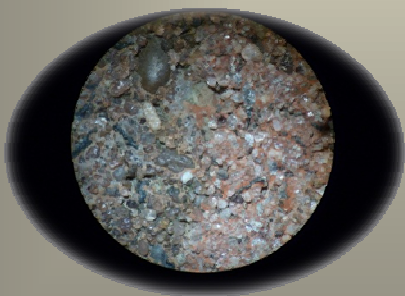
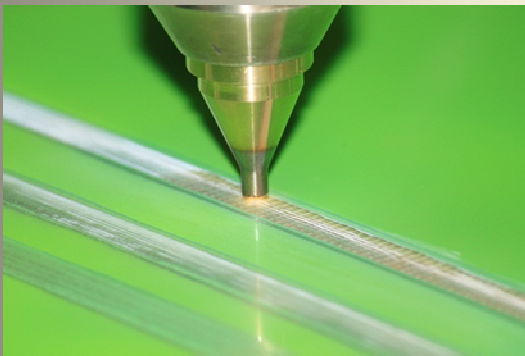


Oberflächen- reinigung mit Plasma

Entfernung von Graffiti

Joanna Albrecht, Jonas Wilinski, Jannik Leimkuhl



Betreuende Lehrkraft: Herr Frerkes

Steinhagener Gymnasium

Jahrgangsstufe 10

Abstract

In dieser Arbeit wird geklärt, inwiefern Plasma zur Reinigung von verschiedenen mit Sprühlacken verunreinigten Oberflächen beitragen kann. Außerdem wird untersucht, ob das angewandte Verfahren ökologisch und ökonomisch sinnvoll nutzbar ist.

Die Oberflächen sind vorzugsweise alltagsidentisch, sodass man möglichst *gleiche* Ergebnisse an *echten* Oberflächen erwarten kann. Die Sprühlacke sollen die Verschmutzung durch Graffiti nachbilden.

Die Intensität des Plasmas wird vor allem über den Abstand der Plasmadüse von der Oberfläche und der Geschwindigkeit der Plasmadüse geregelt. Bei der Suche nach den richtigen Prozessparametern wird darauf hingearbeitet, dass das Objekt komplett gereinigt, aber nicht beschädigt wird.

Alle Stoffe werden farblich verglichen, um Verfärbungen nach der Plasmabehandlung feststellen zu können. Der Vergleich erfolgt mit Hilfe von genormten Fotos sowie mit einer Analyse-Software. Außerdem werden die Oberflächen mit einem Stereo-Zoom-Mikroskop begutachtet. Punktuell wird Infrarotspektroskopie zur Bestimmung von Bestandteilen der Verunreinigung verwendet.

Mithilfe dieser Analysetechnik kann entschieden werden, ob die Anwendung sinnvoll ist. Energetische Betrachtungen sind dabei genauso wichtig wie der Vergleich mit anderen Reinigungsverfahren, gerade auch mit Blick auf ökologische Aspekte.

Auf der Grundlage der experimentellen Ergebnisse werden dann auch konkrete Ansätze zur Reinigung mithilfe von Plasma an *echten* Objekten gegeben.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	Seite 4
2. Hauptteil	
2.1 Was ist Plasma?	Seite 5
2.2 Verschmutzung	Seite 6
2.3 Plasma-Behandlung	Seite 7
2.4 Infrarotspektroskopie	Seite 8
2.5 IR-Analyse	Seite 9
2.6 Mikroskop-Analyse	Seite 11
2.7 Farb-Analyse	Seite 16
2.8 Ökonomische Betrachtung	Seite 17
3. Schluss	Seite 18
4. Abbildungsverzeichnis & Literaturverzeichnis	Seite 20

Einleitung

Das Projekt beinhaltet das konkrete Thema der Oberflächenreinigung mit Plasma, mit besonderem Blick auf die Entfernung von Graffiti.

Wir haben uns dabei die Zielfrage gestellt, ob man verschiedene Oberflächen mit Plasma bearbeiten und säubern kann, ohne sie zu beschädigen oder sogar zu zerstören.

Dazu haben wir unsere Arbeit wie folgt gegliedert:

Zu Beginn klären wir, was genau Plasma ist. Danach beschreiben wir die verschiedenen Verunreinigungen, die wir auf die unterschiedlichen Materialien aufgetragen haben. In weiteren Teilen der Arbeit befassen wir uns mit der Bearbeitung und Untersuchung der Materialien. Hierbei haben wir die Oberflächenbeschaffenheit vor und nach der Plasmabehandlung mit einem Infrarotspektrometer und einem Stereo-Zoom Mikroskop verglichen. Auch auf die verschiedenen Farbanteile der Materialien vor und nach der Behandlung, die wir mit Hilfe von verschiedenen Programmen analysiert haben, gehen wir ein. Zum Ende hin haben wir noch eine die Verwendung eines „Handgerätes“ auf ökonomische Aspekte hin begutachtet.



Abbildung 1: Prüfkörper mit Acryl- bzw. Kunstharzlacken in der oberen Hälfte und gereinigten Bahnen (Marmor-Blau-Acryl [links oben], Schiefer-Kupfer-Kunstharz [links unten], Beton-Hellgrün-Kunstharz [Mitte], Roter Sandstein-Gelb-Acryl [rechts oben], Glas-Dunkelgrün-Acryl [rechts unten])

Was ist Plasma ?

