

Seminararbeit WS 2007/08

CO₂-„Schneestrahlen“ von Bodenfunden



Lehrstuhl für Restaurierung, Kunsttechnologie und
Konservierungswissenschaft

INA MEISSNER

Vorwort

Herzlicher Dank gilt Herrn Tratz und Herrn Juchmes von Cold Jet für die Bereitstellung der Strahlanlage und Informationen über das Trockenschneestrahlen und ihre Produkte. Herrn Diranko von TKD wird die kostenlose Versorgung mit Trockeneisblöcken verdankt. Herr Dr. Weski und den Restauratoren des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege der archäologischen Zentralwerkstatt danke ich für die Unterstützung des Projekts, durch das Bereitstellen und die Mithilfe bei der Auswahl der Versuchsobjekte. Herrn Blumenau (Archäologische Staatssammlung) gilt Dank für das zur Verfügung stellen der Strahlkabine.

Zusammenfassung

In der Arbeit werden Freilegungsversuche mit der Trockenschnee-Strahlanlage i³ Microclean der Firma Cold Jet an Bodenfunden beschrieben. Zu den getesteten Materialgruppen gehören Keramik, Bein, Buntmetall und Eisen. An Keramiken wird die Abnahme von Erdauflagerungen, Gipsergänzungen, alten Klebebändern und Harz/Öl-, Gouache- und Acrylfarbe ausprobiert. Weiter wird versucht Erdauflagerungen von Beinkämmen zu entfernen, sowie einen aus einer Blockbergung herauszulösen. An Buntmetall- und Eisenobjekten wird die Abnahme von Erdauflagerungen und Korrosionsschichten getestet. Zudem wird der Versuch gemacht von einem kunstharzgetränktem Eisenobjekt die glänzende, überschüssige Harzschicht zu entfernen. Die Testreihe zeigt, dass die zerstörungsfreie Freilegung mit Trockenschnee nur in wenigen Fällen möglich ist und nicht als Standardmethode eingesetzt werden kann.

Inhalt

Einleitung	1
Stand der Technik	1
Herstellung von Trockenschnee und –eis	1
Wirkprinzip des CO ₂ -Schneestrahilverfahrens	2
CO ₂ -Schneestrahilverfahren.....	2
<i>Sublimations-Impuls-Verfahren</i>	2
<i>Einschlauch-Niederdruck-System mit Trockeneisblöcken</i>	3
Versuchsreihe	4
Keramik.....	4
Bein	14
Buntmetall.....	18
Eisen.....	25
Schlussbetrachtung	29
Literatur	30

Einleitung

Der Einsatz von Trockeneis und Trockenschnee in der Restaurierung nimmt zu. Bisher wurde es zum Entfernen von Korrosion an gusseisernen Kulturgütern (BLUMER/KINDER/SCHAD 2007), Reinigen von Stadtmauern (KÄRCHER 2007), Entwachsen von Holzoberflächen sowie zum Entfetten alter Schlösser und Beschläge (PIENING/SCHWARZ 2008) erfolgreich eingesetzt. Da keine Berichte über Versuche mit Trockenschneestrahlanlagen an bodengelagerten Objekten bekannt sind, bot sich dieses Thema für eine Versuchsreihe an.

In der Industrie ist das CO₂-„Schneestrahilverfahren“ zur Reinigung von nahezu allen Materialien, wie Kunststoff, Glas, Keramik, Metalle, Halbleiter usw. geeignet.¹ Die Objekte werden entfettet, Kühlschmierstoffe und Korrosionsschutzmittel abgetragen. Es lassen sich Schmauchspuren vom Laserschneiden und -gravieren entfernen. Die Schmauchbildung kann durch eine Vorreinigung mit CO₂-Schnee reduziert werden.

In der Elektrotechnik können lokal begrenzte Bereiche wie z. B. Bondpads oder Kontaktflächen mit einem minimalen Strahlfleckdurchmesser von 3 mm gereinigt werden ohne angrenzende Bereiche zu beeinträchtigen. Feinstgrate können entfernt und Kunststoffteile vor dem Lackieren gereinigt werden. (acp 2007)

Die Vorteile in der Verwendung von Kohlendioxid sind ein nicht abrasiver Abtrag, die Umweltfreundlichkeit, eine rückstandsfreie Reinigung (es wird kein Strahlmaterial hinterlassen) und eine trockene Reinigungstechnik. Kohlendioxid ist ein nicht leitendes und nicht entzündbares Reinigungsmittel.²

Stand der Technik

Herstellung von Trockenschnee und –eis

Trockeneis ist festes, gefrorenes Kohlendioxid (CO₂), das bei einer Temperatur von -78,5° C sublimiert. Bei einem Druck oberhalb von 5,2 bar schmilzt es. Es ist weiß und geruchlos. Trockeneis ist circa doppelt so schwer wie Eis. Der erste Schritt um Trockeneis herzustellen, ist das Komprimieren des Kohlendioxidgases, bis es flüssig wird und gleichzeitig überschüssige Hitze entfernt wird. Das CO₂-Gas verflüssigt sich bei Raumtemperatur mit einem Druck von ungefähr 870 Pfund/Quadratzoll. Das flüssige Kohlendioxid wird aus einem Tank in eine Maschine geleitet, dem Pelletizer und entspannt. Bei -78,5° C gefriert ein Teil zu Schnee.³ Dieser wird in verschiedene Formen gepresst (Abb. 1–4). Für das Trockeneisstrahlen werden Trockeneis-Pellets verwendet. Diese entstehen indem Trockeneisschnee durch eine Matrix gepresst wird.⁴



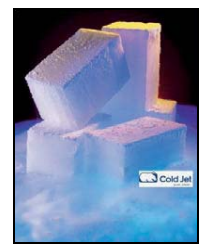
1 Pellets, 3 mm Ø, 2 cm Länge
(EISKALT SAUBER)



2 Nuggets, 9 u. 16 mm Ø, 4 cm
Länge (EISKALT SAUBER)



3 Scheiben (EISKALT
SAUBER)



4 Blöcke (Cold Jet)

¹ Angewendet wird das Verfahren zur Reinigung von Streuscheiben vor einer Beschichtung, Reinigung von Keramiksubstraten, Glasoberflächen, Halbleiteroberflächen, Oberflächen im Elektronikbereich, Kunststoffoberflächen vor einer Lackierung oder Verklebung.

² Kohlendioxid verursacht keine Schäden an aktiven mechanischen oder Elektroteilen. Es eignet sich zum Entfernen von Produktionsrückständen, Trennmitteln, Schadstoffen, Farben, Ölen und Biofilmen. Wachse, Rostschutzanstriche, Graffiti, Klebstoffe, Harze, organische Substanzen, Graphit, Verbrennungsrückstände, PU-Schaum, Folien, Betonmilch, Ruß, Bremsstaub, Flugrost können beseitigt werden. <http://www.coldjet.com/de/information/what-is-dry-ice-blasting.php> (15.04.2009)

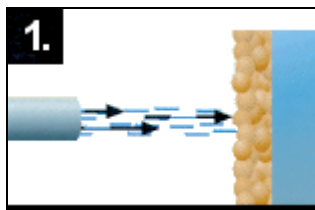
³ http://www.trockeneisstrahlen-eiskaltsauber.de/index.php?option=com_content&view=article&id=544&Itemid=140 (Stand 13.04.2009)

⁴ <http://www.froenclean.de/trockeneisstrahlen.php> (Stand 20.04.2009)

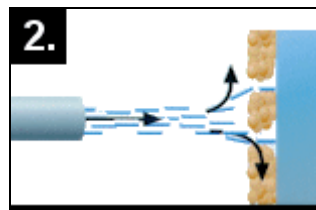
Wirkprinzip des CO₂-„Schneestrahilverfahrens“

Die Schneestrahlsreinigung basiert auf einem Druckluftstrahlverfahren. Der Trockenschnee wird mit dem Druckluftstrahl der Strahlpistole unter einem Druck von 3 bis 8 bar beschleunigt. Je nach Gerät treffen sie mit Geschwindigkeiten zwischen 100 und 300 m/s auf die Substratoberfläche auf.⁵

Während der Kontaktzeit zieht sich die Verschmutzung durch die starke CO₂-Unterkühlung (-78,5°C) zusammen und versprödet.⁶ Die unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten von Verunreinigung und Trägermaterial führen an der Grenzschicht zu mechanischer Spannung. Die Haftfähigkeit nimmt ab und die kinetische Energie der Schneepartikel löst die Schmutzschicht. Beim Aufprall auf die zu reinigende Oberfläche geht der Trockenschnee vom festen direkt in den gasförmigen Zustand über. Die Reinigungswirkung beruht demnach auf einem thermischen und mechanischen Effekt.⁷



1. Schneepartikel treffen fast mit Schallgeschwindigkeit auf Schmutzschicht (EISKALT SAUBER)



2. Kühlung der Schmutzschicht auf ca. -78,5°C; schrumpft wird rissig; geringe T-Änderung der Materialoberfläche (EISKALT SAUBER)



3. Beim Aufprall Übergang in die Gasform, 800-fache Volumenvergrößerung, Schmutzsprennung (EISKALT SAUBER)



4. CO₂ in die Atmosphäre, Entsorgung der Rückstände (EISKALT SAUBER)

CO₂-„Schneestrahilverfahren“

Es gibt zwei Verfahren zur Erzeugung von Trockenschnee in Strahlanlagen: Das Sublimations-Impulsverfahren und das Einschlauch-Niederdruck-System mit Trockeneisblöcken. Letzteres stand für die Versuchreihe mit der Strahlanlage i³ MicroClean von Cold Jet zur Verfügung. Versuche mit der Strahlanlage Jetstation von acp⁸ wären für den Einsatz in der Restaurierung interessant. Im Folgenden werden beide Systeme vorgestellt.

