

Hugo Claus GmbH & CO KG
71229 Leonberg

Umweltschonende Entlackung von Komponenten in Lackieranlagen

Abschlussbericht über das Entwicklungsprojekt,
gefördert unter Az: 24452-21/2 von der
Deutschen Stiftung Umwelt

von

Dipl. Ing.(FH) Walter Hügler
Jürgen Wyrembeck
Dr. Matthias Ott

Dezember 2008

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	24452	Referat	21/2	Fördersumme	125.000,00 €
Antragstitel		Umwelt schonende Entlackung von Komponenten in Lackieranlagen			
Stichworte		Verfahren, Lack			
Laufzeit		Projektbeginn		Projektende	Projektphase(n)
36 Monate					
Zwischenberichte:	alle 6 Monate Kurzbericht				
Bewilligungsempfänger		Hugo Claus GmbH & Co. KG Mühlstr. 41 71229 Leonberg		Tel	07152/27380
				Fax	07152/24602
				Projektleitung	
				Hr. Hügle	
				Bearbeiter	
Kooperationspartner		Fraunhofergesellschaft IFAM Bremen			

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Mit dem Entwicklungsprojekt wird das Ziel verfolgt, eine industriereife Technologie für eine umweltverträgliche und wirtschaftliche Entlackung von Anlagenkomponenten in Lackieranlagen zu entwickeln. Die grundlegende Überlegung dabei ist, die Komponenten einmalig mit einer antihaftenden Plasmabeschichtung zu beschichten und sie dann nach Bedarf mit Wasserhochdruck im mittleren Druckbereich bis 500 bar zu entlacken. Basis für die Beschichtung ist „PermaCLEANplas“, eine von der FhG IFAM entwickelte Plasmabeschichtung. Der Einsatz dieser Technologien soll zu einem kompakten Entlackungssystem führen, das auch mobil bei den Bedarfsträgern eingesetzt werden kann und bei dem möglichst keine umweltrelevanten Schadstoffe anfallen.

Da die PermaCLEANplas - Beschichtung bisher nur auf feuerverzinkten und absolut weißrostfreien Substraten dauerhaft aufgebracht werden kann und ihre antihaftende Wirkung nur bei Nasslacken funktioniert, ist eine Weiterentwicklung dieses Beschichtungsverfahrens mit dem Ziel erforderlich, es auf alle gängigen Substrate aufzubringen und darüber hinaus die antihaftende Wirkung auch auf Pulverlacke auszudehnen.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Das Untersuchungsgebiet des Antragstellers umfasst in der ersten Phase die Erprobung und Optimierung einer WHD-Versuchsanlage für die automatische Entlackung von Anlagenkomponenten in einem geschlossenen Kreislaufsystem. Diese Arbeiten werden mit Komponenten durchgeführt, deren Beschichtung auf einem feuerverzinkten Substrat aufgebracht wurde und die mit Nasslack kontaminiert sind. Dabei ist das Entlackungsverfahren für alle industriegängigen Nasslacke zu verifizieren und zu optimieren. Außerdem sind die wirksamen Verfahrensstrategien und Systemparameter zu ermitteln.

Parallel zu diesen Versuchen erfolgt vom Projektpartner FhG IFAM die Entwicklung von kostengünstigen Vorbehandlungsverfahren für exemplarisch reale Anlagenkomponenten wie Gitterroste, Gehänge, Abdeckbleche, Lüfter u.a.m. sowie die Weiterentwicklung des Beschichtungsprozesses im Hinblick auf eine ausreichend antihaftende Wirkung auch für pulverlackierte Komponenten.

An diese Entwicklungsphase schließt sich die Erprobung des für Pulverlacke modifizierten Beschichtungsverfahrens an, das insbesondere für die Entlackung von Gehängen von großer Bedeutung ist, das diese Komponenten das größte, in der Industrie zu entlackende, Volumen ausmachen.

Abschließend sind die Einsatzgrenzen der zu entwickelnden Entlackungstechnologie, deren Umweltverträglichkeit und die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens im Vergleich zu konventionellen chemischen und pyrolytischen Verfahren zu dokumentieren.

Ergebnisse und Diskussion

Mit PermaCLEANplas beschichtete Gitterroste, die mit wasser- oder lösemittelhaltigen Lacken kontaminiert sind, können sicher mit einer WHD-Anlage im mittleren Druckbereich entlackt werden. Die Lebensdauer der Antihafbeschichtung ist mit 500 Zyklen nachgewiesen. Bei Anlagenkomponenten, wie Aussteller, die auch diverse Vorbehandlungsbäder durchlaufen, ist die Beständigkeit der PermaCLEANplas-Beschichtung noch nicht nachgewiesen.

Voraussetzung für die Haltbarkeit der Beschichtung ist bei Bauteilen aus Stahl eine feuer- oder galvanisch verzinkte Oberfläche. Alternative Vorbehandlungsverfahren haben sich als nicht geeignet erwiesen.

Bei Pulverbeschichtungen ist die Antihafwirkung von PermaCLEANplas grundsätzlich gegeben. Solche Teile lassen sich jedoch nur dann mit WHD-Technik entlacken, wenn sie integrierte Reißkanten aufweisen, an denen das Wasser die Lackschicht aufbrechen kann. Die Anwendung ist deshalb nicht generell möglich.

Das geeignete Anlagenkonzept für Produktionsanlagen ist die stationäre Durchlaufanlage mit geschlossenem Wasserkreislauf. Das Konzept der mobilen Entlackungsanlage hat sich als unwirtschaftlich erwiesen.

1.1 Ökonomische Bilanz, Marktrelevanz

Das untersuchte Entlackungsverfahren bietet den Betreibern von Lackieranlagen ein großes Rationalisierungspotential: Aufgrund der niedrigen Kosten für Entlackungsanlagen, des geringeren Energieeinsatzes und der entfallenden externen Logistikkosten reduzieren sich die Entlackungskosten für Gitterroste um 50 bis 70 %.

Dieses Preiseinsparungspotential trifft auf ein geschätztes Marktvolumen für Entlackung von Betriebsmitteln in Deutschland von 60.000.000 EUR, der geschätzter Anteil für die Entlackung von Gitterrosten beträgt 30% oder 20.000.000 EUR

1.2 Ökologische Bilanz

In einem Lehrprojekt der Universität Bremen wurden die Ökologiebilanzen für das entwickelte Entlackungssystem CLAUSwhd sowie für das heute dominierende thermische Entlackungsverfahren (Pyrolyse) erstellt und die Ergebnisse verglichen. Danach ergibt sich, dass beim CLAUSwhd-Verfahren der

- Energieverbrauch um den Faktor 6 bis 8
- der CO₂-Ausstoß um den Faktor 3

geringer ist als bei den heute üblichen pyrolytischen Verfahren.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Ergebnisse der Entwicklungsarbeiten wurden in einer Reihe von Veröffentlichungen, in einem Vortrag bei der DFO (Deutsche Forschungsgesellschaft für Oberflächenbehandlung e.V.) und auf dem Automobiltag in Stuttgart vorgestellt:

- 5/06 Besser lackieren“ Titel: Mit neuer Antihafbeschichtung Entlackungskosten
Autoren: Dr. Matthias Ott, Walter Hügler
- 6/06 „besser lackieren“ Titel: Effizient entlacken
Autor: Dr. Ott

8/06	JOT	Titel: Antihafbeschichtung erleichtert Entlackung Autoren: Dr. Matthias Ott, Walter Hügler
9/06	MO	Titel: Leichter entlacken Autoren: Dr. Matthias Ott, Walter Hügler
11/07	DFO	Titel: Beschichtung und Entlackung von Komponenten in Lackieranlagen Vortragender: Walter Hügler
12/07	„besser lackieren“	Titel: Antihafbeschichtung spart Entlackungskosten Autor: Walter Hügler
10/2008	Automobiltag BW	Begleitausstellung

Die Anwendung „Inline-Entlackung“ wurde in Form einer Pressemitteilung im Oktober 2008 in den Fachzeitschriften JOT und MO veröffentlicht.

Die Beschichtungs- und Entlackungstechnik ist in einem Firmenprospekt unter der Marke CLAUSwhd dokumentiert.

Fazit

Mit PermaCLEANplus beschichtete Gitterroste, die mit den gängigen wasser- oder lösemittelhaltigen Lacken kontaminiert sind, können sicher und mit dauerhaft guter Qualität mit Wasserhochdruck im mittleren Druckbereich bis 500 bar entlackt werden. Die Lebensdauer der Antihafbeschichtung hat sich mit 500 Zyklen als praxistauglich erwiesen.

Das untersuchte Verfahren hat beachtliche ökologische und ökonomische Effekte: So ist bei dem untersuchten Verfahren nach einer Studie der Uni Bremen der Energieverbrauch um den Faktor 6 bis 8, die CO₂-Emission um den Faktor 3 geringer als bei den heute typischen pyrolytischen Entlackungen. Aufgrund der niedrigen Kosten für Entlackungsanlagen, des geringeren Energieeinsatzes und der entfallenden externen Logistikkosten reduzieren sich die Entlackungskosten für Gitterroste um 50 bis 70 % auf Basis der aktuellen Marktpreise.

Das entwickelte Entlackungsverfahren hat das Potential, für einen großen Teil der in Lackieranlagen benutzten Betriebsmittel die konventionellen pyrolytischen und chemischen Verfahren abzulösen mit dem Effekt, die Umweltbelastung signifikant zu reduzieren und die Kosten für die Entlackung deutlich zu reduzieren.

Deutsche Bundesstiftung Umwelt £ An der Bornau 2 £ 49090 Osnabrück £ Tel 0541/9633-0 £ Fax
0541/9633-190

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	8
2	Einleitung.....	10
3	Projektdurchführung und Ergebnisse	13
3.1	Ressourcen	13
3.2	Versuchsziele	13
3.3	Versuchsanlage.....	14
3.4	Versuchsablauf.....	15
3.5	Entlackungsversuche mit Gitterrosten, kontaminiert mit wasser- oder lösemittelhaltigen Lacksystemen.....	16
3.5.1	Auswertungen der Versuchsreihen	17
3.5.2	Anlagentauglichkeit und notwendige Anlagenveränderungen.....	18
3.6	Entlackungsversuche mit Betriebsmitteln wie Aussteller, die Vorbehandlungsbäder und Lackierkabinen durchlaufen	21
3.7	Entlackung von Pulverbeschichteten Komponenten	23
3.8	Lebensdauertests.....	23
3.9	Zusammenfassung der Entlackungstests.....	24
3.10	Anpassungsentwicklung der Antihaftbeschichtung für die Nutzung bei allen industriegängigen Lacksystemen	25
3.11	Entwicklung, Spezifizierung und Erprobung von kostengünstigen Vorbehandlungsverfahren für exemplarische reale Lackieranlagenkomponenten	29
3.12	Ökonomische Bilanz, Markrelevanz	31
3.13	Ökologische Bilanz.....	33
3.14	Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation.....	48
4	Fazit.....	52
5	Literaturverzeichnis	53
6	Anlagen	54

Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen, Grafiken und Tabellen

Bild 1: Verzinkter Gitterrost mit PermaCLEAN^{PLAS}-Beschichtung nach 500 WHD-Zyklen

Bild 2: Beschickung des 5 m³ Plasma-Beschichtungsreaktors mit exemplarischen Komponenten aus Lackierstraßen.