Irving Langmuir entdeckte 1928 das Plasma, welches seit dieser Zeit die Industrie revolutioniert hat.

Bei Plasma, auch der 4. Aggregatzustand genannt, handelt es sich um ein Gemisch aus angeregten Gasmolekülen, Ionen, freien Elektronen und sehr energetischen Molekülfragmenten. Dieses Gemisch entsteht, wenn man einer gasförmigen Materie Energie zuführt. Hierzu werden elektrische Ladungen verwendet. Die Ladung sorgt dafür, dass die bereits vorhandenen Gasmoleküle „zerstört“ oder auf ein höheres Energieniveau gebracht werden. Dieser Vorgang wird auch Ionisierung genannt. Man kann viele verschiedene Arten von Plasma herstellen, indem man zum Beispiel die Ladung variiert, die man dem Gas zuführt. Dies führt zu einem höherem energetischem Potential des Plasmas. Man kann aber auch verschiedene Gase nehmen, die ionisiert werden, und bekommt verschiedene Arten von Plasma. Jedoch ist Plasma sehr instabil und geht sehr schnell Verbindungen ein. Dies kann man nur verhindern, wenn permanent Energie zugeführt wird.¹

Plasma gehört mit zu den meist anzutreffenden Materien im uns bekannten Universum. 99% der sichtbaren Materie im Weltraum besteht aus Plasma, zum Beispiel besteht unsere Sonne und alle Sterne aus Plasma.² Sie sind gewaltige Plasmakugeln. Weitere Beispiele für Plasmen sind die von der Sonne ausgehenden Sonnenwinde und die sich im Magnetfeld der Erde befindlichen geladenen Teilchen, sie bilden auch Plasmen aus.³

Viele erstaunliche Phänomene auf der Erde beruhen auf Plasma.

Zum Beispiel Blitze: Die Ladung, die in den Wolken frei wird, regt die Gase auf dem Weg zur Erde an. Die Gase ionisieren und werden Plasma.

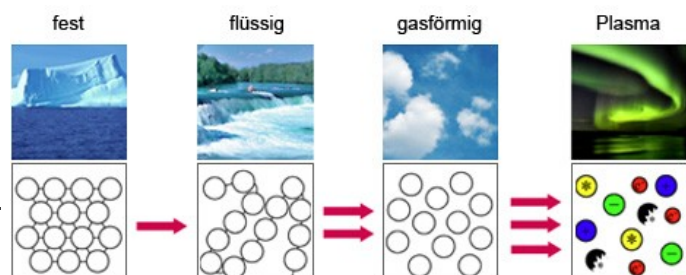


Abbildung 2: Veranschaulichung des Energieeintrags über die Aggregatzustände fest, flüssig und gasförmig bis hin zum Plasma⁴

1 <http://www.raantec.de/products/plasmajetr-ober-brflaechen-behandeln/was-ist-plasma.html>, 10.01.2012, 17:26 Uhr.

2 http://www.plasmatrete.de/plasmatechnologie/was_ist_plasma.html, 10.01.2012, 17:27 Uhr.

3 [http://www.inp-greifswald.de/web-n.nsf/index?](http://www.inp-greifswald.de/web-n.nsf/index?OpenPage&Eintrag=F746BD331F2AECE6C12573B00050BE50)

[OpenPage&Eintrag=F746BD331F2AECE6C12573B00050BE50](http://www.inp-greifswald.de/web-n.nsf/index?OpenPage&Eintrag=F746BD331F2AECE6C12573B00050BE50), 10.01.2012, 17:28 Uhr.

4 http://www.plasmatrete.de/plasmatechnologie/was_ist_plasma.html, 10.01.2012, 17:29 Uhr.

Verschmutzung

Als Verschmutzung kamen für uns eigentlich nur möglichst realitätsnahe Verunreinigungen in Frage. Deshalb haben wir uns am Anfang auf Acryllacke, Kunstharzlacke, Edding-Stifte und Kaugummi konzentriert. Da man Kaugummi jedoch aufgrund der Dicke nicht mit Plasma abreinigen kann, haben wir keine weiteren Versuche mit Kaugummi als Verschmutzung durchgeführt. Auch Edding-Stifte waren für weitere Versuche nicht geeignet, da sie auf beschichteten Fliesen auch mit dem Fingernagel entfernt werden konnten. Der Einsatz der Plasmatechnik im Bereich öffentlicher Toiletten schien uns daher nicht sinnvoll.

Die verschiedenen Lacke sollen die Verschmutzung der Oberflächen durch Graffiti darstellen. Die unterschiedlichen Objekte und vor allem Beton und Glas wurden systematisch mit mehreren Lacken besprüht und anschließend getestet. Spezielle Kunstharzlacke wurden von uns auch analysiert. Dabei verwendeten wir bis zu 500°C hitzefesten Lack und metallische Lacke wie zum Beispiel Kupfer, da diese noch einmal besondere Eigenschaften aufweisen. Dieser enthält nämlich Metallpulver, welches die Energie des Plasmas schnell wieder ableitet. Neben Lacken der Firma renovo aus dem Baumarkt setzten wir in unseren Experimenten folgende Lacke vom Graffitiboxshop in Berlin ein: Kobra Paint (Farbe: magenta 62), Kobra Paint Metallics (gold 45), Ironlak Paint (Blaze), Kobra Low (Predator 41105), Sabotazz80 Paint (Signal Blue 510).