Sublimations-Impuls-Verfahren

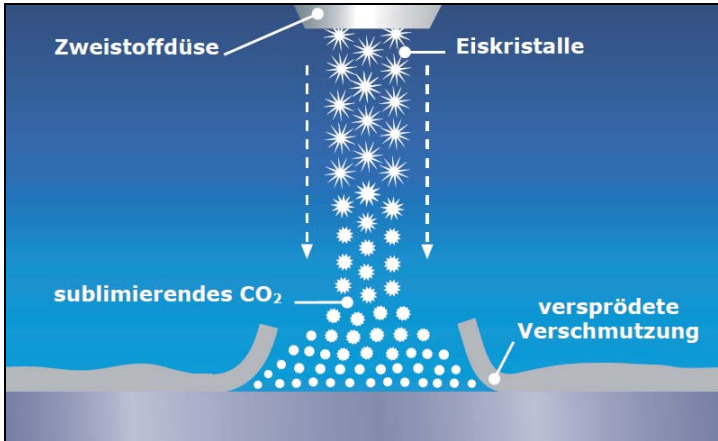
Dieses CO₂-„Schneestrahls“-Reinigungssystem wurde vom Fraunhofer IPA in Stuttgart entwickelt und stellt momentan das leistungsfähigste Verfahren dar. „Kernstück dieser Reinigungstechnologie ist der als Überschall-Zweistoffringdüse ausgeführte Reinigungskopf. Das anströmende flüssige Kohlendioxid entspannt beim Austreten aus der Düse zu einem Schnee/Gas-Gemisch, das den Kernstrahl bildet. Zusätzlich wird Druckluft ringförmig zugeführt. Die überschallschnelle Druckluft bildet den Mantelstrahl, der die CO₂-Schneekristalle bündelt und beschleunigt (Abb. 9). Dies ist entscheidend für die Intensität des Reinigungsimpulses und damit für das Reinigungsvermögen der Eispartikel.“ (acp 2007)

⁵ <http://www.polarjet.ch/de/technik.html> (Stand 20.04.2009)

⁶ http://www.trockeneisstrahlen-eiskaltsauber.de/index.php?option=com_content&view=article&id=542&Itemid=136 (Stand 13.04.2009)

⁷ <http://www.polarjet.ch/de/technik.html> (Stand 20.04.2009)

⁸ advanced clean production



9 CO₂-Schneestahl Wirkungsprinzipien (acp 2007)

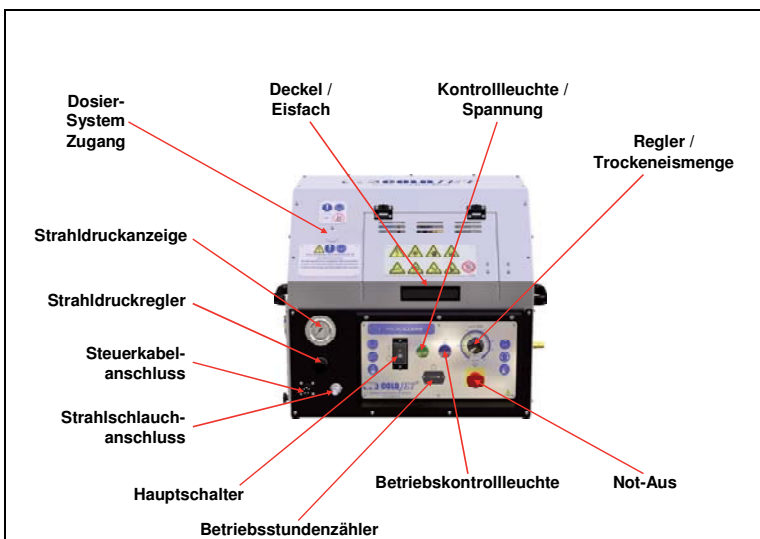


10 Reinigungsdüsen (acp 2007)

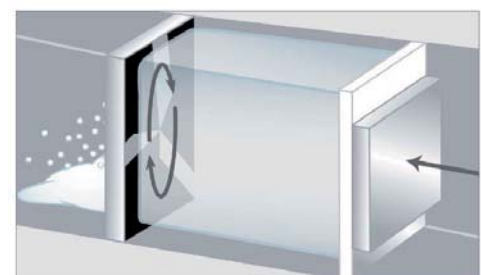
Einschlauch-Niederdruck-System mit Trockeneisblöcken

In der i³-MicroClean-Strahlanlage wird von einem Trockeneisblock Schnee abgeschabt (Abb. 12). Der Strahldruck ist regulierbar und liegt zwischen 1,4 und 8,6 bar. Für harte Oberflächen kann eine höhere Intensität und mehr Trockeneis eingesetzt werden. Das System ist mit unterschiedlichen Düsen ausgestattet (PEETERS 2008). Die Durchflussmenge an Trockeneisflocken liegt je nach Einstellung zwischen 0 - 0,5 kg/min. Die kleinste Düse ist 15 cm lang und hat eine Strahlbreite von 3,2 mm. Die nächst größere ist gleichlang und besitzt einen Strahldurchmesser von 4,7 mm Breite.

Bei einem Verbrauch von 0,09 kg/min an Trockeneis beträgt die Strahldauer 45 Minuten bis zum Nachfüllen. Die Größe der Blöcke ist standardisiert und beträgt 12,7 x 12,7 x 30 cm. Der Strahldruck ist einstellbar und ermöglicht Flexibilität zur Leistungsoptimierung. Auch die Eismengenzufuhr ist regulierbar, wodurch bessere Leistung erzielt werden können.⁹



11 i³ MicroClean-Strahlanlage (i³ MicroClean Flyer)

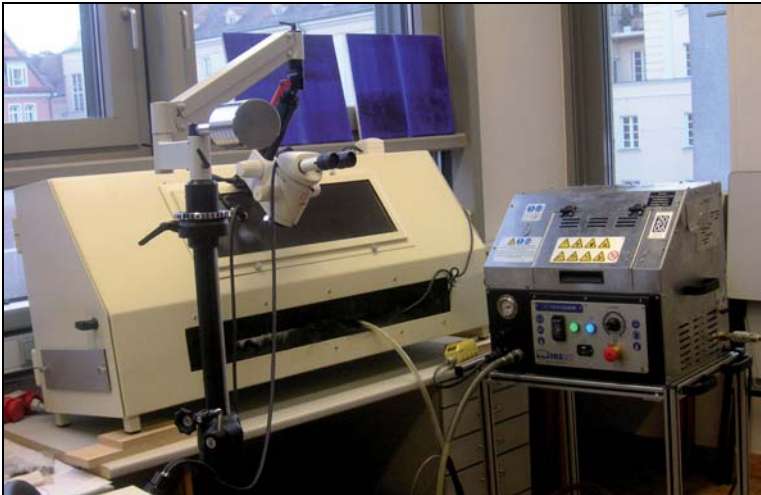


12 Zuführungstechnologie von Cold Jet (i³ MicroClean Flyer)

⁹ <http://www.coldjet.com/de/products/dry-ice-blasting/i3MicroClean.php> (15.04.2009)

Versuchsreihe

Für die Versuchsreihe sind Beispiele aus Keramik, Bein, Buntmetall und Eisen ausgewählt. Die Strahlversuche werden in einer Strahlkammer unter einem Mikroskop durchgeführt (Abb. 13, 14).



13 Arbeitsplatz



14 i³ MicroClean mit eingelegtem Eisblock

Keramik

Das Spektrum der Keramik reicht vom weichen bis harten Scherben, von poröser bis dichter Matrix. Auf den Oberflächen können Bemalungen, Engoben, Glasuren, Verzierungen erhalten sein, deren Haftung sehr unterschiedlich zum Scherben ist. Diese Bandbreite vergrößert sich durch die Bodenlagerung. Durch Sinter, Erdauflagerungen und Abbau des Scherbens oder der Oberfläche vermehren sich die Oberflächencharakteristika. Weiter sind an Keramiken Altrestaurierungen (Ergänzungen, Kittungen, Klebungen, Überzüge, glänzende Oberflächen durch Tränkungen und Retuschen) eventuell rückgängig zu machen. Die Auflistung verdeutlicht, dass es unwahrscheinlich ist, dass Trockenschneestrahlen „die Methode“ der Keramikrestaurierung ist, eher kommt diese zum Freilegen einiger bestimmter Erscheinungsformen in Frage.

