



**Restauratie voltooid,
kwaliteit gehaald ?**

***TNO-NVMz studiedag
3 december 2014, Delft***



Colofon: Nijland, T.G., red., 2014. Restauratie voltooid, kwaliteit gehaald ?
Syllabus TNO-NVMz studiedag, Delft, 3 december 2014. TNO, Delft. ISBN 978-90-5986-454-2

© Artikelen en foto's: auteurs, tenzij anders vermeld.

Kosten bespaard, waarden verloren ?

Achtergronden voor keuzes bij vervanging van tufsteen

Timo G. Nijland¹ & Rob P.J. van Hees^{1,2}

¹TNO, ²Faculteit Bouwkunde, TU Delft

Vulkanische tufsteen uit de Eifel is een van de belangrijkste in Nederland gebruikte natuursteensoorten. De steensoort is, weliswaar met grote hiaten, al sinds de Romeinse tijd in gebruik. Op verschillende plaatsen is nog origineel Middeleeuws werk aanwezig. Dat betekent niet dat de steen immuun is voor verwerking: *'Het merendeel van het materiaal dat aan de oudste kerken in Nederland is toegepast ... is Römer tufsteen. Geen van deze gebouwen heeft nog zijn oorspronkelijke maat. Römer tufsteen heeft als karakteristiek verweringsbeeld dat na 100 tot 150 jaar de oppervlaktehuid wordt afgestoten. De dikte van de schol die loskomt, varieert van 6 tot 8 mm. Een gebouw van 800 jaar oud is rondom 3 tot 5 cm kleiner geworden.'* aldus de schatting van Gerard Overeem in een advies uit 1999. Bij blokken die voldoende dik zijn, is dit geen groot probleem. Maar er zijn ook bouwdelen van andere afmetingen. De vraag of tufsteen bij restauraties al dan niet vervangen moet worden, blijkt de afgelopen jaren telkens weer een lastige. Niet zelden wordt de stelling betrokken dat de steen maar vast vervangen moet worden, omdat verondersteld wordt dat hij voor een volgende restauratie vergaan zou zijn. Het lijkt soms verleidelijk om vanwege steiger- en andere bouwplaatskosten de steen alvast te vervangen; dat daarmee (cultuurhistorische) waarden verloren kunnen gaan, wordt op de koop toe genomen. Maar als het antwoord dan *ja* luidt, dan duikt een al minstens even lastige vervolgvraag op: Waarmee ? Reden voor een korte beschouwing over de duurzaamheid van deze soort natuursteen, als achtergrond bij te maken keuzes.

Tufsteen

Het historisch gebruik, de herkomst en materiaaleigenschappen van tufsteen hebben de afgelopen jaren voldoende aandacht gehad om hier met een korte inleiding te volstaan (Nijland et al. 2005ab, 2007, 2012, Nijland & Van Hees 2006; fig. 1). Het gaat om vulkanische gesteenten uit de Eifel in Duitsland, waarin drie hoofdgroepen te onderscheiden zijn, te weten (Fig. 2):

- Römer tuf
- Weiberner tuf (incl. Hoheleie)
- Ettringer tuf (incl. Hasenstoppler)



Fig. 1. Enkele voorbeelden van het gebruik van tufsteen in Nederland. Linksboven: restant van de trap van de Romaanse Dom van Adelbold in Utrecht uit 1023 (2006); rechtsboven: detail van het raadhuis van Medemblik van A.J. Kropholler uit 1939 (2013); linksonder: de 11^e eeuwse toren van de St. Walfridus in Bedum (foto 2013); rechtsonder: de 15^e eeuwse toren van de St. Clemens in Steenwijk (2014).

