



Oberflächenreinigung gusseiserner Kulturdenkmale mit einem neuen Verfahren am Beispiel der Schiltachbrücke in Schramberg

Die Reinigung und Oberflächenvorbereitung von denkmalgeschützten Objekten aus Eisen und Stahl hat wegen ihrer Komplexität Korrosionsschützer und Restauratoren gleichermaßen angeregt. So galt die Reinigung bis auf das blanke Metall und eine anschließende Feuerverzinkung historischer Objekte über lange Jahre hinweg als Standardschutz. Die Verfahren zur Vorbehandlung für eine anschließende Beschichtung sind u.a. in der Norm „Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme“ (EN-ISO 12944-4) beschrieben und geregelt. Eher unberücksichtigt blieb dabei, dass in dieser Norm durchaus Reinigungssysteme festgehalten sind, die ein schonendes Verfahren zulassen und bei denen vorhandene Passivschichten wie Zunderhäute (Schmiede-, Walz- bzw. Gusshäute) und fest anhaftende, dünne und nahezu wasserfreie Rostschichten auf den Objekten belassen werden können. Erste Reinigungsversuche mit dem neu entwickelten Trockeneisstrahlverfahren an der Schiltachbrücke in Schramberg (Abb. 1) haben in diesem Zusammenhang gezeigt, dass hierdurch eine oberflächenschonende Reinigung möglich ist. Eine Entfernung oder gar Durchschlagung der seit 1848 auf dem Objekt befindlichen passiven Gusshaut findet nicht statt. Da bisher keine Kenntnisse über die Oberflächenveränderungen während der Reinigung vorlagen, wurde anhand einer Untersuchungsreihe überprüft, inwiefern dieses Verfahren in das historische Objekt eingreift.

Rolf-Dieter Blumer / Joachim Kinder / Frank Schad

Für die Sanierung älterer Stahl- und Eisenkonstruktionen ist die Befreiung der Oberflächen von alten Farbschichten sowie Rostbelegungen und natürlich auch von Verschmutzungen wie Vogelkot zwingend erforderlich, um nachfolgenden Schutzanstrichen eine ausreichende Haftgrundlage zu geben, und vor allen Dingen, um den weiteren Korrosionsfortschritt wirksam zu stoppen. Aufgrund neuerer Erkenntnisse ist es bei historischen Objekten erforderlich, die häufig unter den Farb-, Korrosions- und Schmutzschichten zumindest noch teilweise vorhandenen alten Zunder- oder Eisenkarbidoberflächen zu erhalten. Dies hängt damit zusammen, dass die meist dichten und passiven Zunderoberflächen, die während der Herstellung der Konstruktionsteile entstanden, üblicherweise einen innigen Verbund mit der metallischen Unterlage bilden. Hinzu kommt die Tatsache, dass diese Zunderschichten elektrochemisch sehr viel Ähnlichkeit mit Rost als typi-

schem Korrosionsprodukt haben, sodass die Tendenz zur ausgeprägten Korrosion, wie sie beispielsweise für frisch gereinigte metallische Oberflächen typisch und damit auch äußerst schädlich ist, bei Vorhandensein von Zunderschichten stark vermindert auftritt. Außerdem sind Zunderschichten normalerweise relativ dicht aufgewachsen, während Korrosionsbelegungen in aller Regel sehr voluminös und porös sind, wodurch beispielsweise erhebliche Feuchtigkeitsmengen aber u.a. auch Salze wie Chloride in ihnen eingeschlossen werden können, die dann die weitere Korrosion sehr begünstigen und beschleunigen. Der anzustrebende Reinigungsgrad von historischen Eisen- und Stahlflächen ist unmittelbar von Fertigungsverfahren, Herstellungstechniken sowie der Nutzungsgeschichte des jeweiligen Objektes abhängig. Das Ausmaß der über viele Jahre aufgewachsenen Korrosionsschichten wie auch in der Vergangenheit vorgenommene Reini-