Keramikscherben

Fundherkunft und Bezeichnung: Eching, Restfragmente Urne 301, ID 4760, Fz 163535 B





Der Scherben war bereits mit Wasser und einem Pinsel/Schwamm gereinigt.

<p><i>Objektbeschaffenheit</i> Die Oberfläche ist rau, löchrig und rissig. Sie ist stabil und hart. Die Matrix ist in sich fest.</p>	<p><i>Ziel</i> Entfernen der Erdauflagerungen.</p>
<p><i>Geräteeinstellungen</i> 1 bar und 0,05 kg/min</p>	<p><i>Verhalten der Oberfläche</i> Die Erdauflagerungen lassen sich langsam abtragen. Die Oberfläche wird porenfrei gereinigt. Jeder feinste Riss wird frei gestrahlt. Es kommt zu geringen Verlusten der Substanz. Löcher und Risse vergrößern sich. Die Oberfläche wird leicht glänzend.</p>
<div data-bbox="151 750 539 1099" data-label="Image"> </div> <p>15 Scherben, vor dem Strahlen, Seite 1</p>	<div data-bbox="802 750 1201 1099" data-label="Image"> </div> <p>16 Gestrahlter Teilfläche, Seite 1</p>
<div data-bbox="151 1164 539 1514" data-label="Image"> </div> <p>17 Scherben, vor dem Strahlen, Seite 2</p>	<div data-bbox="802 1164 1185 1514" data-label="Image"> </div> <p>18 Gestrahlte Teilfläche, Seite 2</p>
<div data-bbox="151 1568 443 1783" data-label="Image"> </div> <p>19 Übergang ungestrahlter – gestrahlter Abschnitt</p>	
<p><i>Fazit</i> Das Abtragen der Erde funktioniert sehr gut. Der Reinigungseffekt ist extrem hoch. Kleinste Risse und Löcher werden frei gestrahlt, wobei sie etwas vergrößert, ausgewaschen werden. Die Oberfläche wird zu stark gereinigt. Die Freilegungsgeschwindigkeit ist bei niedrigst möglicher Geräteeinstellung von 1 bar und 0,05 kg/min kontrollierbar. Mit mehr Druck und CO₂-Schneezufuhr sollte nicht gearbeitet werden. Niedrigere Einstellungen könnten einen geringeren und besseren Reinigungseffekt bewirken.</p>	

Keramikscherben mit Erdauflagerungen

Fundherkunft und Bezeichnung: Eching, Grab 429, Befund 163213



Der Scherbe war ungereinigt.

<p><i>Objektbeschaffenheit</i> Die Oberfläche ist rau, porös, bröselig und abgebaut. Der Verbund der Matrix ist locker. Die Keramik ist nicht stark versintert.</p>	<p><i>Ziel</i> Ziel ist das Entfernen der Erdauflagerungen.</p>
<p><i>Verwendete Geräteeinstellungen</i> Außenseite: 1,5 bar und 0,05 kg/min Innenseite: 1,5 bar und 0,05 kg/min</p>	<p><i>Verhalten der Oberfläche</i> Die originale Oberfläche wird mit den Erdauflagerungen abgetragen. Größere Bereiche der Oberfläche werden mit den Erdauflagerungen abgesprengt.</p>
	
<p>20 Scherben, Außenseite, vor dem Strahlen</p>	<p>21 Scherben, Außenseite, nach dem Strahlen</p>
	
<p>22 Scherben, Innenseite, vor dem Strahlen</p>	<p>23 Scherben, Innenseite, nach dem Strahlen</p>
<p><i>Fazit</i> Die Reinigung der Oberfläche mit CO₂-Schnee ist ungeeignet, da die Keramikoberfläche wie die Erdauflagerungen weich, porös und rissig ist. Der CO₂-Schnee dringt in die Poren und Risse ein, wodurch die Keramikoberfläche wie die Erdauflagerungen abgesprengt werden.</p>	

Keramikscherben mit Erdauflagerungen

Fundherkunft und Bezeichnung: Eching, Grab 156, Fz 163844


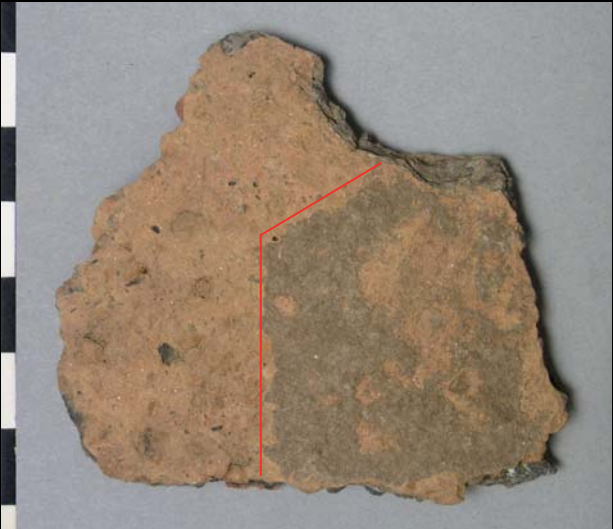
Der Scherben war mit Wasser und einem Pinsel/Schwamm gereinigt

<p><i>Objektbeschaffenheit</i> Die Oberfläche ist weich, rau und porös. Der Verbund der Matrix ist locker. Die Keramik ist teils versintert. Auf der Oberfläche liegen braune Engobenreste.</p>	<p><i>Ziel</i> Entfernen der Erdauflagerungen ohne Beschädigung der Substanz.</p>
<p><i>Geräteeinstellungen</i> 2,0 bar und 0,18 kg/min 2,0 bar und 0,09 kg/min 1,0 bar und 0,09 kg/min 1,0 bar und 0,05 kg/min</p>	<p><i>Verhalten der Oberfläche</i> Die Keramikoberfläche wird mit der Erde abgesprengt. Die Keramikoberfläche wird mit der Erde abgesprengt. Die Keramikoberfläche wird bei Rissen und Fehlstellen in der originalen Oberfläche abgetragen. Strahlen ist nicht mehr möglich, da die Düse ständig verstopft.</p>
 <p>24 Scherben, mit Erdauflagerungen, vor dem Strahlen</p>	 <p>25 Scherben, nach dem Strahlen der linken Hälfte</p>
<p><i>Fazit</i> Erdauflagerungen auf der Keramikoberfläche mit CO₂-Schnee abzunehmen gelingt nicht. Die Keramik ist zu weich, porös und rissig. Der Schnee dringt ein und sprengt die Oberfläche ab. Es ist nicht möglich die Leistung der i³ Microclean so zu drosseln, dass kontrolliert freigelegt werden kann.</p>	

*Keramikscherbe mit dunkler Engobe*¹⁰

Fundherkunft und Bezeichnung: Eching, Grab 156, Fz 163844

Der Scherben war mit Wasser und einem Pinsel/Schwamm gereinigt.

<p><i>Objektbeschaffenheit</i> Auf der roten Keramikmatrix liegt eine dunkle Engobe. Diese ist rau, porös und bröselig. An mehreren Stellen fehlt diese und die rote Keramik ist sichtbar. Diese ist ebenfalls weich und porös. Die Keramikoberfläche ist nicht versintert.</p>	<p><i>Ziel</i> Entfernen der Erdauflagerungen auf der Engobe und der darunterliegenden roten Keramik.</p>
<p><i>Geräteeinstellungen</i> 1 bar und 0,05 kg/min</p>	<p><i>Verhalten der Oberfläche</i> Die Engobe und die rote Keramikmatrix werden abgesprengt.</p>
 <p>26 Keramikscherben mit dunkler Engobe und Erdauflagerungen</p>	 <p>27 Keramikscherben mit gestrahltem Bereich (links)</p>
<p><i>Fazit</i> Die Keramik und die Engobe sind zu weich und porös, auch kann die Geräteleistung nicht so gedrosselt werden, dass mit CO₂-Schnee nur die Erdauflagerungen abgetragen werden.</p>	

¹⁰ Dünflüssiger Schlicker zur Beschichtung oder Einfärbung der Keramik.

Keramikgefäß, mit Gipsergänzungen

Fundherkunft und Bezeichnung: Buxheim, ID 12580, Fz 85801 C



28 Keramikgefäß mit Gipsergänzungen

Oberflächenbeschaffenheit

Die Oberfläche der Keramik ist stabil. Sie glänzt leicht. Die Matrix der Keramik ist hart, zeigt einen festen Verbund.

Ziel

Entfernen der Gipsergänzungen, ohne die Substanz zu beschädigen.

Geräteeinstellungen

1 bar und 0,05 kg/min

1,5 bar und 0,13 kg/min

Verhalten der Oberfläche

Gips lässt sich schnell und schonend abtragen.

Kleine Keramikpartikel beginnen sich von der Oberfläche, meist an den Bruchkanten, zu lösen.



