

Hochgeschwindigkeitsnassstrahlen von Stahloberflächen

Dr. Andreas Momber
Mühlhan Equipment Services GmbH, Hamburg

1. Einführung

Laut DIN EN ISO 12944-4 wird unter Oberflächenvorbereitungsverfahren „jedes Verfahren, eine Oberfläche zum Beschichten vorzubereiten“ verstanden. Verfahren für die Oberflächenvorbereitung werden grundsätzlich wie folgt unterteilt (DIN EN ISO 12944-4):

- Reinigen mit Wasser und Lösemitteln sowie mit Chemikalien,
- mechanische Oberflächenvorbereitung (einschließlich Strahlen),
- Flammstrahlen.

Das in diesem Beitrag geschilderte UHPAB-Verfahren gehört zu den Strahlverfahren im weitesten Sinne, und kann im engeren Sinne den standardisierten Verfahren Feuchtstrahlen bzw. Nassstrahlen zugezählt werden.

2. Wirkprinzip

Die Abkürzung „UHPAB“ steht für „Ultra-**H**igh **P**ressure **A**brasiv **B**lasting“ – es handelt sich bei dem Verfahren also um eine Kombination von Druckwasserstrahlen (UHP) und Trockenstrahlen (AB). Im Grunde ist eine derartige Kombination nicht neu, werden doch bereits seit Jahrzehnten Abrasivhochdruckwasserstrahlen für Reinigungsarbeiten eingesetzt. Das Neue am UHPAB-Verfahren ist der im Bild 1 dargestellte zweistufige patentierte Beschleunigungsmechanismus. Das feste Strahlmittel wird in einer ersten Stufe konventionell mittels Druckluft beschleunigt (AB). Danach wird das Strahlmittel-Druckluft-Gemisch ein zweites mal beschleunigt, und zwar durch einen mit hoher Geschwindigkeit strömenden Wasserstrahl (UHP). Die entstehende Drei-Phasen-Strömung (Strahlmittel, Luft, Wasser) wird gebündelt und trifft mit hoher Geschwindigkeit auf die zu bearbeitende Oberfläche. Geschwindigkeiten einzelner Phasen bzw. Beschleunigungsstufen sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Der Begriff UHPAB bezieht sich streng genommen nur auf Systeme, die einen Wasserdruck von mehr als 170 MPa (1700 bar) erzeugen. Für diesen Druckbereich hat sich der Begriff Ultra-Hochdruck (UHP) etabliert. Das Verfahren kann jedoch auch mit geringeren Wasserdrücken arbeiten; in diesen Fällen wird zwischen HPAB (**H**igh-**P**ressure **A**brasiv **B**lasting) und PAB (**P**ressure **A**brasiv **B**lasting) unterschieden. Die entsprechenden Druckbereiche sind in Tabelle 2 aufgelistet.

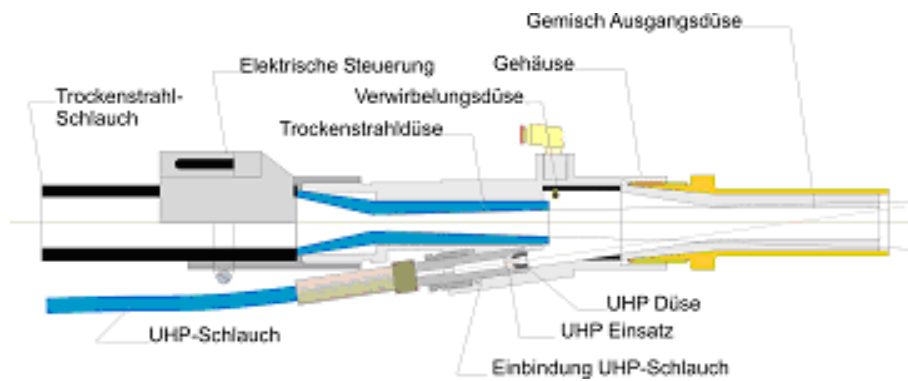


Bild 1. Prinzip der zweistufigen Beschleunigung.

Tabelle 1. Geschwindigkeitswerte.