gungsverfahren sind entscheidend für die Auswahl geeigneter Oberflächenreinigungsverfahren und -behandlungen. Ebenso entscheidend sind Materialstärke und Festigkeit des Werkstoffes. Hier sind Verletzungen und Materialschwächungen durch korrosive Abtragung in die Überlegungen mit einzubeziehen. In der Regel muss auch die Oberflächenbeschaffenheit eines neu zu beschichtenden Trägerwerkstoffes durch sorgfältig definierte Entrostungsgrade festgelegt werden. Die Haftfähigkeit der Überzüge steht somit mit dem Reinigungsgrad der Objekt Oberfläche in direktem Zusammenhang. Historische und über Jahrhunderte freibewitterte Objekte aus Eisen und Stahl, deren Oberflächen meist noch erhaltene Reste sehr dünner Zunderhäute aufweisen, müssen daher nicht zwingend metallisch blank gereinigt werden, um sie neu zu beschichten. Heute steht den Restauratoren eine Vielzahl von so genannten restrostverträglichen Beschichtungssystemen zur Verfügung, deren Wirkung zum Teil wie im Fall der Bleimennige auf jahrhundertlanger Erfahrung basiert. Auch Dickschichtsysteme und Reaktionsgrundierungen auf Polyurethanbasis, wie sie von der Industrie angeboten werden, halten den Anforderungen der Restrostverträglichkeit stand und binden diese Schichten in das neue Beschichtungssystem ein.

Herkömmliche Oberflächenreinigungsverfahren haben üblicherweise das Ziel, eine metallisch blanke Oberfläche zu erzeugen. Hierfür werden im großen Stil Partikelstrahlverfahren eingesetzt (insbesondere Sand- und Kugelstrahlen). Im Bereich der Restaurierung, aber auch bei filigraneren Konstruktionen werden häufig ebenfalls z. B. Mikropartikelstrahlverfahren sowie das klassische Handentrostern mittels Stahlbürsten eingesetzt. Die so gereinigten Oberflächen sind besonders vorteilhaft für die meisten Beschichtungsverfahren.

Ein Problem bei der Reinigung gusseiserner Kulturdenkmale besteht darin, dass deren Oberflächen jeden Fehler des Werkstoffes und seiner Verarbeitung aufzeigen. Bei abtragenden Reinigungsverfahren mit Freilegung bis zur metallisch blanken Oberfläche werden dabei herstellungsbedingte Poren und Inhomogenitäten freigelegt bzw. Fehler und Eigenschaften des Werkstoffgefüges wie z. B. weichere Bereiche in der Guss Oberfläche geöffnet oder gar ausgestrahlt. Im Falle einer anschließenden Verzinkung mittels Flammstrahl- oder Tauchverfahren bzw. eines Anstrichs mit Zinkstaubfarbe, wie sie in den letzten Jahren oft angewendet wurden, ist ein Versagen der Schutzwirkung geradezu vorprogrammiert. Die auf den metallisch blanken Guss aufgebraute Verzinkung kann in Bereichen ausgestrahlter Kohlenstofflamellen, die an der Oberfläche als feine Löcher sichtbar sind, nicht eindringen und hinterlässt daher Öffnungen in der Zinkoberfläche. An diesen Löchern kann nach Abreißen der Fernschutzwirkung von Zink verstärkt Korrosion im Inneren des Werkstoffes auftreten. Hierdurch setzt dann ein „innerer“, d. h. zunächst äußerlich unsichtbarer Vernichtungsprozess des Objekts ein (Abb. 2). Zudem können historische Oberflächen in Teilbereichen durch Sandstrahlreinigung bis zur Unkenntlichkeit des Objekts zerstört werden. Die Auswahl eines geeigneten Reinigungsverfahrens ist daher in hohem Maße vom Zustand der Objekt Oberfläche abhängig. Da diese Parameter im Falle historischer Objekte sehr unterschiedlich ausgeprägt sind, ist nur in extremen Einzelfällen eine Entscheidung für eine abtragende Oberflächenreinigung bis zur metallisch blanken Oberfläche zu befürworten, sodass eine völlige Abnahme von Oxid- und Zunderschichten eher als Ausnahme gelten sollte.