Um eine möglichst gleichmäßige Schichtdicke auf allen verschiedenen Oberflächen zu gewährleisten, haben wir vor den ersten Reinigungsvorgängen noch den Abstand der Spraydose von der Oberfläche, die Geschwindigkeit und die Anzahl der Sprühvorgänge festgelegt. Dabei haben wir uns auf einen Abstand von 15cm und einen Sprühgang geeinigt. Zu den späteren Versuchen gehörten jedoch auch doppelt besprühte Stoffe, bei denen wir zunächst nur einmal gesprüht haben. Als alles getrocknet war, haben wir dann eine weitere Schicht aufgetragen. Um den richtigen Abstand der Besprühung immer zu gewährleisten, benutzten wir Stative mit Metallstangen, um die Höhe einzustellen. An dieser Metallstange konnten wir uns dann beim Sprühen orientieren, um die Höhe einzuhalten.

Plasma-Behandlung

Um nach der Verunreinigung wieder eine gesäuberte Oberfläche der Prüfkörper zu erlangen, behandelten wir diese mit Openair®-Plasma der Firma Plasmacreat. Für unsere Experimente stand uns ein Labortisch inklusive einem Generator (Typ FG3002S) und einem Transformator (Typ HTR11-M105) zur Verfügung, auf dem die Prüfkörper unter einer stets senkrecht von oben einwirkenden Plasmadüse präzise bewegt werden konnten.

Um die bestmögliche Reinigung der Prüfkörper zu erreichen, mussten wir die jeweiligen (optimalen) Prozess-Parameter finden. Da jeder Prüfkörper andere Oberflächeneigenschaften besitzt und das Optimum in puncto Reinigung (bei Nicht-Zerstörung der Oberfläche) gesucht war, mussten diese Parameter ganz individuell gewählt werden. Dabei stellten wir sehr schnell fest, dass der Reinigungserfolg sehr eng mit dem „Energieeintrag“ verbunden ist. Mit dem Wort „Energieeintrag“ bezeichnen wir die Energiemenge, die in einer bestimmten Zeit auf eine bestimmte Stelle des Prüfkörpers einwirkt.

Dieser Energieeintrag hängt bei dem von verwendeten Versuchsaufbau von sehr vielen Parametern ab, von denen wir einige bei jeder Behandlung konstant gehalten haben:

→ So waren standardgemäß bei jeder Plasmabehandlung zur Erzeugung des Plasmas acht Kondensatoren tätig, die Stromstärke betrug 13,7 A, die Spannung 305 V, der Luftdruck 62 mbar und die Frequenz 23 kHz. Wir nutzten ausschließlich Luft als Prozessgas und arbeiteten mit einem Volumenstrom von 80 Liter pro Minute. Außerdem verwendeten wir nur die statische Düse (PFW10), auf welcher der Düsenkopf Nr. 16609 aufgesetzt war.

Andere Parameter wurden bei den Behandlungen variiert:

→ Zu diesen Parametern gehörten der Abstand zwischen der Plasmadüse und der Oberfläche des Prüfkörpers sowie die Geschwindigkeit der Plasmadüse.

Nachdem wir die oben genannten Parameter auf jeden einzelnen Prüfkörper speziell eingestellt hatten, behandelten wir diese in mehreren Versuchen. In manchen Fällen wendeten wir auch Doppelbehandlungen an, bis wir das Ergebnis nicht mehr verbessern konnten.

Infrarotspektroskopie

Das Infrarotspektrometer ist ein Gerät mit dessen Hilfe man die Absorption von Infrarotstrahlung durch chemische Stoffe messen kann. Hauptsächlich wird die IR-Spektroskopie zur Analyse von Kunststoffen, wie z.B. von Lacken auf Kunststoffbasis, verwendet.

Infrarotstrahlung kann man in drei Bereiche einteilen:

Der erste Bereich ist der nahe IR, dieser hat eine Wellenzahl von 12500cm^{-1} bis 4000cm^{-1} . Der zweite Bereich ist der des mittleren IR und er liegt bei 4000cm^{-1} bis 250cm^{-1} . Der dritte Bereich, das ferne IR, liegt bei 250cm^{-1} bis 10cm^{-1} .

Bei der IR-Spektroskopie wird lediglich der zweite Bereich verwendet, da die Absorption der Strahlung durch Moleküle eine Schwingung dieser zur Folge hat und die resultierenden Schwingungen liegen im Bereich von 400cm^{-1} bis 4000cm^{-1} . Diese Werte entsprechen einer Wellenlänge von $25 - 2,5\text{ }\mu\text{m}$ bzw. $2,5 - 25\text{ }\mu\text{m}$.

Die resultierenden Schwingungen können ganzen Atomgruppen zugeordnet werden. Dies ist mit Hilfe von vorliegenden umfangreichen Dateien von IR-Spektren möglich.⁵

Vorbereitung der Inbetriebnahme:

Bevor man das System in Gebrauch nehmen kann, muss das Kühlsystem mit flüssigem Stickstoff gefüllt werden, da das Gerät bei Benutzung sehr viel Wärme entwickelt.

Und nachdem es ein bisschen warm gelaufen ist, kann man die Messungen starten.



Das Objekt wird auf den Träger, über einen darauf befindlichen Diamanten gespannt. Durch diesen werden die Strahlen auf das Objekt geschossen und wieder eingefangen.