Bild 3: ESCA-Spektren der entwickelten PermaCLEAN^{PLAS}-Beschichtung

Aus Auszug Bericht zum Lehrprojekt „Antihafbeschichtung“ (VAK: 04-044-H-608):

Abb. 1: Die 3 Ebenen der Schadstoffwirkung

Abb. 2: Bedarf an fossilen Energieträgern

Abb. 3: Anteile und kumulierter Energieaufwand

Abb. 4: Rohöläquivalenzwert

Abb. 5 Treibhausgasemissionen in CO₂-Äquivalenten

Abb. 6: Kohlenstoffmonoxidemissionen

Abb. 7 Schwefeldioxidemissionen

Abb. 8: CO₂ Ausstoß Thermisches Entlacken mit Abschlag

Abb. 9: CO₂ Ausstoß WHD-Verfahren mit Zuschlag

Abb. 10: Energieaufwand Thermisches Entlacken mit 20 Prozent Abschlag

Abb. 11: Energieaufwand WHD-Verfahren mit 20 Prozent Zuschlag

Abb. 12: Ergebnis Tabelle Fehleranalyse

Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen

2K	zweikomponentig
C1s	Ionisationsenergie von 1s-Elektronen der Kohlenstoff-Atome
CO ₂	Kohlendioxid
DBU	Deutschen Bundesstiftung Umwelt
ESCA	Elektronenspektroskopie zur Chemischen Analyse
F&E	Forschung und Entwicklung
IFAM oder Fraunhofer IFAM	Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und angewandte Materialforschung
KTL	kathodische Tauchlackierung
ltr./min	Liter pro Minute
O1s	Ionisationsenergie von 1s-Elektronen der Sauerstoff-Atome
PMMA	Polymethylmethacrylat
PVC	Polyvinylchlorid
Pyrolyse	thermische Spaltung organischer Verbindungen durch hohe Temperaturen von 500 bis 900 °C
Si2p	Ionisationsenergie von 2p-Elektronen der Silicium-Atome
WHD-Entlackung	Entlackung mit Wasserstrahl im mittleren Druckbereich
Weißrost	lockere und voluminöse Korrosionsprodukte auf Zinkoberflächen, die zu einem Großteil aus Zinkhydroxid bestehen
XPS	Röntgen-Photoelektronen-Spektroskopie

1 Zusammenfassung

Im Rahmen des Entwicklungsprojektes wurde untersucht, unter welchen technischen Bedingungen und mit welchen ökologischen und wirtschaftlichen Effekten es möglich ist, mit der antihaftenden Plasmabeschichtung PermaCLEAN^{PLAS} versehene Betriebsmittel von Lackieranlagen mit Wasserhochdruck zu entlacken. Dabei wurden die folgenden Aspekte untersucht:

- Entlackbarkeit der in der Industrie verwendeten Lacksysteme
- Ermittlung von Designvorgaben und Prozessparametern für die Wasserhochdruckentlackung
- Untersuchung von kostengünstigen Vorbehandlungsverfahren für Betriebsmittel
- Optimierung der Beschichtungsparameter
- Lebensdauer der Beschichtung
- Ökologische und ökonomische Relevanz des Verfahrens

Ergebnisse

Mit PermaCLEAN^{PLAS} beschichtete Gitterroste, die mit den gängigen wasser- oder lösemittelhaltigen Lacken kontaminiert sind, können sicher und mit dauerhaft guter Reinigungsqualität mit Wasserhochdruck im mittleren Druckbereich bis 500 bar entlackt werden. Die **Lebensdauer** der Antihafbeschichtung hat sich mit 500 Entlackungszyklen als **praxistauglich** erwiesen.

Für Anlagenkomponenten, die mit den Produkten zwangsläufig Vorbehandlungsbäder (z.B. KTL-Verfahren) durchlaufen, ist die Beständigkeit der Beschichtung noch nicht nachgewiesen. Inwieweit durch eine Weiterentwicklung der Beschichtung diese auch beständig gegenüber den üblichen Vorbehandlungsbädern gemacht werden kann, sollte in einem Folgeprojekt untersucht werden. Bei Pulverbeschichtungen ist die Antihafwirkung der Beschichtung grundsätzlich gegeben. Die Entlackung derart kontaminierter Betriebsmittel mittels Wasserhochdruck ist jedoch nur möglich, wenn die Betriebsmittel mit Reißkanten versehen werden können.

Das untersuchte Verfahren hat **beachtliche ökologische Effekte**: So ist bei dem untersuchten Verfahren nach einer Studie der Universität Bremen der Energieverbrauch um den Faktor 6 bis 8, die CO₂-Emission um den Faktor 3 geringer als bei den heute typischen pyrolytischen Entlackungen.

Zusätzlich bietet das untersuchte Entlackungsverfahren darüber hinaus ein **großes wirtschaftliches Potential**: Aufgrund der niedrigen Kosten für Entlackungsanlagen, des geringeren Energieeinsatzes und der entfallenden externen Logistikkosten reduzieren sich die Entlackungskosten für Betriebsmittel dramatisch. So kann bei der Entlackung von Gitterrosten von Einsparungen im Bereich von 50% bis 70% auf Basis der aktuellen Marktpreise ausgegangen werden.

Dieses Entwicklungsprojekt wurde mit Unterstützung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) realisiert.

Für die großzügige Förderung, ohne die das Projekt nicht möglich gewesen wäre, danken wir den Verantwortlichen der DBU.

Aufgrund der nachgewiesenen überzeugenden ökologischen und ökonomischen Effekte des untersuchten Entlackungsverfahrens gibt es **bereits Pilotkunden** und Interessenten für das neue Verfahren. Für eine breite Anwendung der neuen Entlackungstechnik ist es jedoch erforderlich, neben Gitterrosten auch alle anderen Betriebsmittel in das Entlackungsverfahren einzubeziehen und darüber hinaus, diese Technik auch für die Entlackung von Betriebsmitteln, die mit Pulverlack kontaminiert sind, zu ertüchtigen. Es wird empfohlen, dies im Rahmen eines DBU-Folgeprojektes zu erarbeiten.

2 Einleitung

In Deutschland werden pro Jahr ca. 530 000 Tonnen Industrielacke verarbeitet [Sta03]. Ein nicht unerheblicher Anteil der Lacke wird dabei nicht auf die zu lackierenden Bauteile appliziert, sondern schlägt sich als "Overspray" an Oberflächen wie Seitenwände, Gitterroste, Lüfter, Bauteilhalter etc. innerhalb der Lackierkabinen nieder. Auf diesen Oberflächen wächst eine mit jedem Lackiervorgang zunehmende Lackschicht an. Oberflächen, wie z.B. Gitterroste oder Bauteilhalter, die nicht mit einer Schutzfolie abgedeckt werden können, müssen daher regelmäßig entlackt werden. Für diese Zwecke verfügen die Lackierereien normalerweise über mindestens einen zweiten Satz dieser besonders exponierten Komponenten. Diese werden in regelmäßigen Abständen aus den Lackierkabinen ausgebaut und unter hohem Transportaufwand zu speziellen Entlackungsanlagen gefahren, wo sie entlackt werden.

Entlackungen werden heutzutage überwiegend mit zwei Verfahren durchgeführt: der chemischen und der thermischen Entlackung. Beide Verfahren weisen eine sehr negative Ökobilanz auf.

Bei der chemischen Entlackung werden die Lackreste in heißen Säuren, Laugen und/oder Lösungsmitteln (bis ca. 120 °C) angelöst. Die dann abtrennbaren Lack-Schlämme werden in großem Umfang als Sondermüll entsorgt. Da die Komponenten anschließend in Öl abgeschreckt und in mehreren Wasserbädern gespült werden müssen, führt dieses Verfahren zudem zu einem hohen Wasserverbrauch und erfordert eine aufwändige Abwasserreinigung. Als Nachbehandlungsverfahren ist das Entrosten, Passivieren und Konservieren durchzuführen. Materialkombinationen sind mit diesem Verfahren nicht zu bearbeiten. In Deutschland wurden 2000 allein für die wässrig-alkalische Entlackung von Stahlteilen und Stahlgehängen 2.584 t Abbeizmittel mit einem Lösemittelgehalt von ca. 25% verwendet [The05].

Der aktuelle Umfang der chemischen Entlackungen lässt sich am ehesten über die Mengen der entsorgten Schlämme aus der Farb- und Lackentfernung, die als besonders überwachungsbedürftige Abfälle eingestuft sind [BüAbV], ermitteln. Diese Mengen werden wie folgt angegeben:

Brandenburg(2001)[MLU01]:	531 t
Bremen (2003)[Son03]:	37 t
Rheinland-Pfalz (2002)[Lan02]:	5 492 t
Saarland (2001)[Abf02]:	2 002 t
Sachsen-Anhalt (2001)[Abf01]:	998 t

Beim thermischen Entlacken müssen die Bauteile unter hohem Energieverbrauch auf ca. 380 °C erhitzt werden, wobei die Lackreste zersetzt werden. Die entstehenden Schwelgase müssen dann durch eine aufwändige End-of-the-Pipe-Technologie aus der Abluft entfernt werden. Zudem vermindert das thermische Entlacken die Lebensdauer der Bauteile erheblich, da die Bauteile zum Schluss noch einer Nachbehandlung durch Strahlen oder chemisches Entlacken zugeführt werden müssen, um sie von Restasche zu befreien.

Ein anderes weit verbreitetes Verfahren zur Entlackung ist das Granulatstrahlen. Hierbei werden die Lackreste als Feststoff von den Komponenten entfernt und können so einfach (unter Umständen als hausmüllähnlicher Abfall) entsorgt werden, wobei die

Menge des Abfalls durch das Strahlgut um ein Vielfaches erhöht wird. Das Hauptproblem dieser Entlackung ist, dass sie zu einer starken Abnutzung der Oberfläche der Komponenten führt, wodurch ggf. eine häufige Nachverzinkung nötig wird und die Lebensdauer der Komponenten stark verkürzt wird.

Wesentlich schonender und auch mit keinem zusätzlichen Abfall verbunden ist das Strahlen mit Trockeneis. Es ist jedoch für viele Lacksysteme aufgrund einer zu starken Lackhaftung (Adhäsion) nicht geeignet, da sich der Reinigungsaufwand hier extrem erhöht. Zudem ist es mit einer erheblichen Lärmemission verbunden.

Ähnlich wie das Trockeneisstrahlen führt auch die Wasserhochdruck-Entlackung zu einer schonenden Abtrennung der Lackreste als Feststoff, der relativ einfach aus dem Abwasser entfernt werden kann. Aber auch dieses Verfahren ist für zu stark haftende Lacksysteme nicht geeignet. Zudem führt es zu einem hohen Wasserverbrauch.

Ein innovatives Verfahren ist die Laserstrahl-Entlackung. Hier werden die Lackreste durch Adsorption der hochenergetischen Laserstrahlung zersetzt. Es handelt sich im Prinzip um eine lokale, und damit sehr effiziente, thermische Entlackung. Die gasförmigen Zersetzungsprodukte müssen jedoch auch dort durch eine aufwändige End-of-the-Pipe-Technologie aus der Abluft entfernt werden. Zudem wird die Lasertechnologie für komplexe Strukturen wie z.B. Gitterroste sehr aufwendig. Es gibt weitere innovative Verfahren, die aber nicht für Gitterroste o.ä. geeignet sind. Als Beispiel sei hier die Wirbelstromentlackung genannt, die für Gehänge eine umwelt-schonende Entlackungsmöglichkeit darstellt.

Ziel des Projektes war die Entwicklung eines wettbewerbsfähigen und ökologisch vorteilhaften Verfahrens für die Entlackung von Betriebsmitteln in Lackieranlagen. Mit der neuen Entlackungstechnik soll der bereits bestehende Unternehmensbereich „Industriedienstleistungen“ der Hugo Claus GmbH gestärkt und zukunftsfest gemacht werden.

Die Entlackungstechnik sollte zunächst auf der Basis des von der Firma Baur Anlagen in Weißbach entwickelten Wirbelstromverfahrens aufgebaut werden. Nach einer Reihe von Versuchen stellten wir jedoch fest, dass sich dieses Verfahren für die Entlackung von großflächigen Teilen und komplexen Geometrien, wie sie bei Gitterrosten vorliegen, nicht eignet.

Ein zweiter Ansatz, Gitterroste mit einer im Niederdruck-Plasmaverfahren aufgebrachtten Antihafschicht zu beschichten und anschließend mit Wasserstrahl im mittleren Druckbereich (WHD-Entlackung) zu entschichten, erwies sich als erfolgreich. Für diesen Ansatz waren vom Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und angewandte Materialforschung (IFAM) in Bremen geeignete Beschichtungen entwickelt worden.

Das Verfahren funktionierte vor Projektbeginn nur für neu feuerverzinkte und absolut weißrostfreie Komponenten und für ausgewählte Nasslacke. Bei einem industriellen Einsatz dieser Technik müssen jedoch alle gängigen Substrate sicher beschichtet und alle Lacksysteme, insbesondere auch pulverlackierte Komponenten, entschichtet werden können.

Ziel des Vorhabens war daher die Weiterentwicklung des Beschichtungsverfahrens zur Industriereife sowie die Entwicklung und Erprobung einer Entlackungstechnik für Anlagenkomponenten, die sowohl stationär und möglichst auch mobil eingesetzt werden kann. Dieses Ziel sollte durch zwei F&E- Schwerpunkte erreicht werden:

1. Weiterentwicklung und Erprobung der von IFAM entwickelten Antihaftbeschichtung „PermaCLEAN^{PLAS}“ für die Anwendung bei allen industriegängigen Lacksystemen
2. Entwicklung und Erprobung eines Verfahrens auf der Basis eines im mittleren Druckbereich arbeitenden WHD-Systems, das so kompakt und autonom aufgebaut werden kann, dass es sich auch für einen mobilen Einsatz vor Ort eignet.

Die Weiterentwicklung und Erprobung der Antihaftbeschichtung war Aufgabe des Fraunhofer IFAM. Die Entwicklung der Entlackungstechnik oblag der Hugo Claus GmbH & Co. KG.

Mit ausgewählten Pilotanwendern aus den Zielgruppen Lohnlackierer und Automobilhersteller und Zulieferanten sollten das Verfahren, die Prozessparameter und die erforderliche Prozesstechnik für die Entschichtung aller in der industriellen Praxis vorkommenden Lacksysteme bis zur Einsatzreife entwickelt und erprobt werden.