1 Gesamtansicht der Schiltachbrücke in Schramberg nach Demontage der Geländer (Zustand Mai 2006).

2 Ausgestrahlte Kohlenstofflamellen mit ausgeprägtem Lochfraß am 1970 gereinigten und flammgespritzverzinkten Nürtinger Stadtbrunnen. Die Ausblutungserscheinungen zeigen deutlich, dass die Fernschutzwirkung des Zinks versagt hat und die Korrosion im Inneren der Platte voranschreitet.



Trockeneisstrahlen – Verfahren und Technik

Das Trockeneisstrahlen ist ein Partikelstrahlverfahren, bei dem Kohlendioxid (CO₂)-Granulat als Strahlmittel verwendet wird. Im Gegensatz zu anderen Strahlmedien, die ihren festen Aggregatzustand während des gesamten Arbeitsprozesses nicht ändern, beruht die Oberflächenwirkung des gefrorenen Kohlendioxids nicht nur auf dem mechanischen Impuls, der beim Aufprall abgegeben wird, sondern auch auf anderen physikalischen Effekten. Das eröffnet ein breites Anwendungsspektrum für diese Technik, deren Möglichkeiten vor allem auch im restauratorischen Bereich sicher noch nicht ausgeschöpft sind.

Trockeneis wird aus flüssigem Kohlendioxid durch rasche Entspannung gewonnen. Der dabei ent-

stehende -79°C kalte Schnee wird zu so genannten Pellets verpresst, deren Durchmesser beim Trockeneisstrahlen 3 mm beträgt. Bei Bedarf können sie während des Strahlens weiter zerkleinert werden, wenn empfindlichere Oberflächen zu reinigen sind. Im Druckluftstrahl werden die Strahlpartikel auf bis zu Schallgeschwindigkeit beschleunigt und sublimieren sofort nach dem Auftreffen auf der zu behandelnden Oberfläche. Sie entfalten dabei eine dreifache Wirkung:

1. Wie bei allen anderen Strahlverfahren geben die beschleunigten Partikel ihre kinetische Energie beim Aufprall ab. Ihre Mohs'sche Härte entspricht etwa der von Gips.
2. Die zu entfernende Schicht kühlt abrupt ab, versprödet und reißt auf.
3. Teile des gefrorenen Kohlendioxids dringen in die Risse von Schmutzkrusten und Farbaufträgen ein, sublimieren dort unter einer 400-fachen Volumenvergrößerung und sprengen sie – im mikroskopischen Bereich – regelrecht ab.

Auf diese Weise werden Lacke, Öle, Fette, Teer, Bitumen, Tinte, Harz, Klebstoffe, Wachs, Silikon- und Gummirückstände, Kaugummi und verschiedenste Schmutzbeläge von unterschiedlichsten Trägermaterialien entfernt. Dass dies sehr feinfühlig geschehen kann, haben erste Einsätze an lackierten Oberflächen historischer Eisenkonstruktionen gezeigt, wo es gelang, Altlacke Schicht für Schicht abzutragen, ohne die schützende Gusshaut oder Zunderschicht zu beschädigen (Abb. 3).

Für solche korrosionsgefährdeten Denkmale ist sicher von Vorteil, dass Kohlendioxid ein sehr reaktionsträges Molekül ist. Zu seinen weiteren positiven Eigenschaften zählt seine schlechte Leitfähigkeit – es kann sogar für die Reinigung von Schaltschränken verwendet werden. Nach dem Einsatz sind kein Abwasser, keine Chemie und keine Strahlmittelreste zu entsorgen. Zurück bleiben lediglich die abgestrahlten Substanzen, die je nach Menge und Zusammensetzung entweder mit der vorhandenen Druckluft abgeblasen oder mit Saugern aufgenommen werden.

Geräteseitig wurde für diese Entlackungsversuche ein Trockeneis-Strahler der Firma Kärcher eingesetzt. Unterschiedliche Düsengeometrien und -größen erlauben den Einsatz auf sehr unterschiedlich gestalteten und dimensionierten Objekten.