Status	Geschwindigkeit
Strahlmittel nach erster Beschleunigung ¹⁾ (AB)	162 m/s
Wasserstrahl ²⁾ (UHP)	633 m/s
Strahlmittel nach zweiter Beschleunigung ¹⁾²⁾ (UHPAB)	500 m/s

¹⁾ Luftdruck: 0,8 MPa (8 bar); ²⁾ Wasserdruck: 200 MPa (2000 bar)

Tabelle 2. Druckbereiche.

Abkürzung	Bezeichnung	Druckbereich
UHP	Ultra-High Pressure	Wasserdruck > 170 MPa (1700 bar)
HP	High Pressure	Wasserdruck zwischen 68 MPa (680 bar) und 170 MPa (1700 bar)
P	Pressure	Wasserdruck < 68 MPa (680 bar)
AB	Abrasive Blasting	Luftdruck zwischen 0,6 MPa (6 bar) and 1,2 MPa (12 bar).

3. Gerätetechnik

Die Gerätetechnik einer UHPAB-Anlage besteht im Kern aus den folgenden Komponenten:

- Hochdruckpumpe,
- Kompressor,
- UHPAB-Düse,
- Steuermodul.

Bei den Hochdruckpumpen handelt es sich um 3-Plunger-Pumpen in liegende Ausführung mit Betriebsüberdrücken bis 300 MPa (3000 bar). Es befinden sich je zwei Pumpen, die jeweils

zwei Arbeitsplätze mit Hochdruckwasser versorgen, in einem 10-Fuß-Standardcontainer (siehe Bild 2a). Pro Düse steht ein Nennförderstrom von ca. 10 l/min zur Verfügung. Die Kompressoren sind konventionelle Baustellenkompressoren mit Betriebsüberdrücken bis 0,8 MPa (8 bar). Bei den UHPAB-Düsen handelt es sich um Spezialanfertigungen in einem patentierten, auf Bild 1 verdeutlichten Design. Das Steuermodul ermöglicht die Auswahl verschiedener Strahlvariationen direkt an der Düse. Die einstellbaren Varianten sind:

- I - Strahlmittel, Druckluft und Druckwasser (PAB, HPAB, UHPAB),
- II - Strahlmittel und Druckluft (AB),
- III - Druckwasser und Druckluft (P, HP, UHP),
- IV - Druckluft.

Es können daher mit einer UHPAB-Düse je nach Bedarf die folgenden Arbeiten ausgeführt werden:

- PAB, HPAB, UHPAB in verschiedenen Druckbereichen,
- Trockenstrahlen (AB),
- Druckwasserstrahlen in verschiedenen Druckbereichen (P, HP, UHP), einschließlich Waschen,
- Trocknen mit Druckluft,
- Abblasen mit Druckluft.

Die von der Steuerung gesendeten Signale werden zur Standortbestimmung der Anlage (GPS) sowie zur Betriebsdatenerfassung genutzt.



Bild 2. Geräte für das UHPAB-Verfahren.

- a – 10-Fuß-Container mit Hochdruck-Pumpen und Steuerung
- b – 10-Fuß-Container mit Wasseraufbereitungsanlage

Eine erweiterte UHPAB-Anlage umfasst die folgenden Zusatzkomponenten:

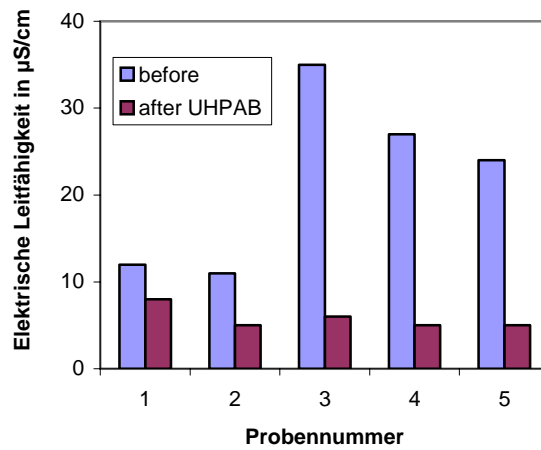
- Salz-/Brackwasseraufbereitungsanlage,
- Suspensionspumpe,
- Strahlmitteltrennung und -aufbereitung,
- Arbeitsplatzbeleuchtung.