29 Gipsergänzung vor dem Strahlen



30 Entfernte Gipsergänzung

Fazit

Das Entfernen des Gipses funktioniert sehr gut, solange der Druck nicht über 1 bar und die Trockeneiszufuhr unter 0,3 kg/min geregelt ist. Wenn es sich um eine feste stabile Keramik handelt, ist das Entfernen von Gipsergänzungen mit CO₂-Schnee eine schonende Möglichkeit.

Geklebte Keramikfragmente, mit alten Klebebandfixierungen
Fundherkunft und Bezeichnung: Buxheim, ID 12964, Fz 510



31 Geklebte Keramikfragmente mit alten Klebebandfixierungen

Objektbeschaffenheit

Die Keramikscherben sind zusammengeklebt. Zur Sicherung der Klebungen wurde ein Klebeband aufgebracht. Der Klebstoff des Bandes hat über Jahre einen starken Verbund mit der Keramikoberfläche gebildet. Die Oberfläche und die Matrix der Keramik ist rau und relativ weich.

Ziel

Entfernen des Klebebandes, ohne dass die Oberfläche beschädigt wird und Klebstoffreste zurück bleiben.

Geräteeinstellungen
1,2 bar und 0,14 kg/min

Verhalten der Oberfläche

Die Keramikoberfläche bleibt am Klebeband haften. Klebstoffreste bleiben auf der Keramikoberfläche zurück. Fragile Oberflächenbereiche werden abgesprengt.



32 Klebeband auf der Keramikoberfläche



33 Klebeband nach dem Strahlen



34 Reste des versprödeten Klebebandes



35 Entferntes Klebeband, mit Keramikresten



Fazit

Das CO₂-„Schneestrahlen“ ist keine geeignete Methode. Trotz langem Strahlen auf die Klebebandoberfläche versprödet der Klebstoff des Klebebandes zu wenig, um sich von der Oberfläche zu lösen ohne originale Substanz mitzureißen. Es verbleiben Klebstoffreste auf der Oberfläche, die sich ohne Verluste nicht abnehmen lassen. Die Beschaffenheit der Keramik ist zu weich und empfindlich, der Klebstoff zu stark mit der Oberfläche verbunden. Zur Abnahme wären Verfahren mit Lösemitteln geeigneter.

Keramikscherbe mit Farbaufstrichen

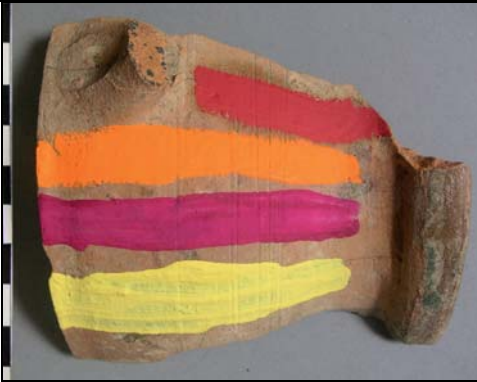


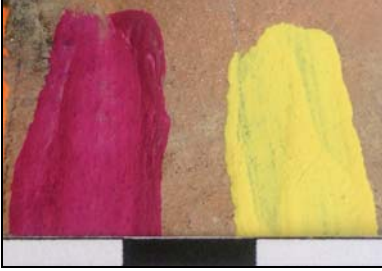

Fundherkunft und Bezeichnung: Eching Restfragmente Urne 301, ID 4760, Fz 163535 B

Der Scherben war mit Wasser und einem Pinsel/Schwamm gereinigt.

		<p><i>Objektbeschaffenheit</i> Die Oberfläche ist rau und fest, stabil und hart Die Matrix ist in sich fest gebunden. An der Oberfläche haftet etwas Erde.</p>	
<p>36 Scherben mit Öl-/Harz-, Gouache- u. zwei Acrylfarben</p>	<p><i>Ziel</i> Entfernen der Farbe.</p>		
<p><i>Geräteinstellungen</i> 1,5 bar und 0,05 kg/min</p> <p>Langsame Erhöhung auf 3 bar (bei 0,05 kg/min)</p> <p>Langsame Erhöhung auf 0,27 kg/min (bei 1,5 bar)</p>	<p><i>Verhalten der Oberfläche</i> Die Farben werden alle langsam abgesprengt. Acrylfarben (gelb und violett) lassen sich besser als Gouache- und Öl-/Harzfarben (orange und rot) abnehmen. Die Poren der Keramik werden vergrößert. Farbinseln bleiben stehen.</p> <p>Die Oberfläche vereist. Die Farben lassen sich etwas schneller, aber nicht besser entfernen. Farbinseln bleiben zurück.</p> <p>Alle Poren werden ausgestrahlt und die Keramikoberfläche abgesprengt.</p>		
	<p>37 Öl-/Harzfarbe</p>		<p>38 Nach dem Strahlen</p>
	<p>39 Gouachefarbe</p>		<p>40 Nach dem Strahlen</p>
	<p>41 Acrylfarbe</p>		<p>42 Nach dem Strahlen</p>
<p><i>Fazit</i> Das Verfahren ist unbrauchbar zum Entfernen von Farben bzw. Retuschen auf Keramik. Acrylfarben lassen sich etwas besser abnehmen als Gouache- und Öl-/Harzfarben. Auch bei geringem Druck von 1,5 bar und geringer Strahlmediumzufuhr von 0,05 kg/min werden die Poren der Keramikoberfläche freigestrahlt und vergrößert, wobei die Farbe nicht restlos zu entfernen ist. Es bleiben Farbschleier und Farbinseln zurück. Bei Erhöhung des Drucks vereist die Oberfläche, bei Erhöhung der Strahlmediumzufuhr werden die Poren der Keramik freigestrahlt. Farbreste bleiben bei hohem Druck und hoher Zufuhr von Strahlmedium zurück.</p>			

Keramikfragment, mit Farbaufstrichen

Fundherkunft und Bezeichnung: Geriatrie, Befund B 49

 <p>43 Keramikscherben mit Farbstreichen aus Öl/Harz-, Gouache- und zwei Acrylfarben</p>	<p><i>Objektbeschaffenheit</i> Die Keramik ist hart, die Matrix fest, mit kleinen Luftporen. Die Oberfläche ist rau.</p> <p><i>Ziel</i> Entfernen der Farbstriche, ohne die Substanz zu beschädigen.</p>
<p><i>Geräteeinstellungen</i> 1 bar und 0,23 kg/min</p> <p>1,6 bar und 0,3 kg/min</p>	<p><i>Verhalten der Oberfläche</i> <i>Acrylfarben</i> (gelb und violett) Die Farben lassen sich abstrahlen. Die Poren der Keramik werden freigestrahlt und vergrößert.</p> <p><i>Gouache- und Öl-/Harzfarben</i> (orange und rot) Die Farben bleiben unverändert.</p> <p><i>Gouache- und Öl-/Harzfarben</i> Die Farben lassen sich langsam abnehmen. Die Poren werden freigestrahlt und vergrößert. Farbschleier und Farbinseln bleiben stehen.</p>
 <p>44 Öl-/Harz- und Gouachefarbe, vor dem Strahlen</p>	 <p>45 Öl-/Harz- und Gouachefarbe, nach dem Strahlen</p>
 <p>46 Acrylfarben, vor dem Strahlen</p>	 <p>47 Acrylfarben, nach dem Strahlen</p>
<p><i>Fazit</i> Es ist möglich die Farbaufträge mit CO₂-Schnee abzunehmen, die Keramikoberfläche wird dabei beschädigt. Gouachefarben lassen sich mit weniger Druck als Öl-/Harz- und Gouachefarben abstrahlen. Es werden lockere Partikel der Oberfläche abgetragen, Poren werden freigestrahlt.</p>	

Glasierte Keramikscherben, mit Farbaufstrichen
 Fundherkunft und Bezeichnung: Geriatrie, Befund B 49



48 Glasierter Keramikscherben mit Farbaufstrichen aus Öl-/Harz- Gouache- und Acrylfarben

Objektbeschaffenheit

Die Keramik ist glasiert. Der Scherben ist hart. Die Matrix ist mit kleinen Lufteinschlüssen fest gebunden. Die Haftung zwischen Glasur und Scherben ist teilweise verloren. Die Glasur ist stellenweise vom Scherben abgeplatzt. Teile der Matrix fehlen.

Ziel

Entfernen der Farbaufstriche ohne die Glasur und die keramische Matrix zu beschädigen.

Geräteinstellungen

1 bar und 0,23 kg/min

Verhalten der Oberfläche

Acrylfarbe (gelb)

Die Farbe lässt sich gut und kontrollierbar abnehmen.

Acrylfarbe (violett)

Lockere Bereiche unter dem Farbauftrag werden mit der Farbe abgesprengt.

Gouachefarbe (orange)

Der Farbauftrag wird mit darunterliegenden lockeren Bereichen abgestrahlt.

Öl-/Harzfarbe (rot)

Der Farbauftrag ist mit diesen Geräteinstellungen nicht abzunehmen. Er zeigt keine Veränderungen.

1,5 bar und 0,3 kg/min

Öl-/Harzfarbe (rot):

Die Glasur und Teile der Keramik werden mit der Farbe abgesprengt.



