

Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Bunne  
Dipl.-Biologin Petra Kauer

Ingenieurbüro HANLI,  
Verdener Platz 2 30419 Hannover  
[www.hanli.de](http://www.hanli.de)  
Tel: + 49-5 11-2 71-55 88



# Entschichten von Betriebsmitteln in der Oberflächentechnik

## Entschichten von Betriebsmitteln in der Oberflächentechnik

### Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Beschreibung der Entschichtungsverfahren</b>	<b>3</b>
	2.1 Die thermischen Entschichtungsverfahren	3
	2.1.1 Wirbelbett.....	3
	2.1.2 Pyrolyse.....	3
	2.1.3 Wirbelstromentschichtung.....	4
	2.2 Die chemischen Entschichtungsverfahren	4
	2.2.1 Spritzanlagen.....	4
	2.3 Die physikalischen Entschichtungsverfahren	5
	2.3.1 Kryogenes Entschichten.....	5
	2.3.2 Wasserhochdruck.....	5
<b>3</b>	<b>Einsatzgebiete und Auswahlkriterien der verschiedenen Entschichtungsverfahren</b>	<b>6</b>
	3.1 Wasserhochdruckverfahren	6
	3.2 Chemische Spritzanlagen	6
	3.3 Wirbelstromentschichtung	6
<b>4</b>	<b>Inline Entschichtung bzw. Automatischer Betrieb</b>	<b>8</b>
	4.1 Wasserhochdruckentschichtung für Skids	8
	4.2 Chemische Spritzentschichtung	8
	4.3 Wirbelstromentschichtung	8
<b>5</b>	<b>Kostenanalyse: Entschichtungskosten nach Herstellerangaben, ohne Logistik</b>	<b>9</b>
	5.1 Wasserhochdruckverfahren	9
	5.2 Chemische Spritzentschichtung	9
	5.3 Wirbelstromentschichtung	9
	5.4 Vergleich zu Pyrolyse	9
<b>6</b>	<b>Inhouse: Entschichtung im eigenen Hause</b>	<b>10</b>
	6.1 Wasserhochdruckentschichtung	10
	6.2 Chemische Spritzentschichtung	10
	6.3 Wirbelstromentschichtung	10
<b>7</b>	<b>Betreibermodell</b>	<b>11</b>
<b>8</b>	<b>Vertragsgestaltung mit einem externen Entschichter</b>	<b>11</b>
<b>9</b>	<b>Schlussbetrachtung</b>	<b>11</b>
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>11</b>

## 1 Einleitung

Bei jedem Lackiervorgang werden unvermeidbar auch Betriebsmittel wie Lackiergestelle, Lackiergehänge und Gitterroste mit Lack beaufschlagt. Diese müssen von Zeit zu Zeit entschichtet werden – von einem externen Entschichter, von einem Dienstleister in der Lackiererei oder mit eigenen Kapazitäten. Nachfolgend werden Entschichtungsverfahren vorgestellt. Bei den neueren Techniken werden die Anwendungsmöglichkeiten für Betriebsmittel einer Lackiererei dargestellt. Dabei wird auch auf die Argumente für eine interne oder externe Entschichtung eingegangen.

## 2 Beschreibung der Entschichtungsverfahren

### 1. *Thermische Entschichtung*

Zu den thermischen Verfahren wird die Pyrolyse und das Wirbelbett gezählt. Im weitesten Sinne auch das neu entwickelte Verfahren der Wirbelstrom-Entschichtung.

### 2. *Chemische Entschichtung*

Chemisch kann in einfachen Tauchbecken entschichtet werden. Zu den neueren Verfahren wird die chemische Entschichtung in Spritzanlagen gezählt.

### 3. *Physikalische Entschichtung*

Das Schleifen, das kryogene Entschichten und die Anwendung von Wasserhochdruck werden zu den physikalischen Methoden gezählt.

## 2.1 Die thermischen Entschichtungsverfahren

### 2.1.1 Wirbelbett

Bei der thermischen Entschichtung im Wirbelbett wird das Entschichtungsgut in ein Bad aus ca. 400 0C heißem Quarzsand oder Aluminiumoxyd eingetaucht und kurzfristig aufgeheizt. Dabei zersetzen sich die organischen Lackanteile. Das entstehende Gas wird in einer TNV verbrannt. Voraussetzung ist die Temperaturbeständigkeit der zu entschichtenden Werkstücke.

#### **Vorteile:**

Bei diesem Verfahren wird die zu entschichtende Oberfläche gut erreicht. Es ist daher auch für geometrisch aufwendige Formen geeignet. Von den thermischen Verfahren hat dieses eine relativ kurze Chargenzeit von ca. 60 Minuten.