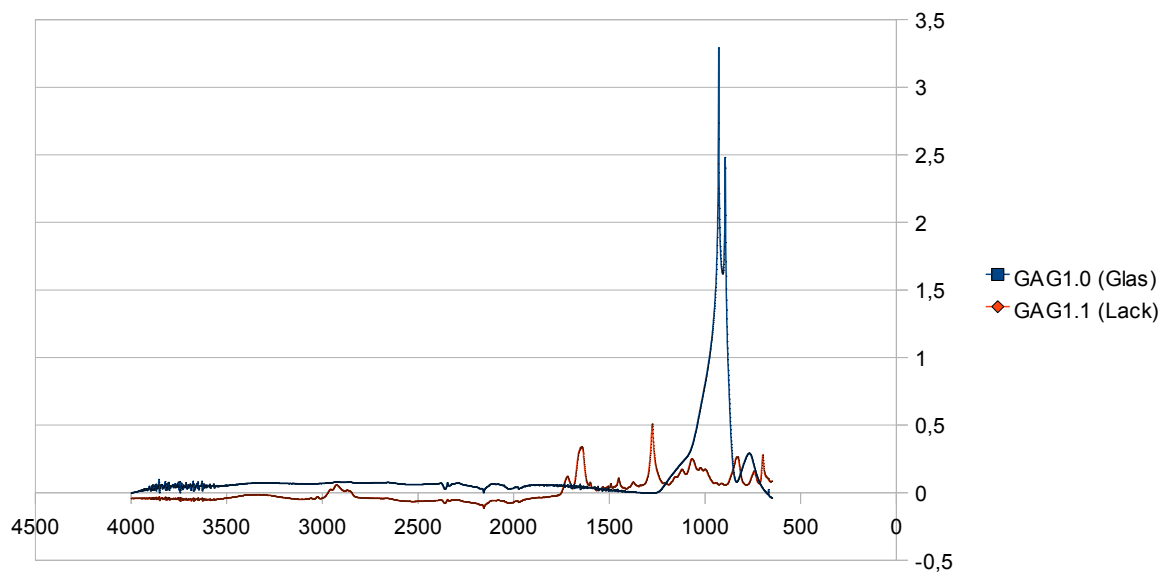
Die Daten werden in einen Computer festgehalten und in einem Diagramm dargestellt. Mit Hilfe des Diagramms kann man nun feststellen, welche Stoffe im Objekt vorhanden sind.

⁵ http://www.gm.fh-koeln.de/~werkst/Hauptseiten/grund-ir_oK.pdf, 10.01.2012, 22:25 Uhr.

IR- Analyse

In diesem Abschnitt analysieren wir die IR-Spektroskopie des Glas-Prüfkörpers mit zwei verschiedenen Acryllacken (Grün und Rot). Wir haben die geprüften Objekte mit sinnvollen Abkürzungen gekennzeichnet und auch die Graphen entsprechend beschriftet : GAG steht für Glas-Acryllack-Grün, GAR für Glas-Acryllack-Rot. Mit den Ergebnissen der IR-Spektroskopie versuchen wir festzustellen, welche Bestandteile des Lacks erfolgreich gereinigt wurden und ob es noch Rückstände gibt.

IR-Diagramm von Glas mit grünem Acryllack:



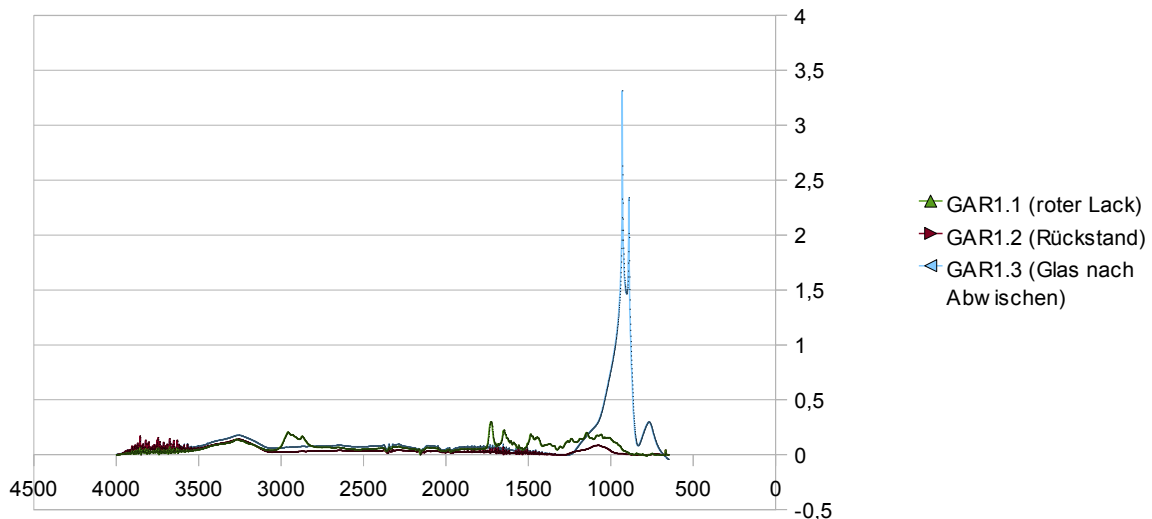
In diesem Diagramm ist die IR-Spektroskopie von dem Glas-Prüfkörper ohne Lack (GAG1.0) und dem dem Glas-Prüfkörper mit grünem Lack (GAG1.1) dargestellt.