49 Farbaufträge, vor dem Strahlen



50 Farbaufträge, nach dem Strahlen

Fazit

Das Entfernen der Farbaufträge mit CO₂-Schnee ist ohne Beschädigung der originalen Substanz nicht möglich. Es ist nicht möglich die Farbe ohne Beschädigung der Glasur und des Scherbens zu entfernen. Der Verbund zwischen Keramik und Glasur ist zu schwach. Die keramische Matrix ist zu porös und weist zu viele Lufteinschlüsse auf, die eine Schwachstelle beim Strahlen darstellen.

Schlussbetrachtung CO₂-„Schneestrahlen“ von Keramik





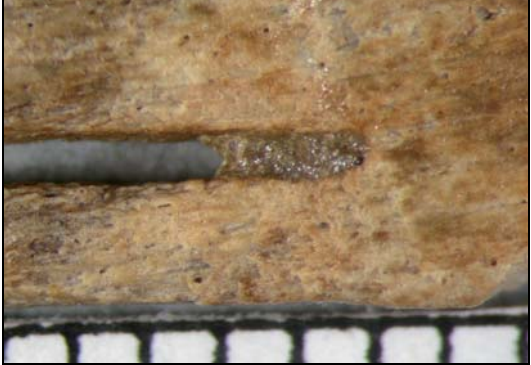
Es hat sich gezeigt, dass das Trockenschneestrahlen nur in wenigen Ausnahmen eine geeignete Freilegungsmethode war und für den überwiegenden Teil der getesteten Keramik zerstörend wirkte. Das Entfernen gut haftender Bemalung und Klebestreifen schlug fehl. Die Scherben waren zu weich, porös oder die Glasur haftete zu schlecht. Das Abnehmen von Erdauflagerungen war bei weichen und harten Scherben problematisch. Bei weichen Scherben wurde dieser mit der Erde abgesprengt, da der Schnee in Poren und Risse eindringen konnte. Bei harten Scherben wurde die Erde zu stark entfernt, aus allen Poren herausgesprengt, wobei sich Poren und Risse vergrößerten. Die Oberfläche wurde ausgewaschen.

Gut funktioniert die Methode beim Entfernen von alten Gipsergänzungen an einer Keramik mit harter Oberfläche.

Bein








Trockene Oberflächen von Beinobjekten können nach Bodenlagerung sehr fest und glatt oder stärker abgebaut sein. Haarrisse und Risse treten immer wieder auf. Bei degradierten Objekten ist die Oberfläche rau und die Porenstruktur deutlich sichtbar. Auf den Oberflächen haften meist Erdreste, teils feste Verkrustungen. Bei Beinkämmen sind oft die Zinken abgebrochen oder es finden sich Verkrustungen dazwischen. Meist sind die Kämmen fragil und empfindlich. Bein, ein hygroskopisches Material, benötigt vorzugsweise eine Trockenreinigung. Die Freilegung mit dem Mikrofeinstrahlgerät (und z. B. Walnussschalenstrahlmedium) funktioniert oft gut, jedoch ist zu bedenken, dass mit dieser Methode die Oberfläche verändert wird: sie wird abgetragen und/oder verdichtet.

Kammfragment, ID 12798

<p><i>Objektbeschaffenheit</i> Das Kammfragment und die Schmutz-auflagerungen sind trocken. Das Bein ist hart und weist keine Risse auf.</p>	<p><i>Ziel</i> Entfernen der Erdauflagerungen und Verkrustungen.</p>
<p><i>Geräteeinstellungen</i> 1 bar und 0,05 kg/min 1,5 bar und 0,09 kg/min</p>	<p><i>Verhalten der Oberfläche</i> Die Erdauflagerungen lassen sich kontrolliert abnehmen. Harte Verkrustungen bleiben. Harte Verkrustungen zwischen den Zinken lassen sich nicht entfernen.</p>
 <p>51 Kammfragment, vor dem Strahlen, Seite 1</p>	 <p>52 Kammfragment, nach dem Strahlen, Seite 1</p>
 <p>53 Kammfragment, vor dem Strahlen, Seite 2</p>	 <p>54 Kammfragment, nach dem Strahlen, Seite 2</p>
 <p>55 Verkrustung zwischen den Zinken</p>	
<p><i>Fazit</i> Das Entfernen der Schmutzauf lagerungen auf Bein mit CO₂-Schnee funktioniert sehr gut. Die Substanz wird nicht beschädigt.</p>	





Teil eines Kammes

Fundherkunft und Bezeichnung: Buxheim, Grab 3, Befund 38, ID 12811

 <p>56 Kammfragment vor dem Strahlen</p>	<p><i>Objektbeschaffenheit</i> Das Bein ist trocken und fest. Zwischen den Zinken und der Oberfläche finden sich trockene Erdauflagerungen.</p> <p><i>Ziel</i> Entfernen der Erdauflagerungen, ohne das Bein zu beschädigen.</p>
<p><i>Geräteeinstellungen</i> 0,1 bar und 0,05 kg/min</p>	<p><i>Verhalten der Oberfläche</i> Die Oberfläche lässt sich sehr gut, schnell und kontrollierbar von den Erdauflagerungen reinigen. Hartnäckige Verkrustungen zwischen den Zinken bleiben haften. Ein Zinken wurde abgesprengt.</p>
 <p>57 Kammlättchen, vor dem Strahlen, Seite 1</p>	 <p>58 Kammlättchen, nach dem Strahlen, Seite 1</p>
 <p>59 Kammlättchen, vor dem Strahlen, Seite 2</p>	 <p>60 Kammlättchen, nach dem Strahlen, Seite 2</p>
 <p>61 Verkrustungen zwischen den Zinken, nach dem Strahlen</p>	 <p>62 Freigestrahlte Poren</p>
<p><i>Fazit</i> Das Entfernen von Erdauflagerungen mit CO₂-Schnee funktioniert sehr gut. Verkrustungen bleiben haften. Die Poren im Bein wurden freigelegt ohne sich zu vergrößern. Ein Zinken wurde abgesprengt. Vermutlich befand sich an dieser Stelle ein Riss, in den der CO₂-Schnee eindringen konnte. (Vor einem CO₂-„Schneestrahlen“ wäre Bein auf Risse zu prüfen.)</p>	

Blockbergung mit Kammfragmenten

Fundherkunft und Bezeichnung: Buxheim, Grab 65, ID 12798, Fz 44138 D

<p><i>Objektbeschaffenheit</i> Das Kammfragment ist fest im Erdblock verbacken. Die Erde ist sehr fest, dicht und trocken. Das Bein ist trocken und hart. Die Oberfläche ist stellenweise stark abgebaut.</p>	<p><i>Ziel</i> Freilegen des Kammfragments aus dem Block.</p>
<p><i>Geräteeinstellungen</i> 1 bar und 0,05 kg/min</p>	<p><i>Verhalten der Oberfläche</i> Der Lehmblock lässt sich überschaubar reduzieren. Risse im Erdblock werden vergrößert. Das Bein lässt sich gut freilegen. Fragile Bereiche sind gefährdet, drohen abgesprengt zu werden.</p>
 <p>63 Blockbergung mit Kammfragment, vor dem Strahlen</p>	 <p>64 Blockbergung, nach dem Strahlen</p>
 <p>65 Kammfragment, vor dem Strahlen</p>	 <p>66 Kammfragment, nach dem Strahlen</p>
<p><i>Fazit</i> Das Freilegen des Kammfragments mit CO₂-Schnee funktioniert sehr gut. Es ist gut kontrollierbar. Die Erde wird langsam abgetragen ohne zu vereisen. Die Erde lässt sich sehr gut aus den Poren des Beins entfernen. Fragile, lockere Randbereiche des Kamms waren teils gefährdet abzuplatzen. Risse in der Erde wurden vergrößert. Die Methode ist sehr gut geeignet die Erde zu reduzieren und bei fragilen Objekten zumindest Vorarbeit zu leisten.</p>	

Schlussbetrachtung CO₂-„Schneestrahlen“ von Beinkämmen

Das Trockenschneestrahlen hat bei Beinkämmen gut funktioniert. Die Porenstruktur wurde von den Eiskristallen nicht vergrößert oder abgetragen. Ein zügiges Arbeiten war möglich. Die Erde auf und um den Kamm im Erdblock konnte gut reduziert werden. Die stark abgebaute Oberfläche wurde nicht beschädigt. Lockere Bereiche drohten abzuplatzen. Die Methode stellt bei der Freilegung von Beinobjekten ein Risiko dar, da meist nicht klar ist, wie die Oberfläche unter der Erde erhalten ist. Wenn Risse an Zinken oder anderen fragilen Elementen vorliegen, sind diese gefährdet, schnell abgesprengt zu werden. Ein Herantasten an die Oberfläche während der Freilegung ist mit dieser Methode nicht möglich. Fragile Bereiche können bei einmaligem Kontakt mit den Schneepartikeln abplatzen.

