

# Laserreinigung von Kunst- und Kulturgütern

**Ein mit der konventionellen Lasermaterialbearbeitung verwandtes, aber dennoch etwas anders gelagertes Themenfeld ist die Laserreinigung von Kunst- und Kulturgütern. Denn die Objekte bestehen nicht wie bei entsprechend vergleichbaren Industrieanwendungen aus normierten Materialien und definierten Schichtdicken.**

## Einleitung

Ob Flugzeuge entlackt, Stähle entrostet oder Kirchenfassaden von alten Verwitterungsschichten befreit werden, der genutzte Wechselwirkungsprozess ist grundlegend identisch. Dabei ist das Anwendungsspektrum in der Restaurierung oftmals weniger durch technische als vielmehr durch finanzielle oder ideologische Faktoren begrenzt. Die entsprechende Nutzung in Deutschland liegt deutlich unter dem Niveau manch anderer europäischer Staaten, wo es Fachzentren und mobile Labore mit interdisziplinärer Besetzung und guter finanzieller Ausstattung gibt. Seit 1995 existiert eine eigene Fachkonferenz LACONA (Lasers in the Conservation of Artworks). In diesem Jahr (LACONA 7, Madrid 17.-21.9.2007) stammten lediglich neun von 162 Beiträgen aus Deutschland, vier davon wiederum vom Laserzentrum der FH Münster (LFM). Das LFM befasst sich seit 13 Jahren mit dieser Thematik und hat Forschungsarbeiten zu vielen relevanten Werkstoffkategorien durchgeführt [1,2]. Hierbei kooperieren die Ingenieure für Laseranwendungstechnik mit den jeweiligen Experten (Restauratoren, Kuratoren, Denkmalschützern). Entsprechende Forschungsprojekte wurden u. a. von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) oder der Euregio gefördert und regelmäßig in Fachzeitschriften publiziert. Darüber hinaus ist das LFM Anlaufstelle bei allen Fragen zur Laserreinigung und bietet entsprechende Fortbildungskurse an.

## Kurzeinführung zur Laserreinigung

Erste Laserreinigungsexperimente erfolgten bereits 1971, jedoch scheiterte eine Umsetzung in der Praxis lange Zeit an der unzureichenden Leistung und Handhabbarkeit der Systeme. Dies hat sich inzwischen grundlegend geändert: Kurz gepulste Nd:YAG-Lasersysteme mit flexibler Strahlführung (s. Abb. 1) wurden für den medizinischen Gebrauch, insbesondere in der Dermatologie, und

wicklung. Dennoch sind auch moderne Lasersysteme neben ihrem enormen Potenzial in ihrer Anwendbarkeit für den Reinigungsprozess eingeschränkt. Trifft ein konzentrierter Laserpuls von wenigen Nanosekunden auf ein Objekt, so werden beim Überschreiten eines Schwellwertes Puls für Puls dünne Schichten von der Oberfläche abgetragen. Daher ist der Reinigungsprozess physikalisch gesehen ein Abtragsprozess. Im Idealfall wird dabei die durch eingekoppelte Energie erzeugte Wärme von den abgetragenen Partikeln mitgenommen und das Objekt selbst erfährt nur eine geringe Erwärmung. Der Abtragsmechanismus basiert je nach Material und Wellenlänge  $\lambda$  auf einer Thermoschockreaktion, bei der



▲ Abb. 1: Q-Switch Nd:YAG-Laser (SAGA220/10) mit Gelenkarm zur manuellen Strahlführung im Laserzentrum der FH Münster

technische Applikationen entwickelt und dann in kleinen Stückzahlen für die Laserreinigung in der Restaurierung modifiziert. Somit partizipiert diese »Nischenanwendung« von der allgemeinen technischen Weiterent-

sich die oberste Materialschicht schlagartig ausdehnt und vom Untergrund abplatzt oder auf einer nicht thermischen Photoablation, bei der die Energie des Laserlichtes Molekülverbindungen an der Oberfläche auf-

trennt und diese ablöst oder verdampft. Beiden Mechanismen gemein ist die begrenzte Eindringtiefe. Somit können im Allgemeinen nur die auf der Oberfläche befindlichen Schmutzschichten entfernt werden.

