut ook goed bruikbaar te zijn op boorkernen van circa 50 mm diameter genomen over lintvoegen. Fundamenteel onderzoek heeft echter nooit plaatsgevonden.

2.6 Reparatie

2.6.1 Schade aan de stenen

In geval van vorstschade aan de stenen is reparatie niet meer mogelijk, althans niet op esthetisch verantwoorde wijze. Vervanging van de beschadigde stenen of delen van het metselwerk met te veel beschadigde stenen is dan de enige weg. Daarbij kan het echter niet blijven, want zelden zijn alle potentieel gevoelige

stenen ook merkbaar aangetast. In ieder geval dienen alle stenen te worden onderzocht op holle klank (holle klank duidt op desintegratie van het materiaal). Hol klinkende stenen dienen ook te worden vervangen. Nadat alles (inclusief het voegwerk) in goede staat is gebracht, dient het metselwerk waterwerend te worden behandeld. Bouwkundig onjuiste zaken (die bijvoorbeeld inwateren mogelijk maken) dienen uiteraard te worden gecorrigeerd opdat vorstschade niet op kan treden bij de gehandhaafde stukken metselwerk.

2.6.2 Schade aan de mortel

In geval van vorstschade aan de mortel kan - als de schade zich beperkt tot uitgevallen voegmortel - worden volstaan met opnieuw voegen. Het is daarbij van groot belang om nauwkeurig vast te stellen dat de schade zich niet uitstrekt tot in de metselmortel. Is dit wel het geval dan moet ook deze mortel worden vervangen, althans tot daar waar deze mortel samenhangend wordt. Omdat dit deel van de mortel echter potentieel vorstgevoelig is, dient na voornoemde vervanging ook impregnering plaats te vinden met een waterafstotend middel. Hierdoor wordt de opzuiging sterk verminderd, maar kan het metselwerk toch zijn waterdamp kwijt. Deze methode is overigens uitsluitend te overwegen in gevallen waarbij het metselwerk niet langdurig in contact staat met water onder grotere druk omvat anders doorslag optreedt.

In de literatuur wordt gewaarschuwd voor het averechtse effect dat impregnering teweeg kan brengen [34] [35]. Het metselwerk kan na zo'n behandeling zwaarder dan ooit door vocht worden belast (het dringt via zwakke plekken in de hydrofoberingsslaag binnen). De zaken die in verband hiermee de aandacht verdienen, worden genoemd in [35].

2.7 Maatregelen bij nieuwbouw

2.7.1 Keuze steen

Gebaseerd op de in Nederland ontwikkelde laboratoriumproef is met betrekking tot de stenen een keuzesystematiek ontwikkeld [4].

Bij de keuzemogelijkheden uit de 4 steenklassen wordt rekening gehouden met de vochtbelastingen en de droog- en thermische condities die in de praktijk zijn te verwachten. Het probleem hierbij is dat fabrikanten hun stenen niet met klasse-aanduiding op de markt aanbieden (immers niet voorgeschreven in de norm), waardoor er problemen kunnen ontstaan als het moment van aanschaf er is. In zo'n situatie zal dan al gauw besloten worden om deze eis te laten vallen c.q. niet te controleren.

2.7.2 Keuze mortel

Ten aanzien van mortels ontbreekt het tot nu toe aan een keuzesystematiek. Aangezien er tot voor kort geen vorstschade van belang bestond, was de noodzaak aan een dergelijke systematiek echter ook niet aanwezig. Gezien het in par. 5.3 gesignaleerde probleem met metselmortels is het nu echter wel van belang dat meer inzicht komt in de maatregelen die genomen moeten worden om vorstschade aan mortels te voorkomen.

2.7.3 Beperking vochtgehalte

Het ligt voor de hand dat maatregelen om het baksteenmetselwerk tegen vorstschade te beschermen ook zoveel mogelijk in het ontwerpstadium genomen moeten worden; het ontwerp dient erop gericht te zijn dat zo min mogelijk water in en tegen de gevel terecht komt. Tot de (algemeen bekende) maatregelen behoort de zorg voor goede luifels en overstekken, juiste hemelwaterafvoorzieningen, voorkomen van optrekkend grondwater, een goede detaillering ter plaatse van aanaarding e.d.

Voor bestaand werk dat niet aan deze voorwaarden voldoet, kan vorstschade soms worden verminderd of worden voorkomen door het oppervlak te impregneren met een waterafstotend middel, bijvoorbeeld op basis van siliconen. Hierdoor wordt de opzuiging sterk verminderd, maar kan het metselwerk toch zijn waterdamp kwijt. Deze methode is overigens uitsluitend te overwegen in gevallen waarbij het metselwerk niet langdurig in contact staat met water onder grotere druk omdat anders doorslag optreedt.

In de literatuur wordt gewaarschuwd voor het averechtse effect dat impregnering teweeg kan brengen [34] [35]. Het metselwerk kan na zo'n behandeling zwaarder dan ooit door vocht worden belast (het dringt via zwakke plekken in de hydrofoberingslaag binnen). De zaken die in verband hiermee de aandacht verdienen, worden genoemd in [35].

2.8 Kennislacunes en tegenstrijdigheden

In de voorgaande paragrafen zijn de volgende kennislacunes en tegenstrijdigheden met betrekking tot vorstschade naar voren gekomen:

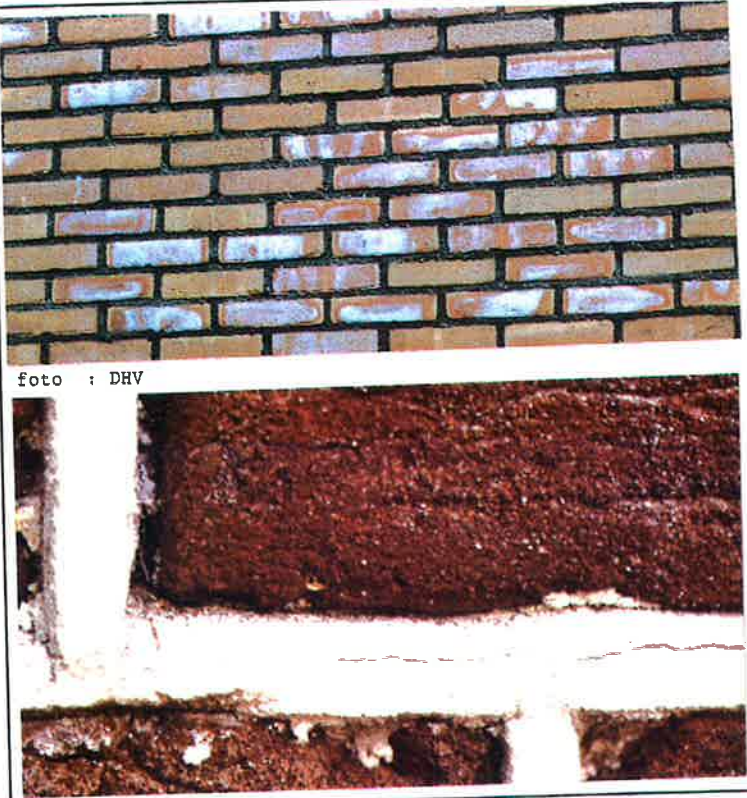
Kennislacunes:

- Kwantificering van de vorstschade bevorderende factoren ten aanzien van de stenen
- Kwalificering en kwantificering van de vorstschade bevorderende factoren ten aanzien van de metselmortel
- Onderzoekmethode voor bepalen vorstbestandheid mortels
- Toename van de kans op vorstschade bij impregneren met waterafstotend middel

Tegenstrijdigheden:

- Invloed van (na)isolatie in de spouw op de kans dat vorstschade optreedt bij stenen in het buitenblad
- Invloed van (na)isolatie in de spouw op de kans dat vorstschade optreedt bij metselmortel in het buitenblad
- Betrouwbaarheid vriesproef volgens ASTM en TNO

3 ZOUTSCHADE

| | |
|---|---|
| <p>SCHADEBEELD</p> <p>Steen - uitbloei - poedervorming - afschilfering</p> <p>Mortel - uitbloei - scheurvorming - zwellend</p> <p style="text-align: right;">foto : IBBC-TNO</p> |  <p style="text-align: center;">foto : DHV</p> |
|---|---|

| MECHANISMEN | INVLOEDSFACTOREN | INVLOED 1) |
|--|--|----------------------------------|
| kristallisatie - op het oppervlak (uitbloei) - onder het oppervlak (afschilfering) | - zouten uit baksteen of grondwater - vochtbalans (toevoer door neerslag of optrekkend vocht, afvoer door verdamping) - temperatuur (gradient, wisselingen) - fijne poriën - hulpstoffen - sinteringsgraad steen en mortelstructuur | -- --/+ + - - ? + |
| vorming van zwellende verbindingen in de mortel | - sulfaatgehalte baksteen - sulfaat en chloride uit externe bron - Ca-aluminaat-gehalte cement | -- -- -- |

1) - = toenemende kans op aantasting ? = onduidelijke invloed op kans op aantasting
 -- = sterk toenemende kans op aantasting + = verminderde invloed op de kans op aantasting

3.1 Algemeen

Diverse stoffen kunnen een rol spelen bij de aantastingsmechanismen die onder de naam zoutschade worden behandeld. Onder andere zijn dit sulfaten, kalk, carbonaten, nitraten, chloriden, ijzer-, vanadium- en mangaanzouten en -oxiden [1] [11] [12] [14] [16] [17] [19] [22]. Problemen in de praktijk blijken in het overgrote deel van de gevallen door sulfaten te worden veroorzaakt.

3.2 Schadebeeld

Zouten in metselwerk kunnen de volgende problemen veroorzaken [1], [11], [12]:

- (ontsierende) uitbloei op het oppervlak van de steen of mortel
- schade aan de stenen
- schade aan de mortel.

Deze problemen kunnen zowel afzonderlijk voorkomen als in combinatie.

In zijn algemeenheid kan worden gesteld dat schade aan het metselwerk weinig optreedt, uitbloei komt daarentegen veel voor.

3.2.1 Zoutuitbloei

Zoutuitbloei wordt in het algemeen gekenmerkt door zijn witte kleur (sulfaten, carbonaten, nitraten, kalk). Andere kleuren die kunnen voorkomen zijn o.a. bruin (ijzer), bruin/zwart (mangaanoxide) en geelgroen (vanadiumzouten) [16]. Gekleurde uitbloei is in principe afkomstig uit de steen, witte uitslag kan ook afkomstig zijn uit de mortel [1].

De mate van uitbloei kan sterk uiteenlopen:

- zeer overvloedig
- zeer plaatselijk
- als een sluier
- in het midden van de stenen, op de randen of over het gehele steenoppervlak
- zowel de stenen als de voegen bedekkend.

De uitbloei verschijnt meestal in het voorjaar en dan het meest op gevels die sterk aan weers(regen)invloeden zijn blootgesteld (zuidwest georiënteerd). De smaak van de uitbloei is vaak zout, soms bitter en soms smakeloos.

Omdat een aantal van de desbetreffende zouten goed oplosbaar zijn, spoelen zij vaak ook weer na verloop van tijd weg onder invloed van de regen. In veel gevallen neemt de uitbloei met de jaren dan ook af. Dit is niet het geval als sprake is van een externe zouten-bron (grondwater, lekwater o.i.d.).

Soms worden aanvankelijk goed oplosbare verbindingen aan het oppervlak tot minder of slecht oplosbare verbindingen omgezet. Dan kan de uitbloei hardnekkig zijn.