#### **Nachteile:**

Als nachteilig erweist sich, dass die Anlage im Dauerbetrieb laufen sollte. Dabei ist ein hoher Energieverbrauch zu erwarten. Thermische Verfahren bedingen immer Veränderungen im Material, die auf Kosten der Festigkeit gehen können. Die einzelnen Chargen sind relativ klein und das Beschicken und Entleeren ist aufwendig. Ungeeignet ist das Verfahren für bewegliche Teile, da sich der feine Sand zwischen die Gelenkteile setzen kann. Hohlkörper und schöpfende Teile sollten ebenfalls gemieden werden. Eine Nachbehandlung beispielsweise durch Strahlen ist erforderlich.

### 2.1.2 Pyrolyse

Bei der pyrolytischen Entschichtung werden die organischen Bestandteile bei Temperaturen >400 0C ohne Sauerstoff verschwelt. Das Verschwelten kann durch heißes Gas einer Brennerflamme erfolgen. Es entsteht ein brennbares Schwelgas, das wieder zum Beheizen des Schwelprozesses verwendet wird. Als Voraussetzung gilt auch hier, dass die zu entschichtenden Teile temperaturbeständig sind.

#### **Vorteile:**

Die Energieverluste sind bei diesem Verfahren durch die Nutzung des Schwelgases gering. Die Oxidation läuft dabei vollständig ab. Je nach Qualitätsanforderungen kann eine Nacharbeit entfallen. Das Bestücken kann relativ einfach mit Gitterboxen erfolgen, so dass diese Anlagen auch für Massenteile geeignet sind. In Bezug auf Werkstückformen und -größen gelten für dieses Verfahren nur wenige Einschränkungen.

#### **Nachteile:**

Auch dieser Anlagentyp ist für den Dauerbetrieb ausgelegt. Das Entschichtungsgut sollte relativ einfache, geometrische Formen haben, da sich andernfalls die Werkstücke bei Temperaturschwankungen verziehen können. Auch hier gilt, dass sich das Gefüge des eingesetzten Materials bei den hohen Temperaturen verändert, was sich auf die Festigkeit auswirken kann. Die Anwendung für Hohlkörper sollte vermieden werden, da eingeschlossene Luft zur Explosionsgefahr werden kann. Die Entlackungsdauer beträgt bis zu 10 Stunden.

### **2.1.3 Wirbelstromentschichtung**

Wirbelströme entstehen, wenn ein Metall in einem Magnetfeld bewegt wird. Dabei wird in diesem aufgrund der hohen Beweglichkeit der freien Ladungsträger eine Spannung induziert. Es entstehen im Metall in sich geschlossene Wirbelströme, deren Magnetfeld auf Kosten der Bewegungsenergie aufgebaut wird. Die induktive Entschichtung macht sich diesen Zusammenhang zu Nutze, indem mit einer Induktionsspule unter der Lackschicht elektrisch leitfähiger Teile ein Wirbelstrom erzeugt wird. Dabei entsteht Wärme, die eine kleine Lackmenge im direkten Kontaktbereich zum Metall verdampft. Die Haftung des Lacks bricht, dickere Lackschichten sprengen ab. Verbleibender Lack muss nachfolgend mechanisch, z. B. durch Bürsten entfernt werden. Zur Absaugung der Dämpfe ist eine mehrstufige Luftfiltrationsanlage mit Kreislaufführung integriert. Es werden keine Zu- und Abluftkanäle benötigt.

#### **Vorteile:**

Mit diesem System kann jeder Lacktyp, sowie alle Arten von Gummi, Kleber und Schaumstoff gelöst werden. Die Wirbelstromeinwirkzeit beträgt nur wenige Sekunden. Daher kann das Entschichtungsgut an den relevanten Stellen entschichtet und sofort wieder eingesetzt werden. Es ist die Entschichtung des gesamten Werkstücks, oder nur von Teilbereichen denkbar. Vergleichbar mit den kryogenen- und Wasserhochdruck-Verfahren wird keine Chemie benötigt und es entsteht kein Sondermüll. Die abgesprengten Lackreste können je nach Inhaltsstoffen auf der Mülldeponie entsorgt werden. Die Teile sind nach dem Entschichten trocken.

#### **Nachteile:**

Bislang sind nur wenige industrielle Anwendungen veröffentlicht. Der Einsatz beschränkt sich auf elektrisch leitfähiges Entschichtungsgut -möglichst einfachen Stahl- und Teile, die nicht tief strukturiert sind. Eine Nachbehandlung der Teile z. B. durch Bürsten ist erforderlich.

