

1 Projekt

Im Mai 2005 wurden am Fraunhofer IWS in Dresden Untersuchungen zur Möglichkeit der Abnahme von Bronzierungen auf einer Schlagmetallfassung mittels Laserstrahlung vorgenommen.

2 Objekt:

Die Untersuchungen wurden an zwei Schnitzfragmenten einer Pyramidenétagère (nicht mehr zuordenbar) aus dem Besitz der SPSG vorgenommen. Die Schnitzfragmente weisen einen unterschiedlichen Fassungsaufbau auf:

- Originalschnitzwerk:



- Schnitzergänzung 19. Jhd:



3 Zielstellung

Abnahme der Bronzierung bei Erhalt der unterliegenden ölgebundenen Schlagmetallfassung

3.1 Problematik

Die zu erhaltende Schlagmetallfassung (Messinglegierung) ist thermisch äußerst sensibel. Durch Laserbestrahlung der Wellenlänge 1064nm entstehende Wärme wird aufgrund der geringen Dicke der Schlagmetallaufgabe in die darunterliegende Schicht des Anlegeöls weitergeleitet. Es kommt zu lokalen Anschmelzungen des Anlegeöls. Resultat dieser Anschmelzungen sind makroskopisch aufgeraute, matt erscheinende Flächen.

3.2 Lösungsansatz

Um entstehende Wärme abzuleiten, wurden zwei prinzipiell unterschiedliche Verfahren angewandt:

- Spülung mit Stickstoff während der Laserbestrahlung (Trockenreinigung)

- Applikation von Lösemitteln (Aceton und Wasser) alternierend mit der Laserbestrahlung (Feuchtreinigung)

4 Versuchsaufbau

Die Objekte wurden in einem Abstand von ca. 20cm mittels manueller Strahlführung bestrahlt. Variierte Parameter : Frequenz und Pulsenergie

4.1 Gerätetechnik

- Nd-YAG-Laser Artlight NL 102, soliton bmi ($\lambda = 1064 \text{ nm}$).
- mobile Absauganlage

4.2 Geräteparameter

Bei beiden Fragmenten lag die verwendete Pulsenergiedichte $H \approx 0,5$ bis $0,7 \text{ J/cm}^2$ ¹ bei einem Arbeitsfleckdurchmesser von ca $0,5 \text{ cm}$. Die Pulsfrequenz wurde zwischen 5 und 20 Hz variiert.

4.3 Hilfsmittel

- Stickstoff aus Druckleitung
- Aceton
- Wasser
- Wattestäbchen zur Applikation der Lösemittel

5 Ergebnisse

An den beiden Fragmenten wurden unterschiedliche Reinigungsergebnisse erzielt. An der Schnitzergängung aus dem 19. Jhd konnte kein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden. Die Abnahme der Bronzierung gelang lediglich partiell. Mithilfe der Laserbestrahlung konnten lediglich minimale Reste von Schlagmetall auf einer dick erscheinenden, sehr stark vergrünten Anlegeölschicht freigelegt werden².

Nachfolgende Beschreibungen beziehen sich auf die Laserreinigung des *Originalfragmentes*.

5.1 Trockenreinigung

Die reine Trockenreinigung führte zu keinem befriedigenden

1 Entspricht einer Einstellung der Teleskopoptik am Gerät von 6, 5 (=maximale Strahlaufweitung) und Energieeinstellungen von 0 bis 3 am Drehregler des Gerätes. Strahlfleckdurchmesser ca. $0,5 \text{ cm}$.

2 Unter Umständen erfolgte hier die nachträgliche Bronzierung aus eben dem Grund, dass das Schlagmetall vollständig oxidiert und die Ölschicht so stark vergrünt war.

Reinigungsergebnis. Die Abtragsschwelle der Bronzierung lag oberhalb der Reaktionsschwelle bzw. Schädigungsschwelle der Schlagmetallaufgabe. Maximal erreichbares Ergebnis war eine Dünnung der Bronzierung; die erhaltenen Oberflächen erschienen aufgeraut und matt. Die Spülung mit Stickstoff führte zu keinem erkenntlichen Unterschied zu einer Trockenreinigung ohne Stickstoffzufuhr

5.2 Feuchtreinigung

5.2.1 Aceton

Die Applikation von Aceton führte zu einer geringfügigen Verbesserung des Reinigungsergebnisses: die Bronzierung wurde stärker, aber nicht vollständig, abgetragen. Die erhaltenen Oberflächen erschienen im Vergleich zur Trockenreinigung etwas weniger aufgeraut.