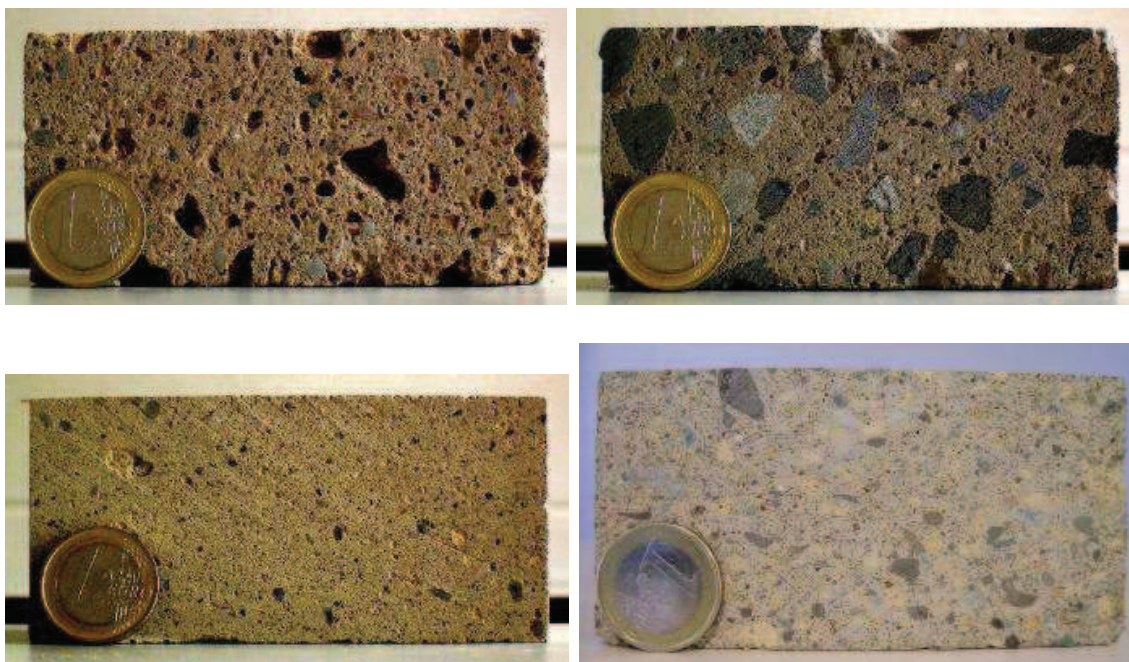


Fig. 2. De belangrijkste tufsteensoorten uit de Eifel. Linksboven: de klassieke Römer tuf; rechtsboven: Römer tuf met veel gesteenteinsluitels, zoals die de afgelopen decennia bij restauraties gebruikt is; linksonder: Weiberner tuf; rechtsonder: Ettringer tuf.

In alle gevallen zijn het gesteenten die gevormd zijn door uitgestoten vulkanische as, die eerst de lucht ingeblazen en vervolgens neergedwarreld is, te samen met een variabele hoeveelheid zwaardere gesteente- en lichtere puimsteenfragmenten. Onderlinge hoeveelheid van de componenten en dikte van de banken zijn mede bepaald door de energie van de vulkanische eruptie, de windrichting en -sterkte en de zwaartekracht. Inklinking zal eveneens verschillend geweest zijn, afhankelijk van korrelopbouw en dikte van het overliggende pakket. Dit levert een nogal variabele uitgangssituatie op, nog voordat het gesteente verkit is. Die verkitting is vervolgens gebeurd onder invloed van circulerend regen- en grondwater, waarbij het vulkanisch glas in de assen is omgezet in mineralen uit de zeolietgroep. De mate waarin is net als de uitgangssituatie variabel, afhankelijk van onder meer waar het water beschikbaar was, hoeveel en gedurende welke tijdsspanne. Bronnen van variatie op bronnen van variatie gesuperponeerd dus. Het resultaat is een relatief dicht maar toch nog redelijk sterk gesteente, dat zich makkelijk laat winnen, maar ook aanzienlijke spreiding laat zien in eigenschappen die van belang zijn voor de duurzaamheid van het materiaal, zoals porositeit, porieverdeling, wateropname en droging.

Schades aan tufsteen

In het Nederlandse klimaat laat tufsteen verschillende schades zien (terminologie cf. Naldini et al. 2006), zoals uitbloei, exfoliatie (laagvorming (meer dan een laag) in een materiaal met een oorspronkelijk niet gelaagde structuur; fig. 3), afspringen (loskomen van een relatief dikke (> 3 mm) laag van het materiaal; Eng.: *spalling*; fig. 4), afschilferen (loskomen van een dunne (< 3 mm) laag; Eng.: *scaling*), poederen en scheurvorming. Naast het veelvuldig optreden van

haarscheuren, is met name sprake van scheurvorming in platen en ornamenten met een relatief grote lengte / breedteverhouding. De scheurvorming in platen lijkt vooral een fenomeen dat optreedt bij Ettringer tuf (Fig. 5), maar dit is mogelijk een artefact van het gebruik. Het is met name deze tuf die in platen gebruikt is. Scheurvorming in ornamenten met een relatief grote lengte / breedteverhouding, zoals (blind)montants, treedt op bij zowel Ettringer als Weiberner tuf (Fig. 6).