Buntmetall


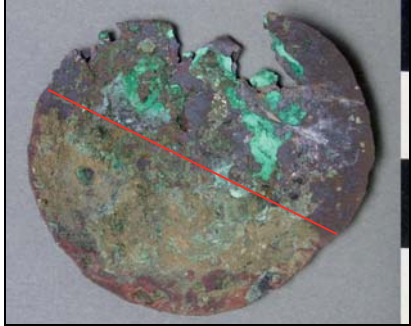


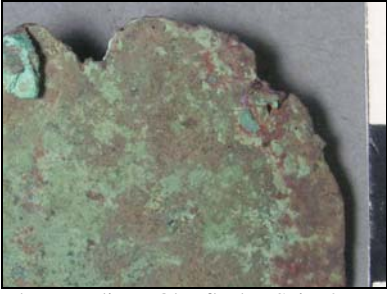
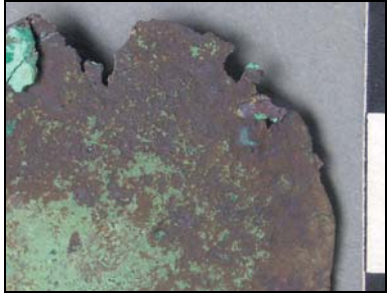
Buntmetalle sind nach Bodenlagerung korrodiert und mit anhaftender Erde bedeckt. Die originale Oberfläche kann unter der Korrosion erhalten sein. Es gibt viele Korrosionsformen von Buntmetall, beispielsweise kann sie fest, pockig, pulvrig oder weich sein. Ziel ist es, bis auf die originale Oberfläche freizulegen, oder, wenn diese nicht mehr erhalten ist auf ihr „Niveau“. Buntmetalle werden mit dem Skalpell freigelegt. Harte Krusten müssen geschliffen oder mit dem Ultraschallmeißel abgenommen werden.

Rundes Buntmetallplättchen






Fundherkunft und Bezeichnung: Befund 3345, Fz 5207

<p><i>Objektbeschaffenheit</i> Die Metalloberfläche ist mit Erdauflagerungen bedeckt. Die Metalloberfläche ist korrodiert und stabil.</p>	<p><i>Ziel</i> Entfernen der Erdauflagerungen und der Korrosion.</p>
<p><i>Geräteeinstellungen</i> 1 bar und 0,05 kg/min</p> <p>2 bar und 0,09 kg/min langsam auf 0,27 kg/min erhöht</p>	<p><i>Verhalten der Oberfläche</i> Die Erdauflagerungen und Teile der Korrosionsschicht werden abgestrahlt. Es entsteht eine buckelige Fläche.</p> <p>Ohne Veränderungen.</p>
 <p>67 Buntmetallplättchen, vor dem Strahlen</p>	 <p>68 Buntmetallplättchen, nach dem Strahlen</p>
 <p>69 Buckelige Oberfläche, nach dem Strahlen</p>	
<p><i>Fazit</i> Die Erdauflagerungen und Teile der Korrosion lassen sich absprengen. Das CO₂-„Schneestrahlen“ ist in diesem Fall ungeeignet, da unter der Korrosion die originale Oberfläche nicht erhalten ist und somit ein Freilegen auf eine Ebene unmöglich ist. Es entsteht eine buckelige Oberfläche. Zum Teil wird die Korrosion zu tief abgesprengt. Das Freilegen mit einem Skalpell wäre wesentlich präziser.</p>	

Buntmetallscheibe
 Fundherkunft: Pförring



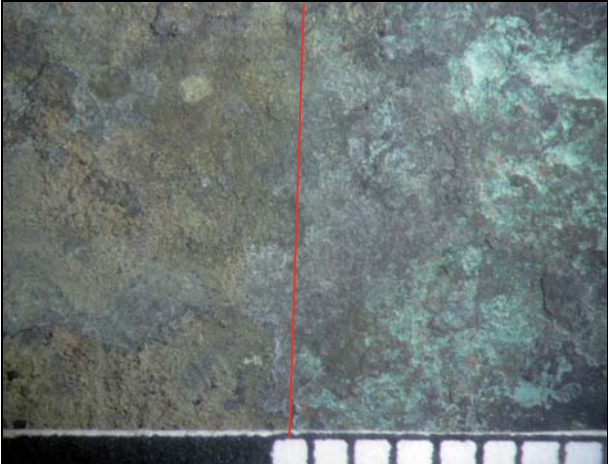
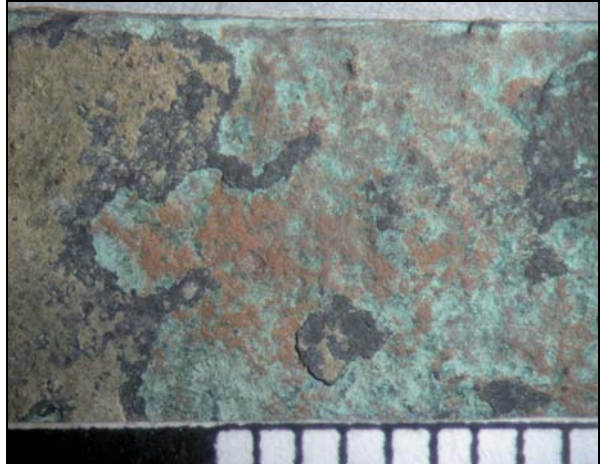
<p><i>Objektbeschaffenheit</i> Die Buntmetallscheibe ist beschädigt, ein Teil ausgebrochen, die Oberfläche mit Erde überzogen. Um den Ausbruch fehlen Teile der Oberfläche. Bis auf die hellgrünen Korrosionsflächen ist die Korrosion sehr hart.</p>	<p><i>Ziel</i> Freilegung der Metalloberfläche, d. h., Entfernen der Erdauflagerungen und der Korrosion.</p>
<p><i>Geräteeinstellungen</i> 1 bar und 0,05 kg/min</p>	<p><i>Verhalten der Oberfläche</i> An Stellen, an denen eine dunkle Metalloberfläche unter der Erde- und Korrosion liegt, kann gut freigelegt werden. In Bereichen mit hellgrüner Korrosion wird diese unkontrolliert abgesprengt.</p>
 <p>70 Scheibe, vor dem Strahlen, Seite 1</p>	 <p>71 Scheibe, nach dem Strahlen, Seite 2</p>
 <p>72 Scheibe, vor dem Strahlen, Seite 2</p>	 <p>73 Scheibe, nach dem Strahlen, Seite 2</p>
 <p>74 Korrodierte Oberfläche, Seite 2</p>	 <p>75 Gestrahlte Oberfläche, Seite 2</p>
<p><i>Fazit</i> Die Erdauflagerungen und die Korrosion lassen sich absprengen. Das CO₂-„Schneestrahlen“ ist ungeeignet, da unter der Korrosion, in den hellgrünen Bereichen, die originale Oberfläche nicht erhalten ist und somit ein Freilegen auf eine Ebene unmöglich ist. Diese Bereiche platzen schnell und tief ab. An den restlichen Stellen ist es unmöglich genau auf eine Ebene freizulegen. Die Fläche wird rau und uneben. Das Freilegen mit einem Skalpell wäre präziser.</p>	

Längliches Buntmetallobjekt
 Bezeichnung: Befund 3345, Fz 5207

	<p><i>Objektbeschaffenheit</i> Das Buntmetall ist fest und stabil. Die Oberfläche ist korrodiert und mit anhaftender Erde und Holzkohle bedeckt.</p>
<p>76 Längliches Buntmetallobjekt, vor dem Strahlen</p>	<p><i>Ziel</i> Entfernen der Korrosion bis auf die ursprüngliche Oberfläche.</p>
<p><i>Geräteeinstellungen</i> 1 bar und 0,05 kg/min</p> <p>Langsames Erhöhen auf 2 bar und 0,1 kg/min</p>	<p><i>Verhalten der Oberfläche</i> Erdauflagerungen, Holzkohle und lockere Korrosionsprodukte werden abgesprengt.</p> <p>Harte Korrosionsprodukte können nicht abgetragen werden.</p>
	
<p>77 Buntmetallobjekt, vor dem Strahlen</p>	<p>78 Buntmetallobjekt, nach dem Strahlen</p>
	
<p>79 Vor dem Strahlen</p>	<p>80 Nach dem Strahlen</p>
<p><i>Fazit</i> Mit dem CO₂-Schnee können lockere Korrosionsprodukte entfernt werden. Zum Teil wurde bis auf die originale Oberfläche freigelegt. Harte Korrosionskrusten konnten nicht entfernt werden. Das CO₂-„Schneestrahlen“ würde sich in diesem Fall als Erstmaßnahme eignen, da schnell und ästhetisch zufriedenstellend auf die Oberfläche freigelegt wird. Zurückbleibende harte Verkrustungen müssten in einem zweiten Schritt mit einem Skalpell freigelegt werden. Die CO₂-Schneestrahlmethode ist geeignet, da das Objekt nicht filigran ist, keine Risse aufweist und eine originale Oberfläche unter der Korrosion liegt.</p>	