5.2.2 Wasser

Die Applikation von Wasser führte im Vergleich zur Applikation von Aceton und zur Trockenreinigung zu einem befriedigenden Reinigungsergebnis. Die Bronzierungen konnten abgetragen werden. Die bestrahlten Flächen erschienen minimal bis nicht aufgeraut. Das freigelegte Schlagmetall wies einen zufriedenstellenden Glanzgrad auf.

Es wurde eine Abhängigkeit des Reinigungsergebnisses von der eingesetzten Pulsfrequenz festgestellt. Eine Erhöhung der Pulsfrequenz führte bei gleichbleibender Energiedichte zu einem homogeneren und ästhetisch befriedigerenden Reinigungsergebnis:

Niedrigere Frequenzen führten zu einem partiellem Abtrag der zu erhaltenden Schlagmetallaufgabe. Neben gereinigtem Schlagmetall lagen grüne Bereiche vor. Diese grünen Bereiche stellen vermutlich die unter dem Schlagmetall befindliche Schicht des Anlegeöls dar. Ein selektiver Abtrag dieser grünen Schicht unter Erhalt der danebenliegenden freigelegten Schlagmetallaufgabe war nicht möglich: die Abtragsschwelle der grünen Schicht lag über der Reaktions/ Schädigungsschwelle der Schlagmetallaufgabe.

Bei hohen Frequenzen (20 Hz) konnte ein Abtrag des Schlagmetalls und

damit die verstärkte Freilegung der grünen Anlegeölschicht weitgehend vermieden werden.

Die grüne Anlegeölschicht wurde in jedem Fall erhalten, also auch bei Laserabtrag der Bronzierung von vorhandenen Fehlstellen in der Schlagmetallschicht.

Der Reinigungsprozess ist nicht selbstbegrenzend sondern muss visuell/akustisch kontrolliert werden. Eine Modulation des Ergebnisses war über Variationen der Pulsenergieichte in geringem Maß möglich.

6 Interpretation der Ergebnisse der Feuchtreinigung

6.1 Feuchtreinigung mit Wasser

Die Applikation von Wasser führt offenbar zu einer guten Ableitung der bei der Laserbestrahlung entstehenden Wärme durch das Wasser. Eine Aufrauung der Oberfläche durch thermische Wechselwirkungen bzw. lokale Anschmelzungen mit und in der Schicht des Anlegeöls scheint vermeidbar. Der Einsatz niedriger Pulsfrequenzen (5 bis 10 Hz) führte im Vergleich zu eingesetzten hohen Pulsfrequenzen (20 Hz) zu einem qualitativ schlechteren Reinigungsergebnis (s.o.). Folgende Erklärungen dieses Sachverhalts sind denkbar:

- bei niedrigen Pulsfrequenzen wird die Dauer der Laserbestrahlung, um den zum Abtrag der Bronzierung benötigten Gesamtenergieeintrag (Anzahl der Laserpulse) zu erreichen, verlängert. Diese Verlängerung des Zeitraumes reicht scheinbar aus, um das applizierte Wasser verdunsten zu lassen. Durch die hydrophobe Oberfläche der Schlagmetallfassung war ein geschlossener Wasserfilm auf der Oberfläche nicht immer gegeben. Einige Laserpulse treffen so auf trockene Stellen und es kommt entweder zu einem Abtrag der freiliegenden Schlagmetallaufgabe oder, bei noch vorhandener Bronzierung, zu einer leichten Aufrauung durch Anschmelzung des Anlegeöls.
- das Wasser kann zwischen den Pulsen in Fissuren und Kapillaren zwischen Anlegeöl und Metallaufgabe eindringen. Bei folgenden Laserpulsen kommt es zur spontanen Wasserdampfbildung zwischen Metallaufgabe und Ölschicht und

die Metallaufgabe wird durch den Dampfdruck abgesprengt.

Die grüne Erscheinung der freigelegten Schicht des Anlegeöls (= Abtrag Schlagmetall) kann auf eine bereits vorhandene Einfärbung des Öls durch Oxidationsprodukte (Kupferoxide) des Schlagmetalls zurückgeführt werden.

6.2 Feuchtreinigung mit Aceton

Eine Wärmeableitung über das Aceton war aufgrund der raschen Verdunstung des Acetons nicht möglich. Von einer stärkeren Vornetzung mit Aceton wurde aufgrund der möglichen Entzündungsgefahr abgesehen.