## **2.2 Die chemischen Entschichtungsverfahren**

### **2.2.1 Spritzanlagen**

Spritzwaschanlagen sind geschlossene Systeme, bei denen eine ca. 80 °C heiße Reinigungslösung auf die zu reinigenden Teile gespritzt wird. Neben der chemischen Entschichtung wirkt zusätzlich die Reinigungskraft des Spritzstrahles. Warenkorb und Düsen führen dabei Eigenbewegungen aus. Die Lösung kann so den abzureinigenden Lack erreichen, eindringen und herunterspülen. Im nachfolgenden Klarspülgang werden Lack- und Reinigungsreste abgespült. Die Mindestentschichtungsdauer beträgt ca. 30 Minuten.

#### **Vorteile:**

Dank der Eigenbewegung von Warenkorb und Düsen wird das Entschichtungsgut von der Reinigungslösung gut erreicht. Für den nächsten Reinigungszyklus wird die Lösung nachgeschärft und wiederverwendet, so dass die Anlage abwasserarm betrieben werden kann. Ein Feststoffsieb hält die abgespülten Lackpartikel zurück. Zudem ist das Entschichtungsmedium hochsiedend. Bei den Verarbeitungstemperaturen entsteht keine behandlungsbedürftige

Abluft. Auch Wasserdampfschwaden entweichen nicht, da das System geschlossen und mit Kondensator ausgestattet ist. Eine Nachbehandlung der Teile durch Strahlen ist nicht erforderlich.

#### **Nachteile:**

Die Anlagengröße begrenzt die Auswahl der zu entschichtenden Teile. Werkstücke mit großen Lackschichtdicken verursachen hohe Betriebskosten, „da sich die Chemie am Lack verbraucht.“ Auch hier gilt, dass die behandelten Teile nachfolgend getrocknet, oder auch mit Korrosionsschutz versehen werden müssen.

### **2.3 Die physikalischen Entschichtungsverfahren**

#### **2.3.1 Kryogenes Entschichten**

Bei den kryogenen Verfahren wird die zu entschichtende Schicht tiefgefroren, ehe sie mit Hilfe von Strahlmitteln von der Oberfläche entfernt wird. Durch das Tiefgefrieren verliert die Beschichtung ihre Elastizität, wird spröde und damit abstrahlbar. Das Entschichtungsgut kann mit flüssigem Stickstoff einer Temperatur von etwa  $-195\text{ °C}$  gefroren und nachfolgend abgestrahlt werden. Oder die Entschichtung erfolgt mit Trockeneis. Unter Trockeneis versteht man Kohlendioxid in festem Zustand, das unter Umgebungsbedingungen bei  $-78,5\text{ °C}$  als weiße, eisähnliche Substanz vorliegt. Hier wird das Gefrieren und Ablösen in einem Arbeitsgang ausgeführt. Als Granulat werden die  $\text{CO}_2$ -Pellets in Isolierbehältern angeliefert und vor Ort in die Strahlanlage gefüllt. Sie werden in der Pistole der Strahlanlage nach dem Venturi-Prinzip auf ungefähr  $300\text{ m/s}$  beschleunigt und auf die zu reinigende Oberfläche geschossen. Dabei wird der anhaftende Belag durch das Auftreffen der Pellets gefroren. Durch unterschiedliche Ausdehnungskoeffizienten von Belag und Untergrund kommt es zwischen diesen zu thermischen Spannungen. Der Belag wird brüchig und spröde. Beim Auftreffen sublimieren die  $\text{CO}_2$ -Pellets unter einer rund 700fachen Volumenzunahme zu  $\text{CO}_2$ . Dieser explosionsähnliche Effekt bewirkt das vollständige Ablösen des Belages. Zu entsorgen bleibt der abgelöste Lack. Das gasförmige  $\text{CO}_2$  entweicht in die Atmosphäre.

#### **Vorteile:**

Somit ist bei beiden Verfahren vorteilhaft, dass sie keine umweltgefährdenden Inhaltsstoffe freisetzen. Die Beschichtungsreste sind gut zu entfernen, da sie nicht chemisch angelöst, sondern lediglich ausgehärtet sind. Das prädestiniert die kryogenen Verfahren zur direkten Entschichtung an der Anlage –ohne Demontage von Anlagenkomponenten.

#### **Nachteile:**

Bei der Bedienung ist Vorsicht geboten: Zum einen besteht die Gefahr von Erfrierungen bei unsachgemäßer Handhabung, die abplatzenden Lackteile spritzen beiseite und ein Gehörschutz ist unbedingt erforderlich.

#### **2.3.2 Wasserhochdruck**

Ein Hochdruckwasserstrahlssystem zum Entschichten arbeitet mit einem Druck von ca.  $2500\text{ bar}$ . Der Wasserstrahl durchbohrt dabei beim Aufprall Lackrückstände, sprengt sie ab und zerkleinert sie. Dieses Verfahren ist besonders für robuste, schwere Werkstücke geeignet.