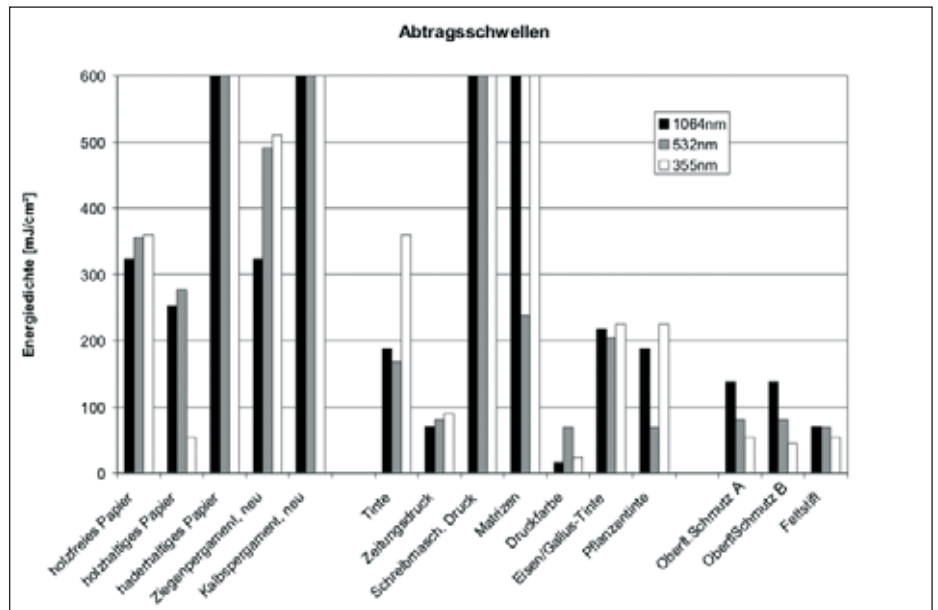
Dabei kann unkontrolliertes Abtragen von zu erhaltenden Schichten häufig durch unterschiedlich starke Absorptionseigenschaften des Laserlichtes (z. B. schwarze Schmutzkruste, weißer Untergrund) oder durch Unterschiede in den Laserabtragschwellen verschiedener Schichten verhindert werden.

Umfassende Untersuchungen sowie praktische Anwendungen gibt es insbesondere bei Steinobjekten, aber auch Holz-, Textil-, Metall- und viele andere Objekte werden bereits mit Laserstrahlung gereinigt. Als allgemein problematisch für die Laserreinigung gelten dabei Objekte mit Polychromie, da diese meist schon bei geringer Intensität des Laserlichts mit Verfärbung reagieren [3,4].

