



REINIGEN EN RETOUCHEREN

DE RESTAURATIE VAN DE ZANDSTEENGEVELS VAN HET KONINKLIJK PALEIS AMSTERDAM

TIMO G. NIJLAND

Het Koninklijk Paleis Amsterdam heeft de grootste met zandsteen beklede gevel van Nederland. De zandsteen is altijd zichtbaar geweest, en nooit gepleisterd of geschilderd. Zo'n hoeveelheid zandsteen aan zo'n prominent gebouw bracht velen ertoe de eer te claimen dat hun land of regio de bron was. Zo beweerde het Ierse Department of External Affairs in haar *Irish Weekly Bulletin* in 1957 dat de zandsteen van de gevels afkomstig zou zijn uit het Ierse county Down¹, terwijl de bekende Britse reiziger James Boswell in de acht-

tiende eeuw stelde dat zijn voorouders vanuit Schotland de steen geleverd zouden hebben.² Bronnen uit de tijd van de bouw vermelden witte Bremer (dat wil zeggen Obernkirchner) en Bentheimer zandsteen³, zandsteen die we ook daadwerkelijk aantreffen.⁴ Onder meer aan de westgevel komen ook verschillende blokken voor die aanmerkelijk fijnkorreliger zijn dan reguliere Bentheimer, maar niet gelijken op Obernkirchner zandsteen. Veel van de zandsteen is grijs tot zwart verweerd, een ook buiten Amsterdam niet onbekend fenomeen gelet op de benaming *d'Olle Grieze* voor de Groninger Martinitoren. Het toenmalige Amsterdamse stadhuis was na driekwart eeuw al zwart verweerd, getuige de opmerking van de Zwitserse reiziger Albrecht von Haller: *'Es ist ganz von Stein, der ziemlich schwarz ist.'*⁵

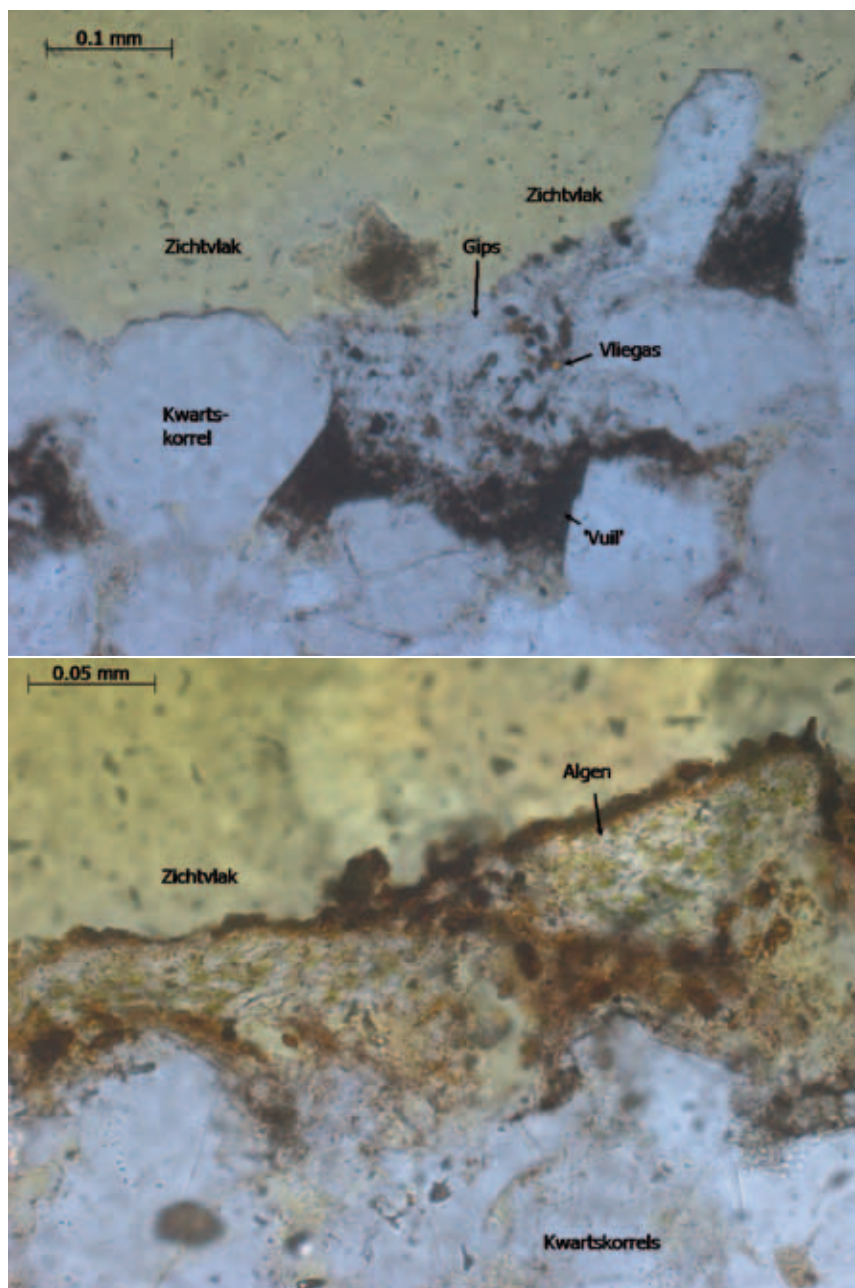
▲ 1. Vervaardigen van een proefstuk ten behoeve van het microscopisch onderzoek. Geprofileerd werk in Obernkirchner zandsteen wordt gereinigd door droog microstralen (foto Adviesburo De Vaal)

Deze grijs tot zwart verwerking is een eigenschap van veel soorten zandsteen.⁶ De zwart verwerking is lang afgedaan als patina der tijden. Patina heeft iets nobels in zich, iets dat vraagt om er van af te blijven. Tegelijk worden zwart verwerende zandsteen gevels door veel mensen als vervuild en verwaarloosd beleefd. De discussie hierover en de verschillende invalshoeken van waaruit deze gevoerd kan worden, werden een decennium geleden verwoord in het inmiddels in beperkte kring bekende memo van Bert van Bommel van het Atelier Rijksbouwmeester 'De vergrijsde (zandstenen) gevel'.⁷ De discussie over de wenselijkheid, geoorlooftheid en noodzakelijkheid omvat tal van (materiaal) technische, restauratie-filosofische en ethische aspecten. Ze werd echter lang gevoerd zonder dat echt onderzoek gedaan was naar de aard van deze zwart verwerking. Betrof het depositie van vuil? Ging het om uitloging of omzetting van de steen? Waren er resten van oude afwerklagen in het spel? Na enkele verkennende onderzoeken door Rijksgebouwendienst (Rgd) en de toenmalige Rijksdienst Oudheidkundig Bodemonderzoek (ROB)⁸ en door de toenmalige Rijks Geologische Dienst (RGD)⁹, werd in 2001 door de toenmalige Rijksdienst voor de Monumentenzorg (RDMZ) en de Rgd gezamenlijk aan TNO gevraagd om onderzoek te doen naar de aard en samenstelling van de zwarte verweringshuid op Bentheimer en Obernkirchner zandsteen.¹⁰

Beantwoording van de vraag wat de zandsteen zwart maakt, riep een volgende vraag op: is de zwarte zandsteen *schadevrij* te reinigen? Daarmee bleek het onderzoek naar de zwart verwerking van zandsteen achteraf het begin van een traject van onderzoeken dat een decennium later zijn bestemming vond in de namens de Rgd door de restauratiearchitect Krijn van den Ende geleide restauratie van de gevels van het Koninklijk Paleis Amsterdam in de periode 2009-2011.