Für das Projekt war eine Laufzeit von 2,5 Jahren geplant, die im Projektverlauf auf drei Jahre verlängert wurde. Projektstart war der 1.3.2006, Projektabschluss ist der 31.12.2008

3 Projektdurchführung und Ergebnisse

3.1 Ressourcen

Für die Durchführung der Versuche standen zur Verfügung:

- Versuchsanlage, bestehend aus Entlackungsmodul, Hochdruckpumpe und Wasseraufbereitungsanlage.
- Pilotkunden aus dem Kreis der deutschen Automobilhersteller
- Pilotkunden aus dem Kreis der Industrielackierer
- Fraunhofer IFAM als Unterauftragnehmer für Untersuchung, Applikation und Weiterentwicklung der Plasmabeschichtung
- URACA Pumpenfabrik GmbH & Co KG als Engineeringpartner für die Entlackungsanlage

3.2 Versuchsziele

- Ermittlung der Entlackbarkeit der in der Industrie verwendeten Lacksysteme, unter besonderer Berücksichtigung der Automotive-Industrie
- Ermittlung der optimalen Prozessparameter der Anlage für die verschiedenen Lacksysteme und Kontaminierungsintensitäten:
 - Düsenstellungen
 - Abstand Düsen zu Entlackungsobjekten
 - Druck
 - Wasservolumen
 - Vorschubgeschwindigkeiten der Verfahrsachsen
 - Abfahrstrategien für die Entlackungsobjekte
- Entwicklung von kostengünstigen Vorbehandlungsverfahren für exemplarische reale Bauteile
- Optimierung der Beschichtungsparameter für die in der Automomilindustrie gebräuchlichen Lacksysteme
- Optimierung der Beschichtungsparameter für Antihafteffekte gegenüber Pulverlacken
- Ermittlung der Lebensdauer der antihaftenden Plasmabeschichtung

- Ermittlung der Optimierungspotentiale der Anlage, Realisierung und Erprobung der Verbesserungen mit dem Ziel eines störungsfreien 3-Schichtbetriebes:
 - Robustes mechanisches Design für die beweglichen Teilsysteme der Lackierkabine
 - für das Prozesswasser
 - Erarbeitung und Erprobung eines Wartungs- und Pflegekonzeptes für den Betrieb der Anlage

- Ermittlung der Entlackungskosten nach Optimierung der Anlage

- Ermittlung des Designs für die mobile Variante der Anlage

- Erprobung der mobilen Variante der Anlage

3.3 Versuchsanlage

Die grundsätzliche Machbarkeit der Wasserhochdruckentlackung im mittleren Druckbereich in Verbindung mit der Antihaftbeschichtung PermaCLEAN^{PLAS} wurde in mehreren Vorversuchen im Technikum des Pumpenherstellers URACA verifiziert. Dabei kam bereits ein rotierendes Düsenkreuz mit mehreren verstellbaren Düsen zum Einsatz. Die Führung des Düsenkreuzes über die Entlackungsobjekte erfolgte über einen frei programmierbaren Roboter.

Bei diesen Vorversuchen wurden erste Anhaltspunkte für die geometrische Anordnung der Düsen gefunden. Ebenso konnten erste Daten über mögliche Verfahrensgeschwindigkeiten ermittelt werden.

Als Entlackungsobjekte standen Gitterroste aus dem Mercedes Werk in Rastatt sowie dem VW-Werk in Emden zur Verfügung. Weitere Versuche wurden mit Nasslack kontaminierten Gehängen durchgeführt.

Die Ergebnisse der Vorversuche ließen den Schluss zu, dass das Konzept „Antihaftbeschichtung mit PermaCLEAN^{PLAS} + Wasserhochdruckentlackung im mittleren Druckbereich“ erhebliche Erfolgchancen hat.

Die Versuchsergebnisse bildeten dann die Grundlage für den Entwurf einer Versuchsanlage, die Hugo Claus am 5.7.2005 bei URACA in Auftrag gegeben hat. Die Anlage wurde im März 2006 in Betrieb genommen. Sie besteht im wesentlichen aus folgenden Komponenten:

Entlackungskabine mit den funktionsbestimmenden Komponenten:

- Rotierendes Düsenkreuz mit seilgetriebener X – und Y- Achse
- Handbetätigter Aufnahmewagen für die Entlackungsobjekte
- Kratzförderer für Entfernung der abgelösten Lackreste
- Düsenleise für das Abblasen der Entlackungsobjekte

- Kompressor für die Versorgung der Düsenleise
 - Handlanze für die Entlackung sperriger Teile
 - Bedien- und Programmierstation
- Hochdruckaggregat mit einer Leistung von 500 bar, 90 ltr./min
- Wasseraufbereitung für den Betrieb der Versuchsanlage im geschlossenen Kreislauf, bestehend aus
- Wasserbehälter mit einem Volumen von 5 m³
 - Bandfilter für die Vorfilterung des Prozesswassers
 - Beutelfilter für die des Prozesswasser vor erneuter Zuführung zur Hochdruckpumpe
- Steuerung und Stromversorgung

Die Anlage erlaubt, bei freier Programmierung der Antriebsachsen, einen reproduzierbaren Ablauf des Entlackungsprozesses im Halbautomatikbetrieb.

3.4 Versuchsablauf

Zur Erreichung der Versuchsziele wurden Versuchsreihen mit original kontaminierten Entlackungsobjekten der Pilotkunden gefahren. Dabei wurden die Entlackbarkeit und die dafür erforderlichen Prozessparameter ermittelt und optimiert.

Die Ergebnisse wurden nach den Kriterien:

- Entlackbarkeit
- Entlackungsqualität
- Erforderliche Prozessparameter
- zusätzliche Anforderungen an das Entlackungssystem

ausgewertet.

Für die Ermittlung der Lebensdauer der Beschichtungswirkung wurden Gitterroste aus feuerverzinktem Stahl mit der PermaCLEAN^{PLAS}-Beschichtung versehen und 500 mal dem Entlackungsprozess unterworfen.

Nach jeweils 50 Zyklen erfolgte eine Untersuchung und Bewertung der Plasmabeschichtung durch das IFAM.

Die Auswertung erfolgte nach den Gesichtspunkten:

- Lebensdauer der Beschichtung bei wirtschaftlich optimierten Anlagenparametern
- Lebensdauer der Beschichtung bei erhöhtem Entlackungsaufwand
- Vertretbare Lebensdauer bei noch akzeptabler Entlackungsqualität
- Verbesserungspotentiale für Beschichtung
- Verbesserungspotentiale für Anlage

Während der Projektlaufzeit wurde ein detailliertes Betriebsprotokoll geführt, in dem alle Störungen, ihre Ursachen, die Maßnahmen zur Behebung sowie der Erfolg der Maßnahmen dokumentiert. Ebenso wurden alle sonstigen an der Anlage vorgenommenen Änderungen festgehalten.

Durch diese projektbegleitenden Maßnahmen sollte die Anlage schrittweise die geforderte Industriereife für den 3 - Schichtbetrieb erhalten.

3.5 Entlackungsversuche mit Gitterrosten, kontaminiert mit wasser- oder lösemittelhaltigen Lacksystemen

Während der Laufzeit des Projektes wurden 41 Versuchsreihen mit Gitterrosten gefahren. In Anlage 5 sind die Versuche, die Entlackungsparameter sowie die Ergebnisse zusammengefasst.

Die Roste wurden überwiegend von Automobilwerken und deren Zulieferer zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus testeten wir auch in erheblichem Umfang Gitterroste aus der Landmaschinenproduktion sowie von Industrielackierern.

Die Lackkontaminationen betrafen alle Schichten des Lacksystems, die im Fahrzeugbau Anwendung finden. Diese sind:

- Grundierungen
- Füller
- Decklacke
- Klarlacke

wie sie in automatischen Lackierstrassen aufgebracht werden. Aus Nacharbeitsbereichen und von Industrielackierern erhielten wir zusätzlich Gitterroste, deren Lackkontamination einen Mix aller Schichten darstellte.

Aus Wettbewerbsgründen war es nicht möglich, die Bezeichnungen der Lacksysteme, mit denen die Gitterroste beaufschlagt waren, von unseren Partnern zu erhalten.

Aufgrund des breit erfassten Anwenderspektrums können wir jedoch davon ausgehen, dass alle zurzeit üblichen Lacksysteme in unseren Testreihen vertreten waren.

3.5.1 Auswertungen der Versuchsreihen

Bei der Durchführung und Auswertungen der Versuchsreihen wurden folgende Aspekte betrachtet:

Auswirkung der Vorbehandlung auf die Entlackungsqualität

Voraussetzung für ein gutes Entlackungsergebnis ist eine lückenlose Beschichtung der Gitterroste. Dies wiederum setzt voraus, dass die für die Beschichtung bislang erprobten und freigegebenen Substrate:

- feuerverzinkter Stahl
- galvanisch verzinkter Stahl
- Aluminium
- Edelstahl
- Kunststoff

sauber, fettfrei und ohne Oxidationsrückstände der Beschichtung zugeführt werden. Bei feuerverzinkten Gitterrosten besteht grundsätzlich die Gefahr der Weißrostbildung durch Einwirkung von Feuchtigkeit nach dem Verzinkungsprozess. Durch geeignete Lager- und Verpackungsvorschriften, die den Verzinkern bekannt sind, kann Weißrostbildung jedoch zuverlässig vermieden werden.

In den Versuchsreihen wurden aufgrund von Weißrostbildung nicht durchgängig beschichtete Komponenten entdeckt, bei denen dann die Entlackung an den schadhafte Stellen unvollständig war.

Bei der Aufarbeitung von gebrauchten Rosten wurde festgestellt, dass an den Schweißpunkten, an denen die Gitterbleche mit den Stegen verbunden sind, die neu aufgebrachte Zinkschicht gelegentlich nicht deckt und es somit in Folge zu Fehlstellen in der Antihafschicht kommt. Bei der Entlackung weisen derart schadhafte beschichtete Gitterroste geringe Restfarbflächen auf. Das Entschichtungsergebnis wurde von unseren Partnern dennoch als gut bewertet.

Auswirkung der Lackbeschaffenheit auf die Entlackungsqualität

Die in den Versuchsreihen entlackten Gitterroste stellten einen guten Mix aller denkbaren Kontaminierungskonstellationen dar. Die Anliefersituation der zu entlackenden Gitterroste wurde wie folgt qualifiziert:

Teile mit extrem dünnen (< 20 µm) und nicht flächendeckende Lackschichten

- Lackstärke typisch von 0,2 bis 10 µm
- Lacke ausgehärtet

- Lacke nicht ausgehärtet
- Oberfläche porös
- Oberfläche glatt

Bis auf Flächen, bei denen der Lack nur extrem dünn aufgetragen war, konnten alle Lackkonstellationen sicher und mit guter Entlackungsqualität entschichtet werden. Selbst hochelastische Klarlacke mit Schichtstärken von bis zu 10 mm lösten sich problemlos ab.

Bei den durchgeführten Versuchsreihen wurde kein Fall gefunden, bei dem das Entlackungsergebnis aus Sicht des Gitterrostnutzers nicht „i.O.“ gewesen wäre.

Mechanische Belastung der Gitterroste

Durch das angewendete Wasserhochdruckverfahren mit den gewählten Kernparametern:

- Druck: 500 bar
- Wasservolumen: 90 Ltr./min
- Düsenabstand: 200 bis 400 mm

werden Gitterroste nicht beschädigt. Es kann davon ausgegangen werden, dass das angewendete whd-Verfahren die Lebensdauer der Gitterroste, anders, als die bei chemischer oder pyrolytischer Entlackung der Fall ist, in keiner negativen Weise beeinflusst.

Die Gitterroste kommen jeweils wie neu aus der Entlackung.

Ein- und doppelseitige Entlackung

Bei 80% der durchgeführten Entlackungsversuche genügte es, die Gitterroste einseitig zu entlacken. Dabei konnten sowohl die Lackoberseite als auch die Rasterblechwangen sauber entlackt werden.

Es zeigte sich, dass dicke Klarlackschichten am Besten von der Rückseite „aufgeschnitten“ werden. Die gesamte Lackschicht auf der Vorderseite löst sich dann als Farbmatte ab.

Bei 20% der Fälle, hat erst eine zweiseitige Entlackung zu einem hinreichend guten Entlackungsergebnis geführt.

Dabei handelte es sich um Kontaminationen mit weichen und klebrigen Füllern.

3.5.2 Anlagentauglichkeit und notwendige Anlagenveränderungen

Im praktischen Betrieb der Versuchsanlage traten eine Vielzahl von Störungen auf, die einerseits auf vermeidbare Designschwächen, andererseits auf nicht vorhersehbare

Betriebssituationen zurückzuführen waren. Im Verlauf des Entwicklungsprozesses wurden deshalb verschiedene Maßnahmen getroffen, um die Anlage prozesssicher zu machen bzw. sichere technische Grundlagen für den späteren Bau einer kommerziell arbeitenden Durchlaufanlage zu schaffen.