3.2.2 Schade aan stenen

Schade aan de stenen manifesteert zich in het algemeen als poëdvorming aan het oppervlak. Ook kunnen schilfertjes van enkele milimeters dik loskomen van het oppervlak. Ook het afspringen van grotere stukken is echter mogelijk. Achter de afspringende stukken is een witte zoutuitslag zichtbaar. Bij de

eerste regenbuien volgend op de schadevorming wordt deze uitslag doorgaans weggespoeld (als de zoutuitslag daardoor bij een inspectie niet wordt aangetroffen is men soms ten onrechte geneigd te denken aan vorstschade).

3.2.3 Schade aan de metselmortel

Schade aan de metselmortel manifesteert zich door scheuren in de voegen. Ook komt het voor dat hele stukken metselwerk in hoogte toenemen [15][16]. Als deze zwellen zich voordoet, zijn de voegen vaak bros en vertonen nog maar weinig samenhang.

3.3 Schademechanisme

Aan de genoemde fenomenen ligt vaak ten grondslag de aanwezigheid van goed oplosbare zouten in het metselwerk, vaak in de stenen, soms echter ook in de mortel. Onder meer zijn dit natrium-, kalium-, ijzer-, magnesium- en mangaansulfaat en natrium- en kaliumcarbonaat en vanadiumzouten [16]. Voor wat betreft de sulfaten geldt bovendien dat zij kunnen ontstaan als gevolg van de reactie van calciumsulfaat in de stenen met de alkalische hydraten die in mortels voorkomen (NaOH en KOH) [16].

De zouten kunnen ook van bronnen gelegen buiten het metselwerk afkomstig zijn, bijvoorbeeld doordat zij meekomen met optrekkend grondwater (nitraten komen bijna uitsluitend langs deze weg in metselwerk terecht). Een ander voorbeeld is chloride. Deze kan behalve in grondwater ook in belangrijke hoeveelheden aanwezig zijn in de lucht (kustgebieden).

3.3.1 Zoutuitbloei

Zoutuitbloei komt tot stand omdat de zouten in oplossing zijn in het poriënwater en met dit water naar het oppervlak migreren als gevolg van de verdamping die daar plaatsvindt. Op het oppervlak kristalliseren de zouten na verdamping [16] [22].

3.3.2 Schade aan de stenen

Schade aan de stenen ontstaat als gevolg van het optreden van voornoemde kristallisatie niet aan het oppervlak, maar vlak daaronder. De hoedanigheid van de steen en de klimatologische omstandigheden zijn bepalend of het een of het ander optreedt [16] [22].

3.3.3 Schade aan de mortel

Schade aan de mortel treedt primair op als gevolg van een reactie tussen stoffen in de mortel (calciumsulfaat, chloride) met tri-calciumalumiinaat (C_3A) die vooral in belangrijke hoeveelheden in portlandcement voorkomt. In het geval van calciumsulfaat ontstaat er monosulfaat ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$) en trisulfaat/ettringiet ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$). Dit gaat gepaard met aanzienlijke zwellen en opbouw van spanningen in de mortel. Met chloride kunnen gelijksoortige verbindingen worden gevormd: monochloride/Friedels-zout ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$) en trichloride ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaCl_2 \cdot 32H_2O$). De vermelde dubbelzouten zijn slechts tot bepaalde temperaturen stabiel. Zolang de zwellende verbinding bestaat, maakt de mortel qua samenhang vaak nog een goede

indruk. Bij verval daarvan verkrumelt de mortel meestal. Ettringiet is ook gevoelig voor carbonatatie. Tenslotte kan uit ettringiet en andere bestanddelen in de mortel ook thaumasiet ontstaan: $\text{CaCO}_3 \cdot \text{CaSiO}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$.

Calciumsulfaat ontstaat uit de natrium-, kalium- en magnesiumsulfaat die aan het oppervlak van de stenen zijn uitgebloeid. Door het wegspoelen met de regen komen deze sulfaten op de voegen terecht, waar zij kunnen reageren met het kalkbestanddeel uit de mortel [12] [16].

Chloride kan in de mortel terecht komen van buitenaf (kustgebieden bijvoorbeeld) of door toevoeging van chloride-houdende hulpstoffen aan de mortel.

3.4 Invloedsfactoren

3.4.1 Zoutgehalte

Als er geen extra zoutaanvoer van buitenaf plaatsvindt (grondwater bijvoorbeeld) dan is de belangrijkste invloedsfactor het zoutgehalte in het metselwerk. Dit is ook de reden dat het sulfaatgehalte van baksteen aan banden is gelegd in de baksteennorm [31]. Overigens is alleen het gehalte aan oplosbare sulfaten aan banden gelegd. Echter ook de gebonden sulfaten kunnen problematisch worden omdat zij onder invloed van stoffen uit de mortel (alkali-ionen) worden omgezet tot goed oplosbare sulfaten [1]. In [1] wordt dan ook gepleit voor aanpassing van de norm: het totale sulfaatgehalte in steen en mortel zou begrensd moeten worden.

3.4.2 Vocht

Een tweede belangrijke factor is het vochtgehalte. Als het metselwerk droog blijft dan zullen uitbloei c.q. schade geen kans hebben om op te treden. De zwaarste belasting vormt het afwisselend nat en droog worden van het metselwerk (zoals het geval is bij een aan weer en wind blootgestelde constructie)[16] [19] [22].

3.4.3 Hulpstoffen

Twijfels bestaan er over de bijdrage die hulpstoffen (in de mortel) kunnen leveren. Het wordt niet uitgesloten geacht [1], [11], [18], dat bepaalde hulpstoffen bevorderend op het uitbloeien werken. Hiernaar is slechts summier onderzoek verricht. Gezien het toegenomen gebruik van hulpstoffen (o.a. luchtbelvormers, vertragers) is het zinvol dat een uitgebreid onderzoek plaatsvindt.

3.4.4 Cementsoort

Bij de vorming van ettringiet speelt het sulfaatgehalte van de steen (of externe bronnen) en C_3A -gehalte van het cement een rol. Een C_3A -arme cement zal de kans op schade verminderen. Dit betekent dat hoogovencement voor wat betreft dit aspect beter is dan portlandcement. In de praktijk spelen bij de keuze van de cementsoort echter ook andere eigenschappen een rol: meestal wordt er dan voor portlandcement gekozen. Onder meer is dit als gevolg van de snellere verharding.

3.4.5 Overige invloedsfactoren

- de poriënstructuur van de stenen en de mortel [1]
- temperatuur en temperatuurgradiënten in het metselwerk (afhankelijk van gebouw-specifieke situatie)[1]

3.5 Onderzoekmethoden

3.5.1 Visuele inspectie en laboratoriumonderzoek

De wijze om uitbloei en schade door sulfaten te onderzoeken bestaat uit het visueel inspecteren van het metselwerk en het in het laboratorium langs chemische weg identificeren van monsters van het zout (of zouten) en bepalen van het gehalte aan zouten in de stenen.

3.5.2 Praktijksimulatie

In de praktijk komt nog regelmatig ontsierende uitbloei voor. Een proef die de situatie in de praktijk zo goed mogelijk simuleert is zeer wenselijk, omdat daarmee vooraf de stenen c.q. stukken metselwerk (stenen incl. mortel) zouden kunnen worden gekeurd. Er is literatuur beschikbaar over onderzochte methodes (Amerikaanse publikaties) [20], [21]. In één geval is alleen de mortel betrokken, in het andere geval de stenen en de mortel samen. Welke van de methodes de meeste zeggingskracht heeft voor de praktijk is niet bekend. Toch moet dit geen belemmering zijn om naar een geschikte proef te zoeken, die in de Nederlandse baksteennorm zou kunnen worden opgenomen. De Belgische en Britse norm kennen bijvoorbeeld wel een dergelijke proef [24], [25].

3.6 Reparatie

3.6.1 Verwijderen uitbloei

Uitbloei is vaak niet eenvoudig te verwijderen. In [16] worden een aantal maatregelen genoemd, doch er wordt bij opgemerkt dat een volledig succes vaak niet mogelijk is (bijvoorbeeld uitbloei verdwijnt niet helemaal of komt na verloop van tijd in meer of mindere mate terug). De methodes komen erop neer dat er geborsteld moet worden en/of gespoeld met water of chemische stoffen. In [35] wordt overigens een geval vermeld waarbij hardnekkige vanadiumverkleuring kan worden onderdrukt door direct na het reinigen waterwerend te impregneren.

3.6.2 Reparatie schade aan stenen

In geval van schade aan de stenen (afschilferen) vermeldt literatuur [16] twee mogelijkheden, te weten: vervanging van de beschadigde stenen of herstel met een mortel met gekleurde harsen. Voorzover bekend wordt de laatste methode niet of nauwelijks toegepast. Er bestaat dan bovendien het risico dat er nadien opnieuw stukken afspringen.

3.6.3 Reparatie schade aan mortel

In geval van zwelling van de mortel worden in de literatuur drie mogelijke maatregelen genoemd. De eerste bestaat uit vervanging. De tweede methode behelst het aanbrengen van een beplating voor het metselwerk. De derde methode is interessant omdat hierdoor de hoge kosten van vervanging of een beplating kunnen worden voorkomen. Zij bestaat uit het aanbrengen van een waterafstotend middel op het oppervlak. Dit is volgens [12] uitsluitend mogelijk als de schade beperkt is tot geringe zwelling van de mortel (zonder scheurvorming). Volledige zekerheid dat er geen verdere schade op zal treden biedt deze methode echter niet, doch men stelt dat het in sommige gevallen het proberen waard is.

3.6.4 Beperking vochttoevoer

In geval van een vocht aanbod door optrekkend grondwater zullen behalve voornoemde maatregelen ook maatregelen moeten worden genomen om de vochttoevoer te reduceren. Met betrekking tot opstijgend grondvocht zijn er in de loop der tijd verschillende methodieken ontwikkeld (o.a. aanbrengen membraan, elektro-osmose, injecteren, Knapensyphons) [38] [39]. Uit [38] blijkt, dat injecteren en het aanbrengen van een membraan doeltreffende methodes kunnen zijn. Knapensyphons en elektro-osmose blijken niet goed te voldoen.

3.7 Maatregelen bij nieuwbouw

3.7.1 Keuze baksteen

Primair dienen stenen te worden toegepast die zoutarm zijn. Het sulfaatgehalte is beperkt in NEN 2489. Naar internationale opvattingen is de grenswaarde een strenge eis, zodat de kans op problemen gering is en voornamelijk in de sfeer van het uitbloeien ligt. Zoals reeds vermeld in 3.4.1. wordt in [1] gepleit om de NEN-norm uit te breiden door niet alleen een grenswaarde te noemen voor het gehalte aan oplosbare sulfaten maar ook aan die van onoplosbare sulfaten.

3.7.2 Ontwerp

Een goed ontwerp zal voor een verdere beperking van de kans op uitbloei of schade moeten zorgen. Dat wil zeggen dat het vocht aanbod bij het metselwerk beperkt moet worden. Maatregelen in deze sfeer zijn bekend. Hieronder vallen o.a. een voldoende overstek, luifels, doeltreffende afdekbanden, waterdichte kering terplaatse van aanaardingen, waterkerende voorzieningen aan de voet van metselwerk dat in contact staat met grondwater of oppervlaktewater. In dit verband wordt opgemerkt dat hellend metselwerk meer vocht opneemt dan verticaal metselwerk. Volgens de literatuur leidt hellend metselwerk om deze reden eerder tot problemen [11].