Längliches Buntmetallplättchen

Fundherkunft: Friedolfing, Lkr. Braunstein

<p><i>Objektbeschaffenheit</i> Das Plättchen ist ca. 4 mm dick. Die hellgrünen Bereiche sind weich und liegen bereits unter der originalen Oberfläche. Auf dieser liegt eine dünne dunkelgrüne Korrosionsschicht aus festeren Produkten. Auf der Oberfläche haften Erdauflagerungen.</p>	<p><i>Ziel</i> Freilegung auf die ursprüngliche Oberfläche.</p>
<p><i>Geräteeinstellungen</i> 1 bar und 0,05 kg/min</p>	<p><i>Verhalten der Oberfläche</i> Die ursprüngliche Oberfläche und dünn aufliegende Korrosion wird abgestrahlt. Es bilden sich Krater. Darunterliegende, pudernde Korrosion fliegt weg.</p>
	
<p>81 Buntmetallplättchen, vor dem Strahlen</p>	<p>82 Buntmetallplättchen, nach dem Strahlen</p>
	
<p>83 Links unbehandelt, rechts gestrahlt</p>	<p>84 Links unbehandelt (schwarz u. braun), rechts gestrahlt</p>
<p><i>Fazit</i> Das CO₂-„Schneestrahlen“ ist bei diesem Objekt ungeeignet. Die Oberfläche ist zu empfindlich und weich. Das CO₂-Schneestrahlergerät kann nicht so stark gedrosselt werden, dass ein kontrolliertes Freilegen auf die originale Oberfläche möglich wäre. Bei den niedrigsten Einstellungen werden die Erdauflagerungen und die Korrosionsprodukte abgesprengt. Die hellgrüne pudernde Korrosion wird schnell abgetragen. Entstandene Krater reichen bis auf den Metallkern.</p>	

Rundes Buntmetallobjekt

Bezeichnung: Befund 3345, Fz 5207

 <p>85 Buntmetallobjekt, vor dem Strahlen</p>	<p><i>Objektbeschaffenheit</i> Teile des Randes sind abgebrochen. Das Buntmetall ist fest und stabil. Die Oberfläche ist mit Korrosionsprodukten und Erdauflagerungen überzogen.</p>
<p><i>Geräteeinstellungen</i> 1,2 bar und 0,09 kg/min</p>	<p><i>Ziel</i> Freilegung auf ursprüngliche Oberfläche.</p> <p><i>Verhalten der Oberfläche</i> Bei intakten Oberflächen wird schnell auf die ursprüngliche Oberfläche freigelegt. Die härteren braunen Korrosionsprodukte entlang des Bruchs reagieren wenig auf den CO₂-Schnee. Fragile Randbereiche sind gefährdet, sie platzen ab.</p>
 <p>86 Oberfläche, vor dem Strahlen</p>	 <p>87 Oberfläche, nach dem Strahlen</p>
 <p>88 Oberfläche, vor dem Strahlen</p>	 <p>89 Oberfläche, nach dem Strahlen</p>
<p><i>Fazit</i> Das CO₂-„Schneestrahlen“ ist als Freilegungsmethode ungeeignet. In stabilen Bereichen mit ursprünglicher Oberfläche unter den Korrosionsprodukten kann gut und schnell freigelegt werden. Es entsteht eine ebene Oberfläche. Feste Korrosionsprodukte können nicht entfernt werden. Fragile Bruchstellen sind gefährdet abgesprengt zu werden, da der CO₂-Schnee an der rauen Bruchkante Angriffsstellen findet.</p>	

Knopf

Fundherkunft: Pförring

		<p><i>Objektbeschaffenheit</i> Der Knopf ist stabil. Die Oberfläche ist mit weichen Korrosionsprodukten und Erde überzogen.</p>	
<p>90 Knopfvorderseite</p>	<p>91 Knopfrückseite</p>	<p><i>Ziel</i> Freilegung bis auf die ursprüngliche Oberfläche.</p>	
<p><i>Geräteeinstellungen</i> 1 bar und 0,05 kg/min</p>		<p><i>Verhalten der Oberfläche</i> Geschlossene Oberflächen lassen sich langsam und kontrolliert freilegen. Bei Ausbrüchen und Rissen wird die dünne Oberfläche abgerissen. Harte Korrosionskrusten bleiben stehen.</p>	
		<p>92 Vorderseite, vor dem Strahlen</p>	<p>93 Vorderseite, nach dem Strahlen</p>
		<p>94 Rückseite, vor dem Strahlen</p>	<p>95 Rückseite, nach dem Strahlen</p>
<p><i>Fazit</i> Das CO₂-„Schneestrahlen“ ist als Freilegungsmethode ungeeignet. Die Knopfoberfläche weist zu viele Durchbrüche auf. Sie ist aus einem dünnen Blech filigran gearbeitet. Der CO₂-Schnee dringt in Ausbrüche und Risse in der Oberfläche und sprengt das dünne Blech ab. Lockere Korrosionsprodukte und Erde können leicht entfernt werden, wobei keine glatte Oberfläche entsteht. Bei Freilegung mit einem Skalpell, würde eine glattere, ästhetisch schönere Oberfläche entstehen.</p>			

Schlussbetrachtung CO₂-„Schneestrahlen“ von Buntmetall







Das Trockenschneestrahlen erwies sich an vielen Buntmetallobjekten als ungeeignet. Fragile Bereiche, weiche und pulvrige Korrosionsschichten wurden unkontrolliert abgesprengt. Mit dem Trockenschneestrahlen ist es nicht möglich sich an ein Oberflächenniveau heranzutasten. Es werden schnell alle fragilen und pulvrigen Bereiche abgetragen. Eine unebene, löchrige Oberfläche entsteht. Harte Korrosionskrusten konnten nicht abgetragen werden. Liegt eine intakte Oberfläche unter der Korrosion, wurden sehr gute Freilegungsergebnisse erzielt. Die intakte Oberfläche kann mit dieser Freilegungsmethode nicht verletzt werden. Bei einer Freilegung mit dem Skalpell besteht die Gefahr die Oberfläche zu zerkratzen.

Eisen

Bodengelagerte Eisenobjekte sind stark korrodiert. Eisenkorrosion ist hart und kann als unregelmäßige dicke Schichten auftreten. Typisches Erscheinungsbild von Eisenfunden ist eine korrodierte Oberfläche mit abgeplatzten Schollen und fragilen Bereichen. In den durch die Schollenabplatzung entstandenen Mulden, die unter dem Niveau der originalen Oberfläche liegen, sind Korrosionsnester vorhanden. Neben den Korrosionsprodukten sind die Oberflächen oft mit Sinterauflagerungen und Erde bedeckt. Eine Oberfläche ist bei fast allen Eisenobjekten erhalten, soweit diese nicht abgeplatzt ist. Eisenkorrosion wird mit dem Mikrofeinstrahlgerät entfernt. Anfangs wird das schleifende harte Strahlmittel Korund zum Entfernen dicker und harter Schichten verwendet. In Oberflächennähe werden Glasperlen zum schonenderen Freilegen eingesetzt. Es verdichtet zudem die Oberfläche.





Messer

Fundherkunft und Bezeichnung: Lesefund, Aschheim

<p><i>Objektbeschaffenheit</i> Das Messer ist korrodiert. Schollen über Korrosionsnestern sind abgeplatzt. Neben den Korrosionsprodukten befindet sich auf der Oberfläche Erde und Sinter.</p>	<p><i>Ziel</i> Freilegung bis auf die ursprüngliche Oberfläche.</p>
<p><i>Verwendete Geräteeinstellungen</i> 1 bar und 0,05 kg/min 2,5 bar und 0,27 kg/min</p>	<p><i>Verhalten der Oberfläche</i> Erde und lockere Korrosion werden abgesprengt. Feste Korrosionsprodukte und Sinter lassen sich nicht abnehmen.</p>
 <p>96 Messer, vor dem Strahlen</p>	
 <p>97 Messer, nach dem Strahlen</p>	
 <p>98 Detail, vor dem Strahlen</p>	 <p>99 Detail, nach dem Strahlen</p>
 <p>100 Korrosionsnest, vor dem Strahlen</p>	 <p>101 Korrosionsnest, nach dem Strahlen</p>
<p><i>Fazit</i> Lockere Korrosionsprodukte, Erdauflagerungen und Sinter lassen sich mit dem CO₂-„Schneestrahlen“ abtragen. Korrosionsnester können gut frei gestrahlt werden. Zum Entfernen harter Korrosion und Sinteraflagerungen ist diese Freilegungsmethode ungeeignet, mit dieser Methode kann nicht bis auf die ursprüngliche Oberfläche freigelegt werden. Hierzu muss mit dem Mikrofeinstrahlgerät abrasiv gearbeitet werden.</p>	