Die wesentlichen Störungen und Abhilfemaßnahmen werden im Folgenden erläutert:

Schwachstelle Bandfilter

Dieser Filter war von Anfang an seiner Aufgabe nicht gewachsen. Die Filterleistung war zu gering. Die automatische Reinigung des Filtermediums unzuverlässig. In der Folge kam es zu permanenten Überläufen und somit zu einer Verunreinigung des Prozesswassers. Nach vielen Umbauten und Verbesserungen, die jedoch zu keinem befriedigendem Ergebnis führten, setzten wir diesen Filter still und installierten stattdessen einen statischen zweistufigen Vorfilter aus beschichteten Lochblechen, die periodisch in der Entlackungskabine gereinigt werden.

Vorgabe für den Bau einer kommerziellen Anlage ist der Einsatz eines Keilspaltfilters oder alternativ eines zweistufigen Bandfilters mit beschichteten Bändern.

Ausfall Seilzüge

Das Düsenkreuz wird über Seilzüge in x/Y-Richtung bewegt. Die Seilzüge sind der Entlackungsatmosphäre in der Kabine ausgesetzt. Ursache für den Ausfall dieser Antriebe waren Fertigungsfehler im Antriebssystem.

Ausfall Kratzenförderer

Der Kratzenförderer am Boden der Entlackungskabine wird durch zwei Ketten angetrieben. Im Betrieb kam es aufgrund von Überlastungen zum Überspringen der Ketten und damit zur mechanischen Blockade des Systems. Trotz mehrfachen Nachrüstungen hat sich diese Technik letztlich als untauglich für die Entsorgung der Lackreste erwiesen. In einer kommerziellen Anlage muss der Austrag im freien Fall über einen Schacht, mit integriertem Zerkleinerer, nach unten erfolgen.

Bruch rotierender Düsenhalter

Ursache für diesen Ausfall war eine nicht ausreichende Auswuchtung des rotierenden Systems in Verbindung mit einer zu schwach ausgelegten Befestigung.

Druckabfall im Pumpensystem

Druckabfälle bis zu 10% vom Nenndruck hatten als Ursache letztlich eine nicht funktionierende Feinfiltration des Prozesswassers durch den installierten Beutelfilter.

Die eingesetzten Filter führten aufgrund einer konstruktiven Schwäche zum Überlauf von nicht gefiltertem Wasser, das dann ungehindert in den Pumpenraum strömen konnte und in Folge zu Leckagen führte.

Der Tausch des Beutelfilters durch eine Version mit sicherer Abdichtung führte schließlich zum Erfolg, d.h. die Anlage arbeitet seitdem stabil im Nenndruckbereich.

Unzulässige Erwärmung des Prozesswassers

Die Hochdruckpumpe darf aufgrund des verwendeten Dichtungsmaterials nur bis zu einer Medientemperatur von 60 °C betrieben werden. Im Versuchsbetrieb wurde diese Temperatur – bei einer Ausgangstemperatur von 20°C – bereits nach 6 Stunden erreicht.

Durch den Einbau eines unabhängigen Kühlsystems in den Rücklauf wurde die Dauerbetriebsfähigkeit der Anlage erreicht. Ein derartiges Kühlsystem ist auch für eine kommerzielle Durchlaufanlage unerlässlich.

Verunreinigung des Kabineninnenraumes

Beim Abstrahlen der Entlackungsobjekte werden Farbpartikel an die Innenwände der Kabine geschleudert und verkleben. Die anhaftende Farbschicht ist nur mechanisch zu entfernen.

Für professionell arbeitende Durchlaufanlagen müssen die Innenwände mit einem Wasservorhang geschützt werden. Außerdem empfiehlt es sich, diese Innenwände mit PermaCLEAN^{PLAS} zu beschichten und somit die Selbstreinigung zu unterstützen.

Zusammenfassende Besprechung der Tabelle im Anhang

Trotz der zahlreich aufgetretenen technischen Probleme an unserer Versuchsanlage konnten alle Versuche abgearbeitet werden, da die Analyse und Beseitigung der Mängel jeweils unverzüglich in Angriff genommen wurde.

Was die Entlackbarkeit von - mit PermaCLEAN^{PLAS} beschichteter Betriebsmittel - anbelangt haben die Versuche ergeben, dass bei korrekt beschichteten Teilen alle uns zur Verfügung gestellten Testkomponenten, die mit wasser- oder lösemittelhaltigen Lacksystemen kontaminiert waren, sicher entlackt werden konnten. Die Vorschubparameter variieren je nach Beschichtungsdicke, Härte, und Oberflächenstruktur im Verhältnis 1:4. In 80% der Fälle genügte eine einseitige Entlackung.

Auf der Basis der gewonnenen Erkenntnisse ist es möglich, sichere Vorgaben für den Bau einer kommerziell arbeitenden Durchlaufanlage zu machen.

3.6 Entlackungsversuche mit Betriebsmitteln wie Aussteller, die Vorbehandlungsbäder und Lackierkabinen durchlaufen

Neben der Entlackung von Gitterrosten wurden auch Versuche mit Betriebsmitteln durchgeführt, die als sogenannte Aussteller ein Automobil durch die gesamte Lackierstrecke begleiten. Dabei durchlaufen diese Komponenten chemische Vorbehandlungsbäder, deren Einfluss auf die Beständigkeit der Antihafschicht getestet werden sollte.

Diese Versuche konnten im Rahmen des Entwicklungsprojektes aus zeitlichen und finanziellen Gründen jedoch nur ansatzweise durchgeführt werden. Als Testpartner standen zur Verfügung:

VW-Werk Hannover

Entlackungsobjekte: Aussteller für Fahrzeuge

Ergebnisse:

Bei Ausstellern, deren Entlackung zuvor chemisch durchgeführt wurde, konnten Gefügeschäden festgestellt werden, die auch nach der Badverzinkung eine durchgängige Beschichtung der Komponenten mit PermaCLEAN^{PLAS} verhindern. Nach der Entlackung verbleiben auf der Oberfläche dann kleine schwarze Punkte, die umso häufiger auftreten, je poröser das Material aufgrund der chemischen Vorbehandlungen ist.

Um brauchbare Erkenntnisse zu erhalten ist es notwendig, Versuche mit neuen Ausstellern durchzuführen, die zuvor keiner chemischen Entlackung unterzogen wurden.

Firma Sudhaus als Industrielackierer

Beschichtungsobjekte:

Lackierkörbe, in denen Kleinteile durch Lackierautomaten transportiert werden.

Ergebnisse:

Die PermaCLEAN^{PLAS}-Beschichtung der Lackierkörbe führte dazu, dass sich bereits in den Vorbehandlungsbädern der Lack teilweise von den Körben löste und so zu Verschmutzungen der Bäder führte. IFAM stellte daraufhin Musterbleche mit Beschichtungen zur Verfügung, die geringere Antihafteigenschaften hatten. In Entlackungsversuchen konnten diese verschiedenen Antihafteigenschaften anhand der Einstellparameter nachgewiesen werden.

Aufgrund eines Personalwechsels bei der Firma Sudhaus konnten Feldversuche mit alternativen Antihafschichten nicht mehr durchgeführt werden.

Mercedeswerk Bremen

Mercedes wurden beschichtete Musterbleche für Feldversuche zur Verfügung gestellt. Die Musterbleche mussten dabei folgende Prozessschritte durchlaufen:

- Reinigung
- Beizen
- Phosphatierung
- Grundierung
- Basislack
- Decklack

Ergebnisse:

Die Antihafteigenschaften von PermaCLEAN^{PLAS} war nach dem ersten Durchlauf noch intakt, die Bleche konnten ohne Probleme in unserer Versuchsanlage entlackt werden.

Eine belastbare Aussage über die Standzeit der Antihafschicht und die Entlackbarkeit der Objekte erfordert einen längeren Test mit ca. 100 Umläufen. Dazu waren die Ansprechpartner im Mercedeswerk bisher nicht in der Lage.

Zahnradfabrik Friedrichshafen, Werk Schwäbisch Gmünd

Beschichtungsobjekt: Aufnahmehaken für Lenkgetriebe

Ergebnisse:

Die ersten Versuche führen wie bereits im Fall Sudhaus zu unerwünschten Teilentlackungen in einem Vorbehandlungsbad, in dem die Teile beim Reinigungsprozess mit einem Druck von 6 bar beaufschlagt werden.

Modifizierte Schichten mit verringerten Antihafteigenschaften sind zur Zeit in der Erprobung. Zum jetzigen Zeitpunkt liegt ein abschließendes Ergebnis noch nicht vor.

BMW-Werk Dingolfing

Beschichtungsobjekte: Aussteller für PKW's

Ergebnisse:

Die ersten Entlackungen wurden durchgeführt. Bis auf kleine, im Wasserschatten der Entlackungsanlage liegende Flächen, war bisher die Entlackung erfolgreich. Die Versuche werden fortgesetzt.

Die Entlackung von Ausstellern ist für Automobilhersteller ein bedeutendes Thema, da diese Komponenten in großen Mengen eingesetzt werden und die Entlackung nach jeweils nur wenigen Umläufen erfolgen muss. In unserem Entwicklungsprojekt haben

wir uns im wesentlichen auf die Beschichtung und Entlackung von Gitterrosten beschäftigt. Das Thema „Beschichtung und Entlackung von Ausstellern, Gehängen und sonstigen Betriebsmitteln“ wurde angerissen, aber aus Zeit- und Kostengründen nicht hinreichend untersucht. Es sollte Entwicklungsgegenstand eines Folgeprojektes sein, indem dann insbesondere auch die Beständigkeit der PermaCLEAN^{PLAS}-Beschichtung gegenüber den relevanten Vorbehandlungsbädern zu untersuchen wäre. Ferner ist im Rahmen eines solchen Vorhabens erforderlich, eine Familie von Antihafbeschichtungen mit klar definierten und verifizierbaren Antihafteigenschaften zu entwickeln.

3.7 Entlackung von Pulverbeschichteten Komponenten

Folgende Komponenten wurden mit PermaCLEAN^{PLAS} beschichtet, lackiert und anschließend entlackt:

- Testbleche
- Aufnahmerahmen
- Gehänge
- Spezielle Versuchsteile mit Reißkanten

Ergebnisse:

Die Antihafwirkung von PermaCLEAN^{PLAS} gegenüber Pulverlack ist grundsätzlich gegeben. Bei der Entlackung ebener Flächen widersetzt sich jedoch die ausgehärtete Pulverschicht dem Wasserstrahl. Erst wenn eine Stelle der Pulverbeschichtung aufgerissen ist, kann auch die Restfläche mühelos mit WHD entlackt werden.

In weiteren Versuchen wurden Teile mit Reißkanten hergestellt, mit PermaCLEAN^{PLAS} beschichtet und danach pulverlackiert.

Die so präparierten Komponenten konnten ohne Probleme entlackt werden.

3.8 Lebensdauertests

Testobjekte:

Gitterroste, feuerverzinkt und plasmabeschichtet mit PermaCLEAN^{PLAS}

Entlackungsparameter:

Druck: 500 bar

Vorschub: 100%

Entlackung einseitig mit einer Überdeckung von 300 mm

Der Einfluss des WHD-Prozesses auf die Antihafteigenschaften von PermaCLEAN^{PLAS} wurde in regelmäßigen Abständen von IFAM untersucht. Hierfür wurde zunächst eine visuelle Beurteilung, insbesondere der Interferenzfarben, vorgenommen. Zudem wurde die Oberflächenenergie nach der Reinigung mit Isopropanol untersucht. Als Hinweis für eine leicht zu entlackende Oberfläche war eine Oberflächenenergie von weniger als 28 mN/m identifiziert worden.

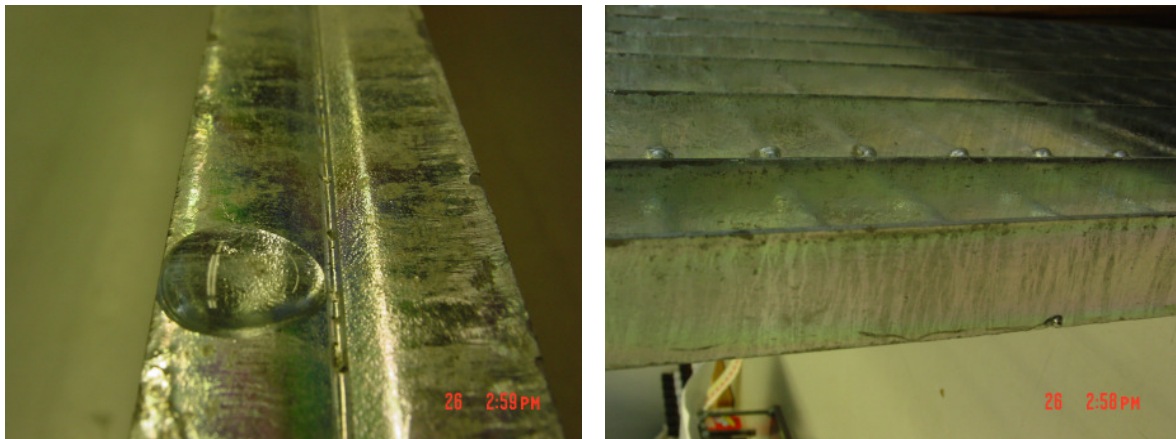


Bild 1: Verzinktes Gitterrost mit PermaCLEAN^{PLAS}-Beschichtung nach 500 WHD-Zyklen (links mit Wassertropfen).