Wir können erkennen, dass Glas im Wellenzahlen-Bereich von 3000cm^{-1} keinen Ausschlag zeigt, das heißt im Glas haben wir keine organischen Bindungen vorliegen. Wenn man sich nun den weiteren Graphen von Glas anschaut, können wir erst im Wellenzahlen-Bereich von 1000cm^{-1} ein wirklich ausgeprägtes Maximum erkennen. Dieses zeigt an, dass viele verschiedene Siliziumverbindungen enthalten sind. Dies sind typische Anzeichen für Glas.

Wenn wir uns nun zum Vergleich den Graphen vom Glas-Prüfkörper mit grünem Lack anschauen, können wir feststellen, dass dieser viele Unterschiede zum Graphen vom Glas-Prüfkörper ohne Lack aufweist. Um den Wellenzahlen-Bereich von 3000cm^{-1} haben wir im Vergleich zu Glas einen Ausschlag, das heißt im Lack liegen organische Bindungen vor. Genauso haben wir im Wellenzahlen-Bereich von 1800cm^{-1} einen Ausschlag, was bedeutet, dass sich in dem Lack Carbonylverbindungen befinden. Und wenn wir uns nun den Wellenzahlen-Bereich

um 1000cm^{-1} anschauen, der typisch für Glas ist, lässt sich feststellen, dass das Maximum beim Prüfkörper mit Lack nicht mehr zu erkennen ist.

IR- Diagramm von Glas mit rotem Lack:



In diesem Diagramm werden die Daten von Glas mit rotem Lack (GAR1.1) und mit den Rückständen des roten Lacks nach der Plasmareinigung (GAR1.2) und von Glas nach der Reinigung und Abwischen der Rückstände (GAR1.3) dargestellt.

Wenn wir uns nun zuerst den Graphen von GAR1.1 anschauen, können wir feststellen, dass dieser im Wellenzahlen-Bereich um 3000cm^{-1} einige Auslenkungen (in y-Richtung) aufweist. Der Graph von GAR1.2 weist dort schwächer ausgeprägte Auslenkungen auf. Nach der Reinigung hat der Graph in diesem Bereich fast keine „Kurven“ mehr und ähnelt dem Glas-Graphen (GAG1.0).

Auch im weiteren Verlauf ähneln sich die Graphen vom Glas-Prüfkörper mit rotem Lack und dem Glas-Prüfkörper mit den erwähnten Rückständen. Sie haben beide im Wellenzahlen-Bereich um 1800cm^{-1} Auslenkungen, was heißt, dass beide Proben Carbonylverbindungen aufweisen, die Rückstände haben aber weniger stark ausgeprägte (und folglich auch weniger Verbindungen). Nach der Reinigung (Plasma und Abwischen) hat das Glas nahezu keine Auslenkungen in diesem Bereich, was bedeutet, dass im Glas keine Carbonylverbindungen vorhanden sind.

Im dritten Wellenzahlen-Bereich um 1000cm^{-1} hat nur die Kurve nach der vollständigen Reinigung das ausgeprägte (Glas-typische) Maximum.

Damit können wir zum Schluss sagen, dass die Reinigung sehr gut verlaufen ist. Bis auf kleine Abweichungen sind die Graphen von Glas vor der Verschmutzung und nach der vollständigen Reinigung identisch.

Mikroskopanalyse

Wir haben nach dem Reinigen durch das Plasma die Stoffe zur Hälfte mit einem Tuch abgewischt, um eine Hälfte von möglichen Rückständen zu befreien. Danach haben wir uns die Proben unter einem Stereo-Zoom Mikroskop angeschaut.

Versuche mit Acryllack:

Probe (Gruppe)	Abstand der Plasma- düse zur Oberfläche	Geschwin- digkeit der Düse in m/min	Beschreibung
Marmor 1 (A1)	2mm	5	Gelber Acryllack: Im Vergleich zu der unbehandelten Fläche glänzen manche Bereiche mehr als andere. Dies sind Kristalle, die durch die Plasmabehandlung mehr glänzen.
Marmor 1 (A1)	2mm	5	Blauer Acryllack: Dieser Lack konnte nicht vollständig entfernt werden und man sieht nur eine geringe Säuberung. Die Oberfläche ist teilweise beschädigt.
Marmor 2 (A1)	2mm	3	Blauer Acryllack: Zwischen den Bahnen, die die Düse abgefahren hat, und an den Kanten sind noch Farbrückstände
Schiefer 1 (A2)	2mm	6	Hellgrüner Acryllack: Es bleibt eine weißer Rückstand ³ zurück, den man wegwischen kann.
Schiefer 2 (A2)	2mm	5	Hellgrüner Acryllack: Es bleibt eine weißer Rückstand ³ zurück, den man wegwischen kann.
Schiefer 3 (A2)	2mm	3	Hellgrüner Acryllack: Die Oberfläche weist eine Farbveränderung auf. Sie ist teilweise beschädigt und vereinzelt sind grüne Rückstände zuerkennen.
Schiefer 1 (A2)	2mm	10	Dunkelgrüner Acryllack: Kaum Partikel
Schiefer 1 (A2)	2mm	6	Blauer Acryllack: Es bleibt wieder ein weißer Rückstand ³ , den man abwischen kann. Man sieht nur eine gute Reinigung in der Mitte. An den äußeren Rändern sind viele Rückstände zu erkennen.