ZWART VERWERING VAN ZANDSTEEN

Om inzicht te krijgen in de aard van de zwart verwerking is Bentheimer en Obernkirchner zandsteen van een reeks monumenten verspreid over het land bekeken, waaronder de St. Plechelmusbasiliek in Oldenzaal, de St. Janskathedraal in 's-Hertogenbosch, het Koninklijk Paleis Amsterdam, en de Nieuwe en Oude Kerk in Delft.¹¹ Met verschillende microscopische en chemische technieken is de samenstelling van de zwarte laag bepaald. Kort samengevat bleek de zwarte verweringslaag een complex samenspel van processen, waarbij de samenstelling kan variëren per monument en per deel van dat monument. De belangrijkste processen die bijdragen aan de zwarte verweringslagen zijn depositie van luchtgedragen deeltjes zoals vliegassen, deels vastlegging daarvan door gips, biokolonisatie door schimmels en algen en oplossings- en neerslagprocessen in de steen zoals uitloging van ijzer (afb. 2). Daarnaast zijn er zware metalen (lood, zink) in



2. De zwarte verweringslaag op zandsteen kan verschillende componenten bevatten. De variatie per bouwdeel en object kan aanzienlijk zijn. Deze foto's zijn genomen met een microscoop, waarbij het licht door een dunne doorsnede van de zandsteen valt. Ze laten de zandsteen zien, loodrecht op het zichtvlak en de zwarte verweringslaag. De monsters zijn ingebed in een gele hars. De zandkorrels zijn zichtbaar als grote heldere korrels. De microfoto boven toont vliegassen en andere lucht gedragen deeltjes die worden gefixeerd door gips in een holte aan het oppervlak van een blok Bentheimer zandsteen van de St. Janskathedraal te 's-Hertogenbosch. De microfoto onder laat algen zien op het oppervlak van een blok Obernkirchner zandsteen uit de collectie van de RCE, afkomstig van een onbekend monument (foto's Timo G. Nijland)

lage concentraties aanwezig, soms als zouten, soms ook als metallische deeltjes. Ze kunnen afkomstig zijn uit verschillende bronnen zoals loden voegen, benzine, afwerklagen, en dergelijke.¹²

REINIGING VAN ZWART VERKLEURDE ZANDSTEEN

De discussie of componenten als afgezet vuil of micro-organismen verwijderd mogen worden, mits dit schadevrij gebeurt, en of dit gewenst is, valt buiten het bestek van dit artikel. De vraag of zwart verweerde Bentheimer en Obernkirchener schadevrij te reinigen zou zijn, was met het onderzoek naar de samenstelling van de zwarte verweringslaag niet beantwoord. Vooral binnen de Rgd bestond die vraag wel. Mede met het oog op een mogelijke interventie bij het Koninklijk Paleis Amsterdam is daarom in opdracht van de Rgd door TNO onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om zandsteen schadevrij te reinigen. Die schade kan tweerlei zijn: direct of indirect.¹³ Directe schade is schade die onmiddellijk tijdens of vlak na de reiniging ontstaat en zich uit in materiaalverlies, zoals het verdwijnen van de ruggen van een frijnslag of het ontstaan van impactkratertjes, het verlies aan samenhang (bijvoorbeeld bij gebruik van chemicaliën) of verkleuringen. Indirecte schade is schade die met de tijd ontstaat, bijvoorbeeld door het achterblijven van bestanddelen uit chemische reinigingsmiddelen of doordat het hygrisch gedrag van materiaal en/of gevel nadelig wordt beïnvloed.

Na een 'state-of-the-art' studie om in aanmerking komende reinigingsmethoden te identificeren¹⁴, zijn proefvlakken gemaakt met een aantal geselecteerde reinigingsmethoden. Boorkernen hieruit zijn microscopisch onderzocht op directe schade. Om inzicht te krijgen in de indirecte schade is het effect op wateropname en droging geëvalueerd.¹⁵ Om te zorgen dat de proefvlakken de te verwachten praktijk zo goed mogelijk benaderen, is het maken daarvan uitgevoerd door verschillende reinigingsbedrijven. Ter reflectie van de resultaten en de interpretatie daarvan, is een begeleidingscommissie gevormd met monumenten- en natuursteenexperts van de RDMZ en Rgd en enkele onderzoekers uit andere Europese landen. De vier geselecteerde reinigingsmethoden waren een reinigingspasta op basis van EDTA¹⁶, wervelstralen met respectievelijk bims en aluminiumsilicaatglas als straal-middel, en laserreinigen (afb.3).¹⁷ Het bleek dat de EDTA-pasta weliswaar niet resulteerde in schade, maar ook amper een reinigend effect had. Wervelreinigen had in beide gevallen een beperkt reinigend effect, maar leidde ook tot schade. Laserreiniging resulteerde in een schonere zandsteen, zonder directe schade, maar wel in mogelijke verkleuring van de zandsteen. Wat indirecte schade betreft, door eventuele verandering in het hygrisch gedrag, bleek dat bij Bentheimer zandsteen alle technieken resulteerden in snellere initiële wateropname, terwijl de droging niet beïnvloed



3. Bij het eerste onderzoek naar de mogelijkheden om zandsteen schadevrij te reinigen zijn proefvlakken gemaakt met verschillende reinigingstechnieken. Uit deze proefvlakken zijn kernen geboord voor onderzoek in het laboratorium. De linker kolom toont Bentheimer, de rechter Obernkirchener zandsteen. Van boven naar beneden zijn achtereenvolgens te zien: de niet gereinigde referentie, reiniging met EDTA-pasta, wervelreinigen met bims, wervelreinigen met aluminiumsilicaatglas, en reiniging met laser (foto Timo G. Nijland)

werd. De snellere wateropname is vergelijkbaar met verse, niet vervuilde steen. Bij Obernkirchener zandsteen bleek er geen invloed op wateropname of droging te zijn.