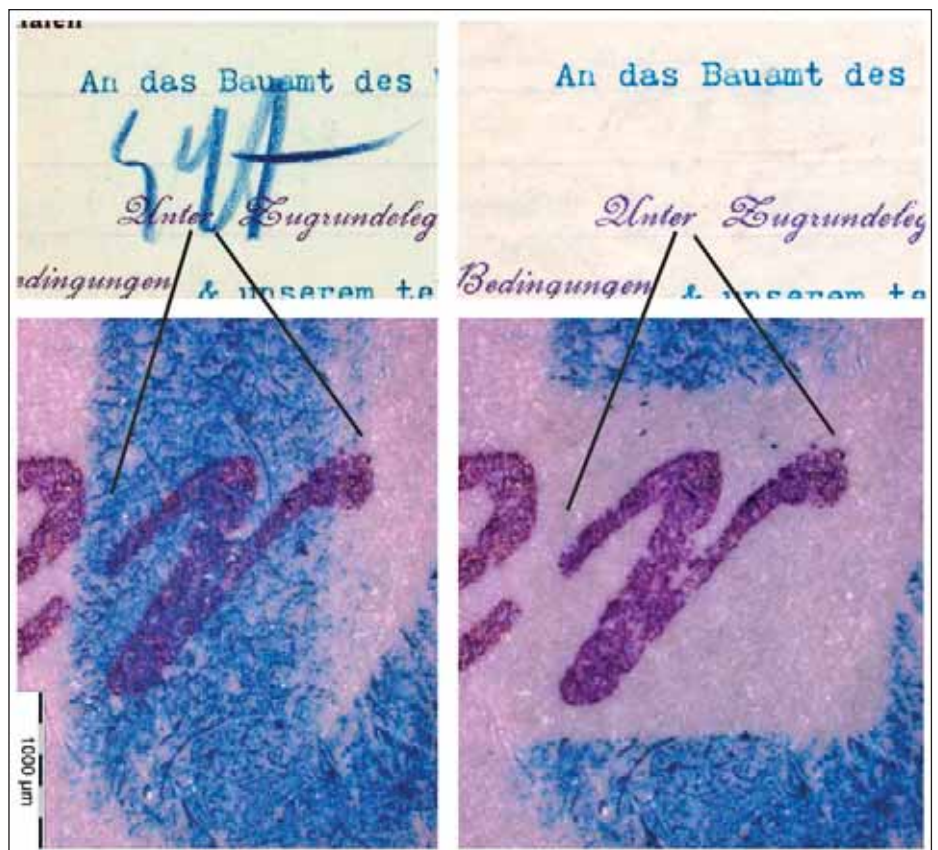
### Laserreinigung von Papier- und Pergamentobjekten

Papier besitzt durch den Faseraufbau keine klar definierte Oberfläche. Verunreinigungen befinden sich mehr oder weniger in einer Oberflächenzone und umschließen teilweise die Fasern oder sind in diese eingedrungen. Obwohl Papier in vielen Fällen transluzent für die Laserstrahlung ist, können Verunreinigungen nur im direkten Einflussbereich der Laserstrahlung kontaktiert abgenommen werden. Bei Pergament ergeben sich hingegen Schwierigkeiten durch den wärmeempfindlichen Collagenanteil und die z. T. verworfene Oberfläche.

Zu beiden Objektarten wurden F&E-Arbeiten in Zusammenarbeit mit dem Westfälischen Archivamt des LWL durchgeführt, in denen das Wechselwirkungs- und Abtragsverhalten der Grundmaterialien wie auch der zu erhaltenden und abzutragenden Stoffe untersucht wurde. Sind die jeweiligen Schwellwerte bekannt, so sind Aussagen zu Chancen und Risiken einer Laserreinigung möglich (s. Abb. 2).



▲ Abb. 2: Abtragschwellen für Papier und Pergament sowie darauf befindliche Stoffe



▲ Abb. 3: Abnahme einer unerwünschten Archivmarkierung mit  $\lambda=532\text{ nm}$

Wie gut diese Einzelstudien auf konkrete Reinigungsprobleme übertragbar sind, zeigt das Beispiel einer alten Archivmarkierung, die entfernt werden soll, aber zugleich alte, zu erhaltende Schriften überlagert. Die Abtragschwelle des verwendeten Buntstiftes

ist niedriger als die der gedruckten Schriften – somit ist eine erfolgreiche Abnahme möglich (s. Abb. 3). Bei solchen Anwendungsfällen besitzt der Einsatz von Laserstrahlung deutliche Vorteile gegenüber mechanischen Verfahren in punkto Qualität und



▲ Abb. 4: Mittels Laserstrahlung ( $\lambda = 532 \text{ nm}$ ) reduzierte Stempeltinte auf Papier

Geschwindigkeit. Für das in Abb. 4 dargestellte Reinigungsbeispiel benötigt der Laser z. B. lediglich 4 Sekunden. Vergleichbare Resultate lassen sich auf Pergament erzielen. Insbesondere fest anhaftender Oberflächenschmutz auf Bucheinbänden aus Pergament ist problemlos und sehr schnell abnehmbar (typ.  $100 \text{ cm}^2/\text{min}$ ).