Die Wasseraufbereitungsanlage dient zur Aufbereitung von Salz- oder Brackwasser, um es in den Hochdruckpumpen bzw. für den Strahlprozess verwenden zu können. Sie besteht aus zwei Umkehrosmosekreisläufen; im ersten Kreislauf wird Trinkwasser erzeugt, im zweiten Kreislauf wird voll entsalzene Wasser erzeugt. Das gesamte System, einschließlich Vorfiltration und Steuerung, ist in einem standardisierten 10-Fuß-Container untergebracht (siehe Bild 2b). Die Kapazität beträgt 60 t Trinkwasser bzw. voll entsalzene Wasser pro Tag. Ein patentiertes Pumpsystem fördert die beim Strahlen anfallende Suspension aus Strahlmittel, Strahlgutpartikeln und Wasser zu einer Sammel- oder Aufbereitungsanlage. Das Pumpsystem besteht im Wesentlichen aus einem Sauger für die horizontale Förderung und einer Membranpumpe für die vertikale Förderung. Es können daher sehr große Höhenunterschiede überwunden werden (z.B. 30 m), und die Suspension kann z.B. aus Ballasttanks herausgefördert werden.

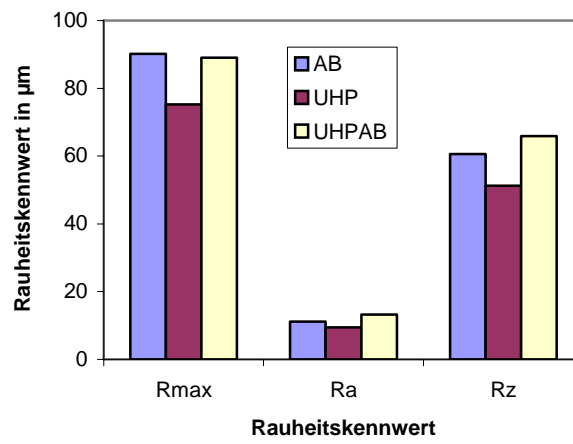
Für die Trennung und Aufbereitung von Feststoff und Prozesswasser ist eine mobile, ebenfalls in einem 10-Fuß-Container untergebrachte Anlage vorgesehen, in der Fest-Flüssig-Trennung sowie Wasseraufbereitung (Filtration) stattfinden. Die in Modulbauweise konzipierte Anlage liefert Wasser gewünschter Qualität; geplant ist u.a. eine zur Wiederverwendung des Prozesswassers erforderliche Qualität.

4. Oberflächenqualität

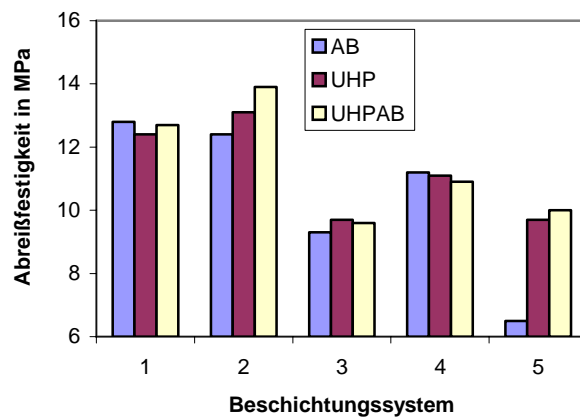
Zur Untersuchung der durch UHPAB erzeugten Oberflächenqualität wurden umfangreiche, durch den Germanischen Lloyd, Hamburg, betreute und begutachtete Untersuchungen durchgeführt. Es wurden drei Oberflächenvorbereitungsverfahren (AB=Trockenstrahlen, UHP=Druckwasserstrahlen, UHPAB) und fünf organische Beschichtungssysteme geprüft. Die Prüfungen beinhalteten u.a. Salzsprühtests, Kondensationstests, Haftfestigkeitstests, Profilmessungen, Unterwanderungsmessungen, Messungen der elektrischen Leitfähigkeit und Staubbmessungen. Ergebnisse der Leitfähigkeitsmessungen sind auf Bild 3a dargestellt; es wird deutlich, dass UHPAB die Leitfähigkeit der Messflüssigkeit (entnommen mit Bresle-Pflaster) deutlich reduziert, was auf die Entfernung gelöster Substanzen, insbesondere Salze, zurückgeführt werden kann. Das im Strahl enthaltene Wasser fließt mit hohen Geschwindigkeiten in Öffnungen und Poren und wäscht gelöste Substanzen zuverlässig heraus. Bild 3b zeigt Ergebnisse von Profilmessungen. Alle Rauheitsparameter weisen hohe Werte für die Verfahren AB und UHPAB auf, während das UHP eher geringe Rauheitswerte produziert. Von besonderem Interesse ist der Kennwert R_z , der als R_{Y5} in Beschichtungsspezifikationen auftritt. Hierbei liefert UHPAB Werte, die denen trocken gestrahlter Oberflächen entsprechen. Bild 3c zeigt Ergebnisse der Abreißfestigkeitsmessungen. Es konnte gezeigt werden, dass immer dann, wenn Adhäsionsbruch auftritt (Systeme 2 und 5), UHPAB – insbesondere im Vergleich mit AB - sehr gute Werte liefert, während in Fällen von Kohäsionsbruch das Bearbeitungsverfahren keinen signifikanten Einfluss auf die Abreißfestigkeit ausübt.