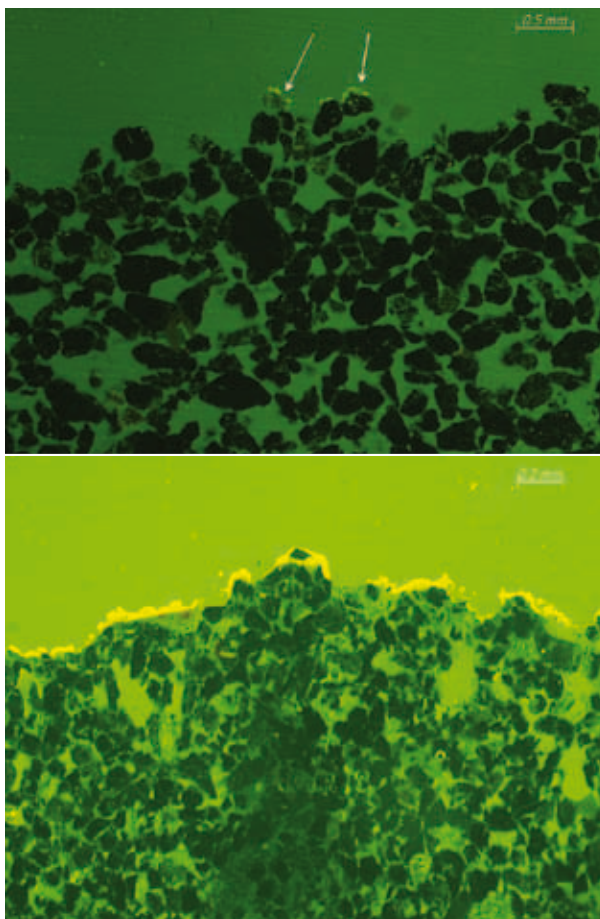
In dezelfde periode waarin het voorgenoemde onderzoek plaats vond, zijn er elders in Nederland enkele zandsteen gevels gereinigd of proefvlakken daartoe gemaakt. De met Rakowicze zandsteen beklede gevels van het stadhuis van Rotterdam bijvoorbeeld zijn gereinigd, deels met alleen laser, deels met laser in combinatie met droog microstralen.¹⁸ Op de met Obernkirchener zandsteen beklede gevel van architect F.L. Gunckel aan het gebouw van de Tweede Kamer in Den Haag zijn proefvlakken gemaakt. Hier is eveneens gebruik gemaakt van een EDTA-pasta, laser en laser in combinatie met droog microstralen. Er zijn proefvlakken gemaakt met verschillende lasers, om inzicht te krijgen in eventuele kleureffecten.¹⁹ Tenslotte zijn de

Bentheimer speklagen van Oude Singel 72 in Leiden met laser gereinigd.²⁰

Hoewel laserreinigen als mogelijke optie overbleef, is uiteindelijk geen van de onderzochte methoden daadwerkelijk toegepast bij de restauratie van de gevels van het paleis in Amsterdam. Met de in de voorliggende periode verworven kennis is er bij de voorbereiding van deze restauratie, gelet op de wens om de leesbaarheid van de architectuur te vergroten door storende verschillen in toon weg te nemen, opnieuw nagedacht over geschikte reinigingsmethoden.²¹ Laser was een reinigingsmethode die geen directe schade opleverde, maar wel een (vooralsnog niet begrepen) kleureffect kende. Het kleureffect was per lasertype en uitvoering elders consistent gebleken in die zin dat er geen verschillende verkleuring optrad voor verschillende blokken in die gevel. Door het maken van een proefvlak was het effect dus te voorspellen. De techniek heeft echter een nadeel: het relatief gering aantal vierkante meters dat per dag gereinigd kan worden. Een techniek die elders in combinatie met laser was toegepast, en daar niet tot schade had geleid, was droog microstralen (afb.1). Daarom werd besloten deze reinigingstechniek nader te onderzoeken.²²

De beoordelingsprocedure werd als volgt ingericht. Eerst zijn twee monsters zwart verkleurde zandsteen geselecteerd, Bentheimer en Obernkirchener.²³ Deze proefstukken representeren gefrijnd parementswerk. De proefstukken zijn gekwarteerd, waarbij één deel niet gereinigd is om als referentie te dienen. Een ander deelmonster is gereinigd. De twee andere deelmonsters zijn gebruikt voor beoordeling van het effect van reinigen op opschriften. Binnen de door de Rgd ingestelde Begeleidingscommissie Gevel & Dak Koninklijk Paleis Amsterdam rees de vraag of het effect van droog microstralen op geprofileerd werk hetzelfde zou zijn als bij gefrijnd parementswerk. Daarom zijn twee proefstukken geprofileerd werk, te vervangen con-

4. Directe schade door reiniging uit zich onder meer door materiaalverlies. Dat kan macroscopisch zijn, maar ook microscopisch. De microfoto toont een voorbeeld van het tegendeel. Reeds aanwezige schade aan geprofileerde Obernkirchener zandsteen, een loszittende schilfer, is na reiniging nog steeds aanwezig (foto Timo G. Nijland)



5. Het eventuele effect van reinigen van de opschriften op de zandsteen vergde aparte aandacht. Met gewoon licht bleken de hematietdeeltjes van de 'bloedstift' niet te onderscheiden van materiaal in de zwarte verweringslaag. Onder uv-licht is dat wel het geval; de ijzeroxidedeeltjes lichten duidelijk op. De beide microfoto's laten een in het laboratorium aangebracht opschrift zien na reiniging op Bentheimer (boven) en Obernkirchener (onder) zandsteen (foto's Timo G. Nijland)

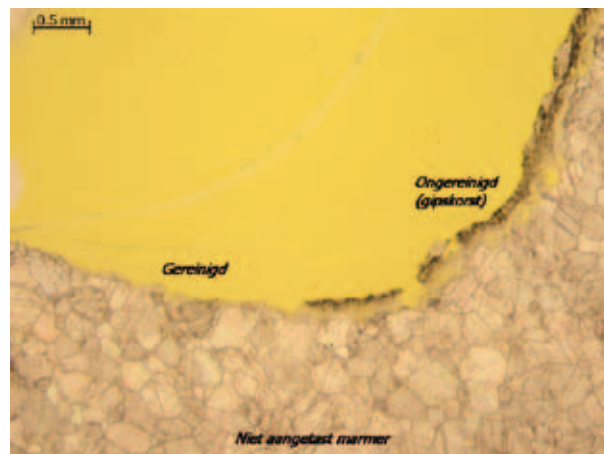
soles van het paleis, toegevoegd, wederom Bentheimer en Obernkirchener. De gereinigde monsters zijn microscopisch onderzocht, in vergelijking met de referenties. Na droog microstralen was het oppervlak van zowel parement als geprofileerde Bentheimer en Obernkirchener schoner, maar de microstructuur vergelijkbaar met die van de ongereinigde steen, zonder aanwijzingen voor directe schade in termen van materiaalverlies, impactkratertjes in het oppervlak, en dergelijke. Het bleek ook dat reeds loszittende delen van het geprofileerde werk (zogenaamde *scaling*), na reiniging nog intact in situ aanwezig waren (afb.4).