²Split: Verschiedene kleine Steine die in den Ziegel eingemischt wurden.

³weißer Rückstand: Es ist ein weißer anorganischer Staub, ohne genaue Definition.

Roter Sandstein 1 (A3)	2mm	6	Gelber Acryllack: Farbrückstände in den Poren und die Farbe ist dunkler geworden.
Roter Sandstein 2 (A3)	2mm	4	Gelber Acryllack: Die Oberfläche des Steins ist nun grau/schwarz gefärbt und in den Poren sind immer noch Farbreste!
Roter Sandstein 1 (A3)	2mm	5	Hellgrüner Acryllack: Viele Farbrückstände, in den Poren ist die Farbe besonders intensiv. Außerdem hat man weiße Rückstände ³ , die man abwischen kann.
Roter Sandstein 2 (A3)	2mm	2	Hellgrüner Acryllack: Weniger Farbrückstände als bei 5 m/min. Die Farbe des Lackes und des Steines ist nicht mehr so intensiv. Viel abwischbarer Rückstand ³ .
Beton 1 (A4)	2mm	5	Goldener Acryllack: Es sind Farbrückstände in den Poren zusehen und der Beton hat sich von hellgrau nach dunkelgrau gefärbt.
Beton 2 (A4)	2mm	3	Goldener Acryllack: Im Vergleich sieht man nun weniger Farbrückstände, doch es ist immer noch die Verfärbung des Betons von hellgrau zu dunkelgrau
Beton 1 (A4)	2mm	2	Dunkelgrüner Acryllack: Farbe entfernt, jedoch ist der Stein nun heller geworden. Die Oberfläche des Steins ist zerstört, da er mehr Risse und Poren aufweist als beim nicht behandeltem Bereich
Beton 2 (A4)	2mm	10	Dunkelgrüner Acryllack: Man erkennt eine Färbung, die durch das Plasma nicht entfernt wurde. Im Lack befinden sich Metallpartikel und trotz der schlechten Reinigung ist die Oberfläche dennoch zerstört
Beton 3 (A4)	2mm	5	Dunkelgrüner Acryllack: Heller als unbehandelter Stein, aber dennoch dunkler als bei 2 m/min. Es sind ebenfalls Risse zu erkennen.

²Split: Verschiedene kleine Steine die in den Ziegel eingemischt wurden.

³weißer Rückstand: Es ist ein weißer anorganischer Staub, ohne genaue Definition.

Beton 1 (A4)	2mm	5	Dunkelgrüner Acryllack 2 fache Schicht: Viel mehr Poren als im nicht behandelten Bereich. In den Poren befinden sich Metallpartikel.
Beton 2 (A4)	2mm	7	Dunkelgrüner Acryllack, 2 fache Schicht: Einzelne Streifen Metallpartikel sind zu erkennen. Außerdem befinden sich in Löchern und Poren weitere Metallpartikel
Beton 3 (A4)	2mm	3	Dunkelgrüner Acryllack, 2 fache Schicht: Einzeln verteilte Löcher/Poren mit Metallpartikeln

Versuche mit Harzlack:

Probe (Gruppe)	Abstand der Plasma- düse zur Oberfläche	Geschwin- digkeit der Düse in m/min	Beschreibung:
Marmor 1 (H1)	2mm	7	Harzlack: Rote Partikel in Vertiefungen und Poren, vor dem Abwischen erkannt man metallische Partikel. Nach dem Abwischen erkennt man Rückstände in der Farbe des Lackes. Metallpartikel sind ebenfalls zu sehen.
Marmor 2 (H1)	2mm	5	Harzlack: Kaum Partikel vor dem Abwischen. Nach dem Abwischen erkennt man keine Farbrückstände, jedoch aber Metallpartikel.
Schiefer 1 (H2)	2mm	10	Kupfer Harzlack: Neben Farbrückständen sind Ansätze einer Beschädigungen zu sehen.
Schiefer 2 (H2)	2mm	7	Kupfer Harzlack: Es sind weniger Farbrückstände zu sehen, aber Beschädigungen.
Schiefer 1 (H2)	2mm	10	Hellgrüner Harzlack: Der Lack ist kaum entfernt und zwischen den Bahnen sind dunkelgrüne Linien streifen.
Schiefer 2 (H2)	2mm	5	Hellgrüner Harzlack: Der Lack wurde vollständig entfernt.
Roter Sandstein	2mm	5	Schwarzer, hitzebeständiger Harzlack: Vor dem Abwischen befand sich ein gräulicher Rückstand

²Split: Verschiedene kleine Steine die in den Ziegel eingemischt wurden.

³weißer Rückstand: Es ist ein weißer anorganischer Staub, ohne genaue Definition.