#### **Vorteile:**

Es werden keine umweltgefährdenden Inhaltsstoffe freigesetzt. Eine Nachbehandlung der Teile durch Strahlen ist nicht erforderlich.

#### **Nachteile:**

Neben den abgesprengten Lackpartikeln muss zusätzlich das Wasser entsorgt werden, das vor Einleitung in den Kanal –beispielsweise durch einem Filter mit einer Porengröße von  $80\text{ }\mu\text{m}$ - aufbereitet werden muss. Der Wasserdurchsatz für die Wasserstrahldüsen ist hoch. Sie werden mit Frischwasser betrieben, da die Hochdruckpumpen schon gegenüber kleinsten Partikeln empfindlich sind. Die entschichteten Teile müssen nachfolgend getrocknet, oder auch mit Korrosionsschutz versehen werden. Die gängigen Hochdruckstrahl-Systeme arbeiten mit starren Düsen. Von daher können Toträume bleiben.

### 3 Einsatzgebiete und Auswahlkriterien der verschiedenen Entschichtungsverfahren

Bei den Anwendungsmöglichkeiten wird im Folgenden auf die Entschichtung von Lackiergestellen, Lackiergehängen und Gitterrosten eingegangen.

#### 3.1 Wasserhochdruckverfahren

Das Wasserhochdruckverfahren eignet sich für Gitterroste wie auch für aufwendigere Geometrien wie z.B. Lackiergestelle. Im einfachsten Fall ist es ein manuelle System mit einer Hochdruckdüse an einer Lanze. Bei festen Konturen ist auch ein starres Düsensystem möglich. Die Wasserhochdruckentschichtung in Kombination mit einem Roboter ist sehr flexibel. Damit ist die Entschichtung von aufwendigeren Geometrien wie Lackiergestellen möglich. Einzelne kleinere Lackiergehänge müssen aber einzeln fixiert werden, damit der Roboter keinen Crash fährt.

Das eigentliche „Herzstück“ einer bestehenden, automatisierten Wasserhochdruckentschichtung von Lackiergestellen ist die Hochdruckdüse am Arm eines Roboters, der die Kontur des Lackiergestells abfährt. Das Hochdruckgerät stellt hierbei 2500 bar bei einer Arbeitsleistung von 110 KW zur Verfügung. Als Peripherie werden benötigt: eine Aus- und eine Einschleusstelle für die Lackiergestelle, eine separate Entschichtungskabine, die mit Schallschutztoren ausgestattet ist. Im Kanal für die Kabinenabluft befindet sich ein Tropfenabscheider. Die Kabine ist in zwei Zonen unterteilt, die Hochdruck-Zone und die Blas-Zone zum Trocknen. Das Frischwasser für die Hochdruckpumpe wird zuvor von einem Polzeifilter mit einer Porenweite von 1 µm gefiltert. Das Abwasser wird mit einem Bandfilter einer Porengröße von 80 µm einleitfähig gemacht. Nach Herstellerangaben könnte das Abwasser auch auf 5 µm runtergefiltert und als Kreislaufwasser verwendet werden. Diese Frisch- und Abwassereinsparung geht jedoch auf Kosten der Standzeit für die Dichtungen und somit der Pumpe. Als weitere Komponente wird eine Badkühlung benötigt, da sich die Pumpen aufgrund der hohen Drücke aufheizen.

Diese Anlagenkomponenten können vollautomatisch gefahren werden, so dass sie nur sporadisch einen Anlagenführer binden.

#### 3.2 Chemische Spritzanlagen

Chemische Spritzanlagen sind prinzipiell für Lackiergestelle, Lackiergehänge und Gitterroste zur Entschichtung geeignet. Begrenzend sind die Abmessungen und die Mengen an Lackauftrag. Bei den Gitterrosten begrenzt beispielsweise die Lackschichtdicke den Einsatz der Spritzentschichtung, da der Chemieverbrauch mit der Schichtdicke proportional verläuft.

Beide Spritzmodule arbeiten nach dem Spritz-Umwälzverfahren. Eine Pumpe fördert das Entschichtungsmittel beziehungsweise das Nachspülmittel aus einem integrierten Vorratstank –je nach Anlagengröße bis zu 850 Liter Inhalt- zu den Düsenstöcken. Für die Kreislaufführung des Entschichtungsmediums ist ein Feststoffsieb eingebaut. Verdunstungsverluste werden von einer automatischen Füllstandskontrolle registriert und automatisch ausgeglichen. Hierfür kann in Kaskadenfahrweise auch Nachspülwasser verwendet werden. Durch die Anwendung bei erhöhter Temperatur entstehen Dampfschwaden, die über einen integrierten Schwadenkondensator mit geschlossenem Kühlwasserkreislauf geleitet werden. Eine Abluftableitung ist nicht erforderlich. Die Anforderungen an den Aufstellort reduzieren sich damit auf einen ebenen Fußboden, eine Auffangwanne, ausreichende Hallenhöhe und Stromanschluss. Die Beschickung und Entleerung der Anlage erfolgt bislang noch manuell. Der eigentliche Reinigungszyklus kann automatisch gefahren werden.