Das Gerät verbraucht 30 bis 100 kg Trockeneis in der Stunde. Die in Isolierboxen angelieferten Pellets verlieren auf diese Weise aufbewahrt innerhalb eines Tages etwa 8 % ihres Gewichts und bleiben je nach Umgebungsbedingungen 3 bis 5 Tage gebrauchsfähig. Danach werden sie weich, und die Abreinigungsleistung geht deutlich zu-

3 Reinigung eines gusseisernen Elementes der Schiltachbrücke in Schramberg mittels Trockeneisstrahlverfahren.



rück. Für das Trockeneis-Strahlgerät wird für Entlackungsarbeiten ein fahrbarer oder ortsfester Druckluftkompressor benötigt. Die Druckluft muss wasser- und ölfrei sein, daher wird die Verwendung eines Wasser- und Ölabscheiders empfohlen.

Da die Lärmbelastung nicht unerheblich ist, muss der Bediener einen Gehörschutz tragen. Beim unvorsichtigen Berühren von Trockeneis kann es aufgrund der extremen Kälte zu Hautverletzungen kommen. Zur Sicherheit des Anwenders muss daher seine Ausrüstung außerdem aus Overall, Schutzbrille oder Helm mit Sichtschutz und Handschuhen bestehen (Abb. 4). Des Weiteren sollte darauf geachtet werden, dass in geschlossenen Räumen oder Strahlkabinen eine Belüftungsanlage vorhanden ist oder ein Atemschutz getragen wird.

Trockeneisstrahlen – Schiltachbrücke in Schramberg

Die Schiltachbrücke in Schramberg besteht aus zwei auf Buntsandsteinlagern eingesetzten Jochen (Abb. 5–6). Diese werden jeweils aus vier Einzelsegmenten gebildet, die an Kopfplatten durch je vier Schrauben miteinander verbunden sind. Zwischen den Jochen liegen rechtwinklig und in gleichem Abstand gegossene Auflager für die quadratischen, durchbrochenen, frei eingelegten Gusstrittplatten. Unter den Brückenjochen sind in ebenfalls rechtwinkliger Anordnung Puddelstahlstäbe als Querverbindung eingeschraubt. Die Geländer sind an kleinen, achteckigen Säulen eingehängt, deren oberer Abschluss von Pinienzapfen gebildet wird. Die einzelnen Geländersegmente zwischen den Pfosten werden oben und unten durch jeweils einen breiten Fries aus vegetabilen Elementen begrenzt, in deren Mitte sich jeweils eine Blattmaske befindet. Der Raum zwischen diesen beiden Friesen wird durch eine mit-



4 Anwender des Trockeneisstrahlverfahrens mit entsprechender Schutzbekleidung wie Gehörschutz, Overall, Schutzbrille oder Helm mit Sichtschutz und Handschuhen.

tige Ziersäule in zwei gleich große Hälften unterteilt. In den beiden so entstandenen Feldern ist jeweils ein diagonal eingebrachtes, kreuzförmiges Zierelement zu sehen, das ebenfalls aus vegetabilen Formen gebildet wird (Abb. 7). Abgesehen von den aus Puddelstahl gefertigten Querverstrebungen wurde die Brücke ausschließlich aus Gusseisen erstellt. Konstruktiv kann die Schiltachbrücke in Schramberg, die 1848 im Auftrag von Isidor Faist entstanden ist und somit zu den älteren Eisenbrücken in Baden-Württemberg zählt, den Gusseisenbrücken zugeordnet werden. Sie ist die einzige in Schramberg erhaltene gusseiserne Brücke und damit ein wichtiges Dokument des Brückenbaus. Die Formenvielfalt und Graziilität ist typisches Merkmal von Brückendekorationen der Mitte des 19. Jahrhunderts (Baujahr 1848).