1 (H3)			mit Metallpartikeln auf der Oberfläche. Außerdem befindet sich schwarzer Lack in den Poren. Nach dem Wegwischen ist die Oberfläche immer noch grau, aber doch sauberer als vor dem Wegwischen.
Roter Sandstein 2 (H3)	2mm	3	Schwarzer, hitzebeständiger Harzlack: Der gräuliche nicht wegweisbare Rückstand ist noch intensiver.
Roter Sandstein 1 (H3)	2mm	5	Kupferharzlack: Oberfläche gut abgereinigt, nur in den Poren finden sich Farbreste
Roter Sandstein 2 (H3)	2mm	3	Kupferharzlack: Die Oberfläche ist sauber und in den Poren finden sich minimale Farbrückstände. Im Vergleich zum ersten Durchgang ist die Oberfläche nun dunkler bzw. schwärzer als die unbehandelte Seite des Steins ist.
Beton 1 (H4)	2mm	5	Hellgrüner Harzlack: Farbreste zwischen den gefahrenen Bahnen und tiefe Poren mit Farbrückständen. Nicht so tiefe Poren wurden gereinigt. Maserung des Betons ist verschwunden nun sind schwarze Punkte auf dem Beton. Außerdem wirkt er insgesamt heller.
Beton 2 (H4)	2mm	4	Hellgrüner Harzlack: Keine Farbrückstände zwischen den Bahnen und nur noch kleine Farbreste in den Poren. Es gibt keine Maserung und wie bei 5 m/min ist der Beton heller als die unbehandelte Fläche.
Klinker Ziegel 1 (H5)	2mm	2	Hellgrüner Harzlack: Die Streifen sind noch dunkler als bei 5 m/min und ebenfalls weißer Rückstand ³ . Keine Farbrückstände zu sehen.
Klinker Ziegel 2 (H5)	2mm	5	Hellgrüner Harzlack: Dunkle, schwarz-graue Streifen zwischen den Bahnen und weißer Rückstand ³ , den man abwischen kann. Farbrückstände in den Poren und an dem

²Split: Verschiedene kleine Steine die in den Ziegel eingemischt wurden.

³weißer Rückstand: Es ist ein weißer anorganischer Staub, ohne genaue Definition.

			„Split“ ² im Ziegel
Glas 1 (H6)	2mm	5	Schwarzer Harzlack: Es ist gut gereinigt. Man sieht aber noch kleine schwarze Partikel. Es bleibt ein weißer Rückstand ³ , der abwischbar ist.
Glas 2 (H6)	2mm	3	Schwarzer Harzlack: Es sind etwas weniger Partikel zu sehen, doch das Glas ist beschädigt.
Glas 1 (H6)	2mm	5	Hellgrüner Harzlack: Es ist wieder ein weißer Rückstand, das Glas ist aber nach dem Abwischen sauber.
Glas 1 (H6)	2mm	5	Gold- Kupferharzlack: Es ist nur teilweise gesäubert und es sind große Restbestandteile der Farbe zusehen.
Glas 2 (H6)	2mm	3	Gold- Kupferharzlack: Die Glasfläche ist schwer beschädigt, zu bemerken ist jedoch das weniger Farbrückstände vorhanden sind.
Fliese 1 (H7)	2mm	5	Kupfer Harzlack: Die Farbe der Oberfläche ist gold-silbrig, es sind nur minimale weiße Stellen zu sehen. Nach dem Abwischen der Fliese sind mehr gereinigte Stellen zu sehen.
Fliese 2 (H7)	2mm	3	Kupfer Harzlack: Die Farbe ist dunkler, der graue Farbanteil ist gestiegen. Nach dem Abwischen sind ebenfalls mehr gereinigte Stellen zu sehen.
Fliese 1 (H7)	2mm	5	Schwarzer Harzlack: Nach Abwischen des weißen Staubs, der an der Oberfläche ist, sieht man ein helleres Schwarz und kleine weiße Flecken
Fliese 2 (H7)	2mm	3	Schwarze Harzlack: Wie bei 5 m/min ein weißer Rückstand ³ und darunter eine dünne, schwarze Lackschicht mit weißen Lücken.

²Split: Verschiedene kleine Steine die in den Ziegel eingemischt wurden.

³weißer Rückstand: Es ist ein weißer anorganischer Staub, ohne genaue Definition.

Ökonomische Betrachtung

Wir haben mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit der Plasmadüse von ca. 5 m/min bei einer Schrittweite von 1 mm gearbeitet. Das macht eine gereinigte Fläche von:
 $5000\text{mm} \times 1\text{mm} = 5000\text{mm}^2 = 50\text{cm}^2$ pro Minute und pro Düse.

In einem "Handgerät" können bis zu drei Düsen (mit einer elektrischen Leistung von etwa 1,5 bis 2 kW pro Düse) untergebracht werden.

Einschub: Dr. Alexander Knospe (Leiter der Abteilung Forschung und Entwicklung von plasmatreater) hat uns mitgeteilt, dass die Anzeige auf dem Display (siehe Kapitel „H3-Plasma-Behandlung“) nicht korrekt ist und wir daher von dieser hier genannten Leistungsaufnahme ausgehen sollen.

Somit könnten mit diesem Gerät 150cm^2 pro Minute und $9000\text{cm}^2 = 0,9\text{m}^2$ pro Stunde gereinigt werden.

Die Strom-Kosten belaufen sich bei einem Strompreis von ca. 25 Cent pro Kilowattstunde für diesen Vorgang somit auf maximal $3 \times 2 \times (0,25 \text{ €}) = 1,50 \text{ €}$.