#### 3.3 Wirbelstromentschichtung

Die drei Fraktionen Lackiergestelle, Lackiergehänge und Gitterroste sind aus Stahl und somit elektrisch leitfähig. Damit ist die entscheidende Eingangsbedingung für die Wirbelstromentschichtung erfüllt. Bisher ist als Praxisbeispiel die Entschichtung mit Wirbelstrom für Lackiergehänge veröffentlicht. In Planung befindet sich eine partielle Entschichtung von Lackiergestellen und eine für Gitterroste. Bei den Lackiergestellen sollen nur die Kufen und die Aufnahmedorne entschichtet werden, um den kompletten Entschichtungszyklus weit herauszuzögern. Bei jedem Umlauf rollen sie dafür zwangsläufig durch die integrierte Entschichtungsstation. Dieses Verfahren ist besonders für eine Teilentschichtung geeignet, bei der sich die Nachbehandlung durch Bürsten einfach gestaltet. Der

Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Bunne  
Dipl.-Biologin Petra Kauer

Ingenieurbüro HANLI,  
Verdener Platz 2 30419 Hannover  
[www.hanli.de](http://www.hanli.de)  
Tel: + 49-5 11-2 71-55 88



so genannte Decoater erzeugt unter der Lackschicht einen Wirbelstrom. Dabei entsteht Wärme, die eine kleine Lackmenge im direkten Kontaktbereich zum Metall verdampft. Dafür benötigt der Decoater eine Energieversorgung von 10 KW Leistung bei 100 % Einschaltdauer. Entstehende Dämpfe werden abgesaugt und einer mehrstufigen Luftfiltration zugeführt. Die Absaugung liefert zugleich die Luft, die für die Kühlung des Decoaters und der Energieversorgung notwendig ist. Frisch- und Abluftkanäle sind nicht erforderlich, ebenso wenig wie ein Wasseranschluss oder eine Abwasserentsorgung. Durch die Erwärmung bricht die Haftung des Lackes. Der restliche Lack muss mechanisch, zum Beispiel durch Bürsten entfernt werden.

Bei einer bestehenden halbautomatischen Anlage zum Entschichten von Lackierhaken entscheidet ein Mitarbeiter, ob der Haken entschichtet werden muss. Dann entnimmt er ihn und klemmt ihn in eine Aufnahme des Entschichtungsautomaten. Ein Sensor erkennt die Belegung und startet die Entschichtung.

Als manuelle Tätigkeiten bleiben die visuelle Erkennung, das Bestücken und Entnehmen.

#### **4 Inline-Entschichtung bzw. Automatischer Betrieb**

Zu jedem der beschriebenen Verfahren gibt es verschiedene Ausführungsvarianten, die von einfachen, manuellen Anlagen bis zu automatischen Anlagen reichen. Für die Inline-Entschichtung sind vor allem automatische Anlagen von Interesse. Nachfolgend werden Beispiele beschrieben, wie diese ausgeführt sein können.

##### **4.1 Wasserhochdruckentschichtung für Skids**

Bei der Wasserhochdruckentschichtung für Lackiergestelle werden die Lackiergestelle automatisch aus und nach dem Entschichten wieder eingeschleust. Sie passieren dabei eine Entschichtungskabine, die mit Schallschutztoren verschlossen wird. In der Kabine fahren Roboter die Lackiergestellkontur mit am Roboterarm montierten Hochdruckdüsen ab. Der eigentlichen Hochdruckzone schließt sich eine Blaszone und ein Trockner an.

##### **4.2 Chemische Spritzentschichtung**

Die chemische Spritzentschichtung erfolgt in geschlossenen Modulen. Für den Entschichtungs- und Nachspülgang kann je ein eigener Spritzautomat vorgesehen werden. So wird vermieden, dass sich beim Entschichten die beiden Flüssigkeiten – Reinigungslösung und Spülmedium – vermischen. Ein Stapler hebt die Warenträger auf den Beschickungswagen, der in die Anlage einfährt. Das Hubtor wird geschlossen. Ein umlaufender Düsenrahmen oszilliert für die Reinigung am Warenträger entlang. Nachfolgend kann der Korb mit dem mobilen Fahrwagen in die Nachspülzone wechseln.