3.7.3 Impregneren

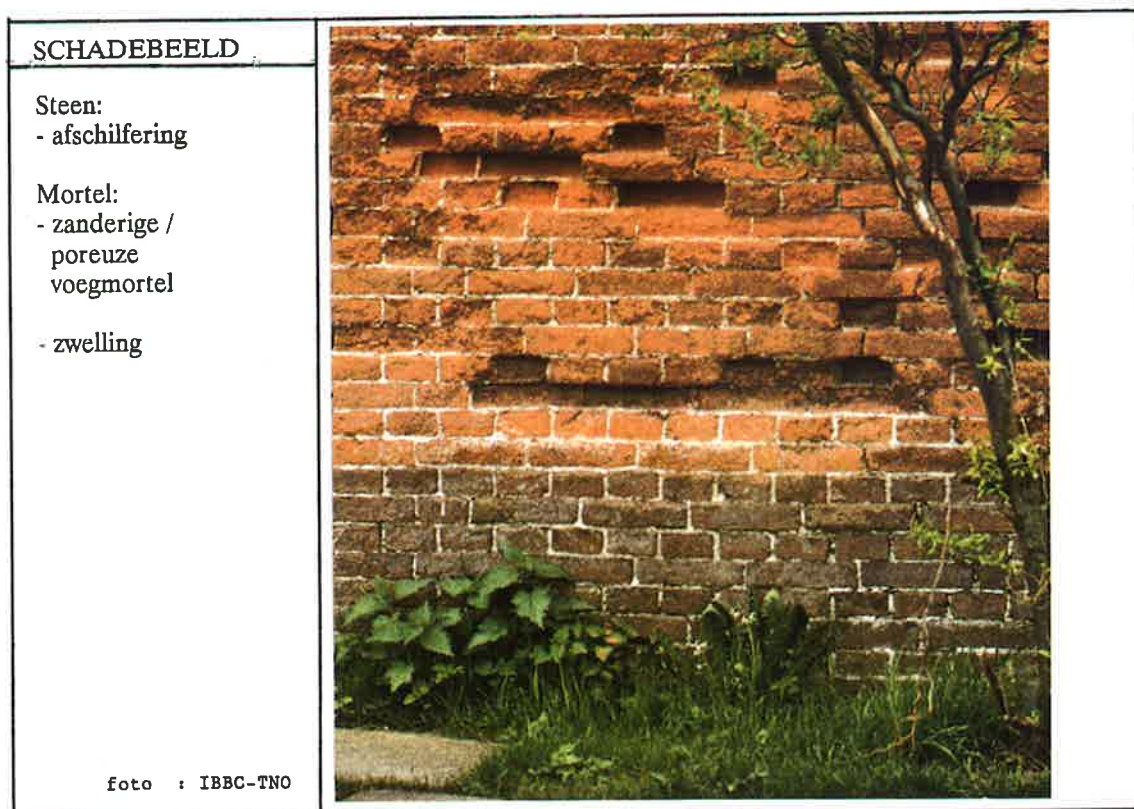
Het impregneren van oppervlakken van metselwerk met een waterafstotend middel is ook een mogelijkheid om het vochtgehalte te beperken. Volgens [1] is het hierbij van belang dat de impregnering tot op voldoende diepte plaatsvindt, omdat anders zoutkristallisatie vlak onder het oppervlak op kan treden waardoor de steenhuid kan worden afgedrukt. Een impregneringsdiepte van 3 tot 5 mm zou voldoende zijn. Bij zwakke poederende stenen heeft impregneren volgens [35] geen gunstig effect.

3.8 Kennislacunes

In de voorgaande paragrafen zijn de volgende kennislacunes met betrekking tot zoutschade naar voren gekomen:

- De invloed van hulpstoffen in de mortel op uitbloei en aantasting van steen en mortel
- Een praktijksimulatie-proef voor uitbloei
- De effectiviteit van waterafstotend impregneren om verdere schade als gevolg van swelling van de mortel te voorkomen.

4 ATMOSFERISCHE AANTASTING



| MECHANISMEN | INVLOEDSFACTOREN | INVLOED 1) |
|--|---|---|
| <p>kristallisatie - onder het oppervlak - zwellling mortel</p> | <p>- hoeveelheid zuurvormende oxyden / zuren / zouten - mate van beregening - temperatuurgradient - poriegehalte mortel - vertragende hulpstoffen - carbonatatie - snelheid temperatuurdaling - spouwisolatie - wateroverschot bij verharding mortel - sinteringsgraad steen en mortelstructuur</p> | <p>-- -- -- - - - - - ? + +</p> |

1) - = toenemende kans op aantasting ? = onduidelijke invloed op kans op aantasting
 -- = sterk toenemende kans op aantasting + = verminderde invloed op de kans op aantasting

4.1 Algemeen

Het zijn voornamelijk de hoeveelheden zuur (t.g.v. zuurvormende oxyden: CO_2 , NO_x en SO_x en door H_2SO_4 en HNO_3), zacht water en zouten uit de atmosfeer die een belangrijke invloed zouden kunnen hebben op de duurzaamheid van baksteenmetselwerk, vooral op de voegmortel.

In principe is echter ook schade aan de stenen mogelijk als gevolg van het kristaliseren van (opgezelde) zouten uit de atmosfeer onder het steenoppervlak.

4.2 Schadebeeld

Schade aan de voegmortel ten gevolge van bovengenoemde zuren, zuurvormende oxyden, zouten en zacht water zou zich in eerste instantie moeten manifesteren in een zanderige structuur. Dit als gevolg van het oplossen van de cementsteen (het verharde cement in de voegmortel) of het afdrukken van stukjes voegmortel ten gevolge van kristaldrukken bij zoutvorming.

Schade aan de stenen zou zich in principe manifesteren als het poederen van het oppervlak (t.g.v. kristaldrukken bij zoutvorming).

4.3 Schademechanisme

Aantasting van cementsteen ten gevolge van zuurvormende oxyden en zuren in het regenwater (zure regen), wordt veroorzaakt door het oplossen en uitspoelen van het CaO uit de cementsteen (zowel het vrije als het met cementmineraal gebonden CaO).

Aantasting ten gevolge van zacht water berust op het uitloggen van met name CaO uit de cementsteen [27].

Aantasting ten gevolge van zouten opgelost in regenwater berust op de mogelijkheid dat deze zouten uitkristalliseren in het metselwerk al dan niet na het aangaan van verbindingen met cementmineralen. Hierdoor kan een zodanige druk worden opgebouwd dat de mortel kapot wordt gedrukt. In principe is het mogelijk dat deze schade ook bij de stenen optreedt (hoofdstuk 3).

Behalve met het regenwater komen de potentieel schadelijke componenten (m.u.v. zacht water) ook in toenemende mate door droge depositie op het metselwerk terecht. Van beton is bekend dat ook wanneer met de huidige droge depositie rekening wordt gehouden, de duurzaamheid toch niet in het geding komt [27]. De vraag is in hoeverre dit voor metselwerk geldt. Bovendien zou moeten worden nagegaan wat de invloed op de duurzaamheid zal zijn bij een steeds groter wordende droge depositie en een zuurder wordende atmosfeer.

4.4 Invloedsfactoren

Van invloed op het mechanisme is:

- de hoeveelheid zuurvormende oxyden, zuren en zouten
- de frequentie waarmee een oppervlak wordt belast met deze agressieve stoffen
- de mate waarin indamping kan optreden [28][30]
- de kwaliteit van de mortel c.q. de steen; voor wat betreft de mortel zijn van belang de porositeit, de sterkte, de

hoeveelheid cement en de cementsoort; voor wat betreft de steen wordt verwezen naar hoofdstuk 3.

In de literatuur zijn geen indicaties aangetroffen dat er op belangrijke schaal van aantasting sprake is als gevolg van de steeds verder toegenomen luchtverontreiniging [26] t/m [29]. Incidenteel zijn er wel gevallen, doch doorgaans is er dan sprake van een uitzonderlijk slechte steenkwaliteit. Informatie bij experts in West Duitsland en Denemarken leverden ook geen indicaties op dat daar sprake is van aantasting van belang door de luchtverontreiniging. Het is echter niet waarschijnlijk dat er helemaal geen aantasting plaatsvindt (er is immers contact tussen de agressieve stoffen en het metselwerk). Dat er in de literatuur geen meldingen van schade's te constateren zijn betekent mogelijk dat er aantasting op zeer bescheiden schaal plaatsvindt.

4.5 Onderzoekmethoden

Er zijn geen methoden bekend waarmee het effect van de atmosferische aantasting te bepalen is.

Wel is in het laboratorium onderzoek naar de aantastingssnelheid mogelijk van de voegmortel die wordt blootgesteld aan zuurbelasting. Het is echter de vraag of dit zinvol is, omdat de specifieke expositie-omstandigheden in de praktijk veel complexer zijn en daardoor weleens een geheel andere aantastingssnelheid zouden kunnen vertonen [30]. Proeven met zuurbelasting zijn eventueel wel geschikt voor vergelijkend onderzoek (bijvoorbeeld van mortelsamenstellingen).

In de literatuur [1] wordt melding gemaakt van een laboratoriumonderzoek, waarbij (zure) regen is geïmiteerd.

De berekening vond plaats op muren met platvolle voeg, waarbij de volgende mortelsamenstellingen werden onderzocht:

- 1) pc:z = 1:6
- 2) pc:z = 1:4,5
- 3) pc:k:z = 1:0,25:3,5.

De mortelsamenstelling met het grootste bestanddeel aan bindmiddel bleek de minste problemen te ondervinden (de derde mortelsamenstelling).

4.6 Maatregelen bij nieuwbouw/reparatie

Vanwege het ontbreken van enig inzicht van belang in de mate waarin dit probleem speelt is het niet mogelijk om een zinvolle uitspraak te doen over te nemen maatregelen bij nieuwbouw, dan wel over reparatiemogelijkheden.

4.7 Kennislacunes

In de voorgaande paragrafen zijn de volgende kennislacunes met betrekking tot atmosferische aantasting naar voren gekomen:

- De relatie tussen de atmosferische aantasting als gevolg van het steeds zuurder wordend milieu en de mortelsamenstelling

- De invloed van de droge depositie op de duurzaamheid van steen en mortel
- Het ontwikkelen van geschikte beproevingsmethoden voor atmosferische aantasting

5.1 Algemeen

Sinds de invoering van de bakstenen spouwmuur in Nederland worden ook spouwankers toegepast. In de beginperiode werden met name verzinkte ankers toegepast. Tegenwoordig hebben de leveranciers meerdere uitvoeringen in hun assortiment, te weten koperen, gebichromatiseerde en roestvast stalen ankers. Er bestaat geen norm die aangeeft onder welke omstandigheden welke uitvoering is toegestaan. Het meest toegepast is vrijwel zeker het verzinkte anker. Er zijn Britse en Amerikaanse publikaties (van vrij recente datum) waarin melding wordt gemaakt van het vroegtijdig corroderen van verzinkte spouwankers, zie [40] en [41]. Onder vroegtijdig moet hier een periode van circa 10 tot 20 jaar worden verstaan. In [46] wordt gesteld dat het aanbeveling verdient nader onderzoek naar dit fenomeen te doen.

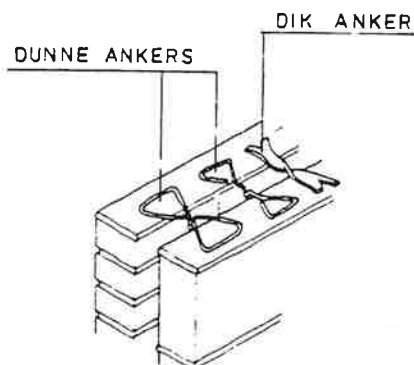
Of corrosie van spouwankers in Nederland voorkomt op enige schaal van belang is niet bekend (publicaties zijn er niet over aangetroffen). Uit interviews blijkt dat opzichters, toezichthouders en onderzoekers ervaringen hebben die variëren van negatief tot positief (met de overhand tot het laatste).