Die genannten Verunreinigungen besitzen den Vorteil, in der direkten Oberflächenebene zu liegen. Ist dies nicht der Fall, so kann Laserlicht lediglich zur Reduzierung der Kontamination beitragen, was aber dennoch zu einer wesentlichen Verbesserung des Objektzustandes führen kann. Sinnvoll ist diese Anwendung insbesondere dann, wenn andere Techniken, wie z. B. Lösungsmittel, keine Alternative darstellen. So wurden im LFM dieses Jahr in Zusammenarbeit mit Restauratoren über 2.000 Zeichnungen des niederländischen Künstlers Jan Heesters (1893 - 1982) behandelt. Die Kunstwerke wurden vor mehreren Jahrzehnten auf den Rückseiten mit einem Stempel als Eigentumsvermerk gekennzeichnet. Die dabei verwendete Tinte penetriert im Laufe der Zeit durch das Papier und ist teilweise schon auf der Vorderseite sichtbar. Um diesen Effekt möglichst abzuschwächen, war es Aufgabe des LFM, so viel Tintenfarbstoff wie möglich zu entfernen, ohne das Papier zu beschädigen (s. Abb. 3). Sowohl das Jan Heestershuis Museum, als auch die mit der Restaurierung beauftragte Firma Art Conservation

(NL) stuften die Vorversuche sehr positiv ein und innerhalb einer Arbeitswoche wurden über 200 Zeichnungen nach diesem Schema behandelt.

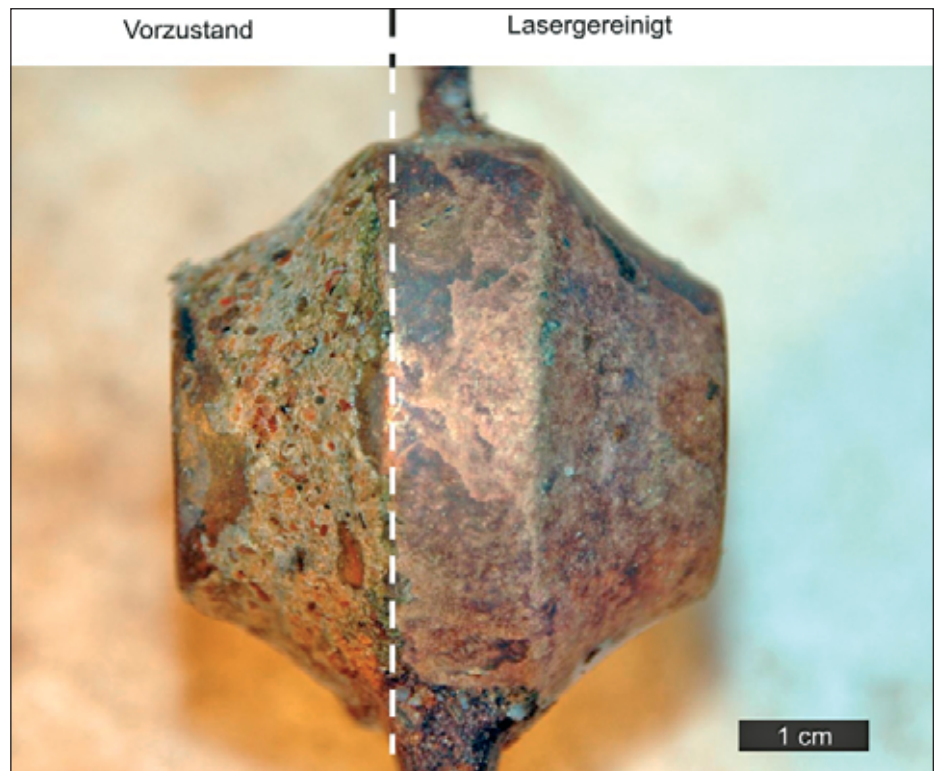
### Laserreinigung von Metallobjekten

Objekte aus Metall stellen, sofern es sich nicht um Korrosionseffekte handelt, klare Schichtsysteme dar und lassen oft eine gute Trennung zwischen Verunreinigungen und der Oberfläche mittels Laserstrahlung zu. Problema-