##### **4.3 Wirbelstromentschichtung**

Das Wirbelstromverfahren wurde bislang auch nur im halbautomatischen Betrieb für Lackiergehänge realisiert. Ein Mitarbeiter am Hängeförderer entscheidet, ob das Lackiergehänge entschichtet werden muss. Er entnimmt das Lackiergehänge und klemmt es in eine Aufnahme des Entschichtungsautomaten. Darin wird der Haken ca. 4 Sekunden mit Wirbelstrom beaufschlagt. Dabei wird eine Temperatur von 220 °C an der Oberfläche erreicht, so dass der Lack erweicht und abplatzt. In der nachfolgenden Station werden die relevanten Stellen abgebürstet. Das Lackiergehänge wird weitergetaktet und in eine Kiste gestoßen. Aus dieser Kiste entnimmt der Mitarbeiter bei Bedarf wieder den sauberen Haken.



## 5 **Kostenanalyse: Entschichtungskosten nach Herstellerangaben, ohne Logistik**

Die Kosten der Entschichtung sind schwer auf einen gemeinsamen Nenner zu beziehen. Das eine Verfahren arbeitet beinahe unabhängig von der Geometrie, wohingegen ein anderes bei tiefer Strukturierung seine Grenzen erreicht hat. Das eine Verfahren scheitert an der Nachbehandlung beweglicher Teile, einem anderen Verfahren stellt sich diese Frage gar nicht erst. Nachfolgend werden anhand von verfahrenstypischen Kennzahlen Kosten genannt. Für einen weiterführenden Preisvergleich sind jedoch die Bedingungen vor Ort und das Entschichtungsgut selber genauer zu betrachten.

### 5.1 **Wasserhochdruckverfahren**

Die Kosten des Wasserhochdruckverfahrens ergeben sich hauptsächlich aus der erforderlichen Behandlungszeit. Als Richtwert für die kompletten Anlagenkosten inklusive Personal können 1,5 bis 2 €/min. angenommen werden. Für die Entschichtung eines gewöhnlichen Fahrzeugskid –ohne filigrane Aufbauten- werden 13 Minuten Behandlungszeit genannt. Mit diesen Angaben ergäbe sich ein Stückpreis von 26 €/Skid.

### 5.2 **Chemische Spritzentschichtung**

Bei der chemischen Spritzentschichtung wird das zu entschichtende Material von außen abgelöst. Je dicker die Schichtdicke, umso mehr Chemie wird für das Entschichten benötigt. Der Entschichtungspreis liegt entsprechend höher. Daher bezieht der Anlagenhersteller die Kosten auf die Ablösung von 1 Kg KTL-, Nass oder Pulverlack auf Eisen-Träger. Inklusive Anlagen- und Chemiekosten ergeben sich hiernach ca. 6,50 Euro/ abgelöstes Kg Lack. Für einen Fahrzeugskid mit ca. 4 Kg Lack ergäbe sich für dieses Verfahren ebenfalls ein Stückpreis von 26 €/Skid.

### 5.3 **Wirbelstromentschichtung**

Bei der Wirbelstromentschichtung bewegen sich die Kosten von 1 µm bis zu einer Schichtdicke von 1 cm im gleichen Rahmen. Die Wärme entsteht hauptsächlich an der Grenzschicht zwischen Metall und Lack. Die erforderliche Zeit und der Energieeinsatz sind bei dünner oder dicker Beschichtung beinahe identisch. Da bei der Wirbelstromentschichtung das Gewicht auf die Kosten keinen Einfluss hat, steigt bei diesem Verfahren die Wirtschaftlichkeit mit zunehmendem Gewicht des Entschichtungsgutes. Es muss nicht das komplette Betriebsmittel aufgeheizt werden. Dieses Verfahren ist insbesondere zur Entschichtung von funktionsrelevanten Aufnahmen geeignet. Die Wirbelstrombeaufschlagung dauert hierbei nur wenige Sekunden. Der Stromverbrauch kann entsprechend vernachlässigt werden. Kosten bestimmend ist eher die erforderliche Zeit für das Handling. Hierzu eine Beispielrechnung zum partiellen Entschichten von Aufnahmedornen (d= 20 mm, h= 50 mm) an Lackiergehängen: Ausgehend von einem Stundensatz von 40 €/h und einer Stückzahl von 60 einfachen Lackiergehängen/h ergeben sich Stückkosten von 0,66 €/Lackiergehänge.

### 5.4 **Vergleich zu Pyrolyse**

Sofern die anstehenden Teile für die thermische Entschichtung geeignet sind, müssen sich alle neueren Verfahren an den Kosten für die Pyrolyse messen. Hier kann ein Richtwert –je nach Auftragsvolumen und Verhandlung- von ca. 20 Cent/kg Stahl (ohne Logistik) angenommen werden.