5.2 Schadebeeld

Het meest uitgebreid in de beschrijving van het schadebeeld is literatuur [41]. Volgens deze Britse bron varieert het schadebeeld afhankelijk van het model waarin het anker is uitgevoerd en van de afmetingen. De grotere en dikkere ankers (zie navolgende figuur) kunnen door het corroderen voldoende volumetoename veroorzaken om het mortelbed waarin zij zich bevinden te doen splijten. Dergelijke gevallen zijn van buitenaf herkenbaar aan een horizontale scheur om de paar lintvoegen (omdat ankers doorgaans om de paar lintvoegen voorkomen). Deze schade is meestal eerder waarneembaar in de zone onder de dakrand dan bij de lager gelegen gedeelten van de gevel. Het kan voorkomen dat dergelijke scheuren niet (meer) zichtbaar zijn omdat de beschadigde lintvoegen in het verleden opnieuw zijn gevoegd. Opvallend is dan het voorkomen van wijdere lintvoegen op regelmatige onderliggende afstand. Bij de kwaliteit van dergelijk metselwerk kunnen overigens grote vraagtekens worden gezet (wat is er nog over van de oorspronkelijke samenhang?).

Behalve genoemde horizontale scheuren kunnen ook enige verticale of diagonale scheuren voorkomen. In extreme gevallen kan de opwaartse kracht die het metselwerk door het corroderen ondervindt leiden tot het stuiken van de buitenmuur al dan niet met scheurvorming in het binnenblad als gevolg (dit laatste kan optreden indien een aantal spouwankers niet zijn geroest en daardoor het buitenblad en het binnenblad plaatselijk onderling verbonden houden). Dunne ankers veroorzaken volgens de genoemde literatuurbron te weinig volumetoename om de voornoemde verschijnselen teweeg te brengen. Corrosie zou men dan ook pas kunnen merken na het blootleggen van de ankers. Impliciet vindt men deze mening ook in [40]. Waar de grens precies ligt tussen dikke en dunne ankers blijkt niet goed uit de literatuur, doch de indicaties zijn dat met dikkere ankers worden bedoeld uitvoeringen met diameters/doorsnedes van 5 mm of meer.

Aangenomen mag worden dat in Nederland vooral de dunnere uitvoeringen worden gebruikt. Als er sprake is van schade, zal dit dan ook vooral verborgen schade zijn.



Bron: Element Design Guide
Arch. Journal 2, July 1989

De twee nadelige gevolgen van het corroderen van een anker zijn:
 -het anker verliest zijn samenhang en daardoor zijn vermogen om het metselwerk aaneen gekoppeld te houden en
 -het metselwerk kan door de volumetoename van het corroderend ijzer zijn samenhang verliezen.

Omdat het buitenblad in het algemeen geen dragende functie vervult is er in het laatste geval niet direct gevaar voor instorten van het gebouw. Dergelijke schade vormt echter wel een gevaar voor passerende voetgangers of ander verkeer. Bovendien neemt de kans op inwatering (in de spouw) toe.

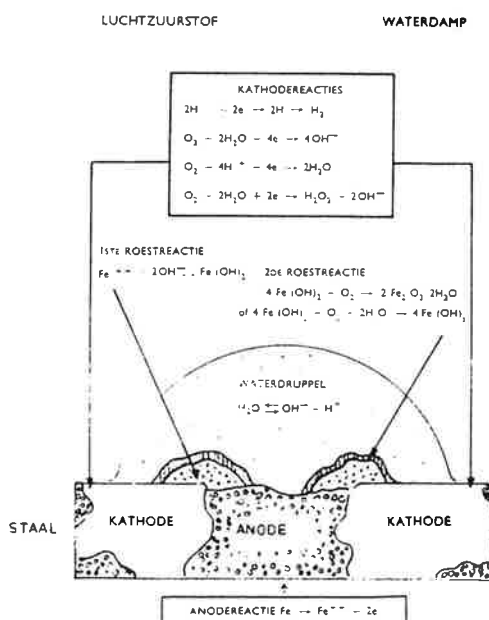
Literatuur [41] meldt dat er voorzover bekend tot nu toe nooit sprake is geweest van bezwijken van het buitenblad als gevolg van het overmatig corroderen van ankers. Daar waar er buitenbladen zijn bezweken was dit steeds door een andere oorzaak, volgens [41] vooral door ondeskundige verankering van de dakconstructie aan de muur.

5.3 Schademechanisme

Volgens [41] treedt het corroderen vooral op in het gedeelte van het anker dat is ingebed in de mortel van het buitenblad en op de overgang van het buitenblad naar de spouw (meest vochtige gedeelten).

In het eerste geval kan corrosie pas optreden als de mortel gecarbonateerd is (d.w.z. zijn oorspronkelijke alkaliteit o.i.v. koolzuur uit de atmosfeer verloren heeft).

Over het aantastingsmechanisme is ruim voldoende bekend. In het kort komt het corrosie-proces erop neer dat onder invloed van zuurstof en vocht het oorspronkelijke ijzer wordt omgezet tot ijzerverbindingen die een groter volume innemen dan het oorspronkelijke materiaal (zie navolgende figuur). Het corroderen begint aan het oppervlak en vordert steeds dieper. Het volume van de nieuwe verbindingen is 6 tot 8 maal zo groot als het oorspronkelijke volume. De krachten die bij dit proces ontstaan (de omhullende mortel belemmert de volumetoename) zijn zeer groot. Dit verklaart het feit dat metselwerk ten gevolge van het corroderen van ankers kan gaan scheuren.



Schematische weergave van het roestproces op staal

bron : Bescherming van staal door thermisch verzinken
Stichting Doelmatig Verzinken

5.4 Invloedsfactoren

5.4.1 Bescherm laag

Volgens [41] is de dikte van de zinklaag een van de belangrijkste invloedsfactoren. Een te geringe dikte (d.w.z. minder dan de britse norm BS 1243 voorschrijft) zal al snel tot de corrosie in de praktijk leiden. Over de wijze van verzinken wordt in de desbetreffende literatuur niets gemeld. Op basis van de gegevens van een andere bron [45] zou echter de conclusie getrokken kunnen worden dat de wijze van verzinken (galvaniseren of thermisch verzinken en in het laatste geval het al dan niet nabehandelen in chroomzuur) ook een belangrijke invloed zou kunnen uitoefenen.

5.4.2 Vocht

Een tweede belangrijke factor is het vochtgehalte van het metselwerk. Literatuur [41] verwijst hiervoor naar het feit dat bij schadegevallen de corrosie van het anker ter plaatse van het binnenblad altijd minder ernstig is dan ter plaatse van het buitenblad. In dezelfde literatuur wordt gesteld dat de volgende zaken bepalend zijn voor het vochtgehalte van het metselwerk:

- het klimaat
- de orientatie
- de bouwkundige situatie (bijv. een luifel of overstek biedt beschutting)

De precieze samenhang tussen het vochtgehalte van het metselwerk en de mate van corrosie bij spouwankers is volgens dezelfde literatuur nooit onderzocht.

In de geraadpleegde literatuur is geen melding aangetroffen van een eventuele invloed van spouwisolatie op de mate van corrosie van spouwankers. Uit [2] is echter bekend dat spouwisolatie het buitenblad langzamer laat drogen. Op grond hiervan wordt het mogelijk geacht dat isolatie in de praktijk bevorderend op het corroderen van ankers leidt.

5.4.3 Agressieve bestanddelen in de mortel

In [41] wordt vermeld dat er weinig bewijzen bestaan dat er gevallen zijn van sterk gecorrodeerde ankers als gevolg van de toevoeging van chloride aan de mortel (chloride - een stof die algemeen bekend staat als corrosiebevorderend voor ijzer - kan vanaf de bouw aanwezig zijn als anti-vriesmiddel of als verontreiniging van het toeslagmateriaal).

Wel zou volgens genoemde literatuur toevoeging van 'black-ash' aan mortels, corrosie van de spouwankers bevorderen (volgens het Technische woordenboek zou 'black ash' ruwe soda zijn). Voorzover bekend vindt deze toevoeging in Nederland echter geen toepassing (het desbetreffende literatuurstuk bericht over de praktijk in Groot Britannië).

Een andere literatuurbron [23] meldt dat de aanwezigheid van chloride in de mortel wel corrosiebevorderend werkt. Afgezien dat chloride aanwezig kan zijn door toevoeging, meldt de desbetreffende bron dat chloride ook in de mortel kan ontstaan, namelijk door de aanwezigheid van bepaalde polymeren in de mortel (die daarin zijn verwerkt t.b.v. een betere hechting en sterkte, maar waaruit ook - als gevolg van het alkalische karakter van de mortel - een overmaat aan chloride vrijkomt).

Ook de Britse norm [42] houdt er rekening mee dat chloride corrosiebevorderend kan werken. Bij het gebruik van zeezand in de mortel wordt namelijk voorgeschreven dat verzinkte ankers bij voorkeur op het werk een aanvullende bescherming dienen te krijgen in de vorm van een coating.

Ook de Nederlandse norm [35] houdt er rekening mee dat chloride corrosiebevorderend is; zo mogen geen chloridehoudende hulpstoffen worden toegevoegd.

5.4.4 Agressieve bestanddelen in de atmosfeer

Volgens artikel 68 van deel C van NEN 3880 [44] - dat over metalen bevestigingsmiddelen van betonnen gevelementen gaat - moet de toepassing van (thermisch) verzinkt staal in steeds meer gebieden in Nederland worden ontraden, zelfs als zou er aanvullend een deklaag van epoxy of bitumen op worden toegepast. De concentratie aan SO₂ en andere zuurvormende gassen in veel gebieden is als gevolg van de luchtverontreiniging namelijk zodanig hoog dat er aantasting zal optreden. Dit geldt volgens de desbetreffende bron niet alleen voor thermisch verzinkt staal dat zich direct in de buitenlucht bevindt, maar ook voor thermisch verzinkt staal in geventileerde spouwen. Op grond hiervan zou kunnen worden geconcludeerd dat de toepassing van thermisch verzinkt staal in bakstenen spouwmuren moet worden ontraden. Een literatuurstuk waarin direct de conclusie wordt vermeld dat thermisch verzinkte ankers in bakstenen spouwmuren niet aan te raden is, vanwege de grote kans op corrosie als gevolg van de luchtverontreiniging is niet aangetroffen.

5.4.5 Porositeit mortel

In [41] wordt vermeld dat poreuze mortels een snelle carbonatatie tot gevolg hebben en als gevolg daarvan er eerder corrosie van het spouwanker kan optreden. Indicaties over de porositeiten die in de praktijk tot problemen leiden, zijn in de literatuur niet aangetroffen.

5.4.6 Cementsoort

Over de invloed van de cementsoort op de duurzaamheid van spouwankers wordt in de literatuur geen melding gemaakt. Een eventuele invloed is echter niet uitgesloten. Uit de kennis die er bestaat over (gewapend) beton is namelijk bekend dat hoogovencement zodanig gevoeliger is voor een slechte nabehandeling en/of minder gunstige weersomstandigheden tijdens de eerste verhardingsfase, dat er nadien een aanzienlijke grotere carbonatatie diepte kan optreden van het verharde cement.

5.5 Onderzoekmethoden

De onderzoekmethoden waarover de literatuur [41] melding maakt hebben uitsluitend betrekking op de wijze waarop het corroderen kan worden opgespoord. In alle gevallen komt het neer op een visuele inspectie ter plekke, soms zonder en soms met behulp van speciale inspectieapparatuur.

Omdat het buitenblad zelden dragend is, is het normaliter mogelijk om hier en daar een baksteen of eventueel zelfs een wat groter stuk metselwerk te verwijderen en vervolgens de zichtbaar geworden ankers te inspecteren. Daar waar muren gescheurd zijn kan het in het algemeen vrij eenvoudig zijn om de plaatsen van de gecorrodeerde ankers op te sporen (de ankers vormen de aanzetten voor de scheuren). Voor minder evidente gevallen kan hierbij gebruik worden gemaakt van metaaldetectoren.