5 Detail der Konstruktion der Schiltachbrücke mit den Buntsandsteinlagern.

6 Detail der Konstruktion der Schiltachbrücke mit den gegossenen Auflagern für die frei eingelegten Gusstrittplatten.



Bei den heute aufliegenden Farbfassungen (Abb. 8) handelt es sich um Beschichtungen, die im letzten Jahrhundert aufgebracht wurden. Diese blättern stark ab und sind von Korrosion durchsetzt. Aufgrund dieser indifferenten Oberfläche ist das derzeitige Erscheinungsbild der Bauteile sehr unterschiedlich und weist teilweise eine aufgerissene Oberfläche auf. Die letzte Farbfassung war ein zarter Grünton auf Alkydharzbasis. Eine originale, historische Farbfassung konnte bei den restauratorischen Voruntersuchungen vor Ort bislang nicht festgestellt werden. Inwiefern Objekte dieser Art überhaupt farbig gefasst waren, ist nicht eindeutig zu klären. Sicher ist jedenfalls, dass es Darstellungen von gefassten Eisenobjekten gibt, aber auch Darstellungen, auf denen die Gushaut sichtbar ist. Nachdem die Besitzverhältnisse der Brücke lange ungeklärt waren, ist sie nach jahrzehntelanger Vernachlässigung in den letzten Jahren durch den heutigen Besitzer gesichert und abgebaut worden. Nun steht die Restaurierung dieses herausragenden Bauwerks an. Die Brücke soll nach der Instandsetzung als Zu-

gang zum Firmenparkplatz des Eigentümers dienen. Derzeit wird geprüft, ob hierzu eine statische Ertüchtigung erforderlich ist. Aus konservatorischer Sicht ist ein zurückhaltendes statisches Konzept möglichst ohne Eingriffe in die bauzeitliche Substanz zustimmungsfähig. Infolge der Vernachlässigung sind einige fehlende Brückenteile – sowohl Bodenplatten als auch Pfosten und Geländerteile – zu beklagen, die aus Kosten- und Konzeptgründen modern mit Glas- und Stahlelementen ergänzt werden sollen.

Trockeneisstrahlen – Naturwissenschaftliche Untersuchungen

Im Sinne einer Vergleichsuntersuchung wurde das Forschungsinstitut für Edelmetall und Metallchemie (fem) in Schwäbisch Gmünd beauftragt, eine oberflächlich korrodierte und verschmutzte Ofenplatte, die mit verschiedenen Verfahren gereinigt wurde, gezielt zu untersuchen, um den Einfluss der verschiedenen Reinigungsverfahren auf die Integrität der alten Zunderschicht zu ermitteln. Von dieser Ofenplatte wurden mehrere mit unterschiedlichen Verfahren gereinigte Teilflächen ausgewählt, von denen kleinere Proben entnommen wurden (Abb. 9). Bei den mit Trockeneis gestrahlten Flächen wurde genauso wie bei der Referenzprobe versucht, Bereiche der Ofenplatte zu entnehmen, die gewisse Kontursprünge wegen des Reliefmusters enthalten. Hierdurch sollten z. B. Abschattungseffekte beim Strahlen erfasst werden. Da die mikropartikelgestrahlten Flächen alle den reliefarmen Bereichen der Ofenplatte entstammen, erübrigte sich hier die gezielte Auswahl. Es wurden folgende Be-



7 Geländersegment der Schiltachbrücke mit trocken-eisgestrahltem Bereich auf der linken Seite.

8 Details des Geländersegments vor (a, c) und nach (b, d) dem Trockeneis-Strahlen.



a



c



b



d

handlungszustände der Ofenplatte für die Untersuchungen ausgewählt: Unbehandelte Referenzprobe (Probe 10), mit Trockeneis gestrahlte Probe (Probe 2b), mit Mikrokorundkorn gestrahlte Probe (Probe 6), mittels Stahlbürste handentrostete Probe (Probe 9).

Diese Proben wurden zunächst mittels Stereomikroskop optisch untersucht und dokumentiert und später auch mittels Rasterelektronenmikroskop bei sehr viel höherer Vergrößerung begutachtet, um die im Zuge der verschiedenen Reinigungstechniken auftretenden oberflächlichen Veränderungen möglichst vollständig zu erfassen. Außerdem wurde eine Oberflächenuntersuchung in der Art einer optischen Rautiefenmessung durchgeführt, wofür die Probenoberflächen zur Sicherstellung einer ausreichenden Reflektivität mit Gold beschichtet werden mussten. Darüber hinaus wurden von den ausgewählten Proben metallografische Anschliffe angefertigt, die lichtmikroskopisch einen quantifizierbaren Blick auf die gegebenenfalls verbliebenen Zunderschichten ermöglichen sollten.