Fig. 3 (links). Exfoliatie van Weiberner tuf direct boven het maaiveld aan de Oude Kerk in Oosterbeek (2002). Fig. 4 (rechts). Afspringen van 11^e eeuwse Römer tuf aan de Janskerk in Utrecht (2002).



Fig. 5. Scheurvorming in platen Ettringer tuf aan gebouw De Heuvel in Rotterdam (2006). De platen zijn bij de laatste restauratie vervangen door Muschelkalk.

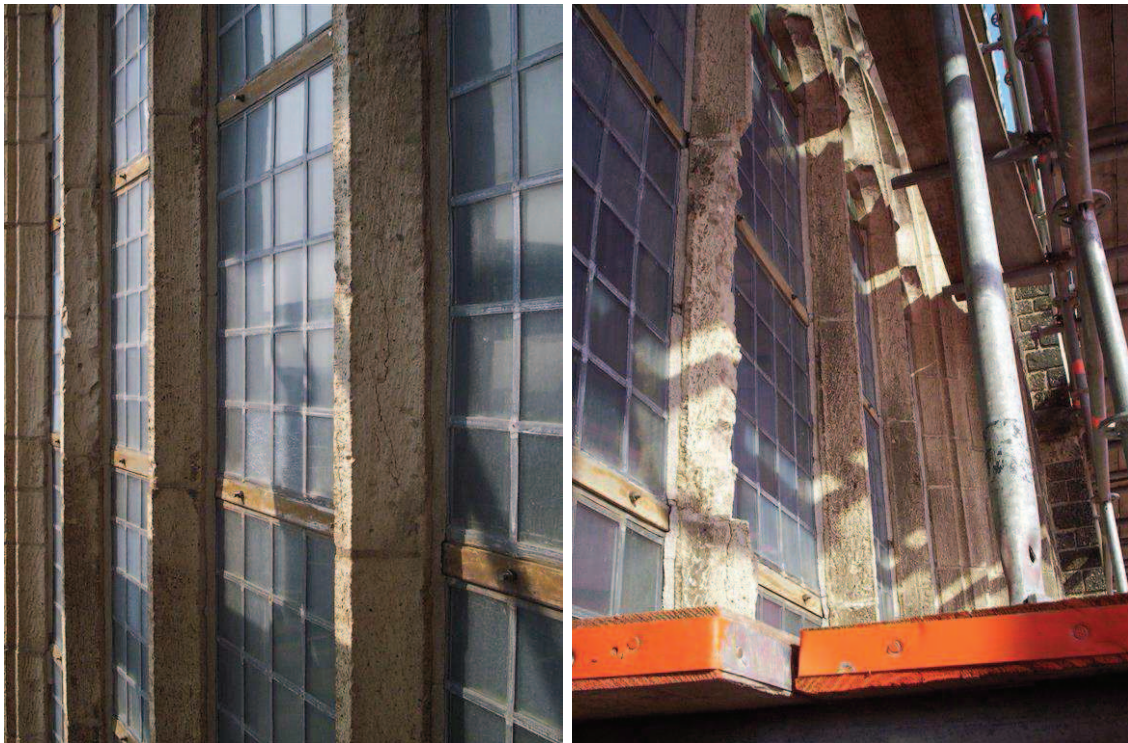


Fig. 6. Scheurvorming in Weiberner montants aan de Pieterskerk in Leiden voor de laatste restauratie (2005).

Naast deze vorming van scheuren die duidelijk ongewenst zijn, treedt soms een ander fenomeen op, dat hoewel er sprake is van een uitgebreid netwerk van craqueléscheuren, de tufsteen verder lijkt te beschermen. Soms vormt zich een harde, donkere korst, waarin zich het craquelé ontwikkelt (Fig. 7-9); dit lijkt vooral te gebeuren op Weiberner tuf.



Fig. 7. Voorbeelden van vorming van een harde, gecraqueleerde donkere korst op Weiberner tuf in de driepas van een pinakel van de St. Janskathedraal te 's-Hertogenbosch (2006).



Fig. 8. Voorbeelden van vorming van een harde, gecraqueleerde donkere korst op Weiberner tuf op een hogel op de luchtbogen van de St. Janskathedraal te 's-Hertogenbosch (2003).