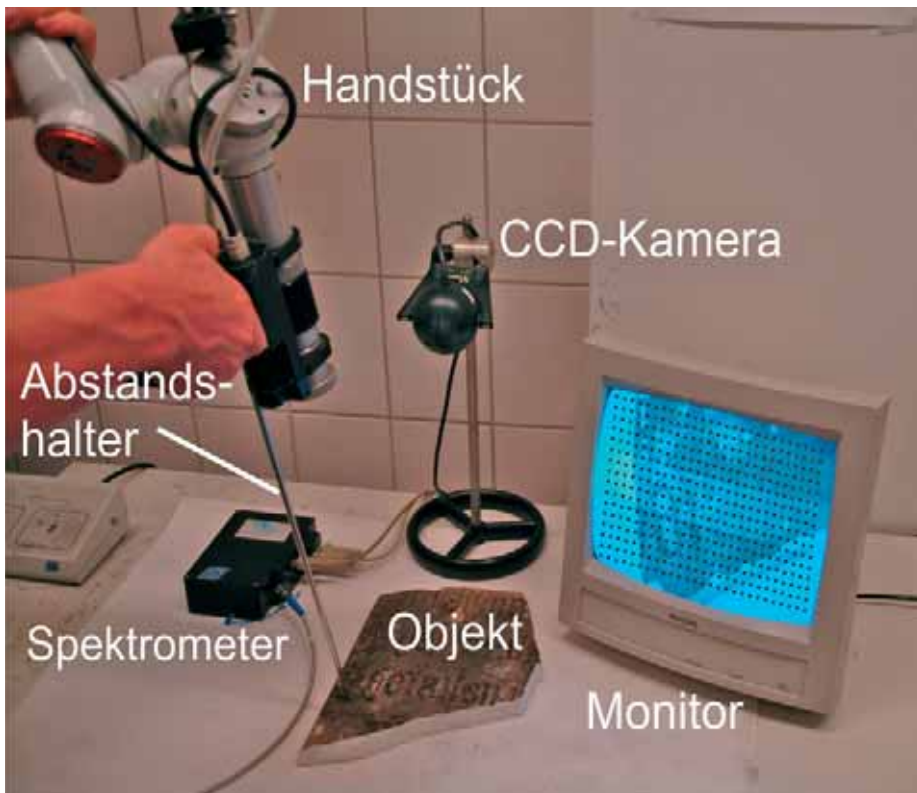
tisch sind jedoch sehr dünne Goldauflagen (Blattgold) und z. T. auch Mischsysteme mit anderen Materialarten. Eine besonders interessante Laserreinigung war Anfang 2007 die Freilegung eines hochmittelalterlichen Schwertes. Dieser Flussfund vom Rheinufer war mit einer extrem harten Muschelkruste überzogen, welche beim Einsatz mechanischer Mittel zur Freilegung die Originalsubstanz gefährdet hätte. Die kurzen Laserimpulse führten hier zu einem Abplatzen ganzer Schollen, so dass in wenigen Minuten das tennisballgroße Kontergewicht freigelegt werden konnte. Einen Zwischenzustand gibt Abb. 5 wieder.