In gevallen waar er een minimum aan schade aan het metselwerk is te zien of waar de schade verborgen is voor het oog, kunnen steekproefgewijs stenen worden verwijderd of kernen worden uitgeboord en kan vervolgens de toestand van het ankergedeelte in de spouw worden beoordeeld door met een endoscoop in de spouw te kijken. Het nadeel van deze methode is dat als het ankergedeelte in de spouw ongecorrodeerd wordt aangetroffen men nog geen conclusie kan trekken over de rest van het anker. De meeste corrosie treedt namelijk in het algemeen in het ankergedeelte op dat zich in het buitenblad bevindt. In zo'n situatie zou dan verder moeten worden gezocht door ter plaatse van de ankers stenen te verwijderen.

5.6 Reparatie

Voor reparatie van metselwerk waarin gecorrodeerde ankers voorkomen, geeft literatuur [41] uitgebreide aanwijzingen. De methodes variëren, afhankelijk van de aangetroffen situatie, van vervanging van de individuele ankers, het inlijmen van nieuwe ankers, het vullen van de spouw met PUR-schuim (het voorgaande telkens onder handhaving van het oorspronkelijke metselwerk) tot de meer rigoreuze ingreep bestaande uit volledige vervanging van de ankers en het beschadigde metselwerk. De voor- en nadelen van deze methodes zijn volgens [41] voldoende bekend.

Op de technieken om nieuwe ankers te plaatsen (zonder vervanging van het metselwerk) gaat met name [47] dieper in. Hierbij worden tevens indicaties gegeven over de te gebruiken metaalsoort. De voorkeur blijkt uit te gaan naar roestvast staal.

5.7 Maatregelen bij nieuwbouw

5.7.1 Noodzaak onbekend

Of er in Nederland corrosieproblemen zijn met de in het verleden toegepaste ankers - en zo ja, in welke mate en door welke oorzaken - is onvoldoende bekend om aan te kunnen geven in hoeverre maatregelen nodig zijn bij nieuwbouw.

5.7.2 Keuze anker

In de Duitse norm [43] omzeilt men eventuele problemen door in plaats van verzinkte ankers roestvast stalen uitvoeringen voor te schrijven. De vierkantemeterprijs van het metselwerk hoeft hierdoor niet noemenswaardig toe te nemen omdat het overgrote deel van de kosten uit arbeidsloon bestaat. In Engeland zijn in tegenstelling tot West Duitsland ook nog verzinkte uitvoeringen toegestaan [41] [42], zij het dat de verzinklaag van een minimum dikte dient te zijn.

In Denemarken wordt onderscheid gemaakt tussen corrosiebestendige en niet-corrosiebestendige spouwankers (toepassing afhankelijk van expositie). Corrosiebestendig zijn uitvoeringen in roestvast staal en tin-brons van bepaalde kwaliteiten. Thermisch verzinkt staal wordt als niet-corrosiebestendig beschouwd.

5.8 Kennislacunes

In de voorgaande paragrafen zijn de volgende kennislacunes en onvolledigheden in voorschriften met betrekking tot corrosie van spouwankers naar voren gekomen:

Kennislacunes:

- De mate van optreden van deze aantasting in Nederland
- Maatregelen om corrosie te voorkomen, indien zou blijken dat er sprake is van een daadwerkelijk probleem
- De factoren die van invloed zijn op het corrosieproces, waaronder de invloed van spouwisolatie

Onvolledigheid voorschriften:

- Voorschriften over de kwaliteit van spouwankers

6 BIOLOGISCHE AANTASTING

| | |
|--|--|
| <p>SCHADEBEELD</p> | <p style="text-align: center;">foto : DHV</p>   <p style="text-align: center;">foto : IBBC-TNO</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> - Mosgroei en algengroei op oppervlak - Zanderige voegmortel - Uitgespoelde voegmortel | |

| MECHANISMEN | INVLOEDSFACTOREN | INVLOED 1) |
|---|--|---|
| <p>Groei van bacterien algen, schimmels en korstmossen waarbij zuren gevormd worden</p> | <ul style="list-style-type: none"> - vocht - gunstige temperatuur (bijv. bacterien 25 - 40 °C) - gunstige lichtomstandigh. - gunstig pH milieu | <p style="text-align: center;">-- - - -</p> |

1) - = toenemende kans op aantasting ? = onduidelijke invloed op kans op aantasting
 -- = sterk toenemende kans op aantasting

6.1 Inleiding

In het aanbod van literatuur over het onderwerp duurzaamheid van bouwmaterialen worden onder meer publicaties aangetroffen die ingaan op de potentiële aantasting door bacteriën, schimmels, algen en korstmossen. De aantasting zou met name tot stand komen als gevolg van de zure bestanddelen die sommige van genoemde organismen afscheiden. Als gevolg hiervan zijn onder meer materialen op cementbasis in principe vatbaar voor deze vorm van aantasting. Bij baksteenmetselwerk betekent dit dat het de voegmortel is die aangetast kan worden.

Sommige van de genoemde organismen gedijen het best in een verontreinigd milieu. Als gevolg daarvan wordt weleens verondersteld dat bij een toenemende mate van verontreiniging van de atmosfeer, genoemde aantastingsvorm in betekenis zal toenemen. Onder meer vindt men een opmerking in deze trant in [48].

6.2 Schadebeeld

Schade ten gevolge van zuren zal zich in eerste instantie manifesteren in het zanderig worden van de voegmortel (de bestanddelen van het verharde cement worden door de zure afscheidingsprodukten omgezet tot weinig samenhangende bestanddelen, waarna uitspoeling kan optreden). Er zijn echter geen literatuurbronnen aangetroffen die melding maken van het aantreffen van deze schade bij voegmortels. Wel wordt in [49] vermeld dat aangetoond is dat bacteriën in sommige gevallen verantwoordelijk zijn voor het aantasten van betonnen gevels en van pleisterlagen op cementbasis. Het is niet onlogisch om te denken dat als beton en cementpleisters kunnen worden aangetast, de voegen van baksteenmetselwerk ook kunnen worden aangetast.

Ook in [55] wordt melding gemaakt van de mogelijkheid dat beton aangetast wordt door bacteriën, in dit geval echter door nitroso- en nitrobacteriën, terwijl in het eerste geval vooral sulfaatoxiderende en -reducerende bacteriën verantwoordelijk zijn.

Voor wat betreft algen vermeldt [49] nog dat ook zij beton en mortel kunnen aantasten.

De gegevens hiertoe worden ontleend aan [51]. Door de auteurs van dat artikel is de aantasting door algen onderzocht van een betonnen startbaan voor vliegtuigen.

Bij alle voornoemde vermeldingen van (mogelijke) schades komt niet goed tot uitdrukking of deze schades ook onder normale omstandigheden in gevels kunnen optreden. Raadpleging van de literatuur waarnaar wordt verwezen, o.a. [51] t/m [54] en [57], geeft niet de indruk dat dit het geval is. Dit komt overeen met de opmerking in [50] dat (korst)mossen, algen en andere begroeiing normaliter niet schadelijk zijn voor beton.

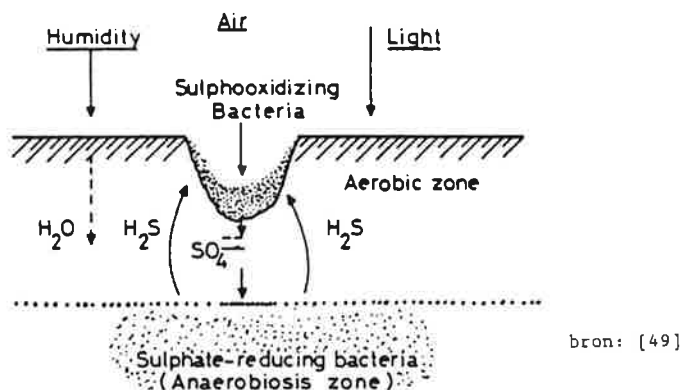
De desbetreffende organismen kunnen door hun aanwezigheid leiden tot ontsiering van constructies. Op zich zou dit ook als een vorm van schade kunnen worden aangemerkt. Weer anderen vinden de aanwezigheid van korstmossen niet per se ontsierend, soms vindt men het zelfs verfraaiend (natuurlijk uiterlijk).

6.3 Schademechanisme

De mechanismen die in de literatuur worden genoemd als zijnde verantwoordelijk voor de (mogelijke) aantasting van cementhoudende materialen zijn de volgende:

6.3.1 Bacterien

De meest bekende bacterien in deze categorie zijn de sulfaatoxiderende en de sulfaatreducerende bacterien. Het mechanisme wordt o.a. beschreven in [49]. Met het in zich opgeslagen zwavel vormen de sulfaatoxiderende bacterien (die zich bevinden aan het materiaaloppervlak) zwavelzuur, dat zij vervolgens uitscheiden. Dit zuur reageert met de ondergrond onder vorming van oplosbare sulfaten, die in de poriën van het materiaal diffunderen. De sulfaatreducerende bacterien die in het materiaal genesteld zijn (anaeroobe situatie) gebruiken de gediffundeerde sulfaten en breken deze af onder vorming van waterstofsulfide. Dit zal vervolgens naar het oppervlak migreren en door de sulfaatoxiderende bacterien worden omgezet om hun zwavel-reserve aan te vullen. De cyclus die in de navolgende figuur schematisch is weergegeven is dan rond.



Minder bekende bacterien in deze categorie zijn de nitrosobacterien en de nitrobacterien. Deze gaan volgens min of meer dezelfde cyclus te werk als voornoemd. In plaats van zwavelzuur wordt echter salpeterzuur gevormd. Hiertoe gebruiken de bacterien stikstof uit de lucht of stikstof van ammoniumverbindingen die gevormd worden door verschillende bacterien. In [49] [53] en [55] is hierover gepubliceerd.

6.3.2 Algen

In [49] is het volgende over het aantastingsmechanisme vermeld: algen op bouwmaterialen zijn voor hun bestaan niet afhankelijk van bestanddelen uit de ondergrond. Zij scheiden organische zuren af die het calciumcarbonaat van kalksteen, beton of mortel kunnen oplossen, waarna zij dit calcium kunnen opnemen ten behoeve van hun eigen metabolisme.

Afgezien van dit chemisch effect kunnen algen ook tot desintegratie van de ondergrond leiden, doordat zij cellen in de poriën inbrengen die tijdens perioden van afwisselend benatting en droging zwellen en krimpen (dit zwellen en krimpen gaat gepaard met de uitoefening van mechanische krachten op de poriënwallen).

6.3.3 Schimmels

Over het aantastingsmechanisme wordt in [49] [54] niet veel meer vermeld dan dat deze organismen organisch materiaal gebruiken als voedingsstof. Zij kunnen organische zuren afscheiden die de ondergrond kunnen aantasten. Behalve zuren kunnen schimmels ook zeer krachtige eiwitten produceren die vooral in staat zijn koolstofketens (verven, coatings) af te breken. Andere literatuurgegevens zijn niet aangetroffen.

6.3.4 Korstmossen

Ook hierover is de literatuur [49] [54] summier. Korstmossen kunnen volgens deze bronnen koolstofdioxide en zure stoffen vormen die met carbonaten uit de ondergrond reageren onder vorming van oplosbare zouten. Ook kunnen de korstmossen andere stoffen produceren (stoffen met -OH en -COOH groepen in het molecuul) die tot afbraak van bepaalde bestanddelen uit de ondergrond kunnen leiden.