Fig. 9. Voorbeelden van vorming van een harde, gecraqueleerde donkere korst op tuf aan de lantaarn van de toren van de Faculteit Bouwkunde van de TU Delft (2014).

Aantastingsmechanismen

De verklaring voor de vorming van de harde, donkere, gecraqueleerde korst is vooralsnog onduidelijk. Voor de andere vorming komen verschillende aantastingsmechanismen in aanmerking:

Zoutkristallisatie – Zowel in het laboratorium als in de praktijk blijkt dat met name Weiberner en Römer tufsteen gevoelig zijn voor aantasting door het oplossen en weer neerslaan van zouten. Römer laat in het laboratorium met

zowel NaCl als Na₂SO₄ schade zien (Fig. 10, 11). Ook in de praktijk treedt bij Römer tuf schade op bij belasting door dit zout (Fig. 12).

In het laboratorium laat Ettringer in dezelfde test niet eens witte uitbloei zien, en evenmin schade (Fig. 10, 11). Dit resultaat vraagt om enig voorbehoud. Het zou kunnen, dat de zouten zich achter het zichtvlak concentreren, en op langere termijn toch tot schade leiden. Waarnemingen in het veld lijken daar overigens niet op te duiden.

Weiberner tuf is tot nu toe in het laboratorium alleen met Na₂SO₄ beproefd en laat daar eveneens schade zien in de vorm van afdrukken van het zichtvlak en poederen (Nijland & Van Hees 2003). Ook in de praktijk laat deze tufsteensoort schade zien onder invloed van zouten (Fig. 13, 14).



Fig. 10. Ettringer (links) en Römer (rechts) tuf tijdens zoutkristallisatietest met Na₂SO₄ in het laboratorium na 4 weken (Brendle 2003).

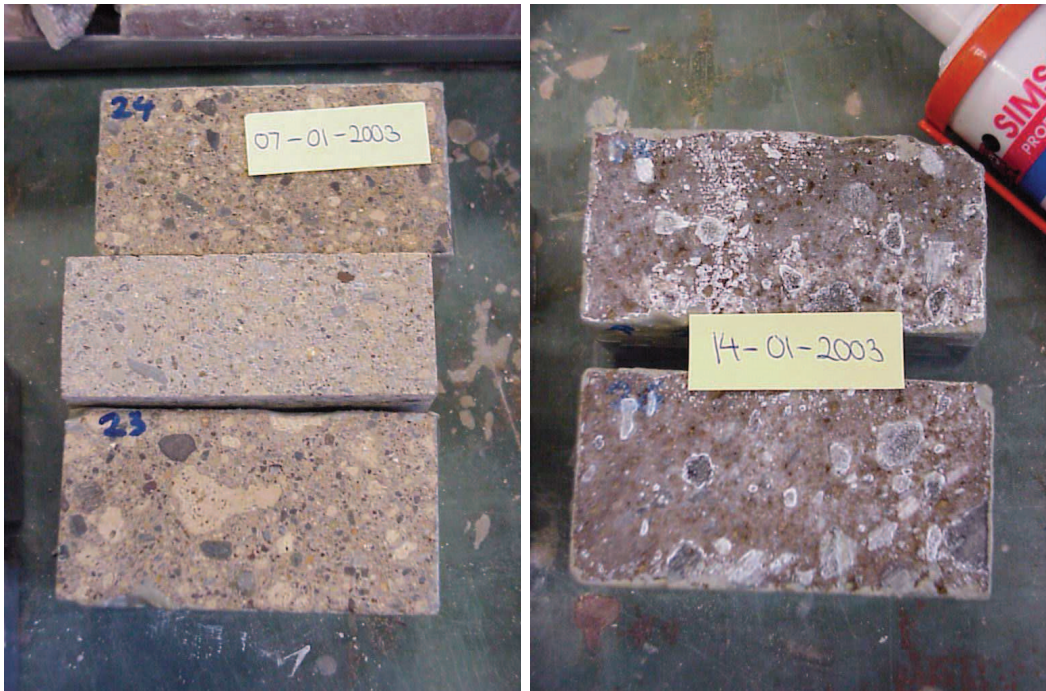


Fig. 11. Ettringer (links) en Römer (rechts) tuf tijdens zoutkristallisatietest met NaCl in het laboratorium na 6 weken (Brendle 2003).