7 Vergleich mit konventioneller Reinigung (Lösungsmittelgemisch)

Der Vergleich mit dem Ergebnis der konventionellen Reinigung mit Lösemittelgemischen ist insofern schwierig, als dass bei der konventionellen Reinigung bei auch hier nicht auszuschließender Abnahme der zu erhaltenden Schlagmetallaufgabe vermutlich die grün eingefärbte Schicht des Anlegeöls gleichzeitig mit der Metallaufgabe abgenommen wird.

So erscheinen Fehlstellen nicht grün wie bei der Laserreinigung, sondern gelb, da die noch unter der grünen Schicht des Öls befindliche „Grundierung“ im Gelbton des Schlagmetalls gehalten ist. Der Gesamteindruck des Reinigungsergebnisses ist dadurch wesentlich homogener. Vom konservatorischen Standpunkt aus erscheint allerdings die Laserreinigung differenzierter, da die erhaltene Schicht des Anlegeöls zu der zu konservierenden Fassung gehört.

8 Schlußfolgerung

Die Applikation von Wasser während der Laserbestrahlung hat gegenüber der Laser-Trockenreinigung zu einem ungleich besseren Reinigungs-/ Freilegungsergebnis bei der Abnahme der Bronzierung von der zu erhaltenden Schlagmetallfassung geführt. Eine Modulation des Reinigungsergebnisses ist über Variationen der Pulsenergiedichte in geringem Umfang möglich.

Das ästhetisch nur eingeschränkt befriedigende Reinigungsergebnis bei Abnahme der Metallaufgabe durch vergrünte Partien von Anlegeöl bedarf einer restauratorischen Nachbehandlung. Hier kann entweder eine Nachbehandlung mit Lösungsmitteln/ -gemischen erfolgen, oder die störend grün erscheinenden

Partien können retuschiert werden.

Möglicher Quellfaktor Wasser

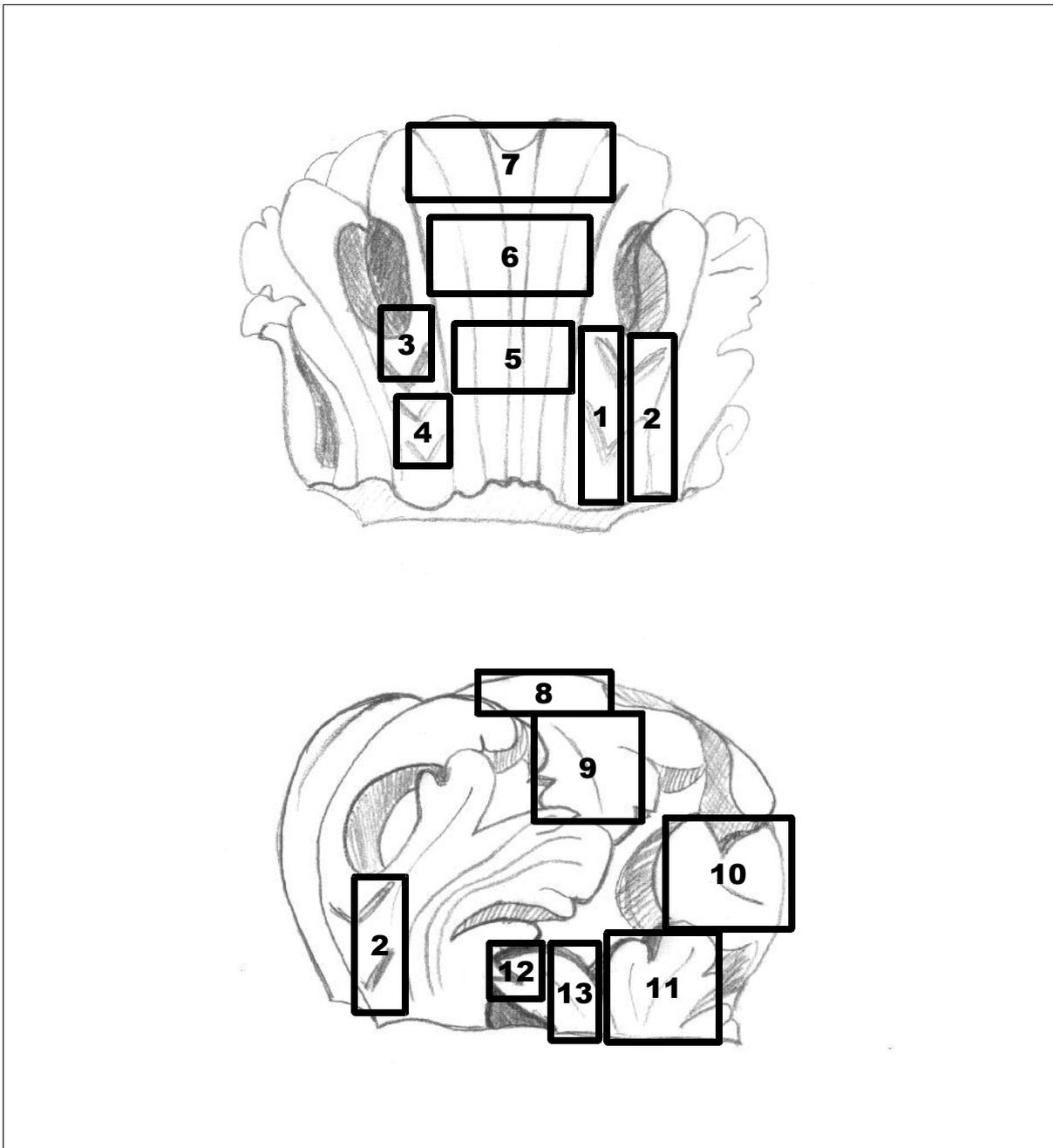
Während der Laserreinigung entstand der subjektive Eindruck, dass die vorliegende hydrophobe, ölgebundene Fassung durch die Applikation von Wasser nicht beeinträchtigt wurde. Auch bereits freiliegende Grundierungsschichten (Kreidegrund) konnten zufriedenstellend freigelegt werden, ohne dass eine Quellwirkung festgestellt wurde. Die Benetzung der Oberfläche mit flüssigem Wasser beschränkt sich auf wenige Sekunden³. Inwieweit bei der Laserbestrahlung verdampftes Wasser in das Schichtenpaket eindringt und dort verbleibt, kann an dieser Stelle nicht beurteilt werden.