6.4 Invloedsfactoren

Van invloed op de mechanismen zijn volgens [49]:

- vocht (hoge vochtgehalten zijn essentieel);
- temperatuur (bijvoorbeeld: de optimale temperatuur ligt in het algemeen tussen 25 en 40 °C voor bacteriën, voor mossen is deze lager);
- licht (geldt voor sommige organismen);
- pH van het milieu waarin zij verkeren.

In de literatuur zijn er nagenoeg geen indicaties aangetroffen dat er van (wezenlijke) aantasting sprake is als gevolg van bacteriën, algen, schimmels of korstmossen. Laat staan dat er gegevens zijn aangetroffen dat deze aantasting wordt beïnvloed door een toenemende luchtverontreiniging. Eén bron - te weten [55] - maakt hier wel melding van. Het zou gaan om de aantasting door nitroso- en nitrobacteriën die onder invloed van de toenemende depositie van ammoniak en ammonium op gevels, onder andere t.g.v. de intensieve veehouderij, toe kan nemen. Door [58] wordt nader onderzoek naar dit fenomeen met name in Nederland van belang geacht.

Meer dan deze globale indicatie is er in de literatuur echter niet gevonden. Dat er niets wezenlijks valt te constateren betekent mogelijk dat er aantasting plaats vindt, zij het op bescheiden schaal.

6.5 Onderzoekmethoden

In de geraadpleegde literatuur wordt geen melding gemaakt van onderzoekmethoden, waarmee de eventuele invloed van bacteriën, algen, schimmels of korstmossen op bouwmaterialen is na te gaan.

6.6 Maatregelen bij nieuwbouw/reparatie

Vanwege het ontbreken van enig inzicht van belang in de mate waarin dit probleem speelt, is het niet mogelijk om een zinvolle uitspraak te doen over te nemen maatregelen bij nieuwbouw, dan wel over reparatiemogelijkheden.

6.7 Kennislacunes

In de voorgaande paragraaf is de volgende kennislacune met betrekking tot biologische aantasting van metselwerk naar voren gekomen:

- Mate van aantasting door bacterien als gevolg van de toenemende ammoniak- en ammoniumdeposities

7 MOGELIJKE TOEKOMSTIGE ONTWIKKELINGEN

7.1 Algemeen

De beschouwingen uit de voorgaande hoofdstukken hebben betrekking op de duurzaamheidsaspecten van metselwerk in de normaal gebruikelijke samenstelling.

In de toekomst zal er meer dan nu worden gezocht naar toepassingsmogelijkheden van rest- en afvalstoffen in baksteen of mortel.

Daarnaast zijn er ontwikkelingen in de richting van nieuwe uitvoerings-technieken, bijvoorbeeld lijmvoegen in plaats van mortelvoegen.

Deze ontwikkelingen kunnen gevolgen hebben voor de duurzaamheid.

7.2 Toepassing van rest- en afvalstoffen

7.2.1 Algemeen

De toenemende problematiek rondom de berging en verwerking van afvalstoffen, heeft eraan bijgedragen dat de overheid een stimuleringsprogramma voert voor het toepassen van afvalstoffen in produkten. Ook de bouwmaterialenindustrie ziet zich geplaatst voor de vraag om deze zogenaamde bulk-afvalstoffen voor haar produkten aan te wenden.

Uit reeds uitgevoerde onderzoeken is bekend dat het gebruik van afvalstoffen als aanvulling op de traditionele oppervlakedelfstoffen zoals klei, mergel kalk en zand onder bepaalde omstandigheden mogelijk is.

De Interdepartementale werkgroep Toepassing van Afvalstoffen in de Bouwnijverheid en de Bouwmaterialenindustrie (ITABB) is momenteel bezig om met inspraak van het bouwbedrijfsleven de bestaande kennis in kaart te brengen.

7.2.2 Vliegas

Vliegas is een reststof die ontstaat bij de verbranding van kolen in elektriciteitscentrales. Het koolstofgehalte van de vliegas bepaalt voor een belangrijk deel de toepasbaarheid.

Vliegas kan op verschillende wijzen in metselwerk worden verwerkt:

- als onderdeel van het cement (portlandvliegascement) in de mortel
- als vulstof in de baksteen

Uit onderzoeken aan beton dat met portlandvliegascement is vervaardigd zijn geen indicaties gekomen dat de toevoeging van vliegas een negatieve (of positieve invloed) op de duurzaamheid heeft.

Met de toevoeging van vliegas in baksteen zijn in Nederland op bescheiden schaal experimenten uitgevoerd. Hierbij is 25% tot 35% van de klei vervangen door vliegas.

Volgens [44] zijn beperkende factoren voor de toepassing van vliegas het alkali- en zwavelgehalte, waardoor zoutuitbloei kan optreden. Verder zijn het calcium- en ijzergehalte van belang vanwege de kleurbeïnvloeding. Recent zijn resultaten gepubliceerd van een proef [64] waaruit blijkt dat sulfaatuitslag kan worden voorkomen door toevoeging van bariumcarbonaat.

Voorzover bekend is er in Nederland geen ander onderzoek gedaan naar de duurzaamheid van vliegashoudende bakstenen.

In Denemarken zijn bakstenen gemaakt waarin 1/3 deel van de klei is vervangen door vliegas. De vervaardiging van deze stenen leverde geen problemen op. Een aantal stenen zijn in de praktijk toegepast teneinde hun gedrag te kunnen bestuderen. Gedurende de 2 jaar dat zij aldus in gebruik zijn heeft men (nog) geen problemen geconstateerd. Ten aanzien van de duurzaamheid is de tijd echter te kort om een uitspraak te doen.

7.2.3 Euroklei/baggerslib

De belangrijkste, qua hoeveelheid, in Nederland vrijkomende afvalstof is baggerslib.

Onderscheid wordt gemaakt in zeeslib dat relatief schoon is en grotendeels wordt teruggestort in de zee (25 à 35 mln m³/jaar) en rivierslib dat sterk verontreinigd is met persistente organische verbindingen en zware metalen en dat op land wordt opgeslagen (ca. 11 mln m³/jaar).

Een deel van het opgeslagen slib (het relatief schone deel uit de westelijke havenbekkens Rijnmond) wordt in de "grondfabriek" op de maasvlakte ontwaterd en gerijpt. Jaarlijks produceert deze grondfabriek 500.000 m³ zogenaamde Euroklei uit 1 mln m³ slib.

De Euroklei wordt in waterbouwkundige constructies verwerkt; gemengd met gedolven klei kan een goede kwaliteit baksteen worden geproduceerd, die echter vanuit esthetisch oogpunt te wensen overlaat.

Nagegaan zou moeten worden in hoeverre het sterker verontreinigde slib ook geschikt is voor de baksteenproductie, zonder dat uitloog- of (uiteindelijke) hergebruiksproblemen gaan ontstaan.

Over de specifieke duurzaamheidsaspecten van deze baksteen is niets bekend.

7.2.4 Puingranulaten

Jaarlijks wordt circa 6 mln ton sloopafval geproduceerd; 80% (circa 5 mln ton) is beton- en metselwerkpuin.

De hoeveelheid zal in het jaar 2000 zijn gestegen tot 6 à 8 mln ton.

Het puin wordt momenteel voornamelijk gebruikt als funderingsmateriaal in de wegenbouw.

Door selectief slopen en goede ingangscntrole bij de brekerijen en een aangepast breek-, zeef- en wasproces wordt er een zeer goede kwaliteit granulaat verkregen; voor het hoogwaardige gebroken betongranulaat zijn meer toepassingen dan voor gebroken metselwerkgranulaat; dit houdt o.m. in dat er een overschot is aan metselwerkgranulaat.

Bij het gebruik van betongranulaat als grof toeslagmateriaal in beton wordt de fraktie 0-4 mm afgezeefd; dit maakt de toegepaste fraktie relatief duur terwijl er bovendien opnieuw een ongebruikte reststof ontstaat.

Nagegaan zou moeten worden of:

- gebroken en gezeefd metselwerkgranulaat als partiele vervanging van klei als grondstof voor de baksteenproductie kan worden gebruikt
- het mogelijk is de 0-4 fraktie van betonpuingranulaat te verwerken bij de baksteenproductie dan wel in metselmortels

In beide gevallen zou niet alleen de stroom secundaire grondstoffen kunnen worden gereduceerd, maar kan ook het winnen van klei en zand (in bescheiden mate) worden afgeremd.

Door KNB zijn een aantal oriënterende proeven uitgevoerd met het gebruik van metselwerkgranulaat/puinwasslib, waarvan de resultaten aanleiding geven tot nader onderzoek.

7.3 Alternatieve uitvoeringstechnieken

7.3.1 Doorstrijken

De huidige wijze van het afwerken van voegen in baksteen-metselwerk bestaat daaruit dat de metselmortel (in de nog niet verharde toestand) wordt weggekrabd tot een diepte van circa 1 à 1,5 cm, waarna de aldus ontstane sleuf wordt gevuld met een andere mortel: de zogenaamde voegmortel (echter pas nadat de metselmortel is verhard). Het dichtzetten van de sleuf wordt "voegen" genoemd. Er zijn in de loop van de tijd diverse manieren van voegen ontstaan, onder andere geknipt voegen, platvol voegen e.d. De verschillende manieren waren primair bedoeld om variatie in het uiterlijk te krijgen. De teneur van de laatste decennia is echter om het voegen zo eenvoudig (goedkoop) mogelijk te houden, dat wil zeggen dat de variatie in voegsoorten aan het verdwijnen is.

Een veel toegepaste voeg is tegenwoordig de geborstelde voeg, die door zijn slechte verdichting tot de zwakste voegsoort behoort.

Tegenwoordig wordt erover gedacht om het voegen (vanwege de bewerkelijkheid van deze arbeidsgang) achterwege te laten. In plaats daarvan moeten de voegen in het metselwerk in één arbeidsgang met het metselen (en dus met de metselmortel) worden afgewerkt. D.w.z. dat de stenen vol en zat worden gemetseld, waarna de overtollige specie (speciebaarden) worden verwijderd en de voeg wordt afgewerkt door het aandrukken van de mortel. Dit idee staat nog zodanig in de kinderschoenen dat er in zijn algemeenheid weinig onderzoek naar is gedaan. Dat er qua duurzaamheid verschillen zullen zijn met de huidige gangbare wijze waarop wordt afgewerkt, lijkt niet onwaarschijnlijk. Immers de samenstelling van metselmortels is in het algemeen wezenlijk anders dan die van voegmortels. Laatst genoemde mortels worden vaak te schraal (armer aan bindmiddel) gemaakt en worden ook droger verwerkt [1]. Dit in combinatie met de veelal verkeerde (geringe) laagdikte waarin zij worden verwerkt (soms slechts enkele millimeters) en de geringe mate van verdichting die doorgaans plaats vindt, kan aanleiding zijn tot het ontstaan van zeer zwak voegwerk. Doorstrijken zou dan ook een betere duurzaamheid op kunnen leveren. Toch lijkt enige reserve gepast. Zo bevatten metselmortels in het algemeen hulpstoffen, hetgeen aanleiding zou kunnen zijn dat er meer uitbloeit en/of afschilfering (door zoutvorming) optreedt dan in de huidige situatie (waarin de metselmortel van de ergste

benutting wordt afgeschermd door de voegmortel). Voorts is er nog het niet volledig begrepen probleem van vorstschade aan sommige metselmortels (zie hoofdstuk vorstschade).