SPECIFIEKE AANDACHT VOOR DE OPSCHRIFTEN

Een bijzonderheid van de zandsteen gevels van het Koninklijk Paleis Amsterdam is het veelvuldig voorkomen van opschriften met zogenaamde 'bloedstift' (hematiet), niet alleen de van de straat af zichtbare opschriften onder de frontons, maar ook talrijke kleinere. Dit vroeg om extra aandacht. Immers, zou bij het verwijderen van vuil niet ook een mogelijk opschrift



6. Het effect van reiniging op Carrara marmer is onderzocht op een in het verleden verwijderde putto. Grote delen van het marmer zijn bedekt met een zwarte gipskorst. Twee rechthoekige vakjes op het midden van de foto zijn van de gipskorst ontdaan door droog microstralen (foto Timo G. Nijland)



7. Microfoto van Carrara marmer uit een van de proefvlakjes in afbeelding 6. Het linker deel is gereinigd door droog microstralen; het rechter deel is niet gereinigd en toont de dubbele gipskorst, met in de buitenste opgenomen vuil waardoor de korst macroscopisch zwart oogt. De structuur van het oppervlak van het gezonde marmer onder de gipskorst en aan het gereinigde oppervlak is identiek (foto Timo G. Nijland)

verwijderd worden? Daarom is van twee deelmonsters het verse zaagvlak gefrijnd en vervolgens met bloedstift van een opschrift voorzien. Vervolgens zijn de proefstukken voorzien van een kunstmatig patina²⁴ om een lagen systeem van vuil / patina – opschrift – ondergrond te simuleren en te bezien of bij het reinigen wel het patina maar niet het opschrift verwijderd zou worden. Van deze twee proefstukken is één gereinigd en één als referentie gebruikt.

De beoordeling van het effect van droog microstralen op de proefstukken met een opschrift bleek complex. In vergelijking met de referentie was bij zowel Bentheimer als Obernkirchener zandsteen de microstructuur van de steen hetzelfde. Echter, zowel het vuil als de hematiet van de bloedstift is bij doorvallend licht opaak, dat wil zeggen niet licht doorlatend; daardoor lijken ze beide zwart en is geen onderscheid te maken. De oplossing hiervoor bleek uv-fluorescentie, waarbij het ijzeroxide hematiet duidelijk 'oplicht'. Door de open structuur van de Bentheimer zandsteen bleek dat de hematiet van de bloedstift in de dunne doorsnede van de slijpplaat slechts op zeer weinig zandkorrels aanwezig was (afb. 5). Dit gold zowel voor de referentie als voor het gereinigde proefstuk. Op de korrels waarop de hematiet in dat laatste aanwezig was, was deze ononderbroken, dat wil zeggen er waren geen impactkraterijtjes in de laag aanwezig. De geringe hoeveelheid zandkorrels met hematiet op hun buitenoppervlak in de referentie en het gereinigde proefstuk betekende echter dat geen uitspraak gedaan kon worden over het al dan niet verwijderen van hematiet (en dus eventuele aantasting van de opschriften) tijdens de reiniging.

Door de fijnere korrelgrootte en natuurlijke opvulling van de poriën in de Obernkirchener zandsteen was zowel in het niet gereinigde proefstuk als in het

gereinigde proefstuk een zich over meerdere zandkorrels uitstrekkende, af en toe onderbroken, laag van hematiet zichtbaar op het oppervlak. De aard en omvang van de onderbrekingen in deze laag was microscopisch op beide proefstukken vergelijkbaar. Niet vastgesteld kon worden in hoeverre de randen van de onderbrekingen in de laag hematiet in het gereinigde proefstuk zich op hun oorspronkelijke positie bevonden (met andere woorden of de onderbrekingen in die laag door reiniging al dan niet groter geworden waren). Uiteindelijk is besloten de opschriften niet te reinigen, vanwege deze onzekerheden.

REINIGEN VAN MARMER VAN HET TIMPAAN

De ooit licht gekleurde zandsteen gevels van het paleis worden aan de oost- en westzijde bekroond door een timpaan in wit Carrara marmer met vergulde bronzen attributen. Niet alleen het verguldsel was verdwenen en een deel van het marmer in het verleden vervangen door zandsteen en mortelreparaties, maar ook het marmer zelf was vuil geworden. De vraag rees of het marmer eveneens schadevrij te reinigen zou zijn door middel van droog microstralen.²⁵ Schadevrij werd op dit punt geïnterpreteerd als verwijdering van de gipskorst met daarin ingevangen vuil – tenslotte spoelt deze op de beregende delen ook van nature af – en niet aantasten van het onderliggende marmer. Dit is op vergelijkbare wijze onderzocht als de reiniging van zandsteen, waarbij een in de jaren dertig van de vorige eeuw verwijderde putto is gebruikt voor de proeven (afb. 6). Het bleek dat de gipskorst op het marmer uit twee lagen bestond, een dichte toplaag met daarin het vuil en daaronder een open laag met lamellaire gipskristallen. Met droog microstralen werden deze beide lagen verwijderd, terwijl de 'gerafelde' marmer ondergrond onaangetast bleef (afb. 7).