Fig. 12. Aantasting van Römer tuf door Na_2SO_4 aan de Pieterkerk in Utrecht (2010) en de Lebuïnus in Deventer (2013); in het laatste geval is de aard van het zout aangetoond met XRD; in het eerste waarschijnlijk op basis van uitsluiting.



Fig. 13. Aantasting van Weiberner tuf door Na_2SO_4 aan een pinakel van de St. Janskathedraal te 's-Hertogenbosch (2002). De aard van het zout is aangetoond door XRD.



Fig. 14. Aantasting van Weiberner tuf aan St. Maria im Kapitol in Keulen (2009). Het type zout is onbekend.

Vorst-dooi – Het al dan niet optreden van schade door vorst-dooicycli wordt in de praktijk bepaald door een aantal factoren, zoals het aantal cycli, de vochtbelasting van de steen, de mate waarin deze kan drogen, en de porositeit, poriestructuur en waterretentie van de steen. TNO heeft door de jaren heen regelmatig de vorstbestandheid van Weiberner en Römer tuf beproefd. Dit is gebeurd door middel van de z.g. zandkistvriesproef cf. NEN 2872:1989. Figuur 15 laat een compilatie zien van de beproevingen waarbij ook de wateropname en dichtheid van de proefstukken bepaald zijn. De proefstukken zijn beproefd bij matige, hoge en extreme voorbevochtiging. Bij extreme voorbevochtiging laten zowel Weiberner als Römer typische vorstschade zien (Fig. 16). Voor wat de

Römer betreft, gaat het hier om de variant met de vele gesteenteinsluitels zoals die de afgelopen decennia gebruikt is bij restauraties. Beproeving van de 'klassieke' Römer heeft laten zien dat deze zelfs bij de extreme vochtbelasting vorstbestand kan zijn (Nijland & Van Hees 2003).