a



b



c

Bild 3. Oberflächenqualität und Beschichtungsverhalten.

a - elektrische Leitfähigkeit (UHPAB), b - Rauheitskennwerte, c - Abreißfestigkeit

Das recht schlechte Verhalten der mit AB bearbeiteten Flächen könnte auf die Verunreinigung durch zerbrochenes Strahlmittel zurückgeführt werden. Obgleich die Flächen mit Druckluft gereinigt worden waren, konnten im mikroskopischen Bereich deutliche Verunreinigungen nachgewiesen werden. Ein typisches Beispiel zeigt Bild 4a. Wie Bild 4b verdeutlicht, lagert sich zerbrochenes Strahlmittel in den Adhäsionsbereich zwischen Substrat und Beschichtungsfilm. Diese Verunreinigungen traten, wie Bild 4c beispielhaft belegt, beim UHPAB nicht auf; offenbar transportiert das im Strahl enthaltene Wasser den Großteil der Strahlmittelbruchstücke von der Oberfläche.

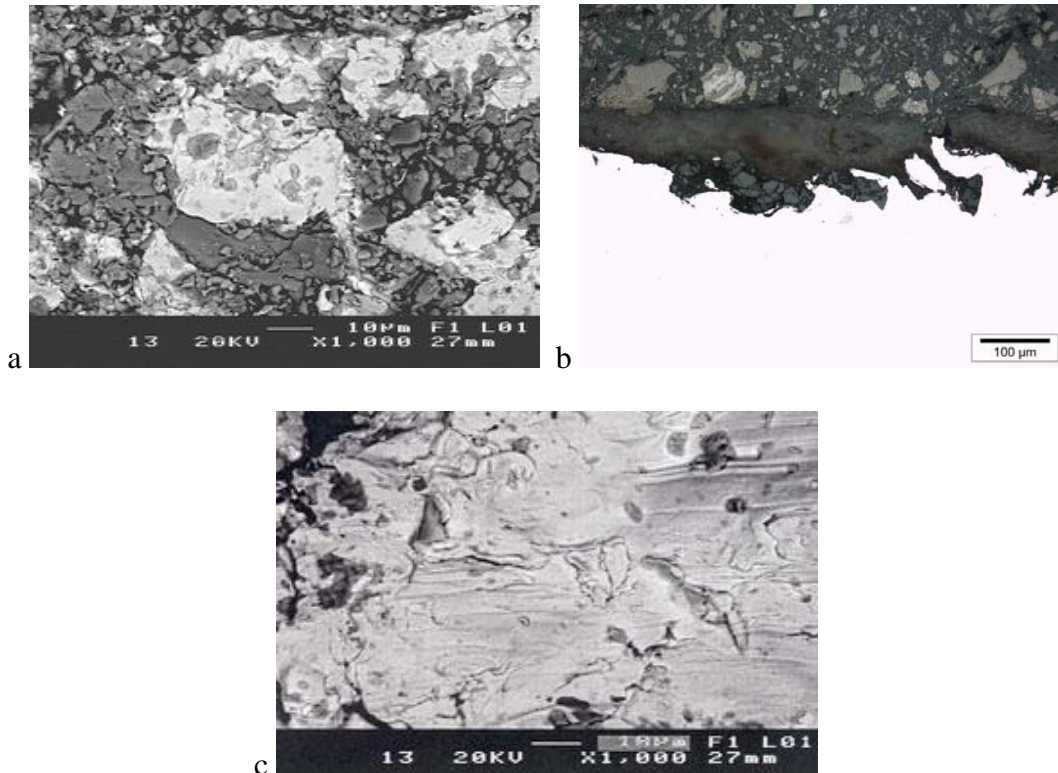


Bild 4. Verunreinigung durch zerbrochenes Strahlmittel (REM-Bilder).

a - Trockenstrahlen (AB); b – Trockenstrahlen (AB): Querschliff; c - UHPAB

5. Anwendungen

Es sind zahlreiche erfolgreiche Anwendungen des UHPAB-Verfahrens bekannt, insbesondere in den folgenden Bereichen:

- Schiffsreparatur,
- Stahl-Wasserbau,
- Schweißnahtbearbeitung,
- Rohrleitungsentschichtung,
- Offshore-Bohrinseln,
- Großlagertanks.

UHPAB ist an über 2,3 Mio m² Referenzfläche zum Einsatz gekommen. Das Verfahren weist eine Reihe von anwendungstechnischen und qualitätstechnischen Vorteilen auf. Dazu gehören insbesondere:

- äußerst geringe Staubbildung (siehe hierzu Bild 5),
- geringer spezifischer Strahlmittelverbrauch (siehe Tabelle 3),
- geringer spezifischer Wasserverbrauch (siehe Tabelle 3),
- geringer spezifischer Energieverbrauch/Dieserverbrauch (siehe Tabelle 3),
- sehr hohe Effektivität durch die hohe Strahlmittelgeschwindigkeit,
- sehr hohe Reinigungseffektivität (Salze, gebrochenes Strahlmittel) durch die Wasserphase,
- Erzeugung einer gewünschten Oberflächenrauheit,