RETOUCHEREN VAN ZANDSTEEN

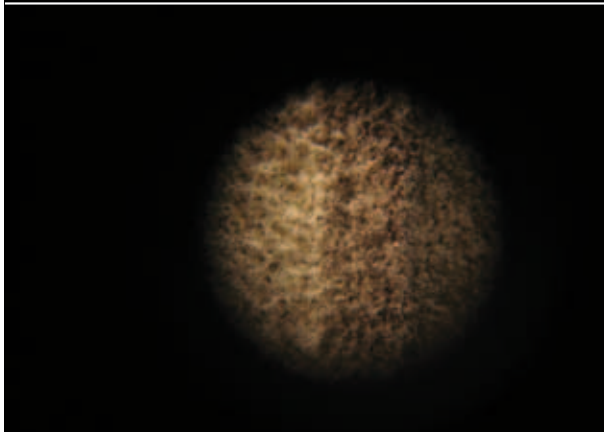
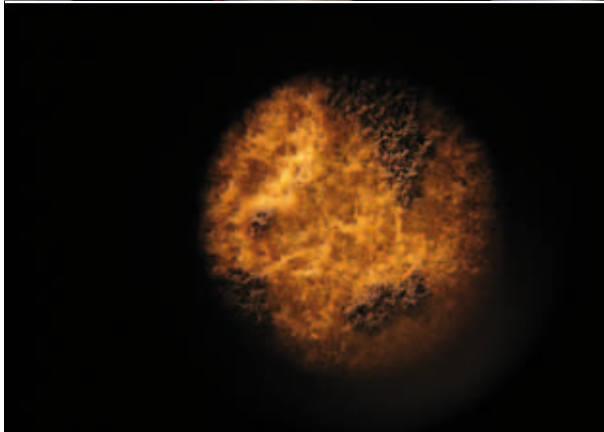
Behalve lokaal reinigen, bestond ook de wens om lokaal blokken te retoucheren: lichte blokken in een donkere omgeving in donkere tint, na reiniging nog donkere blokken in een lichte omgeving in een lichte kleurstelling.²⁶ In eerste instantie was voorzien deze blokken te retoucheren door het vernevelen van aerosilicaat. Om inzicht te krijgen in de lange termijn effecten daarvan op zandsteen, is een visuele inspectie uitgevoerd van verschillende in het verleden op deze wijze behandelde gevels.²⁷ In tweede instantie kwam een andere techniek in beeld, het handmatig aanbrengen van pigment ('krijt') en vervolgens fixeren daarvan met een kiezelzure ester.²⁸ Deze techniek is in principe re-

versibel. Het kunstmatig patina kan door bijvoorbeeld droog microstralen weer verwijderd worden, zoals ook gebleken is bij het onderzoek naar het eventueel reinigen van de opschriften. Er bestond in Nederland echter geen of amper ervaring mee, zodat de effecten op langere termijn onduidelijk waren. Evenmin was duidelijk in hoeverre het kunstmatig patina duurzaam zou zijn. Daarom werden indringingsdiepte, effect op het hygrisch gedrag van de zandsteen en de duurzaamheid nader onderzocht.²⁹

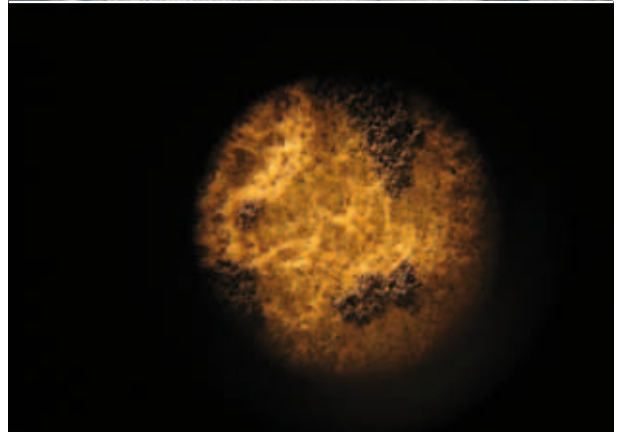
De indringingsdiepte bleek minimaal: pigment en fixeermiddel zijn alleen op het oppervlak aanwezig. Er ontstond geen afgesloten laag. Het bleek dat de retouche de initiële wateropname reduceerde, maar de dro-

8. Na het laboratoriumonderzoek heeft een pilot plaatsgevonden, waarbij op de toren van het Koninklijk Paleis Amsterdam proefvlakken zijn gemaakt met zowel droog microstralen als laser. De foto's tonen de situatie voor (links) en na (rechts) de pilot (foto's Timo G. Nijland)





9. Effect van reinigen in de praktijk op macroscopische en microscopische schaal. De foto linksboven toont een regel van de balustrade. Deze is, met uitzondering van het zwarte rechter deel, eerst gereinigd door droog microstralen; vervolgens is het middelste deel ook gereinigd met laser. De foto rechtsboven laat een blok zien na reiniging met op het rechter deel van de foto een niet gereinigde strook die als referentie gehandhaafd is. De middelste foto's zijn in het werk gemaakt met een camera met een microscoop lens. Ze tonen een microscopisch detail van een baluster, waarop sprake was van het afschilferen van de zandsteen. De foto's tonen de situatie voor (links) en na (rechts) droog microstralen. De losse zwarte schilfers zijn nog steeds aanwezig en niet in omvang afgenomen. De laatste foto is ook een in situ microscopische foto. Hierop is de overgang te zien tussen wel en niet gereinigde steen in het blok op de foto rechtsboven; de microstructuur is identiek (foto's Timo G. Nijland)



ging niet negatief beïnvloedde.³⁰ Daarom mag verwacht worden dat de behandeling niet zal leiden tot aantasting van de zandsteen. De veroudering van de retouche is gesimuleerd met behulp van een zure regenproef.³¹ In de proef trad geen vervaging van de kleur of zichtbare uitspoeling van het krijt op, zodat verwacht mag worden dat de retouche niet meteen weer afspoelt.

OPSCHALEN: PILOTS IN DE PRAKTIJK

Nadat laboratoriumonderzoek had aangetoond dat droog microstralen en laser in aanmerking kwamen als reinigingsmethoden voor zandsteen en het retoucheren volgens de boven beschreven methode eveneens, bestond behoefte deze technieken op kleine schaal in de praktijk te beproeven. Daartoe werd een pilot ondernomen. Deze pilot is uitgevoerd op de westzijde van de toren van het Koninklijk Paleis Amsterdam (afb.8).³² De pilot bestond uit drie stappen, die elk apart beoordeeld zijn: reinigen door droog microstralen, aanvullend reinigen door middel van laser, en retoucheren.

De gemaakte proefvlakken zijn beoordeeld door de Pilot-commissie Restauratie Gevels KPA van de Rgd. Dit was een voorwaarde in de monumentenvergunning. Ten behoeve daarvan zijn de reinigingsproefvlakken door TNO in situ beoordeeld op het optreden van directe schade.³³ Zowel na het droog microstralen als na het vervolgens laserreinigen werd geen schade

geconstateerd. Na beide handelingen waren geen verse breukvlakjes ontstaan of holtes waaruit zandkorrels waren verdwenen. Voor de reiniging reeds losse delen (ten gevolge van *scaling* en dergelijke) waren nog steeds intact aanwezig. Op de overgang tussen wel en niet gereinigde steen, bleef de microstructuur hetzelfde (afb.9). Op sommige oppervlakken was de zandsteen wat opener door verwijderen van het vuil.