In Denemarken is aan het instituut voor baksteenresearch (KTI Hasselager) ten aanzien van het doorstrijken onderzoek gedaan naar de relatie tussen het tijdstip van het afwerken van de voegen (d.m.v. aandrukken) en de vorstbestandheid. De mortel in de voegen werd aangedrukt ¼, ½ en 1 uur na het metselen. Daarnaast is een proefopstelling gemaakt waarbij de voegen op de gebruikelijke wijze zijn afgewerkt, d.w.z. uitgekrabd en opnieuw gevoegd (overigens met dezelfde mortel als waarmee de stenen zijn vermetseld). Gebleken is dat de beste vorstbestandheid bij doorstrijken werd verkregen indien er zo kort mogelijk na het vermetselen werd afgewerkt (¼ uur). De vorstbestandheid bij de traditionele wijze van verwerking bleek overigens nog beter dan die bij doorstrijken (voornoemde resultaten zijn nooit gepubliceerd).

7.3.2 Lijmen

Tegenwoordig wordt er - in het kader van het innovatief denken - onder meer gedacht om bakstenen aan elkaar te lijmen. Dat wil zeggen dat zij niet aaneen worden gehecht met de gebruikelijke metselmortels op cement (en eventueel kalk-zand) basis, maar dat het aaneen hechten gebeurt met een dunne lijmlaag bestaande uit een cementgebonden materiaal dat waaraan een organisch bestanddeel is toegevoegd. Het lijmen van bakstenen zal ongetwijfeld tot een snellere uitvoering van het "metselwerk" leiden (mortels op de traditionele cement/kalk-zand basis vergen een minimum verhardingstijd; binnen deze tijd kan er niet onbepaald worden doorgemetseld). Behalve dat lijmen sneller hard worden, kunnen zij leiden tot een constantere en hogere kwaliteit, omdat respectievelijk de lijmen fabrieksmatige produkten zijn en omdat zij in het algemeen grotere trekkrachten kunnen opnemen dan mortels op cement/kalk-zand basis.

Voor het uiterlijk betekent het lijmen dat de bakstenen in een wand koud op en tegen elkaar lijken te liggen (de traditionele tussenruimte van ongeveer 10 mm is gereduceerd tot een fractie van deze waarde). Door het ontbreken van de traditionele voeg zullen bij dergelijke "metselwerken" een aantal van de traditionele mortelspecifieke duurzaamheidsproblemen niet kunnen ontstaan (bijv. uitbloei, uitspoeling door zure regen e.d.). De vraag is wel, welke nieuwe duurzaamheidsproblemen er kunnen optreden. Onderzoek naar de duurzaamheid van gelijmd metselwerk is tot nu toe niet uitgevoerd, althans in de geraadpleegde literatuur zijn hierover geen gegevens aangetroffen. In feite staat dit concept nog zodanig in de kinderschoenen dat er in zijn algemeenheid weinig onderzoek naar is gedaan.

7.4 Kennislacunes

Uit het voorgaande zijn de volgende kennislacunes met betrekking tot mogelijke nieuwe ontwikkelingen naar voren gekomen:

- In zijn algemeenheid is er zeer weinig bekend over de gebruiksmogelijkheden en duurzaamheidsaspecten van baksteen met vliegashoudend baggerslib en puingranulaat.
- Bij het zogenaamde doorstrieken is er de invloed van hulpstoffen die onduidelijk is, zie ook hoofdstuk 6 en het fenomeen van vorstschade aan metselmortels, zie hoofdstuk 5.
- Bij het lijmen van bakstenen is de duurzaamheid van de lijm een onbekende faktor

8 KENNISLACUNES

In de onderstaande tabel zijn de belangrijkste kennislacunes en tegenstrijdigheden uit de voorgaande hoofdstukken samengevat.

| Hoofdstuk | Kennislacunes | Tegenstrijdigheid |
|---|--|---|
| 2. VORSTSCHADE | 1) kwantificering vorstschade bevorderende factoren t.a.v. stenen | 1) invloed (na) isolatie op kans dat vorstschade optreedt bij stenen buitenblad |
| | 2) kwalificering en kwantificering vorstschade bevorderende factoren t.a.v. metselmortel | 2) invloed (na) isolatie op kans dat vorstschade optreedt bij metselmortel buitenblad |
| | 3) wijze van bepalen vorstbestandheid mortels | 3) betrouwbaarheid vriesproef volgens ASTM, TNO |
| | 4) toename van de kans op vorstschade t.g.v. hydrofoberen | |
| 3. ZOUTSCHADE | 1) invloed hulpstoffen op ontstaan uitbloei c.q. aantasting steen en/of mortel | |
| | 2) effectiviteit impregneren/hydrofoberen | |
| | 3) praktijksimulatieproef uitbloei | |
| <p>Hiernaast is geconstateerd dat ten aanzien van onoplosbare sulfaten NEN 2489 onvolledig is</p> | | |

| Hoofdstuk | Kennislacunes | Tegenstrijdigheid |
|---|--|-------------------|
| 4. ATMOSFERISCHE AANTASTING | 1) relatie atmosferische aantasting (steeds zuurder wordend milieu) en voegmortel (mortel- samenstelling) 2) invloed droge depositie op duurzaamheid steen en voegmortel 3) ontwikkelen geschikte beproevingmethoden | |
| 5. CORROSIE SPOUWANKERS | 1) omvang van het event. probleem 2) factoren van invloed op het corrosieproces 3) voorschriften over spouwanker-kwaliteit | |
| 6. BIOLOGISCHE AANTASTING | 1) invloed toename ammoniak en ammonium deposities | |
| 7. MOGELIJKE TOEKOMSTIGE ONTWIKKELINGEN | 1) gebruiksmogelijkheden en duurzaamheidsaspecten toevoeging vliegas, slib en puingranulaten aan baksteen 2) invloed hulpstoffen en vorstschade aan metselmortel bij doorstrijken 3) duurzaamheid lijm bij gelijmd metselwerk | |

9 VOORSTELLEN VOOR NADER ONDERZOEK EN ORGANISATIE

9.1 Inleiding

Voor een aantal van de in hoofdstuk 8 opgesomde kennislacunes en tegenstrijdigheden zijn in dit hoofdstuk de in overleg met de begeleidingscommissie geselecteerde onderzoeken aangegeven. Tevens is een voorstel gedaan ten aanzien van de organisatorische invulling met betrekking tot de verdere begeleiding van het onderzoek.

9.2 Voorstellen voor nader onderzoek

Onderscheid is gemaakt tussen onderzoek dat moet leiden tot het ontwikkelen van methodieken om de duurzaamheid van metselwerk te kunnen beoordelen (het opzetten van een duurzaamheidsmodel) - zie ad I - en onderzoek dat is gericht op het oplossen van op zichzelf staande vraagpunten, waardoor de gesignaleerde kennislacunes en tegenstrijdigheden kunnen worden opgelost, zie ad II.

- I) Onderzoek ten behoeve van het ontwikkelen van methodieken ter bepaling van de duurzaamheid van baksteenmetselwerk.

Er twee opties.

- A: Er wordt een duurzaamheidsmodel ontwikkeld waarin uitgaande van:

- a) materiaaleigenschappen (type en kwaliteit steen, samenstelling mortel etc.),
 - b) klimatologische omstandigheden (inclusief de microklimatologische die voortvloeien uit geveloriëntering en detaillering) en,
 - c) een aantal beproevingen (vorstbestandheid, zoutuitbloei etc.),
- een relatie wordt gelegd tussen de duurzaamheid, de materiaaleigenschappen en de klimatologische omstandigheden. Wanneer (een van de) materiaaleigenschappen of (een van de) klimatologische omstandigheden worden gewijzigd, wordt opnieuw vorstbestandheid, zoutuitbloei etc.) bepaald. De resultaten worden vergeleken met de oorspronkelijke duurzaamheid (in feite het referentiekader)

Op deze wijze kan (zonder dat kwantitatieve informatie beschikbaar komt) de invloed van het veranderen van (materiaal- en klimatologische) parameters op duurzaamheidsaspecten als vorstbestandheid, zoutuitbloei etc. worden bepaald.

- B: Er wordt een duurzaamheidsmodel ontwikkeld waarin de invloed van materiaal- en klimatologische parameters op de duurzaamheid wordt bepaald aan de hand van een (uitgebreid) laboratoriumonderzoek. In een vervolgfase zou moeten worden nagegaan of de in het laboratorium gevonden resultaten in de praktijk ook optreden. Wanneer bakstenen worden gemodificeerd of wijzigingen in klimatologische omstandigheden optreden is het mogelijk aan te geven wat dit betekent voor de duurzaamheid van het baksteen metselwerk.

Ter vergroting van het inzicht in de parameters die de duurzaamheid in sterke mate bepalen, zou gebruik kunnen worden gemaakt van de resultaten van een veldonderzoek waarin is nagegaan onder welke omstandigheden baksteenmetselwerk in de praktijk heeft bewezen duurzaam te zijn. De resultaten van een dergelijk veldonderzoek zouden eventueel tussentijds in een voorbeeldenboek kunnen worden gepubliceerd.

Op dit moment lijkt het ontwikkelen van een model waarbij ook de duurzaamheid van andere bouwmaterialen worden betrokken niet reëel.

II) Onderzoek ten behoeve van het oplossen van de volgende vraagpunten:

1. De duurzaamheid van metselwerk wanneer het metselwerk wordt geïmpregneerd of gehydrofobeerd.
2. De invloed van hulpstoffen in de metselmortel op de duurzaamheid van baksteenmetselwerk (met name ten aanzien van het aspect uitbloei).
3. Het vaststellen van de omvang van corrosie van spouwankers in Nederland en het bepalen van de voornaamste invloedsfactoren op het corrosieproces.
4. De invloed van de kwaliteit van de voeg op met name de vorstbestandheid van baksteenmetselwerk en hiermee samenhangend in hoeverre met het doorstrijken een positief effect wordt verkregen
5. Onderzoek naar de toepassing van metselwerkgranulaat/puinwasslib in baksteen ten aanzien van technische aspecten als sterkte, duurzaamheid en uitlooggedrag.

Onderzoek dat kan leiden tot het ontwikkelen van het duurzaamheidsmodel van metselwerk heeft, gezien de doelstelling van dit onderdeel van het BRIK-project, een eerste prioriteit.

9.3 Organisatie

Gezien het karakter van beide onderzoeken is het wenselijk twee begeleidingscommissies in te stellen.

In nader overleg met de commissie die onderdeel I gaat begeleiden dienen de voor- en nadelen van beide opties nader onderzocht te worden. Dit betekent dat in een betaalde verkennende fase door het uitvoerende instituut de (het) te ontwikkelen model(len) moet(en) worden opgezet en er in een proces van toetsing met de begeleidingscommissie bijstelling van het model plaatsvindt.

In overleg met de commissie die onderdeel II gaat begeleiden dienen de onderzoekvoorstellen nader te worden geformuleerd en dienen prioriteiten en planningen te worden aangegeven.

Koppeling van beide commissies dient via een stuurgroep plaats te vinden. Deze stuurgroep beoordeelt tevens op hoofdpunten de opzet van de onderzoeken en de resultaten en bepaalt op welke wijze de onderzoekresultaten worden gepubliceerd.

Het zou de voorkeur verdienen de werkzaamheden onder auspiciën van een van de collectieve onderzoeksinstituten (CUR, SBR etc.) uit te voeren.

De specifieke deskundigheid van de aan te trekken commissieleden dient te zijn afgestemd op de aard van het onderzoek.

Teneinde de resultaten van het onderzoek internationaal zo snel mogelijk bekendheid te kunnen geven en om ervaring vanuit het buitenland zo efficiënt mogelijk in het te starten onderzoek te kunnen gebruiken wordt, geadviseerd een aantal deskundigen uit het buitenland in de commissies op te nemen.