Das unterschiedliche Erscheinungsbild der verschiedenen behandelten Oberflächenbereiche der Ofenplatte lässt bereits auf eine unterschiedliche Abtragung der unter dem Rost befindlichen alten Gusshaut aus Zunder erkennen. So sind die mit Trockeneisstrahlverfahren behandelten Bereiche (oben rechts in Abb. 9) zundergrau, wohingegen die mit Mikropartikeln gestrahlten Teilflächen sowie die handentrostete Reinigungsfläche am unteren Rand der Ofenplatte metallisch glänzend

sind, das heißt, zumindest partiell wurde die alte Gusshaut abgetragen. Die Beobachtung eines nach einigen Tagen auftretenden punktuellen Rostansatzes der mit Mikropartikeln gestrahlten und der handgebürsteten Oberflächen macht deutlich, wie aktiv die auch nur teilweise vom Rost und der darunter liegenden restlichen Gusshaut befreiten Oberflächen sind. Zwar mögen metallische blanke Oberflächen für bestimmte Beschichtungen wie z. B. Feuerverzinkungen von Vorteil sein, aber bereits wenige Tage mit erhöhter Luftfeuchtigkeit genügten, um auf den ungeschützten Oberflächen im Gegensatz zu der mit Trockeneis gestrahlten Oberfläche neuen Rostansatz in nicht unerheblichem Umfang zu erzeugen. Somit erscheint eindeutig, dass das Trockeneisstrahlen grundsätzlich geeignet ist, in ausreichendem Maße Rostauflagen und Farbstriche sowie sonstige Verunreinigungen abzutragen, ohne die darunter liegende Gusshaut signifikant zu schädigen.

Zwar greift dieses Verfahren auch die alte Gusshaut etwas an, und dies scheint dort besonders stark zu erfolgen, wo die Gusshaut ohnehin besonders dünn bzw. durch korrosive Abläufe vorgeschädigt war. In diesem Zusammenhang erscheint dann auch die partielle Freilegung von Graphitlamellen im Gusseisen durchaus kritisch, denn hier könnten spezifische Korrosionserscheinungen des Gusseisens (so genannte Spongiose) gefördert werden, falls entsprechende Dauerbeanspruchungen wirksam werden, wie sie aber üblicherweise nur bei Bodenlagerung auftreten



9 Mit verschiedenen Strahl- bzw. Reinigungs- verfahren partiell behandelte renaissancezeitliche Ofenplatte aus Guss- eisen mit Markierung der vorgesehenen Unter- suchungsbereiche.

können. Andererseits gibt die temporäre Unemp- findlichkeit insbesondere der mit Trockeneis gereinigten Oberfläche Anlass zu der Hoffnung, dass nach dem Aufbringen des eigentlichen Korrosions- schutzsystems jede weitere Korrosion längerfristi- ger unterbunden wird, als dies für die konventio- nellen Reinigungs- und Entrostungsverfahren gilt.

Es wird zwar deutlich, dass bei ausreichend fester Unterlage die abtragende Wirkung des Trocken- eisstrahlens im Vergleich zum Mikrokorundkorn- strahlen und zum Handtrocken Zunderschonend ist, aber es bleibt natürlich offen, ob diese Scho- nung des Zunders erhalten bleibt, falls großräu- migere Unterrostungen, die mit entsprechenden Hohlraumbildungen einhergehen, in dem zu rei- nigenden Bauteil vorhanden sind. Zur Beantwor- tung dieser Frage sind aber weitere gezielte Untersuchungen erforderlich.

Ein Pellet (engl. Bällchen, Kügelchen) ist ein kleiner zylinderförmiger Körper aus gepresstem Material. Die Mohs'sche Härteskala ist eine relative, zehnteilige Härteskala (Ritzhärte), bei der das nächsthärtere Mineral das vorhergehende, weichere Mineral ritzt. Die Härte eines Minerals wird dabei mit den in der Tabelle festgelegten Standards verglichen.

Rolf-Dieter Blumer

Regierungspräsidium Stuttgart
Landesamt für Denkmalpflege

Dr. Joachim Kinder

Forschungsinstitut Edelmetalle & Metallchemie (fem)
Katharinenstraße 17
73525 Schwäbisch Gmünd

Frank Schad

Alfred Kärcher GmbH & Co. KG
Alfred-Kärcher-Straße 28-40
71364 Winnenden