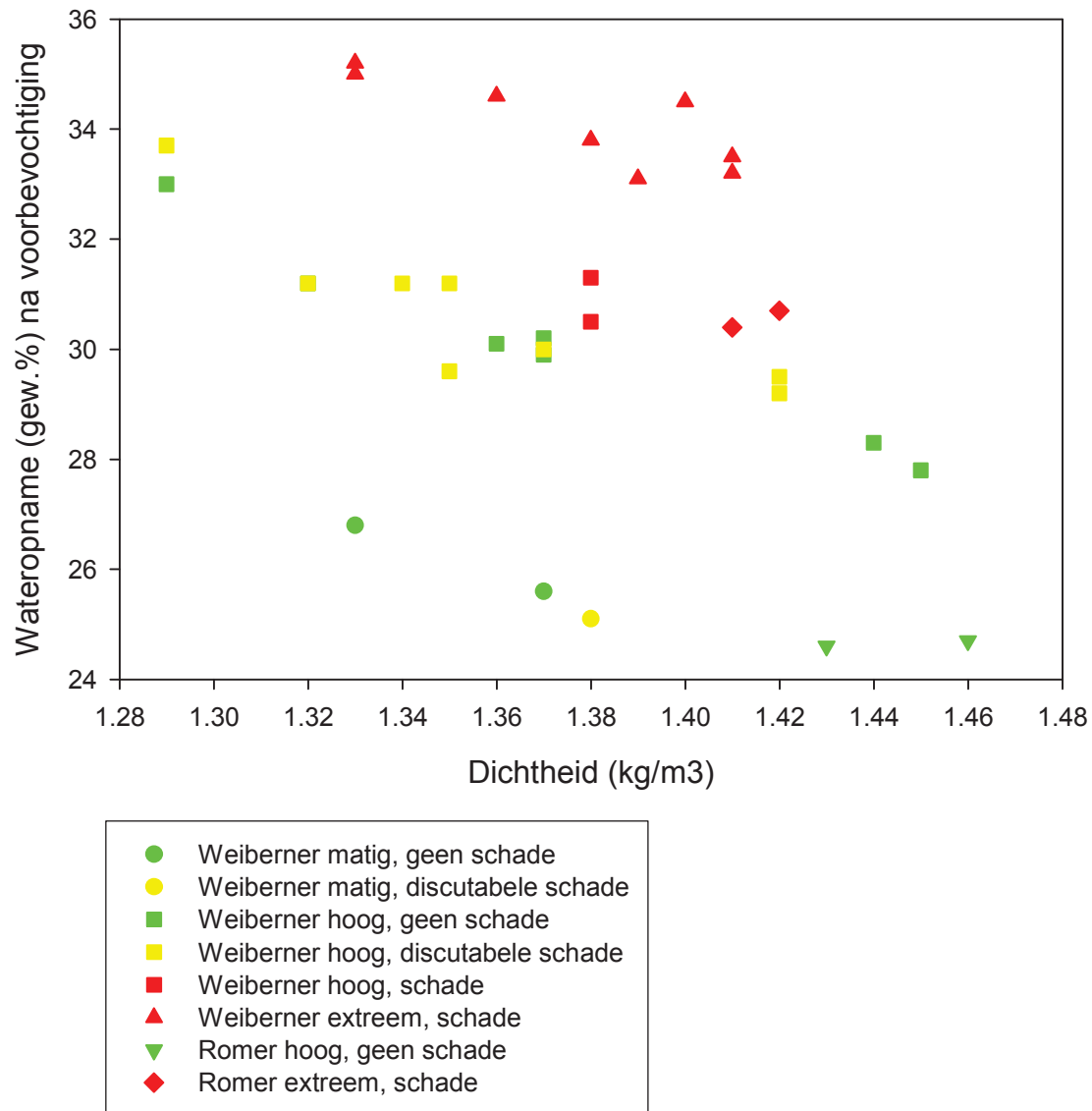


Fig. 15. Compilatie van TNO resultaten van de bepaling van de vorstbestandheid van tufsteen door middel van de z.g. zandkistvriesproef; voor nadere toelichting, zie tekst.

Bij hoge vochtbelasting laat de Römer geen schade zien; de Weiberner soms niet, en soms discutabele schade. Discutabel in de zin dat er overduidelijk geen sprake is van typische vorstschade, maar dat na de test bijvoorbeeld een zeer nauw verticaal haarscheurtje zichtbaar is. Voor matige vochtbelasting van Weiberner tuf geldt hetzelfde. Gelet de ervaring in de praktijk, wordt deze discutabele schade niet als vorstschade beschouwd. Het valt op dat er in figuur 15 een relatie lijkt te zijn tussen de verhouding van wateropname en dichtheid

enerzijds, en vorstbestandheid anderzijds. In het bijzonder Weiberner tuf heeft, bij een hoge porositeit, een relatief hoog gehalte aan fijne poriën (Nijland et al. 2005b). Het lijkt waarschijnlijk dat de verklaring hierin gezocht moet worden.

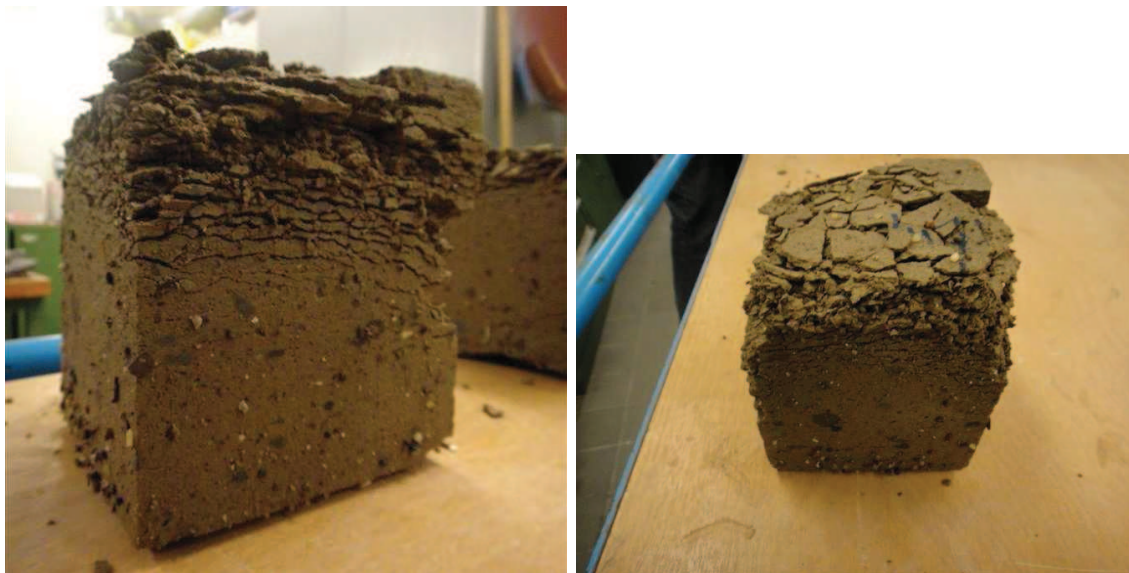


Fig. 16. Voorbeelden van typische vorstschade aan tufsteen, zoals die bij extreme voorbevochtiging optreedt.