Es zeigte sich, dass es nach den 500 WHD-Zyklen weder Anzeichen für eine Zerstörung der PermaCLEAN^{PLAS}-Beschichtung gibt, noch für eine Abnahme der antihaftenden Eigenschaften gegenüber Lacken. Erste Fehlstellen entstanden lediglich durch das lokale Abplatzen der Verzinkung, welches auf eine ungenügende Verzinkungsqualität bei dem untersuchten Gitterrost zurückzuführen ist.

3.9 Zusammenfassung der Entlackungstests

Mit PermaCLEAN^{PLAS} beschichtete Gitterroste, die mit wasser- oder lösemittelhaltigen Lacken kontaminiert sind, können sicher mit einer WHD-Anlage im mittleren Druckbereich entlackt werden. Die Lebensdauer der Antihaftbeschichtung ist mit 500 Zyklen nachgewiesen. Das bedeutet, dass in der Regel ein Gitterrost, wenn er nicht mechanisch zerstört wird, nur einmalig in seiner Nutzungszeit beschichtet werden muss.

Bei Anlagenkomponenten, wie Aussteller, die auch diverse Vorbehandlungsbäder durchlaufen, konnte die Beständigkeit der PermaCLEAN^{PLAS}-Beschichtung nicht allgemein nachgewiesen werden. Es konnte aber für verschiedene Einzelanwendungen die Eignung WHD-Technik mit der PermaCLEAN^{PLAS}-Beschichtung gezeigt werden. Inwieweit die PermaCLEAN^{PLAS}-Beschichtung allgemein beständig

gegenüber den gängigen Vorbehandlungsbädern ist, konnte jedoch noch nicht ermittelt werden. Eine systematische Untersuchung der Beständigkeit der PermaCLEAN^{PLAS}-Beschichtung gegenüber den üblichen Reinigungs- sowie Beizmitteln, insbesondere in Abhängigkeit von der Temperatur und den üblichen Konzentrationsschwankungen sollte Aufgabenstellung für ein Folgeprojekt sein.

Bei Pulverbeschichtungen ist die Antihafwirkung von PermaCLEAN^{PLAS} grundsätzlich gegeben. Solche Teile lassen sich jedoch nur dann mit WHD-Technik entlacken, wenn sie integrierte Reißkanten aufweisen, an denen das Wasser die Lackschicht aufbrechen kann. Die Anwendung ist deshalb nicht generell möglich.

3.10 Anpassungsentwicklung der Antihafbeschichtung für die Nutzung bei allen industriegängigen Lacksystemen

Zu Beginn dieses Projektes wurde vom Fraunhofer IFAM die mit dem Markennamen PermaCLEAN^{PLAS} bezeichnete siliciumorganische plasmapolymere Beschichtung für die industrielle Nutzung im Zusammenhang mit der Entlackung durch die WHD-Technik weiterentwickelt. Hierbei wurde sowohl eine optimale Prozessführung bei der plasmapolymerten Beschichtung in einem 5 m³ Plasma-Beschichtungsreaktor entwickelt als auch ein für die industrielle Serienbeschichtung anwendbares Qualitätssicherungskonzept erarbeitet.



Bild 2: Beschickung des 5 m³ Plasma-Beschichtungsreaktors mit exemplarischen Komponenten aus Lackierstraßen.

Die Eignung der weiterentwickelten PermaCLEAN^{PLAS}-Beschichtung wurde für eine Vielzahl von industriellen Lacksystemen nachgewiesen. Hierbei handelte es sich sowohl um lösemittelbasierende als auch um wasserbasierende Lacksysteme. Dabei handelte es sich um Primer, Füller, Basislacke, Klarlacke und Decklacke. Als Bindemittel dienten sowohl Polyurethane, Acrylate, Alkydharz, Melaminharz, Polyester als auch Epoxide. Eingesetzt wurden sie als Ein-Komponenten- oder Mehr-Komponenten-Systeme.

Die untersuchten Lacksysteme werden industriell in den Bereichen Autoserie, Automobil-Zulieferer, sonstiger Fahrzeugbau, Autoreparatur, Metallbau und Flugzeugbau eingesetzt.

Dabei wurden die Lacksysteme sowohl luftgetrocknet als auch bei Temperaturen bis 200 °C eingebrannt. Zudem wurde die Eignung für die Entlackung von nur teilweise ausgehärteten Lacksystemen untersucht.

Erstaunlicherweise konnte bei sämtlichen Lacksystemen eine Antihafwirkung der PermaCLEAN^{PLAS}-Beschichtung nachgewiesen werden, die dazu führt, dass bei

sämtlichen einheitlichen Lacksystemen eine WHD-Entlackung möglich ist, wenn die der Wasserstrahl einen Angriffspunkt in der Grenzfläche zwischen der Lackkontamination und der PermaCLEAN^{PLAS}-Beschichtung erreicht und der Lack sich als geschlossener Film abschälen lässt.

Als bisher ungeeignet zeigte sich die Kombination aus WHD-Entlackung und PermaCLEAN^{PLAS}-Beschichtung bisher nur bei vereinzelt Anwendungen in der Automobil-Stahllackierung, beispielsweise wenn ein besonders harter Lackaufbau aus Zink-Phosphat-Schicht – KTL – Füller – Basislack – Pulverklarlack/2K-Klarlack, mit einer Pulverklarlack-Schichtdicke von über 60 µm ein Abschälen des Lacksystems verhinderte.

Wie unter 3.7 erwähnt gibt es bei den untersuchten Pulverlack-Systemen nach dem Einbrennen das Problem des Aufbrechens der geschlossenen Pulverlackschicht mit dem WHD-Strahl. Ist jedoch das Vordringen zur Grenzfläche lokal ermöglicht, kann auch der Pulverlack problemlos abgeschält werden.

Neben der praxisorientierten Überwachung der Schichteigenschaften nach dem entwickelten Qualitätssicherungskonzept (Schichtdicke auf an Schlüsselpositionen angeordneten Referenzsubstraten, Schichthaftung, Oberflächenenergie, Lackhaftung eines Testlacks sowie Beständigkeit beschichteter Referenzsubstrate gegen korrosiven Angriff) wurde die chemische Zusammensetzung der weiterentwickelten PermaCLEAN^{PLAS}-Beschichtung untersucht. Aufgrund der geringen Schichtdicke von weniger als 0,3 µm kommen hierfür viele klassische Untersuchungsmethoden nicht in Betracht.

Die wichtigsten Erkenntnisse zur chemischen Zusammensetzung werden im Bereich der Dünnschichtanalytik mit Hilfe der Elektronenspektroskopie zur Chemischen Analyse (ESCA), auch Röntgen-Photoelektronen-Spektroskopie (XPS) genannt, erzielt. Hier ergab sich die atomare Zusammensetzung der Beschichtung ohne Wasserstoff als nahezu vollständig durch die Elemente Kohlenstoff, Sauerstoff und Silicium gegeben. Die Hochauflösung des Kohlenstoff-Signals ergab einen über 90%igen Anteil der Kohlenstoff-Atome als „aliphatische“ Kohlenstoff-Atome. Das heißt, sie sind lediglich von Wasserstoff, Kohlenstoff oder Silicium umgeben, nicht aber an Sauerstoff gebunden. Es ist daher davon auszugehen, dass der Sauerstoff nahezu vollständig in einem Sauerstoff-Silicium-Netzwerk gebunden ist. Die Analyse des Silicium-Signals ergibt zudem, dass ein hoher Anteil der Silicium-Atome als endständige Silicium-Einheiten von drei Kohlenstoff-Atomen und einem Sauerstoff-Atom oder als Kettenabschnitte von zwei Kohlenstoff- und zwei Sauerstoff-Atomen umgeben sind. Silicium-Atome, die von vier Sauerstoff-Atomen umgeben sind und beispielsweise bei anorganischen SiO_x-Schichten dominant sind, kommen nur in sehr geringem Umfang vor.

Das Übersichtsspektrum und die hochaufgelösten Silicium- Kohlenstoff- und Sauerstoff-Spektren sind in Bild 3 dargestellt.

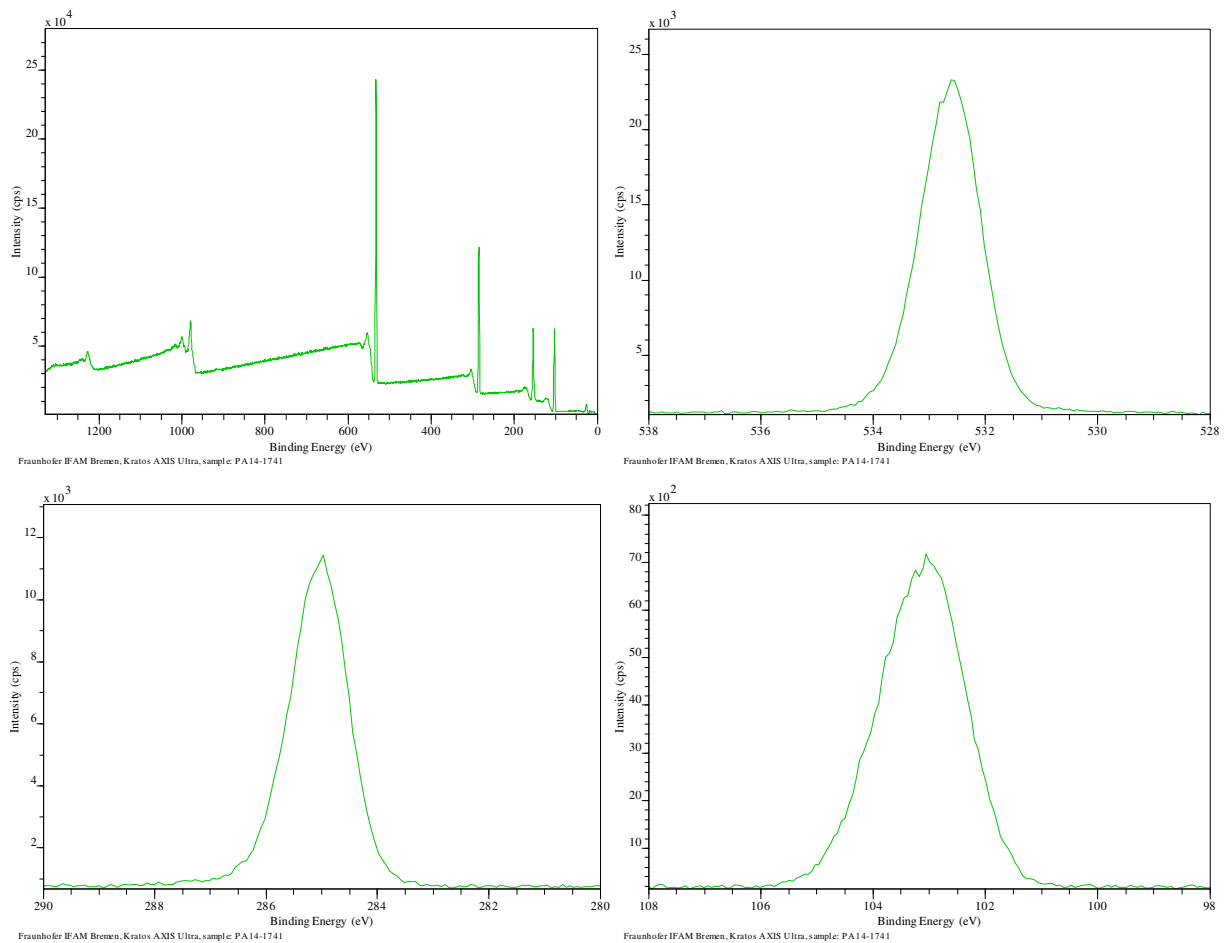


Bild 3: ESCA-Spektren der entwickelten PermaCLEAN^{PLAS}-Beschichtung

Ebenso wurden die für Lackierungen üblichen Untersuchungsmethoden für die plasmapolymere Beschichtung validiert. Auch hier stößt man wiederum auf Grenzen durch die geringe Schichtdicke. Es konnte allerdings die Erichsentiefung untersucht werden und ein Dornbiegeversuch durchgeführt werden. Die Erichsentiefung führte bis zu der maximal geprüften Tiefung von 10 mm nicht zu einem Versagen der PermaCLEAN^{PLAS}-Beschichtung. Beim Dornbiegeversuch konnte ebenso bis zum minimal getesteten Biegeradius von 5 mm keine Abnahme der antihaftenden Eigenschaften gegenüber dem Testlack festgestellt werden.