LITERATUUR

1. Klugt, L.J.A.R. v.d.
Problemen met baksteenmetselwerk: aanwezige kennis en nog uit te voeren onderzoek
IBBC-TNO, rapport B-86-247, april 1986
2. Klugt, L.J.A.R. v.d.
Mogelijke vorstschade-effecten aan muren en daken ten gevolge van isolerende spouwvullingen
IBBC-TNO, rapport BI-85-131/60.3.1245, 1985
3. Klugt, L.J.A.R. v.d.
Het Nederlandse klimaat met het oog op vorstschade, in het bijzonder in verband met spouwisolatie
IBBC-TNO, rapport B-81-1-306, juni 1981
4. Klugt, L.J.A.R. v.d.
Frostprüfverfahren mit einseitiger Befrostung
Ziegelindustrie International 2/89, p.92-98
5. Keulen, J. van
Vorstbestendigheid
Klei en Keramiek, augustus 1978, nr. 8, p181-195
6. Klugt, L.J.A.R. v.d.
Vorstschade aan de voeg- en metselmortel van (baksteen) metselwerk.
Samenvatting van de tot medio 1988 vergaande kennis
IBBC-TNO, notitie
7. Ritchie, T - J.I. Davidson
Moisture content and freeze- than cycles of masonry materials
Journal of Materials, vol. 4, no. 3, sept. 1968, p.658-671
8. Kung, J.H.
Frost-durability study on Canadian clay bricks
Durability of Building Materials, 5 (1987), p.103-132, Elsevier
9. Feldman, R.F.
Dependance of the durability of mortars on sand/cement ratio and micro silica (silica fume) addition
Durability of Building Materials, 5 (1987), p.103-143, Elsevier
10. Klugt, L.J.A.R. v.d.
Durgel (Durabilité par gel)
Een Belgisch-Nederlands onderzoek naar de betrouwbaarheid van een aantal vorstbestandheids- en steenachtige bouwmaterialen
IBBC-TNO rapport BI-86-25, april 1986
11. Muzzin, G.
Uitbloeiingen in baksteenmetselwerk
Bouwhandel nr. 2, 1983

12. Sulphate attack on brickwork
Building Research Station, Digest 89, January 1968
13. Brickwork: prevention of sulphate attack
BRE Defect Action Sheet (Design), DAS 113, January 1988
14. Arnold, A.
Salzminerale in Mauerwerken,
Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen 61, 1981,
p. 147-166
15. Allen, W.
Root causes of degradation
Design life of Buildings, Thomas Telford, London, 1985
16. Muzzin, G.
Schade aan gevelmetselwerk te wijten aan uitbloeiingen van het type V
WTCB-tijdschrift, nr. 1, maart 1983, p. 35-36
17. Zele, van
Loskomen van een waterwerende cementering door de inwerking van sulfaten
WTCB-tijdschrift, nr. 1, maart 1977
18. Rourke, J.
Selection of masonry for durability & appearance
Constructional Review, February 1986, p. 54-61
19. Binda, L. - Baronio, G.
Mechanisms of masonry decay due to salt crystallization
Durability of Building Materials, 4 (1987) p. 227-240, Elsevier
20. Isberner, A.
A test method for measuring the efflorescence potential of masonry mortars
ASTM STP 871, p-27-37, ASTM 1985
21. Harris, H.
A method to determine efflorescence and water permeance of masonry mortars
ASTP STP 871, p. 88-100, ASTM 1985
22. Grimm, C.
Durability of brick masonry: a review of the literature
23. Raths, C.
Brick masonry wall nonperformance causes
24. BS 3921: 1985
Clay Bricks
British Standards Institution
25. NBN 476
Geperforeerde of holle bakstenen van gebakken aarde voor gewoon metselwerk
Belgisch Instituut voor Normalisatie, 1960

- 26.Kramer, A. - Feenstra, J.F.
Schade aan natuursteen in Nederlandse monumenten
RDMZ/SDU uitgeverij
RV bijdrage 08
- 27.CUR-rapport 86-1
Reparatie en bescherming van beton
- 28.Dijkstra, G.
Risicobepaling voor materialen via meting aan een nat oppervlak met behulp van
het "Immission Rate Measuring Apparature"
Proceeding v/h symposium 's-Hertogenbosch 1983, p.187-189
Pudoc Wageningen, 1984
- 29.Dijkstra, G.
Risico's voor cultuurbezit bij verschillende energiemodellen
Proceedings v/h symposium 's-Hertogenbosch 1983, p.190-191
Pudoc Wageningen, 1984
- 30.Dijkstra, G.
Aangevreten bezit-effecten van 'zure regen' op materialen
Proceedings v/h symposium 's-Hertogenbosch 1983. p.94-99
Pudoc Wageningen, 1984
- 31.NEN 2489 "Metselbaksteen"
NNI
- 32.NEN 3835 "Metselmortels voor metselwerk van stenen of blokken van baksteen,
kalkzandsteen, beton en gasbeton.
NNI
- 33.Buist, W.
Onderhoud en reparatie van betonconstructies (IV)
Schademechanismen vorst- en dooizoutschade
Cement 1987, nr. 11, p.50-55
- 34.Schuit, P.K. v.d.
Hydrofobeermiddelen vroeger en nu
Bouwwereld 84, nr. 13, 1988, p.23-27
- 35.Klugt, L.J.A.R. v.d.
Impregneren; voorkomen en genezen
Notitie IBBC-TNO
- 36.Nägele, E.
Hydrobrobierung von Baustoffen - Theorie und Praxis
Bautenschutz und Bausanierung, 8 Jahrgang, nr. 4 1985, p.163-172
- 37.Wagneur, M.
Bescherming van metselwerk tegen uitbloeiingen voor het schilderen
WTCB-tijdschrift nr. 3-4, juli-december 1984, p.33-37

38. Procédes voor de behandeling van metselwerk tegen opstijgend vocht.
WTCB Technische voorlichting 162, 1985
39. Schuit, P.K. v.d.
Maatregelen tegen optrekkend vocht
PT Bouwtechniek 39 (1984), nr. 4, p. 25-33
40. Grimm, C.T.
Corrosion of steel in brick masonry
ASTM STP 871, ASTM 1985
41. De Veky, R.C.
Corrosion of steel wall ties; recognition, assessment and appropriate action
BRE Information Paper 28/79, oct. 1979
42. BS1243 Metal ties for cavity wall construction
BSI Handboek 3, Building
43. DIN 1053, Mauerwerk
November 1974
44. NEN 3880
Voorschriften beton 1974/1984
NNI
45. Betoniek deel 4/10
Verzinkte wapening
Nov/dec 1977
46. Freeman, I.L. - R.N. Butlin - J.H. Hunt
Timber framed housing - a technical appraisal
Building Research Establishment, 1983
47. BRE Digest 329, febr. 1988
Installing wall ties in existing construction
Building Research Establishment
48. Winkler, E.M.
Important agents of weathering for building and monumental stone
Engineering geology 1 (5), 1966, pp.381-400
49. Verhoef, L.G.W.
Soiling and cleaning of building facades
Rilem, Chapman and Hall, London 1988
50. Higgins, D.D.
Removal of stains and growths from concrete
Cement and concrete association, 1982
51. Trotet, G - P. Dupuy - F. Grossin
Sur un nuissance biologique provoquée par les cyanophyces
1st international symposium on the deterioration of building stones
11-16, sept. 1972

Les impremeries Reunies de Chambéry, Chambéry

52. Novotny, J. - R. Wasserbauer - Z. Zadak

Influence du facteur biologique sur la destruction des couvertures en
amiante-ciment des étalles

1st international symposium on the deterioration of building stones
11-16, sept. 1972

Les Impremeries Reunies de Chambéry, Chambéry

53. Kaltwasser, H

Destruction of concrete by nitrification

European Journal of applied microbiology, vol. 3, 1976, nr 3, p. 185-192

54. Perrichet, A

Developpement de microorganismes a la surface des betons et enduits

Materiaux et constructions, vol. 17, 1984, nr 98, pp 173-177

55. Schayk, A. van - E.H.C. Manders-Maanders

Kwaliteitsmeetsysteem voor bouwmaterialen als instrument voor
levensduurvoorspelling

Klei/Glas/Keramiek nr 2, 1989, p. 38-42

56. Perrichet, A

Biodeterioration study of facade materials with hydraulic binders

Proceedings of the summer meeting of the biodeterioration society

Summer 1987, pp 55-59, Editor: L.H.G. Morton

57. Chantereau, J

Corrosion bacterienne, bacteries de la corrosion

Technique et documentation, Paris 262 p.

58. Laanbroek, H.J.

Verwerking van steenachtige bouwmaterialen door nitrificerende bacterien ten
gevolge van verzurende depositie

Projectvoorstel Instituut voor oecologisch onderzoek, 7-10-1988

59. Snel, A. ,

Gebruik van vliegias, Bouwmaterialen uit bouwmaterialen, Bouwmaterialen uit
niet-bouwmaterialen

Bouwcentrum, mei 1980

60. NEN 2872: Steenachtige bouwmaterialen - bepaling van de vorstbestandheid door
eenzijdige bevroering in zoetwatermilieu

NNI

61. Klugt, L.J.A.R. v.d. - J. van Keulen

Vorstschade aan vormbakmetselstenen (viaduct te Leiderdorp)

IBBC-TNO rapport BI-71-42, 1971

62. Klugt, L.J.A.R. v.d.

Kwaliteitsvermindering van strengpersvormlingen

Klei, jan. 1967, p. 3-13

63. Gerard, R.- E. Dugniolle - R. Wattiez

Durabilite des maconnieres en briques lice a la compatibilite entre les mortier
et la brique

Biennale du 01.09.1983 au 31-08.1985 Convention Irsia 4268 du 15 decembre 1983

Centre scientifique et technique de la construction, Bruxelles

64. Wijck, J.H. van - P.C.J. Bloem

Metselbaksteen uit klei en vliegas (1)

Klei/Glas/Keramiek, nr. 5, 1989, p. 97-100

F:\users\p68217\rapbf\brkrapp.fw3

BIJLAGE 1

Overzicht van geïnterviewde personen

Nederland

- ir. C.H.J.M. van den Berk en G.T. Arts (a/t) *
Bisdom 's Hertogenbosch, afd. Bouwzaken
's Hertogenbosch
- ing. D. Swierstra (a)
IMAG
Wageningen
- F. van Grinsven (u)
IBC Bouwservice BV
Best
- A.A. van Daatselaar (t)
Architectenbureau ir. T. van Hoogevest BV
Amersfoort
- H. Niezen (t)
DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV
Amersfoort
- ing. P. Leenders (a)
Gemeentewerken Rotterdam (afd. ing.bureau constructie en ontwerp)
Rotterdam
- Th. van de Molen Kuipers (u)
Intervam BV
Rijswijk
- dr. H.J. Laanbroek (r)
Instituut voor Oecologisch Onderzoek
Heteren
- ir. F. Stibbe (f)
Vliegasunie
Nijmegen
- S.W. Roorda (f)
Enci
Maastricht
- ing. A. Brink en G. van de Aker (f)
Beatrix Betonmortelcentrale
Eindhoven
- P.A. de Roo (t)
Gemeente Delft, afd. Monumentenzorg
Delft

- I.L. van der Stoep (t)
Dienst ROVU, bureau Monumentenzorg
Utrecht
- ing. J.J. van der Lid (t)
Dienst ROVU, afdeling Onderhoud
Utrecht
- H. van Boxtel (a/t)
Bisdom Rotterdam, afd. Bouwzaken
Rotterdam

Buitenland

- dr. R. Oswald (a)
Aachener Institut für Bauschadenforschung und verwandte Baufysik
Aachen, Bundesrepublik Deutschland
- E. Kjaer (r)
KTL Kalk- og Teglvaerkslaboratoriet
Hasselager, Denemarken
- dr. T. Bravery (r)
Princes Risborough Laboratory
Building Research Establishment
England

* sector waarin werkzaam:

a = advies

f = fabrikant

r = research

t = toezicht

u = uitvoering