Bei der Pyrolyse ist die benötigte Energie Kosten bestimmend. Je schwerer das Entschichtungsgut, umso länger muss aufgeheizt werden. Daher ist bei der Pyrolyse „kg Stahl“ die Berechnungsgrundlage. Hiernach ergäbe sich als Stückkosten für einen Skid (Gewicht: 190 Kg) 38 €/Skid.

## **6 Inhouse: Entschichtung im eigenen Hause**

Die beschriebenen Verfahren können sowohl extern als auch direkt im Werk angewandt werden. Um alle Anwendungsfälle eines Werkes abzudecken, sollten mehrere Entschichtungs- und Nachbehandlungsverfahren zur Verfügung stehen. Erst die freie Kombinationsmöglichkeit zwischen Entschichtungsverfahren und den einzelnen Nachbehandlungsschritten ermögliche aus Sicht eines Lohnentschichters (ABL-Technic Wagenseil GmbH) einen wirtschaftlichen Betrieb.

Für eine Inhouse-Entschichtung spricht hingegen, dass der Werksinhaber den Prozess direkt beeinflussen kann und die zu entschichtenden Teile nur kurze Wege gehen. Idealerweise steht die Entschichtungsanlage direkt neben der Lackieranlage.

Der logistische Aufwand ist somit auf ein Minimum reduziert. Ohne größere Transporte und Handling kann zudem das Richten der entschichteten Teile bis auf Stichproben entfallen. In der Summe können so bis zu 30 % Entschichtungskosten eingespart werden. Eine optimale Symbiose zwischen Produktions- und Entschichtungsanlage kann flexibel auf den momentanen Bedarf reagieren. Die Umlaufmenge an Lackiergehängen, Gitterrosten oder Lackiergestelle kann verringert werden. Die Bereitstellung der Teile ist ohne den logistischen Umweg zum externen Entschichter besser kalkulierbar. Die Teile stehen pünktlich zur Verfügung.

### **6.1 Wasserhochdruckentschichtung**

Mit der Wasserhochdruckentschichtung von Lackiergestellen mit Robotern wurde ein Verfahren beschrieben, bei dem die Karosserieträger automatisch ausgeschleust, umgehend entschichtet und wieder eingeschleust werden. Ohne Handling mit Staplern und LKWs können somit bis auf Stichproben das Richten und die Kontrolle mit Lehre entfallen. Bei diesem Beispiel ist die Automatisierung so weit gediehen, dass nicht nur von „Inhouse“ sondern auch von „Inline“ gesprochen werden kann. Die Entschichtung ist direkt in den Lackierprozess integriert.

### **6.2 Chemische Spritzentschichtung**

Für die chemische Spritzentschichtung muss das Entschichtungsgut in Boxen gestapelt werden. Damit ist ein Arbeitsschritt zur Entschichtung außerhalb des Werkes schon getan. Davon unberührt eignet sich dieses Verfahren auch für die direkte Kombination mit der Lackiererei. Einsparung logistischer Wege und die sichere Verfügbarkeit der Teile sprechen auch hier für eine Inhouse-Entschichtung, die mit den zur Verfügung stehenden Komponenten ebenfalls als Inline-Entschichtung denkbar ist.

### **6.3 Wirbelstromentschichtung**

Mit der Wirbelstromentschichtung lassen sich gezielt Problemstellen –wie Aufnahmepunkte- entschichten. Bei solchen Teilentschichtungen beträgt die Entschichtungszeit nur wenige Sekunden. Da die Teile nach dem Entschichten trocken und frei von Korrosionsschutz sind, können sie sofort wieder eingesetzt werden. Das prädestiniert dieses Verfahren für eine Inline-Anbindung an die Lackiererei mit den oben genannten Vorteilen.

## 7 Betreibermodell

Die genannten Vorteile können entweder mit einer eigenen, selbst betriebenen Anlage oder durch einen Dienstleister im Werk ausgenutzt werden; wobei der Dienstleister Anlagenbesitzer oder reiner Betreiber sein kann. Je höher die Investitionskosten, desto geringer ist im Allgemeinen das Interesse des Betreibers, eine Anlage zu finanzieren. Investiert in diesem Fall der Werksinhaber selbst, kann es durchaus sinnvoll sein, den Betrieb extern zu vergeben. Eigenes Personal wird somit nicht gebunden.

Bei Verfahren, die speziell auf Kundenbelange zugeschnitten sind, gilt ebenfalls, dass der Werksinhaber auch Eigner der Entschichtungsanlage sein sollte. Die spezialisierte Anlage wäre bei Auslaufen des Entschichtungsvertrages für den Dienstleister beinahe wertlos. Zu solch einer spezialisierten Anlage könnte eine Lackiergestellentschichtung gezählt werden, bei der starre Düsen eine feste Lackiergestellkontur bearbeiten. Das gleiche gilt für die Wirbelstromentschichtung, bei der die Decoater spezielle Werkzeuge darstellen, die auf unterschiedliche Werkstückgeometrien angepasst sind.