Zur Bestimmung der Werkstoff-Kennzahlen wurden Analysen zur Nanoindentierung an beschichteten Wafern durchgeführt. Hierbei ergab sich für den Elastizitätsmodul 2,8 GPa und für die Härte 0,37 GPa, wobei die gemessene Härte mit Vorsicht zu genießen ist, da die Probe ein leicht viskoelastisches Verhalten zeigt. [Für viskoelastische Materialien kann eine Härte eigentlich nicht mehr definiert werden, da das Material unter Belastung kontinuierlich weiter fließt und daher keine feste Eindringtiefe existiert. Die gemessenen Härtewerte sind dann von der Messprozedur (z.B. von den Be- und Entlastungsraten oder den Haltezeiten) abhängig und keine universelle Materialkonstante mehr.]

Wie unter 3.6 beschrieben ergaben sich durch die Feldversuche in industriellen Lackieranlagen im Laufe des Projektes neue Anforderungen an die PermaCLEAN^{PLAS}-Beschichtung. Die entwickelte Beschichtung war zu „erfolgreich“ in dem Sinne, dass der Lack sehr leicht von der Beschichtung zu entfernen ist. Dadurch löste sich der

Lack bereits im Lackierbetrieb und kontaminierte teilweise darunter Bauteile, die zur Lackierung transportiert wurden. Eine solche Kontamination ist ein k.o.-Kriterium für das gesamte WHD-Entlackungskonzept in derartigen Anwendungsfällen. Daher müssen zukünftig weitere PermaCLEAN^{PLAS}-Beschichtungen mit einer „mittleren Lackhaftung“ anstelle der „minimalen Lackhaftung“ entwickelt werden.

Zudem muss für den Einsatz der PermaCLEAN^{PLAS}-Beschichtung auf Komponenten, die den gesamten Lackierprozess durchlaufen, wie beispielsweise Gehänge, die Eignung für die ebenfalls durchlaufenden Vorbehandlungsstufen wie die alkalische Reinigung zum Entfetten oder die Phosphatierbäder untersucht werden. Da hier für die Bedingungen wie Temperatur, pH-Wert, Behandlungsdauer und (Reinigungs-) Chemikalien keine einheitlichen Vorgaben existieren, müssen die jeweiligen Grenzen zunächst im Labor untersucht und anschließend im Feldtest verifiziert werden.

3.11 Entwicklung, Spezifizierung und Erprobung von kostengünstigen Vorbehandlungsverfahren für exemplarische reale Lackieranlagenkomponenten

Innerhalb des Projektes konnte mit einer Vielzahl von unterschiedlichen Komponenten von Lackieranlagen wie Gestellen, Gehängen, Ausstellern, Abdeckungen und Gitterroste die Badverzinkung, auch Feuerverzinkung genannt, als geeignete Vorbehandlungsverfahren für Baustahl nachgewiesen werden. Wichtig ist hierbei, dass die Verzinkung sauber und frei von Weißrost ist. Geeignet sind hierfür vor allem frisch verzinkte Oberflächen, bei denen die Weißrostbildung verhindert wurde. Da sich Weißrost auf frisch verzinkten Oberflächen schon innerhalb von wenigen Stunden durch Kondenswasser bilden kann, ist es erforderlich, dass die frisch verzinkten Komponenten entweder bis zur Plasmabeschichtung trocken gelagert und transportiert werden oder dass sie nach der Verzinkung zunächst zwei Wochen zum Ausbilden einer stabilen Zinkcarbonat-Schicht in trockener warmer Luft an dem Verzinkungssofen gelagert werden. Mit dieser Zinkcarbonat-Schicht sollte beispielsweise auch ein Transport über Nacht, der üblicherweise zur Kondenswasserbildung führt, möglich sein.

Da das für Gitterroste in Lackieranlagen durchaus übliche Korrosionsschutzverfahren der Badverzinkung für manche Betriebsmittel aus Baustahl nicht durchführbar ist, sollten alternative Vorbehandlungsverfahren untersucht werden. Hierbei ist es für die Marktakzeptanz, insbesondere bei preisgünstigen Gehängen, wichtig, dass es sich um kostengünstige Korrosionsschutzverfahren handelt.

Daneben sollten geeignete Vorbehandlungsverfahren für alternative Werkstoffe sowohl aus anderen Metallen als auch aus Kunststoff untersucht werden.

Als alternative Korrosionsschutzbehandlungen für Baustahl wurden folgende verfahren untersucht:

- Ölen
- Brünieren
- Phosphatierung (Standard)
- Dickschicht-Phosphatierung
- galvanische Verzinkung

- Pulverbeschichtung ohne Vorbehandlung
- Pulverbeschichtung auf galvanischer Verzinkung

Es zeigte sich, dass weder Ölen noch Brünieren einen ausreichenden Korrosionsschutz bietet. Die nach dem Walzen lediglich geölten Stahlbleche zeigten gleich nach der PermaCLEAN^{PLAS}-Beschichtung ein unzureichendes Entlackungsergebnis, nach 20 WHD-Zyklen konnte der Lack gar nicht mehr entfernt werden. Die brünierten Musterbleche verloren nach 15 WHD-Zyklen stellenweise die Brünierung und waren nach 50 WHD-Zyklen großflächig verrostet.

Diese Versuche zeigten, dass die Anforderungen an einen sauberen Untergrund bei Dünnschicht-Beschichtungen wie der PermaCLEAN^{PLAS}-Beschichtung wesentlich höher sind als bei konventionellen Beschichtungen wie beispielsweise Lackierungen. Feinste Roststellen, die ggf. mit bloßem Auge gar nicht sichtbar sind, können bei unedlen Stählen als Keim für eine weitergehende Korrosion fungieren, da sie lediglich dünn beschichtet werden. Durch die sehr starke Volumenvergrößerung bei der Korrosion des Stahls kommt es zum Fortschreiten der Korrosion unterhalb der Dünnschicht. Ein solches Verhalten ist bei Metallen, die eine passivierende Oxidhaut bilden, wie Aluminium oder Zink, nicht der Fall.

Die Dickschicht-Phosphatierung zeigte sich aufgrund der sehr starken Rauigkeit der Oberfläche als ungeeignet für eine spätere Entlackung, da sich hier der Lack in der mikroporösen beziehungsweise mikrokapillaren Schichtstruktur mechanisch verankern kann. Da die PermaCLEAN^{PLAS}-Beschichtung als Dünnschicht aus der Gasphase abgeschieden wird, ist sie konturnachbildend und reduziert die Rauigkeit der Zink-Phosphat-Schicht nicht.

Bei der einfachen Phosphatierung ergab sich zudem ein Problem mit der Haftung der Phosphatschicht. Sie konnte bereits durch leichte mechanische Beanspruchung verletzt werden und wurde bei der WHD-Entlackung ausgehend von diesen Fehlstellen durch den Wasserstrahl unterwandert und abgetragen.

Auf den mit PermaCLEAN^{PLAS} beschichteten pulverlackierten Proben war die Entlackung prinzipiell möglich. Allerdings war auch hier die Vorbehandlung nicht ausreichend beständig gegenüber der WHD-Beanspruchung. Der Pulverlack wurde an den Kanten abgetragen, sowohl von dem unbehandelten Stahl als auch auf den zunächst verzinkten Proben.

Die einzigen erfolgreichen Vorbehandlungsverfahren für Baustahl waren die galvanische Verzinkung und die als Referenz durchgeführte Badverzinkung. Allerdings kann davon ausgegangen werden, dass auch eine Lackierung als erfolgreiche Vorbehandlung in Frage kommt. Voraussetzung ist allerdings, dass der ausgehärtete Lack ausreichende mechanische Stabilität gegenüber der WHD-Entlackung aufweist.

Neben der Vorbehandlung von Baustahl wurden geeignete Vorbehandlungsverfahren für die PermaCLEAN^{PLAS}-Beschichtung weiterer Werkstoffe sowie deren Eignung für die WHD-Entlackung untersucht. Im Einzelnen waren diese Materialien:

- Aluminium
- Edelstahl
- PMMA
- PVC

Für alle vier Substrate konnten entsprechende Plasma-Vorbehandlungsschritte entwickelt werden, die eine PermaCLEAN^{PLAS}-Beschichtung nach der Entfernung

grober Verunreinigungen wie Walz- oder Schneidöle ermöglichen. Zudem konnte die Eignung von Edelstahl und Aluminium für die WHD-Entlackung nachgewiesen werden.

Die Kunststoffe PMMA und PVC hielten der Wasserhochdruck-Beaufschlagung von 500 bar nicht stand. Allerdings ist davon auszugehen, dass sie bei einer entsprechenden Anpassung des WHD-Prozesses für die WHD-Entlackung prinzipiell schon geeignet sind.

3.12 Ökonomische Bilanz, Marktrelevanz

Für die Beurteilung der ökonomischen Bedeutung und der Marktrelevanz unserer Entwicklung beziehen wir uns auf eigene Markteinschätzungen, auf Wirtschaftsinformationen von Marktteilnehmern, auf Informationen von potentiellen Kunden sowie auf eigene Berechnungen. ,

Danach ergibt sich für externe Entlackungen von Betriebsmitteln folgendes Bild:

Geschätztes Marktvolumen in Deutschland:	60.000.000 EUR
davon Gitterrostentlackungen (30%):	20.000.000 EUR
Geschätztes Marktvolumen für Gitterrostentlackungen in Europa:	40.000.000 EUR

Der Preis für die Entlackung von Gitterrosten mit den konventionellen, d.h. chemischen oder pyrolytischen Verfahren wird nach Gewicht der kontaminierten Gitterroste berechnet. Er bewegt sich je nach dem jährlichen Auftragsvolumen zwischen 0,22 und 0,50 EUR/kg. Ein typischer Gitterrost mit einer Fläche von 0,5 m² hat im kontaminierten Zustand ein Gewicht von ca. 10 kg.

Daraus ergibt sich eine marktübliche Preisspanne für die Entlackung zwischen 2,20 und 5,00 EUR/Gitterrost.

Setzt man das von uns entwickelte Entlackungsverfahren ein, so ergeben sich für einen typischen Gitterrost mit einer Fläche von 0,5 m² folgende Preise:

Bei 100%-Auslastung der Anlage im Einschichtbetrieb:

Preis:	0,85 EUR/Stück
Maximale Ausbringung/Anlage:	633.600 Stück/Jahr

Bei 100%-Auslastung der Anlage im Zweischichtbetrieb:

Preis:	0,65 EUR/Stück
Maximale Ausbringung:/Anlage	1.267.200 Stück/Jahr

Minimale Kostenersparnis in Deutschland:

- im Einschichtbetrieb: 1,35 EUR/Stück, bzw. 61 %
- im Zweischichtbetrieb: 1,55 EUR/Stück, bzw. 70%

Bei Annahme eines Zweischichtbetriebes unserer Anlagen ergeben sich für die Märkte folgende absolute Entlastungspotentiale:

Markt Deutschland:	12.200.000 EUR/Jahr
Markt Europa:	24.400.000 EUR/Jahr

Vorraussetzung dafür, dass diese Potentiale realisiert werden können, ist die Bereitschaft der großen Bedarfsträger, ihr Entlackungsvolumen bei Betriebsmitteln nicht mehr wie heute unsortiert und a' Block zu vergeben, sondern nach beschichtbaren und nicht beschichtbaren Komponenten zu trennen.

Kunden für externe Entlackung:

Als erster Kunde für die regelmäßige externe Entlackung von Anlagenkomponenten haben wir die Firma AGCO GmbH (Fendt) Traktorenwerke in Marktoberdorf gewonnen. Die Entlackungen erfolgen auf unserer Versuchsanlage in Leonberg.

Interessenten für externe Entlackung:

Wichtigster Interessent für eine werksinterne Entlackungsanlage ist das VW-Werk in Hannover. Angebote liegen vor. Daneben beschäftigt sich inzwischen auch die Umwelttechnik des VW-Konzerns mit unserer Technik mit dem Ziel, mehrere Bedarfe, z.B. im Werk Hannover zu poolen.

Die vorstehend gemachten Angaben berücksichtigen somit nur das Volumen Gitterroste. Unser Verfahren hat aber darüber hinaus das Potential, auch für andere Betriebsmittel, wie Aussteller, Abdeckbleche und Gehänge eingesetzt zu werden, wenn die für diese Einsätze noch zu lösenden Fragen zufriedenstellend gelöst werden können. Diese noch offenen Aufgabenstellungen bieten sich für ein Folgeprojekt an.

Neben externen, bei Dienstleitern durchgeführten Entlackungen wenden einige Betreiber von Lackieranlagen das sogenannte Inline-Verfahren an. Dabei werden die Gitterroste im eingebauten Zustand mit Wasserhochdruck entlacket.