9 Offenstehende Fragen, weitere Lösungsansätze

- Heraufsetzen der Benetzungsfähigkeit der hydrophoben Oberfläche mit Wasser durch Tensidzusatz
- Einsatz von wasserhaltigem Gel (Frage der Durchlässigkeit des entsprechenden Gelbildners ggü. 1064 nm)
- Praktikabilität des Vornetzens/ der Applikation von Wasser während der Laserbestrahlung: hier erscheint die kleinteilig an den Fragmenten vorgenommenen Benetzungsmethode mit einem Wattestäbchen recht unpraktikabel, zumal das verwendete Lasergerät eine Zweihandbedienung voraussetzt
- Einsatz von flüssigem Stickstoff, um eine tatsächliche Kühlung der Oberfläche/ Ableitung der entstehenden Wärme zu gewährleisten
- sowohl die Applikation von Wasser als auch die Applikation/ Spülung mit flüssigem Stickstoff sollten parallel zur Strahlführung erfolgen, zum Beispiel durch Fixierung einer entsprechenden Auslassdüse an/ neben der „Laserpistole“

³ An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass bei der konventionellen Reinigung applizierte Kompressen mit wasserhaltigen Lösungsmittelgemischen ungleich länger auf der Oberfläche verbleiben und eine Quellwirkung auf die Schichten auswirken können.

10 Kartierung



Angelegte Versuchsfelder am Fragment

11 Versuchsprotokoll

Versuchs- feld	Amplifier 0-9	Optik	Frequenz [Hz]	DW [cm] bei ~20cm	H [J/cm ²], circa	Bemerkung
1	1	6,5	5	0,5	0,6	trocken
2	1	6,5	5	0,5	0,6	trocken +N
3	1	6,5	5	0,5	0,6	feucht + Aceton
4	1	6,5	5	0,5	0,6	feucht + Wasser
5	2	6,5	5	0,5	0,65	feucht + Wasser
6	2	6,5	10	0,5	0,65	feucht + Wasser
7	3	6,5	10	0,5	0,7	feucht + Wasser
8	3	6,5	20	0,5	0,7	feucht + Wasser: gutes Ergebnis
9	3	6,5	20	0,5	0,7	feucht + Wasser: gutes Ergebnis
10	3	6,5	20	0,5	0,7	feucht + Wasser: Abtrag Schlagmetall; Freilegung grünes Anlegeöl
11	2	6,5	20	0,5	0,65	feucht + Wasser: gutes Ergebnis
12	2	6,5	20	0,5	0,65	feucht + Wasser: Abtrag Schlagmetall; Freilegung grünes Anlegeöl
13	1	6,5	20	0,5	0,6	feucht + Wasser: gutes Ergebnis