Eine Anlage zur chemischen Spritzentschichtung lässt sich hingegen universeller einsetzen, sofern die Abmessungen des Entschichtungsgutes mit dem Innenraum der Anlage in Einklang zu bringen sind. Hier wäre ein Betreibermodell sinnvoll, bei dem der Dienstleister sowohl Eigner der Entschichtungsanlage als auch Ausführer der Entschichtung ist.

## 8 Vertragsgestaltung mit einem externen Entschichter

Die Leistungen eines externen Entschichters werden sinnvoller Weise in einem Lastenheft ausgeschrieben. Zur Optimierung der Kostenkontrolle bietet sich eine Anfrage zum Festpreis/Stück an. Als Basis sollte das Lastenheft den Entschichtungsumfang genau definieren; einmal über die Katalogisierung der Lackiergehänge, Gitterroste und Lackiergestelle nach Verschmutzungsart, Abmessungen und Gewicht, die Umlaufmengen und Entschichtungsaufräumen, sowie die entsprechenden Wochenübersichten. Weiterhin müssen die Übergabepunkte festgelegt werden und die Anlieferungs- und Umlaufdauer. Mit Hilfe dieser Datenbasis ist vergleichbare Angebote zu erzielen.

## 9 Schlussbetrachtung

Die Zeiten der 100 %-Entschichtung sind vorbei. Der Kostendruck fordert Innovationen die den Betreibern Prozesssicherheit garantieren und dabei die Betriebskosten senken. Die Anlagenbauer haben das erkannt und bringen innovative Techniken auf den Markt, wie z.B. die Wirbelstromentschichtung, oder optimieren vorhandene Verfahren. Jetzt sind die Betreiber gefordert Ihre Betriebsmittel neu zu sortieren.

Mit relativ geringen Aufwand lässt sich die komplette Entschichtung der Betriebsmittel auf die tatsächlichen Bedürfnissen des Lackierprozesses anpassen. Auch die vollautomatische Integration der Entschichtung in den Lackierprozess kann mittlerweile kostengünstig realisiert werden. Es gibt kein universelles Entschichtungsverfahren. Der Schlüssel zur kostengünstigen Entlackung liegt in der Abstimmung des Entschichtungsverfahrens auf den Lackierprozess.

Wir vom Ingenieurbüro HANLI sind Ihr kompetenter Ansprechpartner für Lösungen in der Optimierung der bestehenden Lackieranlagen, Lackierverfahren und Abläufe in Lackierereien. Mit unserem Knowhow unterstützen wir seit über zehn Jahren die Neuplanungen und Optimierungen namhafter Automobilhersteller und Anlagenbauer von der Vorplanung, Layouterstellung, Ausschreibung, Angebotserstellung, Baustellenbetreuung bis hin zur Inbetriebnahme von kompletten Lackieranlagen, einschließlich Genehmigungsverfahren nach BImSchG und WHG.

## 10 Literaturverzeichnis

1. Jahrbuch besser lackieren! 2005
2. [www.physik-lexikon.de](http://www.physik-lexikon.de)

Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Bunne  
Dipl.-Biologin Petra Kauer

Ingenieurbüro HANLI,  
Verdener Platz 2 30419 Hannover  
[www.hanli.de](http://www.hanli.de)  
Tel: + 49-5 11-2 71-55 88



3. [www.innovations-report.de](http://www.innovations-report.de)
4. [www.dbu.de](http://www.dbu.de)
5. [www.bauer-anlagen.de](http://www.bauer-anlagen.de)
6. [www.falch.com](http://www.falch.com)
7. [www.durr.ecoclean.engineering.de](http://www.durr.ecoclean.engineering.de)
8. Bauer, Martin: JOT 2003 (01)
9. Bauer, Martin: JOT 2004 (06)
10. besser lackieren! 2003 (17)
11. Firmenveröffentlichung Eisenmann: Wasserhochdruck
12. besser lackieren! 2002 (02): Online-Skidentlackung
13. Wiandt, Sabine: JOT 2001 (11)
14. Schlaich, Bernd: JOT 2003 (10)
15. Stahl, Peter: JOT 2004 (6)
16. Allmüller, Sascha: JOT 2004 (6)
17. Wagenseil, Veit: JOT 2001 (03)

**Kontaktadresse:**      **Ingenieurbüro HANLI**  
                                 **Dipl.-Ing. Bülent Hanli**  
                                 **Verdener Platz 2**  
                                 **D-30419 Hannover**  
                                 [www.hanli.de](http://www.hanli.de)  
                                 **Tel: +49-511-2715588**