Münze

Fundherkunft und Bezeichnung: Pförring, Detektorfund

<p><i>Objektbeschaffenheit</i> Die Münze ist korrodiert. Die Korrosionsprodukte sind hart. Die Prägung ist schwer zu erkennen. Auf der Korrosion finden sich teils Erdauflagerungen.</p>	<p><i>Ziel</i> Entfernen der Erdauflagerung und Korrosion bis auf die ursprüngliche Oberfläche.</p>
<p><i>Geräteinstellungen</i> 1,2 bar und 0,07 kg/min 1,8 bar und 0,18 kg/min 2,2 bar und 0,27 kg/min</p>	<p><i>Verhalten der Oberfläche</i> Die Erdauflagerungen lassen sich schwer entfernen, die Korrosion nicht. Die Korrosion lässt sich schwer abstrahlen. Die Münze vereist. Die Korrosion lässt sich nicht besser entfernen. Die Münze vereist.</p>
 <p>102 Vor dem Strahlen, Seite 1</p>	 <p>103 Nach dem Strahlen, Seite 1</p>
 <p>104 Vor dem Strahlen, Seite 2</p>	 <p>105 Nach dem Strahlen, Seite 2</p>
 <p>106 Vereiste Münze</p>	 <p>107 Kondensationsfeuchte</p>
<p><i>Fazit</i> Die Strahlmethode ist ungeeignet zum Entfernen harter Korrosionsprodukte. Sowohl mit hohem Druck und hoher Strahlmediumzufuhr sind diese nicht zu entfernen. Nach kurzem Strahlen bilden sich auf der Oberfläche Eiskristalle. Bei Strahlstopp schmelzen diese und zudem bildet sich Kondensationsfeuchte. Dadurch wird ein erneuter Korrosionsprozess begünstigt. Mit einem Skalpell wäre ein präziseres, effektiveres und schonenderes Freilegen möglich.</p>	

Altrestaurierte Pfeilspitze

Fundherkunft und Bezeichnung: Buxheim, Grab 94, ID 13175

	<p><i>Objektbeschaffenheit</i> Die Pfeilspitze ist in Kunstharz getränkt. Auf der Oberfläche befindet sich eine dünne Schicht harten Kunstharzes. Fehlstellen sind mit Kunststoff ergänzt.</p>
<p>108 Altrestaurierte Pfeilspitze</p>	<p><i>Ziel</i> Ziel ist den Kunstharzfilm auf der Oberfläche zu entfernen und den starken Glanz zu reduzieren.</p>
<p><i>Geräteeinstellungen</i> 1 bar und 0,09 kg/min langsam erhöht auf 0,45 kg/min</p>	<p><i>Verhalten der Oberfläche</i> Bei 1 bar und 0,09 kg/min wird die Oberfläche von hohlliegenden Bereichen mit Mikrorissen abgeplatzt. Das Kunstharz wird erst bei einer Erhöhung des Strahlmediums mattiert. Fragile Bereiche sind dabei gefährdet.</p>
	
<p>109 Blattoberfläche, vor dem Strahlen</p>	<p>110 Blattoberfläche, nach dem Strahlen</p>
<p><i>Fazit</i> Die Methode ist nicht geeignet zum Entfernen von alten Kunstharzüberschichten, da diese zu hart sind. Fragile Oberflächenbereiche mit Mikrorissen wurden unkontrolliert abgesprengt. Für ein Mattieren des Kunstharzes müsste die Strahlmediumzufuhr so hoch eingestellt werden, dass nur ein unkontrolliertes Arbeiten möglich wäre.</p>	

Schlussbetrachtung CO₂-„Schneestrahlen“ von Eisen

Das Trockeneisstrahlen ist an bodengelagerten Eisenfunden nicht effektiv. Feine Korrosionsprodukte, wie sie in Korrosionsnestern vorliegen, können gut abgetragen, harte Korrosionsschichten und Sinterauflagen können nicht entfernt werden. Wegen der Härte der Eisenkorrosion sind hoher Druck und hohe Strahlmediumzufuhr notwendig, um zumindest eine leichte Dezimierung der Korrosion zu erreichen. Das lange Strahlen auf eine Stelle verursachte ein Vereisen der Oberfläche und anschließende Feuchte. Feuchte sollte auf Eisenobjekten vermieden werden, da diese zu einer Beschleunigung der Korrosion führt. Hohlliegende Bereiche unter der originalen Oberfläche sind mit dieser Freilegungsmethode gefährdet aufgesprengt zu werden. Das Strahlmedium kann in kleine Risse der Oberfläche eindringen.

Schlussbetrachtung

Das Trockenschneestrahlen kommt an bodengelagerten Objekten nur in wenigen Fällen in Frage. Grundsätzlich könnte der Einsatz erhöht werden, erforderlich wäre hierfür ein Arbeiten mit weniger Druck, unter 1 bar. Beim Großteil der getesteten Objekte ist der Strahl Druck mit 1 bar zu hoch. Der Abtrag der Ablagerungen erfolgt zu schnell und unkontrolliert. Beim Arbeiten zwischen 1 und 1,5 bar erfolgt die Schneezufuhr nicht regelmäßig, sondern mit langen „Aussetzern“. Die Erhöhung der Strahlmediumzufuhr bringt keine Verbesserung. Problem ist vermutlich, dass der Trockenschnee mit drei Messern abgeschabt wird und bei niedrigen Einstellungen die Rotation so langsam ist, dass der Schnee nicht regelmäßig zugeführt werden kann. Eine größere Anzahl an Messern könnte zu einer besseren Leistung führen. Das Sublimieren der Eisblöcke verstärkt die unregelmäßige Strahlmediumzufuhr, da die Blöcke die Eiskammer im Gerät nicht mehr ausfüllen und nicht ständig alle drei Messer zum Einsatz kommen (Abb. 112). Bei empfindlichen Oberflächen ist problematisch, dass die Schneepartikel in der Größe variieren und mehrere millimetergroße Körner zu starke Auswirkungen auf empfindliche Oberflächen haben.

Für den Einsatz des Trockenschneestrahlers in der Restaurierung wäre eine Ausstattung der Maschine mit kleineren und kürzeren Düsen erforderlich. Das Arbeiten mit den Düsen von 15 cm Länge ist unhandlich (Abb. 113). Zu Beginn der Versuchsreihe wurde mit der kleinsten Düse, d. h. einer Strahlbreite von 3,2 mm gearbeitet, die jedoch nach kurzer Zeit verstopfte. Ein Arbeiten war nicht möglich. Für die Versuche wurde dann die Düse mit einem Strahldurchmesser von 4,7 mm Breite verwendet. Diese Düse verstopfte auch öfters, ein Arbeiten war aber möglich. Kürzere Düsen könnten dieses Problem reduzieren. Um den Freilegungsprozess besser kontrollieren zu können, wären Düsen mit einer Strahlbreite zwischen 1 bis 2 mm erfolgversprechend.



111 Zur Hälfte sublimierter Block



112 Für restauratorische Zwecke zu große, lange Düse

Literatur

- acp 2007 acp: Broschuere CO₂ Snow Cleaning, September 2007
- BLUMER/KINDER/SCHAD BLUMER, R.-D./KINDER, J./SCHAD, F.: *Oberflächenreinigung gusseiserner Kulturdenkmale mit einem neuen Verfahren am Beispiel der Schiltachbrücke in Schramberg*, in: Denkmalpflege in Baden-Württemberg, Nachrichtenblatt der Landesdenkmalpflege, 1/2007, S. 48-54.
- Cold Jet Cold Jet: Kundeninformation Trockeneisstrahlensysteme, o. J.
- DAHLHAUS 2007 DAHLHAUS, N.: *Auswirkungen einer Trockeneisbehandlung auf Acrylmalschichten*, in: ZKK, 2/2007, S. 383– 387
- KÄRCHER 2007 KÄRCHER, A.: *Reinigung mit Trockeneis, Ein schonendes Verfahren zur Behandlung gusseisernen Kulturguts*, in: Restauro 3/2007, S. 154– 156
- KINDER/BLUMER/SCHAD KINDER, J./BLUMER, R.-D./SCHAD, F.: *Erprobung eines neuen Verfahrens zur schonenden Oberflächenreinigung gusseiserner Kulturdenkmale*, o. N., o. J.
- i³ Microclean
Produktkatalog
PEETERS 2008 META Dryice Solutions GmbH und Cold Jet: i³ Microclean Produktkatalog
PEETERS, J.: *Eiskalt kalkuliert*, in: Plastverarbeiter, September 2008, S. 78/79
- PIENING/SCHWARZ 2008 PIENING, H./SCHWARZ, S.: *Der Einsatz von Kälte in der Oberflächenreinigung*, in Restauro 4/2008, S. 248– 252
- REINIGEN MIT
TROCKENEIS 4/1997 Reinigen mit Trockeneis, Strahlverfahren „Cycloclean“, in: Restauro 4/1997, S. 229, o. N.
- SCHIEWECK 2007 SCHIEWECK, A.: *Untersuchung der Auswirkungen cryogener Temperaturen auf Malschichten gefasster Holzobjekte*, in: ZKK 1/2007, S. 111– 128
- TUREK/WIECH 1996 TUREK, P./WIECH, A.: *Schonende Freilegung durch Tieffrieren*, in: Restauro 2/1996, S. 116–117