LAATSTE BEHANDELINGEN: EVALUATIE ANTI-GRAFFITISYSTEMEN

Als laatste in de reeks oppervlaktebehandelingen rees de vraag naar een geschikt antigraffitistelsysteem voor de lagere gedeelten van de gevel. Antigraffitistelsystemen zijn traditioneel in drie types in te delen: permanente, semipermanente en zelfopofferende systemen, waarvan de laatste, reversibel als ze inherent zijn, in de monumentenzorg vaak de voorkeur genieten.³⁴ De laatste jaren zijn verschillende nieuwe 'nanogebaseerde' systemen op de markt verschenen. Dit gaf reden om antigraffitistelsystemen op zandsteen opnieuw te beschouwen. Er is een onderzoek uitgevoerd naar representatieve producten uit alle vier categorieën.³⁵ Gekeken is naar effecten op uiterlijk, wateropname, droging en vorstbestandheid en de effectiviteit waarmee (herhaald) aangebrachte graffiti verwijderd kon worden. Er zijn donkere en lichte toon geretoucheerde proefstukken gebruikt om de visuele effecten goed te kunnen beoordelen. Aangezien de effecten soms afhangen van de vochtigheid van de ondergrond tijdens het aanbrengen van het antigraffitistelsysteem, zijn zowel vochtige als droge proefstukken gebruikt. Het onderzoek is uitgevoerd op eerst gereinigde en geretoucheerde Obernkirchner zandsteen, waarna enkele aspecten geverifieerd zijn voor Bentheimer zandsteen.

Het bleek dat alle systemen, behalve het zelfopofferende product, bij de eerste behandeling een visueel effect hadden. Het zelfopofferende systeem vertraagde de wateropname enigszins, het nanogebaseerde permanente systeem deed dat juist sterk, terwijl het semipermanente en het gewone permanente systeem slechts een gering effect op de wateropname hadden. Alle vier antigraffitistelsystemen hadden amper effect op de (initiele) droging. Een effect op de vorstbestandheid was er alleen bij al aangetaste proefstukken, waarin reeds aanwezige scheuren gingen openstaan.³⁶ Er trad ook

na het aanbrengen van de antigraffitistelsystemen over de retouche geen reguliere vorstschade op. Opmerkelijk is dat geen van de vier onderzochte systemen het mogelijk maakte alle graffiti te verwijderen. Dit was extreem bij het nanogebaseerde permanente systeem. Op basis van het onderzoek is uiteindelijk gekozen voor een zelfopofferend antigraffitistelsysteem op basis van bijenwas.

BESLUIT

Bij het bekend worden van de plannen voor de restauratie van de gevels van het Koninklijk Paleis Amsterdam, met name het reinigen en retoucheren, is in verschillende dag- en erfgoedbladen de vrees uitgesproken dat de behandeling van de zandsteen gevels tot schade zou leiden. Een decennium eerder was een traject ingezet om zo mogelijk te komen tot een methode om zandsteen schadevrij te reinigen, dat wil zeggen wel eventueel vuil en (resten van) micro-organismen weg te nemen maar niet materiaal van de steen, inclusief eventuele vergrijsde uitgelopen zones daarvan. Dit eerste deel van het onderzoek was algemeen gericht. In een later stadium werd specifiek onderzoek gedaan ten behoeve van een toekomstige restauratie van de zandsteen gevels van het paleis, in een nog recenter stadium in het kader van de concrete voorbereiding van die restauratie. Daarbij werd gebruik gemaakt van inmiddels elders opgedane ervaringen. Verschillende methodes zijn onderzocht, waarbij uiteindelijk droog microstralen en laser reinigen overbleven. De laatste methode, gezien als aanvulling op de eerste, is onderzocht, maar uiteindelijk in de praktijk niet toegepast in Amsterdam; de resultaten van de eerste methode waren bevredigend genoeg. In die gevallen waar tijdens de restauratie nog keuzes gemaakt moesten worden, zijn die eveneens voor uitvoering onderzocht. Behalve de reinigingsmethoden zijn ook de methode van retouche en het toe te passen antigraffiti systeem vooraf onderzocht op zowel effectiviteit als mogelijke schadelijke effecten. Op basis van natuurwetenschappelijk materiaalonderzoek zijn door de Rgd en de restauratiearchitect, in overleg met de door de Rgd tijdens de voorbereiding, pilot en uitvoering ingestelde begeleidingscommissies, de keuzes gemaakt voor de aanpak tijdens de restauratie.

NOTEN

- 1 G.W. de Boer, 'De steensoort van het stadhuis op de Dam', *Grondboor & Hamer* 12 (1958), 241-242.
- 2 F. Grewel, 'Boswell in Amsterdam en de steenleverantie voor het stadhuis van Amsterdam', *Amstelodamum* 45 (1958), 145-146.
- 3 T. van Domselaer, *Beschrijving der stat Amsterdam*, Amsterdam 1665, boek IV, 6.
- 4 Zie ook: C.W. Dubelaar, 'A geological view of the Royal Palace, Amsterdam, Netherlands', in: P.G. Marinis & G.C. Koukis (red.), *Engineering geology of ancient works, monuments and historical sites*, Rotterdam 1988, 2057-2065; C.W. Dubelaar, 'Zandsteen aan het exterieur van het Koninklijk Paleis in Amsterdam', *TNO-rapport NITG 04-078-C*, Utrecht 2004.
- 5 L. Hirzel (red.), *Albrecht Hallers Tagebücher seiner Reisen nach Deutschland, Holland und England 1723-1727*, Leipzig 1883.
- 6 Bijvoorbeeld: U. Becker, 'Zur Geologie des Bentheimer Sattels (Nordteil; TK 3608, Niedersachsen); sowie petrologische, gesteinsphysikalische und bauteingeschichtliche Untersuchungen des Bentheimer Sandsteins (Valangin)', proefschrift Philipps-Universität, Marburg 1987; B.J. Bluck en J. Porter, 'Sandstone buildings and cleaning problems',