- Gewährleistung einer exzellenten Haftung zwischen Substrat und Beschichtung (siehe Bild 3c).



Bild 5. UHPAB-Bearbeitung einer Oberfläche (keine Staubbildung).

Detail „A“: Bindung und Abtransport der Strahlmittelpartikel durch die Wasserphase

Die Effektivität des Verfahrens hängt stark von den Randbedingungen der Anwendung ab; hierzu zählen u.a. Objektgeometrie, Zugänglichkeit, Arbeitsorganisation, Ausrüstung. Bei der Entschichtung von Großlagertanks mit guter Zugänglichkeit und großen zusammenhängenden Flächen (siehe Bild 6c) können Leistungen von 25 m²/h pro Düse erzeugt werden. Da ein Standardgerät über vier Strahlerarbeitsplätze verfügt, können Flächenleistungen von 100 m²/h realisiert werden. Das Entfernen von Zementschlämmen aus Lagertanks kann mit Flächenleistungen bis 32 m²/h pro Düse realisiert werden.

Tabelle 3. Typische Verbrauchswerte für UHPAB.

Verbrauchskennwert	Epoxid (1500 - 2500 µm)
Diesel in l/m ²	1,5
Wasser in l/m ²	58
Kupferschlacke in kg/m ²	33



a – stark korrodierte Stahlfläche



b – Offshore Plattform



c – Großlagertank



d - Schweißnahtbearbeitung



e – Schiffsinstandsetzung (Rumpf)



f – Schiffsinstandsetzung (Deck)

Bild 6. Ausgewählte Anwendungen des UHPAB-Verfahrens.

Sehr gute Erfahrungen wurden beim Entschichten von Rohrleitungsbündeln gesammelt. In diesem Fall wirkte sich ein Nachteil des Verfahrens – kein Rückpralleffekt – positiv aus, da Bündelhalter, Brücken und Armaturen im Arbeitsbereich nicht durch rückprallendes Strahlmittel erodiert wurden. Es konnten Flächenleistungen bis zu 10 m²/h pro Düse erreicht werden – unter den gegebenen Verhältnissen eine beachtliche Leistung. Komplexere Geometrien der bearbeiteten Strukturen (siehe z.B. Bild 6b) führen – wie bei allen Strahlverfahren – auch beim UHPAB zu einer Reduzierung der Effektivität. An Brückenbauwerken und Sperrwerken können Flächenleistungen bis zu 6 m²/h pro Düse erreicht werden.