### Erweiterte LIBS-Diagnostik

Da bei der Laserreinigung kurze, aber hochenergetische Laserpulse eingesetzt werden, tritt in der überwiegenden Mehrzahl aller Applikationen eine Plasmaflamme auf. In dem ionisierten Gas verbrennen abgetragene Partikel, und das Plasma emittiert eine elementabhängige Strahlung, die per Spektrometer analysiert werden kann



▲ Abb. 5: Schwertknauf (Kontergewicht) aus Bronzelegierung, rechte Hälfte lasergereinigt ( $\lambda = 1064 \text{ nm}$ ), die linke Hälfte befindet sich noch im vorgereinigten Zustand



▲ Abb. 6: Prototyp einer neuen LIBS-Analyse mit Bilderkennung via CCD-Kamera

und Rückschlüsse auf die chemische Zusammensetzung zulässt. Diese Methode wird bei vielen Analysen allgemein und auch im Rahmen der Laserreinigung genutzt: Ist eine zu entfernende Schicht durchdrungen, ändert sich das Spektrum und es kann eine Regelgröße bestimmt werden. Diese ist dann nutzbar, wenn der Prozess computergestützt abläuft, wie es bei der Laserreinigung von Gemälden der Fall ist [5]. Allerdings werden 95 % aller Anwendungen manuell ausgeführt und selten wird eine Stelle kontinuierlich bestrahlt. Vielmehr erfolgt die Laserbearbeitung – einem Lackierprozess vergleichbar – in fließenden Bewegungen. Um dennoch eine verwertbare Aussage zu erhalten, hat das LFM

mit der Entwicklung eines für die Laserreinigung neuen Verfahrens begonnen. Hierbei wird das Arbeitsfeld auf dem Objekt mit einer CCD-Kamera aufgenommen und in den Nd:YAG-Reinigungsstrahl wird ein sichtbarer HeNe-Strahl koaxial eingekoppelt. Eine Software erkennt die jeweilige Position und ordnet aufgenommene LIB-Spektren dieser zu. Komplexe Korrelationsberechnungen des jeweils aktuellen Spektrums mit einem Referenzspektrum [6] bestimmen den Reinigungsgrad und werden als Farbinformation über das Kamerabild geblendet. Abb. 6 zeigt einen ersten Prototypen. In einer Endversion soll so der Bediener besser als mit dem menschlichen Auge erkennen,

welche Regionen bereits ausreichend gereinigt wurden und welche einer weiteren Behandlung bedürfen.

Dies zeigt, dass der effektive und sinnvolle Einsatz der Lasertechnik nicht unmittelbar nur auf Hightech-Bereiche begrenzt ist. Dass insbesondere auch Kunst- und Kulturgüter ein breites Betätigungsfeld bieten, zeigt spätestens ein Blick ins europäische Ausland. Die allgemeine Weiterentwicklung forciert diesen Trend und erweitert kontinuierlich die Möglichkeiten. Die genannten Beispiele zur Laserreinigung stellen exemplarisch das vorhandene Potenzial dar und lassen auf eine umfassendere Nutzung hoffen.

Autoren:

Jens Hildenhagen, Marco Lentjes,  
Klaus Dickmann

LFM Laserzentrum FH Münster

Stegerwaldstraße 39

48565 Steinfurt

[www.lfm-online.de](http://www.lfm-online.de)

#### Literatur:

- [1] K. Dickmann, et. al: Reinigung von Kunstwerken mit Excimerlasern, erfolgreicher Einsatz bei mittelalterlichen Bleiverglasungen, *LASER MAGAZIN* 2 (1999), S. 9-13
- [2] S. Klein, et. al: Laser-induced breakdown spectroscopy for on-line control of laser cleaning of sandstone and stained glass, *Appl. Phys. A* 69 (1999), S. 441-444
- [3] M. Chappé, et. al: Pigmente unter Laserbestrahlung, *Restaura* 1 (2003), S. 27-31
- [4] M. Chappé, et. al: Historische Pigmente unter Laserbestrahlung, *Chem. Unserer Zeit* (2003) 37, S. 348-356
- [5] R. Teule, et. al: Controlled UV laser cleaning of painted artworks: A systematic effect study on egg tempera painting samples, *J. Cultural Heritage* 2003, Vol.4 – Sup.1, S. 209-215
- [6] M. Lentjes, et. al: Prozesskontrolle bei der Laserreinigung durch Plasmaanalyse mittels niedrig auflösendem Spektrometer, *Photonik*, No.3, 2005, pp. 84-87