- Stone Industries*, maart 1991, 21-27; A.G. Nord en K. Tronner, *Stone weathering: Air pollution effects evidenced by chemical analysis*, Stockholm 1991; A.G. Nord en K. Tronner, 'Characterization of thin black layers', in: J. Delgado Rodrigues, F. Henriques en F.T. Jeremias (red.), *Proceedings of the 7th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone*, Lisbon 1992, 217-225; M. Young, *Biological growths and their relationship to the physical and chemical characteristics of sandstones before and after cleaning*, proefschrift Robert Gordon University, Aberdeen 1997.
- 7 A.J. van Bommel, *De vergrijzde (zandstenen) gevel*, niet gepubliceerd memo van het Ministerie van VROM, 1 juni 2001. Zie ook: B. van Bommel, 'Assessment van ingrepen bij vergrijzde gevels', in: D. Legrou en R. Dreesen (red.), *Belgische natuursteen in historische monumenten en hun vervangproducten bij restauratie in België en Nederland*. 1e Vlaams-Nederlandse Natuursteendag, Leuven 2005.
 - 8 R.D. McDonnell, A.J. van Bommel en H. Kars, *Verwering van Bentheimer zandsteen. Een studie naar verwerde Bentheimer zandsteen afkomstig van het gebouw van het Rijksmuseum voor Geologie en Mineralogie te Leiden en van het stadhuis te Vlaardingen*, rapport Rijksgebouwendienst en Rijksdienst Oudheidkundig Bodemonderzoek, Den Haag/Amersfoort 1991.
 - 9 C.W. Dubelaar en J. Pieters, *SEM-research and x-ray microanalysis of crusts on natural stone (Royal Palace, Amsterdam, The Netherlands)*, poster gepresenteerd op het 7th International Congress on the Deterioration and Conservation of Stone, Lissabon 1992, samengevat in C.W. Dubelaar, 'Een lappendeken van marmer en zandsteen', *Grondboor & Hamer* 46 (1992), 71-74.
 - 10 Bij de in dit artikel besproken TNO-onderzoeken zijn door de jaren heen verschillende (ex-)TNO-collega's betrokken geweest, in het bijzonder C.W. Dubelaar, R.P.J. van Hees, T.J. Wijffels en B.A. Lubelli.
 - 11 C.W. Dubelaar e.a., 'Verwering en zwartverkleuring van Bentheimer en Obernkirchner zandsteen', *TNO-rapport NITG 02-147-B*, Utrecht 2003. De gegevens zijn later aangevuld met onderzoeksresultaten voor Rakowicze zandsteen van het stadhuis van Rotterdam (T.J. Wijffels en T.G. Nijland, 'Laserreiniging van de Rakowicze zandsteen van het Stadhuis van Rotterdam', *TNO-rapport 2003-BS-R0207*, Delft 2003) en de Gunkel gevel op het Binnenhof in Den Haag (T.G. Nijland, C.W. Dubelaar en T.J. Wijffels, 'Microscopisch onderzoek naar de aard van de aantasting van de zandsteengevel van het gebouw van de Tweede Kamer der Staten Generaal aan het Binnenhof te 's-Gravenhage', *TNO-rapport 2003-CI-R0045*, Delft 2003).
 - 12 T.G. Nijland e.a., 'Black weathering of Bentheim and Obernkirchen sandstone', *Heron* 48 (2003), 179-195; T.G. Nijland e.a. 'Black weathering of Bentheim and Obernkirchen sandstone', in: D. Kwiatkowski en R. Löfvendahl (red.), *Proceedings of the 10th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, Stockholm 2004, 27-34; T.G. Nijland e.a., 'Zwartverkleuring van Bentheimer, Obernkirchner en Rakowicze zandsteen', *Praktijkboek Instandhouding Monumenten* 20, 2004.
 - 13 Voor toelichting op de problematiek van het reinigen van gevels, reinigingstechnieken en de risico's van reiniging, zie: T. Wijffels, T. Nijland en R. van Hees, *Gevelreiniging*, Rotterdam 2006.
 - 14 T.J. Wijffels e.a., 'Reiniging van zandsteen gevels. Deel I. Literatuurstudie naar effecten van reiniging', *TNO-rapport 2004-BS-R0171*, Delft 2004.
 - 15 T.G. Nijland e.a. 'Reiniging van zandsteen gevels. Deel II. Evaluatie van proefreiniging met complexon pasta, wervelreinigen met bims en Al-silicaat en laser', *TNO-rapport 2005-CI-R0088*, Delft 2005.
 - 16 EDTA, ethyleendiaminetetra-azijnzuur, is een chelerende organische verbinding die calcium complexeert. Kalk of gips dat vuil op een gevel fixeert, wordt zo verwijderd. EDTA wordt vaak op gebracht in pasta's die ook oppervlaktactieve stoffen bevatten en een enigszins alkalische pH hebben.
 - 17 Er bestaan verschillende type lasers. In alle gevallen van reiniging van zandsteen met laser in Nederland gaat het om een Nd-YAG laser. Bij laserreiniging neemt het aanwezige donkere vuil de energie van de laser op en verdampt, terwijl de onder het vuil aanwezige lichtere ondergrond die energie niet absorbeert en daardoor niet aangetast wordt.
 - 18 T.J. Wijffels en T.G. Nijland, 'Laserreiniging van de Rakowicze zandsteen van het Stadhuis van Rotterdam', *TNO-rapport 2003-BS-R0207*, Delft 2003. Zie ook: T.G. Nijland en T.J. Wijffels, 'Laser cleaning of Rakowicze sandstone', *Heron* 48 (2003), 197-205.
 - 19 T.G. Nijland, T.J. Wijffels en J.A. Larbi, 'Microscopische evaluatie van schadelijke effecten van reiniging van Obernkirchner zandsteen uit de gevel van de Tweede Kamer der Staten Generaal te 's-Gravenhage met laser, laser + droog microstralen en complexon pasta', *TNO-rapport 2004-CI-R0164*, Delft 2004. Zie ook: T.G. Nijland e.a., 'Laser cleaning of black weathered Obernkirchen sandstone', *Heron* 54 (2009), 291-304.
 - 20 T.G. Nijland en T.J. Wijffels, 'Beoordeling laserreiniging van Bentheimer zandsteen aan de gevel van Oude Singel 72 te Leiden', *TNO-rapport 2006-D-R1033*, Delft 2006.
 - 21 K. van den Ende en B. van Bommel, 'De gevels van het Koninklijk Paleis Amsterdam. Essay over het voorgestelde herstel van de belevingswaarde', *Praktijkreeks Cultureel Erfgoed* 4 (2008) 13.
 - 22 T.G. Nijland, 'Microscopische beoordeling van het effect van droog microstralen van Bentheimer en Obernkirchner zandsteen en opschriften met z.g. bloedstift op de zandsteen', *TNO-rapport 034-DTM-2009-00511*, Delft 2009.
 - 23 Het betrof monsters uit depot afkomstig van niet nader geduide monumenten.
 - 24 Hierbij is niet dezelfde techniek gebruikt als bij het retoucheren van de gevels, maar is gekozen voor het opbrengen van een kunstmatig patina door het vernevelen van zogenaamde aerosilicaat.
 - 25 T.G. Nijland, 'Microscopische beoordeling van het effect van droog microstralen van Bentheimer en Obernkirchner zandsteen, van opschriften met z.g. bloedstift op zandsteen en van Carrara marmer', *TNO-rapport 034-DTM-2009-01349*, Delft 2009.
 - 26 Van den Ende en Van Bommel 2008 (noot 21).
 - 27 T.G. Nijland, 'Evaluatie van enkele kunstmatig gepatineerde zandsteen-gevels en -objecten in Den Haag en Amsterdam', *TNO-rapport 2007-D-R1224/B*, Delft 2007.
 - 28 Kiezelzure esters zijn chemische producten die sinds circa dertig jaar gebruikt worden als steenversterkers. Ze worden ook wel ethylsilicaat genoemd. TEOS (tetra-ethylorthosilicaat) is een bekend voorbeeld. Het gaat om kiezelzuur, met daaraan een organische groep. Bij contact met water in de te behandelen steen valt een dergelijke kiezelzure ester uit. Er wordt kiezelzuur gevormd en ethylalcohol, die verdampt. Als het kiezelzuur het water weer afgeeft, ontstaat een silicagel die zich hecht aan het oppervlak en zorgt voor de vorming van een vervangend bindmiddel. Gelet op de aard van dit nieuwe bindmiddel op silicabasis, is de behandeling het meest effectief op materialen die ook silica bevatten zoals zandsteen en baksteen.
 - 29 T.G. Nijland, 'Retoucheren van zandsteen met gefixeerd 'krijt': indringingsdiepte, effect op hygrisch gedrag en visueel effect op lange termijn', *TNO-rapport 034-DTM-2009-03789*, Delft 2009. De proeven zijn uitgevoerd op Obernkirchner zandsteen, waarbij drie verschillende fixeermiddelen waaronder kiezelzure esters zijn gebruikt.
 - 30 Later is in het kader van het onderzoek naar geschikte antigraffitissystemen ook nog gebleken dat de retouche op Obernkirchner zandsteen de vorstbestandheid van de steen bij hoge en extreme vochtbelasting niet te niet deed.
 - 31 Bij deze door TNO ontwikkelde test wordt materiaal afwisselend kunstmatig beregend en bezond. De test omvat 150 cycli van 1 uur beregning en 3 uur bezonning, eerst 75 cycli met water met pH 5,6, gevolgd door 75 cycli met water met pH 3,5 (verkregen door toevoeging van zwavelzuur). De huidige regen is