Versuche mit PermaCLEAN^{PLAS} beschichteten Gitterrosten haben gezeigt, dass bei Einsatz der entsprechenden WHD-Technik die Entlackungszeiten halbiert werden können.

Inwieweit sich das Inline-Verfahren künftig durchsetzen wird kann von uns nicht abschließend beurteilt werden. Neben anlagentechnischen Vorraussetzungen, die geschaffen werden müssen, ist es offensichtlich auch eine Frage der „Fertigungsphilosophie“ welches Entlackungsverfahren zum Einsatz kommt.

Kunden für Inline Entlackung (Antihafbeschichtung):

Mercedeswerk Düsseldorf
Mercedes Werk in Wörth
VW Wolfsburg

Anlagenbauer

Mit dem Anlagenbauer Dürr AG gibt es eine Zusammenarbeit mit dem Ziel, künftig Anlagenkomponenten bereit im Neuzustand mit PermaCLEAN^{PLAS} zu beschichten.

3.13 Ökologische Bilanz

In einem Lehrprojekt der Universität Bremen wurden unter der Leitung von Prof. Dr. phil. Armin von Gleich sowie Herrn Dipl. Ing. Michael Steinfeld die Ökologiebilanzen des von uns entwickelten Entlackungssystems CLAUSwhd sowie des heute dominierenden thermischen Entlackungsverfahrens (Pyrolyse) erstellt und die Ergebnisse verglichen.

Danach ergibt sich, dass beim CLAUSwhd-Verfahren der

- Energieverbrauch um den Faktor 6 bis 8
- der CO₂-Ausstoß um den Faktor 3

geringer ist als bei den heute üblichen pyrolytischen Verfahren.

Im Folgenden wird der Bericht zum Lehrprojekt auszugsweise wiedergegeben. Der vollständige Bericht ist dem Anhang beigelegt.

Auszug Bericht zum Lehrprojekt „Antihafbeschichtung“ (VAK: 04-044-H-608)

Verfasser: Mario Bütow, Fabian Engler, Nils Hansen, Frank Ibach, Isabell Mütter, Helen Niemeyer, Nilkolay Schmidt, Bastian Senger

Studiengang: Wirtschaftsingenieurwesen an der Universität Bremen

Gutachter: Prof. Dr. phil. Armin von Gleich und Dipl. Ing. Michael Steinfeld

Beginn Berichtsausschnittes zum Projekt „Antihafbeschichtung“:

4. Diskussion und Auswertung der Entlackungsverfahren

Das folgende Kapitel beschäftigt sich mit dem ökobilanziellen Vergleich der beiden vorgestellten Entlackungsverfahren unter Berücksichtigung der herausgearbeiteten Eigenschaften. Anschließend folgen die Analyse der Kosten und die Interpretation der beiden

Systeme, sowie Handlungsempfehlungen. Des Weiteren werden potentielle Fehler bei der Verfahrensmodellierung ermittelt und ihr möglicher Einfluss analysiert.

4.1 Ökobilanzen im Detail

Ökobilanzen betrachten einerseits den Ressourcenverbrauch und andererseits emittierte Schadstoffe.

Die entstehenden Schadstoffe sind in drei Hauptbereiche untergliedert (Abb. 1 Die 3 Ebenen der Schadstoffwirkung). Diese sind:

- Schädigung der Atmosphäre
- Ökotoxizität
- Humantoxizität

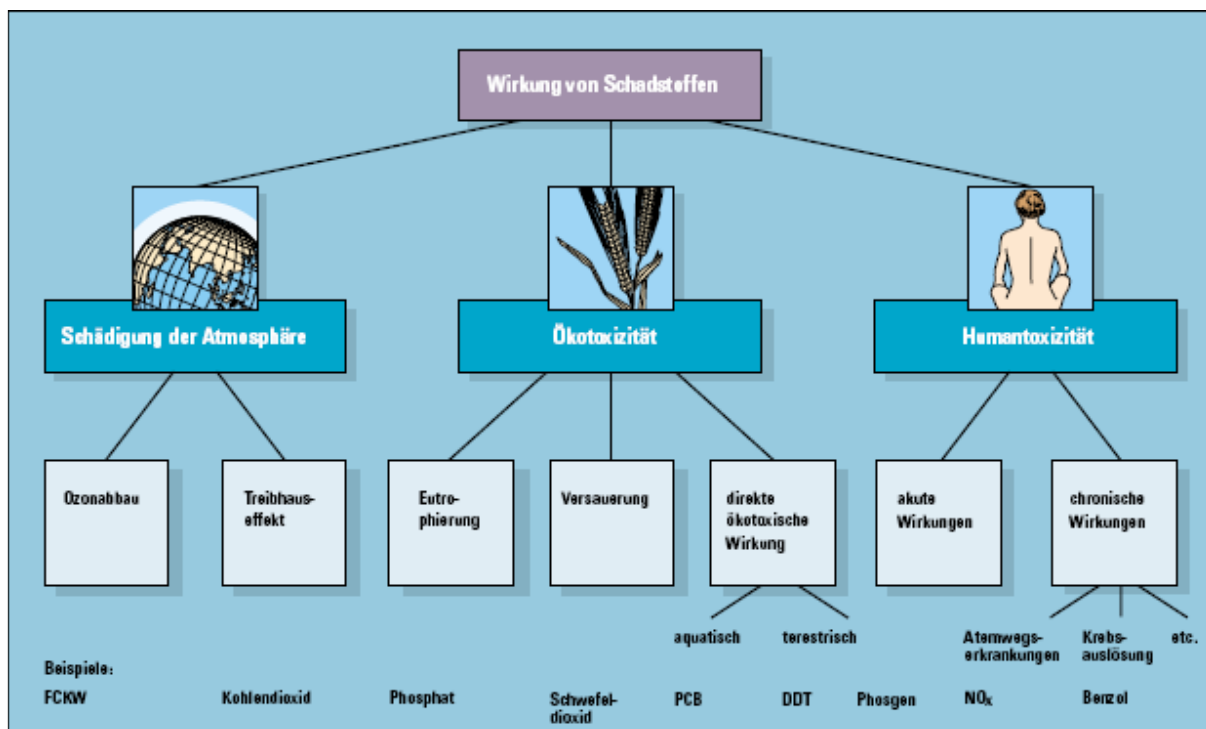


Abb. 1 Die 3 Ebenen der Schadstoffwirkung¹

Die Software „Umberto 5.5“ nimmt bei der UBA-Methode die ökobilanzielle Betrachtung der entstehenden Systeminputs und -outputs anhand der folgenden Kategorien vor.

Verbrauch von Ressourcen

Der Verbrauch von Ressourcen beinhaltet die Systeminputs, die aus der Umwelt bezogen werden. Es werden insbesondere der Verbrauch fossiler Energieträger und der Wasserverbrauch betrachtet.

Treibhauseffekt

Im Kapitel 4.2.2 werden die bei den Verfahren entstehenden Treibhausgase zunächst absolut und dann in CO₂-Äquivalenten miteinander verglichen. Ein CO₂-Äquivalent beschreibt die Menge an CO₂, die den gleichen Beitrag zur Klimaerwärmung leistet, wie die Menge des

entstehenden anderen Treibhausgasen. Ein Kilogramm Methan in der Atmosphäre hat beispielsweise die gleiche Wirkung wie 21 Kilogramm CO₂.

Photooxidantienbildung

Unter Photooxidantien versteht man Stoffe, die durch chemische Reaktionen zur Luftverschmutzung beitragen. Den Photooxidantien wird eine Mitverantwortung für weltweit auftretende Waldschäden zugesprochen.

Versauerung

Mit Versauerung meint man den negativen Einfluss von Stoffen, wie zum Beispiel Schwefeldioxid und anderen Stickoxiden, die zu einer Versauerung des Bodens führen können. Dies hat eine Verschlechterung der Standorteigenschaften für die Vegetation und die Organismen im Boden zur Folge.

Nährstoffeintrag

Die Folge eines erhöhten Nährstoffeintrages ist die so genannte Eutrophierung, welche letztendlich zum „Umkippen“ eines Gewässers führen kann. Im Wesentlichen werden unter diesem Gesichtspunkt Stickoxide und Stickstoffverbindungen betrachtet.

Krebsrisiko

Unter dem Krebsrisiko sind alle entstehenden Stoffe aufgeführt, die durch ihre Gegenwart das Krebsrisiko erhöhen. Es handelt sich um besonders reaktive Stoffe, die chemisch mit der DANN von Lebewesen reagieren können.

PM10

PM10 steht für Particulate Matter < 10µm, was bedeutet, dass die aufgeführten Stoffe eine Partikelgröße haben, die kleiner als 10µm ist. Geläufiges Beispiel für den Einfluss dieser Stoffe ist die Feinstaubbelastung in großen Städten.

Gesundheitliche Wirkung

Die gesundheitliche Wirkung beschreibt den Einfluss entstehender Stoffe auf die Gesundheit von Organismen. Es werden die durch das System entstehenden Giftstoffe aufgeführt.

Ökotoxische Wirkung

Die ökotoxische Wirkung beschreibt die direkte Schädigung von Mikroorganismen, Pflanzen und Tieren. Bei ihrer Betrachtung ist die Persistenz der Stoffe im Ökosystem eine Kerngröße.

4.2. Vergleich der Verfahren

Im den folgenden Abschnitten werden einige Stoffe, die in besonders großen Mengen eintreten und denen eine besondere Umweltrelevanz zugesprochen wird, gesondert betrachtet. Um das Entstehen dieser Stoffe zu verstehen, beschäftigt sich der erste Abschnitt mit dem Energiebedarf, welcher ein besonderer Kosten- und Emissionstreiber ist.

4.2.1 Sach- und Wirkbilanz: Energiebedarf (KEA)

Wie Kapitel 3 zu entnehmen ist, ist die Energie Kerngröße der Prozessbetrachtung. Die nachfolgende Darstellung teilt den Energiebedarf in vier verschiedene Energiearten, nämlich Energie aus fossilen Energieträgern, aus Kernenergie, aus Wasserkraft und aus anderen

regenerativen Energiequellen. Die nachfolgenden Abschnitte beschäftigen sich wiederum mit den Emissionen selbst.

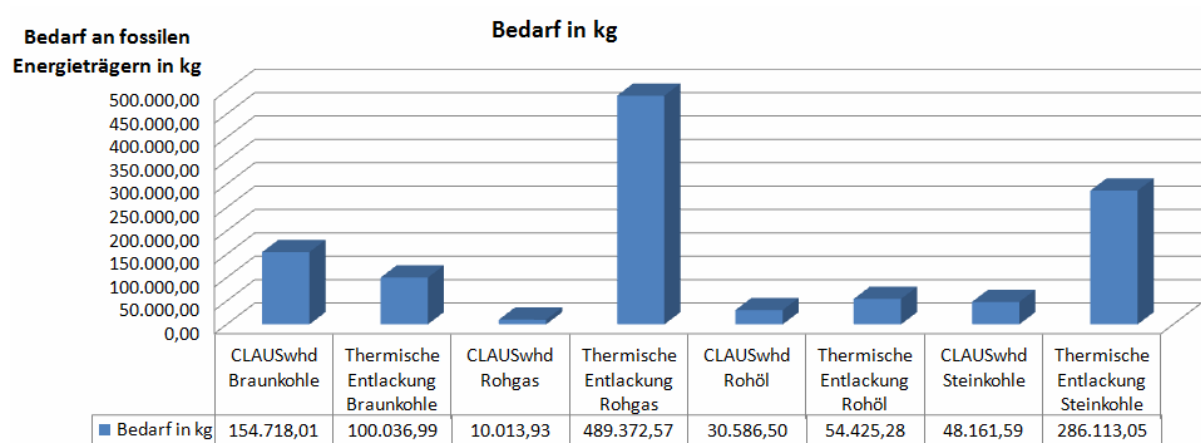


Abb. 2 Bedarf an fossilen Energieträgern, eigene Darstellung

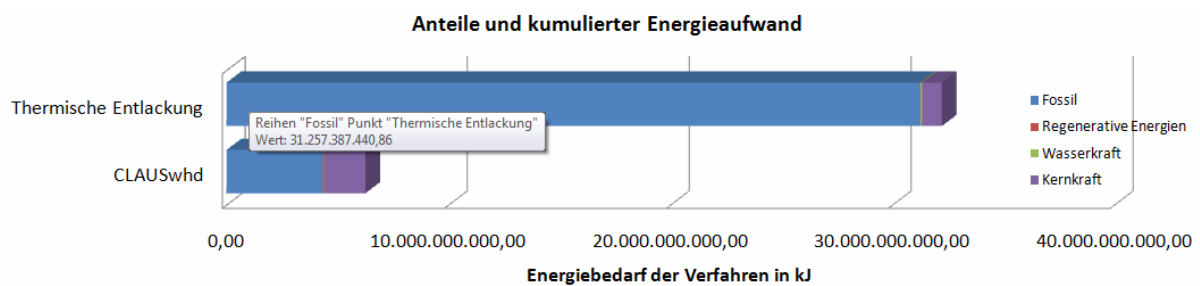


Abb. 3 Anteile und kumulierter Energieaufwand, eigene Darstellung

Das CLAUSwhd-Verfahren hat einen höheren Bedarf an elektrischer Energie als die thermische Entlackung, da der Primärenergieträger der thermischen Entlackung Erdgas, also CH_4 , ist. Die vorliegende Energieverteilung macht deutlich, dass der Gesamtenergiebedarf der thermischen Entlackung mit 32.236.985MJ etwa 5mal so hoch ist wie der der Wasserhochdruckentlackung mittels CLAUSwhd-Verfahren. Da der Bedarf an elektrischer Energie bei der thermischen Entlackung niedriger ist, erklärt dies bei den restlichen Energiequellen Kernkraft, Wasserkraft und regenerative Energien den höheren Bedarf des WHD-Verfahrens. Insgesamt fällt dies aber aufgrund der übergeordneten Rolle des Erdgases kaum ins Gewicht.