Hygrisch-thermisch – Tufsteen heeft een aantal eigenschappen die hem onderscheiden van andere natuursteensoorten: de porositeit en daarmee wateropname zijn groot, maar doordat de steen een aanzienlijk aantal fijne poriën heeft, droogt de steen relatief langzaam. Te gelijker tijd is de hygrische uitzetting groot in vergelijking met andere bouwmaterialen (Nijland et al. 2005ab). Dit zou ten grondslag kunnen liggen aan de scheurvorming in tufsteenelementen met een relatief grote lengte / breedteverhouding in combinatie met uitsteken van dat element. Het volgende schademechanisme verondersteld kunnen worden: De tufsteen raakt (grotendeels) verzadigd en zet daardoor uit. Bij droging droogt het uitstekende deel harder, terwijl het ingekapselde deel van de traag drogende tufsteen nat blijft. Het uitstekende deel krimpt, het achterliggende deel blijft uitgezet. Dit resulteert in een schuifspanning nabij het grensvlak. Door herhaalde nat-droogcycli treden telkens uitzettings-krimpcycli op, waarbij uiteindelijk door vermoeiing in de zone waar de schuifspanning het grootst is, scheurvorming optreedt (Fig. 17). Een variant op deze hypothese is dat het ingekapselde deel droog blijft, maar het uitstekende deel onder invloed van nat-droogcycli telkens uitzet en krimpt, waardoor op vergelijkbare wijze een schuifspanning optreedt.

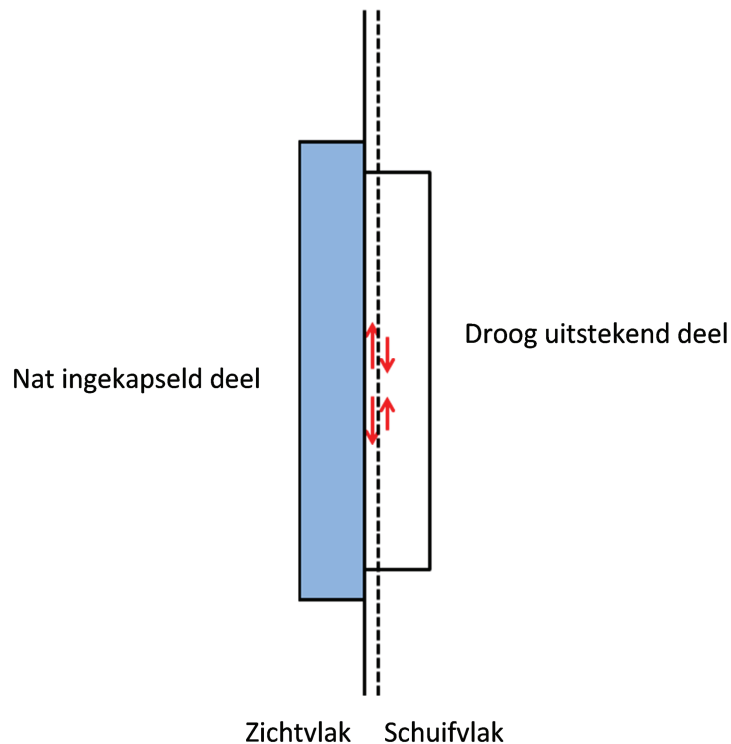


Fig. 17. Schematische weergave van de hypothese voor hygrisch-thermische scheurvorming in tufsteen.

Discussie en conclusie

Vulkanische tufsteen uit de Eifel is een van de belangrijkste in Nederland gebruikte natuursteensoorten. De steensoort is, weliswaar met grote hiaten, al sinds de Romeinse tijd in gebruik. Nederland kent nog verschillende voorbeelden van origineel vroeg Middeleeuws werk in deze steen. Toch doen zich herhaaldelijk problemen voor met de duurzaamheid, en is de keuze van al dan niet vervanging, en bij vervanging al dan niet opnieuw kiezen voor tufsteen vaak ingewikkeld. Dit komt mede door de variatie in samenstelling en eigenschappen die het gevolg is van de geologische ontstaanswijze van dit gesteente. Toch valt uit de combinatie van laboratoriumonderzoek en praktijkervaring wel een eerste handreiking te geven met betrekking tot de situaties waarvoor de steen wel of niet geschikt is:

- Römer en Weiberner tuf zijn gevoelig voor aantasting door zouten, en zullen in deze situaties langzaam verpoederen of hun zichtvlak zal afschilferen c.q. worden afgestoten. Bij Ettringer lijkt dit minder het geval te zijn.
- Römer en Weiberner tuf zijn vorstbestand bij hoge vochtbelasting; sommige lagen van de 'klassieke' Römer zelfs bij extreme vochtbelasting.
- Een relatief grote lengte / breedte verhouding, in combinatie met het deels uitsteken van een bouwdeel, is een mogelijke oorzaak van

scheurvorming; voor dergelijke toepassingen is de steen minder of wellicht niet geschikt.

Om beter zicht te krijgen op de aantasting en daarmee de (rest)levensduur van tufsteen, is het van belang inzicht te krijgen in een aantal vragen:

- Hoe ontstaat van de gecraqueleerde harde huid op sommige tufsteensoorten ?
- Is de hypothese van hygrisch-thermische aantasting als oorzaak van de scheurvorming in onderdelen met een relatief grote lengte / breedteverhouding juist ?
- Wat is de relatie tussen enerzijds porositeit, poriestructuur en anderzijds vorst-dooi of zoutaantasting van tufsteen ?
- Wat zijn geschikte keuringsparameters voor tufsteen ?

Beantwoording van deze vragen zou aanzienlijk bijdragen aan de instandhouding van het fraaie tufsteen erfgoed (Fig. 18, 19).



Fig. 18. Beeldhouwwerk van omstreeks 1200 in de Kumpfporte in Andernach (2009).



Fig. 19. Ettringer tufsteen beeldhouwwerk uit 1942 aan de in 1942 door J. Wils vernieuwde gevel van Schiedamse Vest 89 in Rotterdam (2010).

Referenties

- Brendle, S., 2003. Weathering of tuff stone. TNO rapport 2003-CI-R0044.
- Naldini, S., Hees, R.P.J. van & Nijland, T.G., 2006. Definitie van schade aan metselwerk. Praktijkboek Instandhouding Monumenten 28(19), 19 pp.
- NEN 2872:1989. Beproeving van steenachtige materialen. Bepaling van de vorstbestandheid. Eenzijdige bevroering in zoetwatermilieu. NEN, Delft,
- Nijland, T.G., Dubelaar, W., Tolboom, H.J. & Os, B. van, 2012. Veranderend aangezicht. In Tolboom, H.J., ed., Tolboom, H.J., red., Onvermoede weelde. Natuursteengebruik in Rotterdam 1850-1965. Matrijs, Utrecht, 60-127.
- Nijland, T.G., Dubelaar, W. & Tolboom, H.J., 2007. De historische bouwstenen van Utrecht. In: Dubelaar, W., Nijland, T.G. & Tolboom, H.J., red., Utrecht in steen. Historische bouwstenen in de binnenstad. Matrijs, Utrecht, 31-109.
- Nijland, T.G. & Hees, R.P.J. van, 2003. Beoordeling van Weiberner en Römer tufsteen ten behoeve van de restauratie van de St. Janskathedraal te 's-Hertogenbosch. TNO rapport 2003-CI-R0042.

- Nijland, T.G. & Hees, R.P.J. van, 2006. Use of Rhenish tuff in the Netherlands. ARKUS-Tagung Denkmalgestein Tuff, Koblenz. Institut für Steinkonservierung Bericht 22:7-18.
- Nijland, T.G., Hees, R.P.J. van, Brendle, S. & Haas, G.J.L.M. de, 2005a. Tufsteen. Deel 1: Gebruik, samenstelling en verwerking van tuf in Nederlandse monumenten. Praktijkboek Instandhouding Monumenten 21(14).
- Nijland, T.G., Hees, R.P.J. van, Brendle, S. & Goedeke, H.K., 2005b. Tufsteen. Deel 2: Invloed van vocht op de duurzaamheid van 'Rheinische' tuf. Praktijkboek Instandhouding Monumenten 21(15).
- Overeem, G.A., 1999. Ongepubliceerd advies van de Rijksdienst voor de Monumentenzorg, adviesnummer MTN.99-100, Pieterskerk, Leiden.