Schluss

Zusammenfassend ist über die Forschungsarbeit im Hinblick auf den Nutzen von Plasma in der Oberflächenreinigung folgendes zu sagen:

Grundsätzlich ist es möglich, mit Sprühlacken verschmutzte Oberflächen mit Plasma zu reinigen. Es gibt nur Probleme mit dem hitzebeständigen Kunstharzlack und mit Lacken, die Metallpartikel enthalten. Der hitzebeständige Kunstharzlack hinterlässt seine Spuren in den Poren der Steine und erzeugt teilweise eine schwarze Färbung des Steins nach der Plasmabehandlung. Lacke mit Metallpartikeln haben besondere Eigenschaften, da sie die Energie des Plasmas ableiten können und somit den Effekt der Reinigung verringern.

Häufig bleiben nach der Reinigung weiße oder graue Partikel zurück. Diese entstehen durch anorganische Teile im Lack, die durch das Plasma einfach verbrannt werden. Da diese Partikel aber einfach wegzuwischen ist, stellt dies kein weiteres Problem dar.

Das Reinigen der Oberflächen ist nur ein Aspekt, der eine Rolle spielt. Des Weiteren ist zu prüfen, ob die Oberfläche durch das Plasma beschädigt wurde. Dieses Problem trat vor allem bei Beton auf. Schon bei geringer Energie, die das Plasma aufbringt, wird die Oberfläche angegriffen und es bilden sich kleine Poren und Risse. Dieses Phänomen tritt sogar auf, wenn der Lack durch das Plasma nicht einmal ganz abgereingt wurde. Auch unterschiedlichste Geschwindigkeiten haben kaum Verbesserung der Ergebnisse gebracht. Darum ist bei dem Material Beton ein Kompromiss einzugehen. Entweder man entscheidet sich gar nicht für eine Reinigung, oder man hat kleine Poren und Risse, die den Beton nicht mehr so schön aussehen lassen. Um wieder eine glatte Oberfläche zu erlangen, müsste somit neuer Beton aufgebracht oder die Oberfläche abgeschliffen werden.

Bei dem Stoff Schiefer ist aufgefallen, dass durch die Oberflächen-Struktur und der Kanten und Poren, eine komplette Reinigung nicht immer möglich ist. Grundsätzlich ist daher zu sagen, dass Natursteine, wie z.B. Schiefer, Ziegel oder Sandstein, durch ihre Struktur und den daraus resultierenden Poren, Kanten und Rissen, schwieriger zu reinigen sind. Vor allem mechanische Abläufe würden keine komplette Reinigung versprechen, da ein fester Abstand eingehalten wird und tiefere Poren und Kanten somit weniger Energie zugeführt bekommen.

Im Hinblick auf den kommerziellen Nutzen muss man sich fragen, ob eine mechanische Plasmareinigung oder eine Reinigung „per Hand“ in Frage kommt. Zur mechanischen Reinigung kann in einer weiteren Forschungsarbeit darauf hingearbeitet werden, ein System zu entwickeln, das nach Eingabe der Geschwindigkeit und des Abstands zum Objekt, automatisch eine Fläche abfährt und diese reinigt. Zusätzlich können dann auch mehrere Düsen verwendet werden, um mehr Fläche in gleicher Zeit zu reinigen.

Zur Plasmareinigung „per Hand“ mit einem „Handgerät“ kann eine Halterung für die Plasmadüse entwickelt werden, die mit der Hand über die Oberfläche gefahren wird. Damit kann man dann „durch mehrmaliges Darüberfahren oder längeres Draufhalten“ die Oberfläche an tieferen oder schwer erreichbaren Stellen reinigen. Dabei entsteht jedoch das Problem, dass diese Variante etwas zeitintensiver ist und somit für große Flächen eher ungeeignet ist.

Als Lösungsansatz kann man die mechanische und die manuelle Reinigung kombinieren. Nach der mechanischen kann zusätzlich an schwierigen Stellen die manuelle Reinigung angewandt werden.

Der energetische Aufwand und die damit verbundenen Kosten bewegen sich dabei in einem sehr akzeptablen Raum.

Besonders überzeugend sind die ökologischen Vorteile der Oberflächenreinigung durch Plasma, da hierfür keine Chemikalien benötigt werden und beim Reinigungsprozess kein Abwasser anfällt.

Die Reinigung von Oberflächen mit Plasma ist somit umweltfreundlich, ökonomisch sinnvoll und wirkungsvoll. Um die Reinigung von Oberflächen mittels Plasma kommerziell nutzbar zu machen, bedarf es jedoch noch der Realisierung eines „mechanischen Wandreinigers“ und eines „Handgerätes“.

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 2 (Seite 5): Veranschaulichung des Energieeintrags über die Aggregatzustände fest, flüssig und gasförmig bis hin zum Plasma
http://www.plasmatreat.de/plasmatechnologie/was_ist_plasma.html,
10.01.2012, 17:29 Uhr.

Literaturverzeichnis

- http://www.gm.fh-koeln.de/~werkst/Hauptseiten/grund-ir_oK.pdf,
10.01.2012, 22:25 Uhr.
- <http://www.inp-greifswald.de/web-n.nsf/index?OpenPage&Eintrag=F746BD331F2AECE6C12573B00050BE50>,
10.01.2012, 17:28 Uhr.
- http://www.plasmatreat.de/plasmatechnologie/was_ist_plasma.html,
10.01.2012, 17:27 Uhr.
- <http://www.raantec.de/products/plasmajetr-ober-brflaechen-behandeln/was-ist-plasma.html>, 10.01.2012, 17:26 Uhr.