Die Kosten des Verfahrens richten sich ebenfalls nach den Randbedingungen der Anwendung, wobei regionale und lokale Gegebenheiten (z.B. Lohnniveau, Arbeits- und Umweltschutzaufgaben) hinzukommen. Deshalb können generelle Angabe zu den Kosten nicht gemacht werden. Die Kosten müssen für jedes zu bearbeitende Objekt separat ermittelt werden. Hierfür hat Mühlhan z.B. eine Software entwickelt, mit deren Hilfe flächenbezogene Kosten (z.B. in €/m²) vor Beginn der Arbeiten abgeschätzt werden können. Auch ein Kostenvergleich zwischen UHPAB und konventionellen Verfahren kann nur objektbezogen erfolgen. Einen solchen Vergleich zeigt Bild 7, wo die Kosten der beiden Verfahren als Relativwerte dargestellt sind.

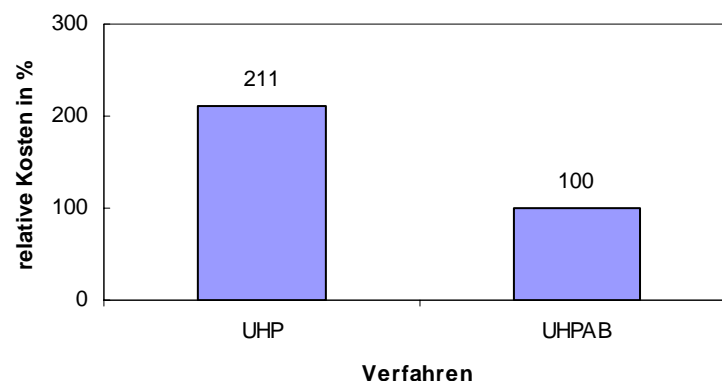


Bild 7. Kostenvergleich UHPAB und UHP.
Objekt: Offshore-Plattform

6. Zusammenfassung

UHPAB ist ein auf einem neuen Beschleunigungsprinzip beruhendes Strahlverfahren für die Oberflächenvorbereitung. Aufgrund der zweistufigen Beschleunigung kann die Austrittsgeschwindigkeit der Feststoffpartikel bedeutend erhöht werden. Die ebenfalls mit hoher Geschwindigkeit ausströmende Wasserphase gewährleistet exzellente Oberflächenreinheiten. Das Verfahren arbeitet nahezu staubfrei. Die mit UHPAB erzeugten Oberflächen weisen sehr gute Adhäsionseigenschaften (Reinheit, Profil) auf. Das Schutzverhalten aufgebrachtener Beschichtungen kann durch UHPAB verbessert werden. Das Verfahren hat sich als industriell einsetzbares Verfahren etabliert und besitzt ein großes Potential.

Literatur

- EIN EN ISO 12944-4, 1998 Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme. Teil 4: Arten von Oberflächen und Oberflächenvorbereitung, Juli 1998.
- Greverath, W.-D., 2001, Neue Oberflächenvorbereitungsverfahren. Tagungsband 1. Tagung Korrosionsschutz in der maritimen Technik, Germanischer Lloyd, Hamburg, 58-73.
- Greverath, W.-D., 2003, Ultra high pressure abrasive blasting standards compared to other international standards. Proc. Overflatedagene, Stavanger, 96-99.
- Momber, A.W., 2003, Hydroblasting and coating of steel structures. Elsevier Science Ltd., Oxford, Chapter 7.2.
- Momber, A.W., Greverath, W.-D., 2004, Surface preparation standards for steel substrates - a critical review. Protective Coatings Europe, Vol. 9, No. 2, 48-52.
- Momber, A.W., Koller, S., Dittmers, H.-J., 2004, Effects of surface preparation methods on adhesion of organic coatings to steel substrates. Journal of Protective Coatings and Linings, Vol. 21, No. 11, 44-50.