- overigens aanmerkelijk minder zuur; de strenge condities zijn bewust gehandhaafd bij wijze van 'worst case'.
- 32 De randvoorwaarden van deze pilot zijn door de Rgd vastgelegd in het document *Randvoorwaarden pilot gevelbewerkingen KPA*, 1 september 2009. De pilot is begeleid door de Pilot-commissie Restauratie Gevels KPA van de Rgd, die ook de omvang van de pilot vaststelde. De opzet van de pilot is verder uitgewerkt door de architect Krijn van den Ende in de *Notitie inzake het overleg met de pilot-commissie d.d. 19/10'09 betreffende de voorbereidingen ten behoeve van het door microstralen aan de achterzijde van de toren van het KPA*, 22 oktober 2009.
- 33 T.G. Nijland, 'Beoordeling proefvlakken pilot gevels Koninklijk Paleis Amsterdam', *TNO-rapport 034-DTM-2009-04263*, Delft 2009.
- 34 Zie bijvoorbeeld: T. Bunnik e.a., *Graffiti. Het verwijderen van en beschermen tegen graffiti*, RDMZ/WTa, Zeist 2004.
- 35 T.G. Nijland en B.A. Lubelli, 'Beoordeling van het effect van verschillende types antigraffiti-systemen op geretoucheerde Obernkirchener zandsteen', *TNO-rapport 060-DTM-2011-01359*, Delft 2011.
- 36 Hierbij moet bedacht worden dat de proefstukken zijn gezaagd uit blokken waarvan reeds was besloten ze te vervangen vanwege hun technische staat.

DR. T.G. NIJLAND is geoloog en sinds medio 2000 verbonden aan TNO in Delft als wetenschappelijk onderzoeker op het gebied van steenachtige bouwmaterialen. Hij houdt zich met name bezig met onderzoek naar en advies op het gebied van degradatie, identificatie en conservering van natuursteen, historische mor-

tels en beton in gebouwd erfgoed. Hij was betrokken bij alle in bovenstaand artikel beschreven onderzoeken van TNO en lid van de door de Rgd ingestelde Begeleidingscommissie Gevel & Dak KPA en de Pilot-commissie Restauratie Gevels KPA.

CLEANING AND RETOUCHING

THE RESTORATION OF THE SANDSTONE FAÇADES OF THE ROYAL PALACE IN AMSTERDAM

TIMO G. NIJLAND

The Royal Palace in Amsterdam has the largest sandstone-cladded façade of the Netherlands, made of Obernkirchen and Bentheim sandstone. The façades already showed black weathering three quarters of a century after their construction. The formation of thin black weathering layers occurs in many types of sandstone. The layers are made up by various components, including airborne particles and bio colonization. The current paper relates the results of a decade of scientific research into the possibilities of cleaning black-weathered Obernkirchen and Bentheim sandstone without causing any damage to the stone itself. In this case, two types of damage are distinguished: direct damage, such as loss of material, and indirect damage, i.e. possible damage that may result from changes in hygric behaviour.

After initial research into the nature of the thin black weathering layers, the Government Buildings Agency commissioned several consecutive research projects into cleaning. A state of the art literature survey resulted in the initial selection of four cleaning methods, i.e. pastes containing EDTA as active component, turbulence water jet blasting with either pumice or Al-silicate, and Nd-YAG laser. Tests were done on both types of sandstone for each method. Samples were investigated by optical and scanning electron microscopy, hygric behaviour was evaluated, as were potential future colour changes. Only laser was considered effective in both cleaning and not causing damage, but affected the colour of the sandstone.

With the upcoming restoration of the Royal Palace in

Amsterdam in mind, and taking into account experiences elsewhere in the Netherlands, another method was considered, i.e. dry microblasting. The effects of dry micro blasting and dry micro blasting supplemented by laser cleaning on Obernkirchen and Bentheim sandstone (with special attention for the inscriptions on the sandstone, made with hematite) as well as on Carrara marble were studied in the laboratory first. Subsequently, a pilot was performed on the sandstone of the palace's tower. Both methods were demonstrated to be effective and not causing damage. In practice, only dry micro blasting has been used.

Besides cleaning, two additional surface treatments were investigated: the application of artificial patinas and anti-graffiti systems on the sandstone. In the first case, which involved artificial patinas with pigments fixated by spraying ethyl silicate, the effect on hygric behaviour, penetration depth and durability were studied. The second by using an acid rain test as worst case scenario. It was shown that the patinas did not significantly affect the hygric behaviour of the sandstone, whilst remaining present after 150 cycles of acid rain testing. In the case of the anti-graffiti systems, hygric behaviour, any visual effects, the possibility of effective cleaning, and effects on frost-thaw resistance were considered. A sacrificial anti-graffiti system based on bee wax was selected.

Based on scientific material research, the Government Buildings Agency and the restoration architect made relevant choices for the restoration of the Royal Palace in Amsterdam.