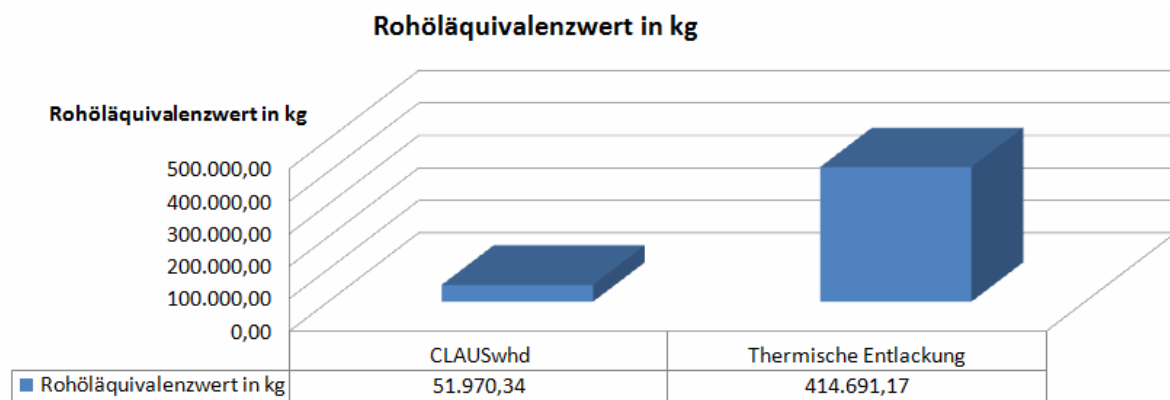


Abb. 4 Rohöläquivalenzwert, eigene Darstellung

Was den Verbrauch von fossilen Energieträgern in Rohöläquivalenten betrifft, so ist dieser bei der thermischen Entlackung mit 414.691 Kilogramm etwa 8mal so hoch wie beim CLAUSwhd-Verfahren. Interessanterweise weist das Wasserhochdruckverfahren dabei aufgrund des geschlossenen Kreislaufes einen wesentlich niedrigeren Wasserbedarf auf, als die thermische Entlackung, die Wasser zur Kühlung verwendet.

4.2.2 Sach- und Wirkbilanz: Treibhauseffekt

Die aktuelle Diskussion um Erderwärmung und Treibhauseffekt macht den Beitrag der Verfahren zum Treibhauseffekt zu einem ökologischen Hauptkriterium. Die bei beiden Verfahren in relevantem Maße entstehenden Treibhausgase sind Methan und Kohlenstoffdioxid. Die Betrachtung erfolgt in CO₂-Äquivalenten, was bedeutet, dass der Einfluss Methans wesentlich größer ist als seine eigentliche Menge. Wie beschrieben entspricht 1kg Methan etwa 21kg Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre. Die nachstehende Abbildung zeigt den Gesamtausstoß an Treibhausgasen in Kohlenstoffdioxidäquivalenten.

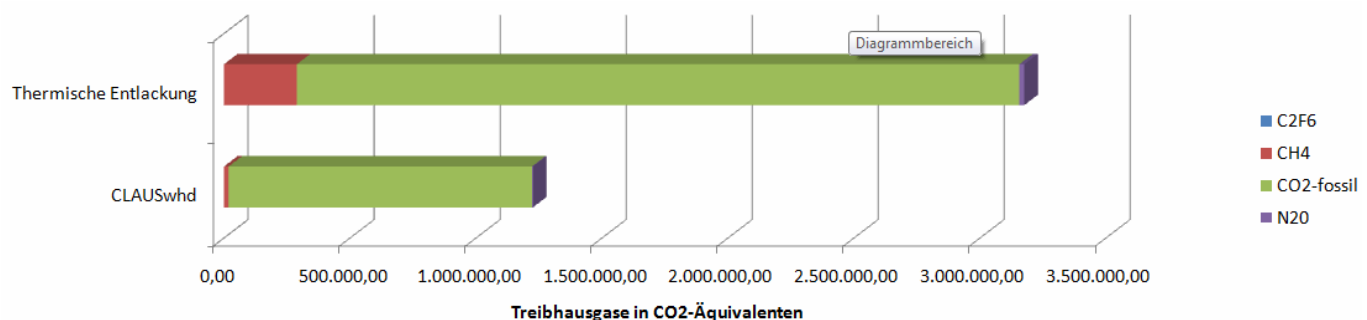


Abb. 5 Treibhausgasemissionen in CO₂-Äquivalenten, eigene Darstellung

Bei der vorangegangenen Grafik handelt es sich um das Gesamttreibhauspotential der beiden Verfahren in CO₂-Äquivalenten. Bei der thermischen Entlackung ist der CO₂-Ausstoß zu 90,28 Prozent für den Treibhauseffekt verantwortlich, im Falle der Wasserhochdruckentlackung sogar zu 98,22 Prozent. Dies verdeutlicht, dass CO₂ der Hauptmittler der Entlackung ist und das damit mengenmäßig größte Reaktionsprodukt im Bezug auf den Treibhauseffekt darstellt.

Wie man der Tabelle entnehmen kann ist der CO₂-Ausstoß der thermischen Entlackung 2,38mal so hoch wie der des CLAUSwhd-Verfahrens. Dass der CO₂-Ausstoß, wie man aufgrund der Energiebedarfe erwarten könnte, verhältnismäßig nicht noch höher ist, lässt sich auf zwei Gründe zurückführen.

Erstens, dass es sich bei Erdgas um einen sehr kurzketigen fossilen Energieträger handelt und somit der Anteil des, durch den Primärenergieträger des thermischen Verfahrens, entstehenden Kohlenstoffdioxids geringer ist als der, bei der Verbrennung von beispielsweise Braunkohle, entstehende.

Der zweite, wohl noch entscheidendere Grund, ist, dass die anfallende Lackkruste in beiden Fällen verbrannt wird. Beim thermischen Entlacken wird sie verschwelt und nachverbrannt, also in Form von CO₂ und Wasserdampf in die Atmosphäre abgegeben.

Eine sehr ähnliche chemische Reaktion läuft beim Verbrennen der Lackkruste in einer Müllverbrennungsanlage nach der Wasserhochdruckreinigung ab. Dieser bei beiden Verfahren exakt gleich große Anteil an entstehendem CO₂ macht beim Wasserhochdruckverfahren 65,83

Prozent der Gesamtemission aus. Bei der thermischen Entlackung beträgt der Beitrag zur Gesamtemission 28,24 Prozent. Diese Emissionen lassen sich bei beiden Verfahren nur durch Recycling des Lackes umgehen. Dafür sind jedoch bislang keine Verfahren bekannt.

Die Entstehung von Methan tritt vorwiegend bei der Stahlgitterherstellung und bei der Verbrennung von Erdgas auf. Die Stahlgitterherstellung belastet den Prozess der Wasserhochdruckentlackung zu einem Fünfhundertstel und den der thermischen Entlackung zu einem Fünfzehntel. Hinzu kommt, dass beim WHD-Verfahren kaum Energie aus Erdgas bezogen wird, bei der thermischen Entlackung aber zum größten Teil. Dementsprechend lässt sich die mit 13.764kg zirka 16mal höhere Emission der thermischen Entlackung erklären. Der Einfluss resultiert aus der höheren Wiederverwendbarkeit von Stahlgittern bei der Wasserhochdruckreinigung.

Die Stahlgitterherstellung ist im Falle der thermischen Entlackung Hauptemittent von Methan und, wie in Kapitel 3 erläutert, für einen wesentlichen Anteil der Entstehung von Kohlenstoffdioxid verantwortlich. Somit kristallisiert sich dieser Prozessschritt als Kerngröße bei Betrachtung der Schadschöpfung heraus.

4.2.3 Sach- und Wirkbilanz: Gesundheitliche Wirkung

Bei der gesundheitlichen Wirkung fallen zwei Stoffe bei den Verfahren verstärkt an. Dabei handelt es sich um Kohlenstoffmonoxid und Schwefeldioxid. Beide sind giftige Gase, die Tier und Mensch schädigen beziehungsweise bei zu hoher Konzentration töten können. Kohlenstoffmonoxid belegt das Hämoglobin, da es eine höhere Bindungsaffinität zu diesem aufweist, als der Sauerstoff den es eigentlich transportiert. Bei einer zu hohen Belegung durch Kohlenstoffmonoxid kann das System nicht mehr mit Sauerstoff versorgt werden und stirbt. Bei Schwefeldioxid kommt zusätzlich zur gesundheitsschädlichen Wirkung hinzu, dass es für die Bildung von Schwefelsäure in der Atmosphäre, das heißt für sauren Regen, verantwortlich ist.

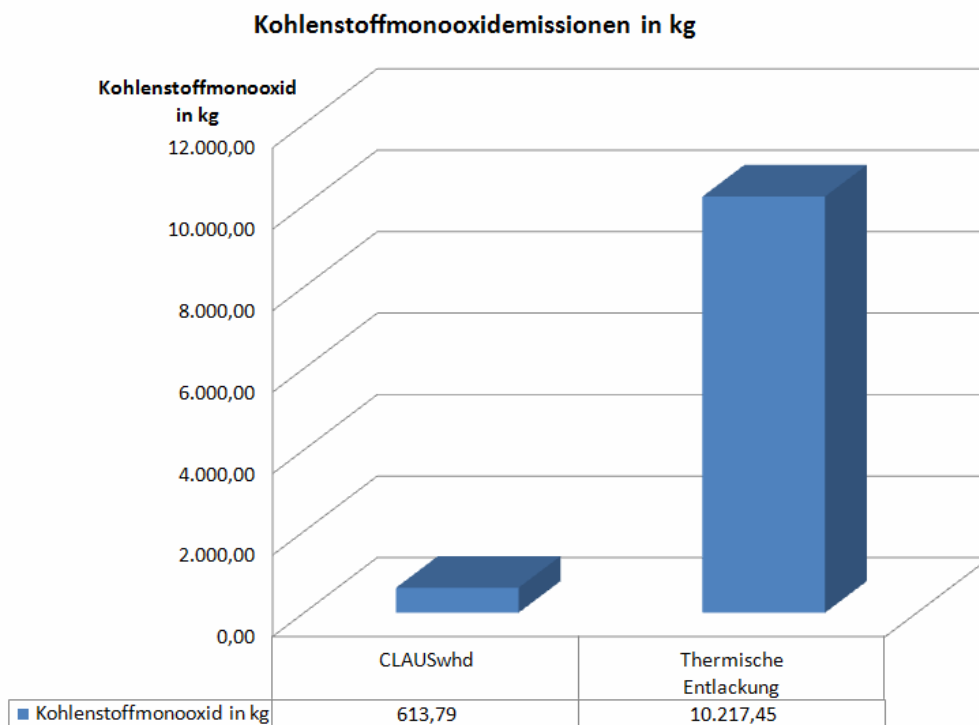


Abb. 6 Kohlenstoffmonooxidmissionen, eigene Darstellung

Die vorangegangene Abbildung verdeutlicht, dass bei der thermischen Entlackung 16,65mal soviel CO entsteht, wie bei der Wasserhochdruckreinigung. Wie auch beim Methan ist hierfür die Stahlgitterherstellung verantwortlich. Energiequellen in Deutschland dürfen aufgrund strenger Richtlinien nahezu kein Kohlenstoffmonooxid ausstoßen. Die Stahlgitterherstellung geschieht aber, wie bereits erwähnt, vorwiegend in Schwellen- und Entwicklungsländern und ist außerdem als Verfahren äußerst ressourcen- und energieaufwändig. In Entwicklungsländern sind Anforderungen an Prozesssicherheit und Umwelt nicht in gleichem Maße vorhanden. Somit ist die niedrigere Wiederverwendbarkeit wiederum Ursache für die erhöhte Belastung. Dennoch sollte man erkennen, dass CO nicht in annähernd so großen Mengen entsteht wie vergleichsweise CO₂.

Es folgt ein Vergleich des Schwefeldioxidausstoßes.

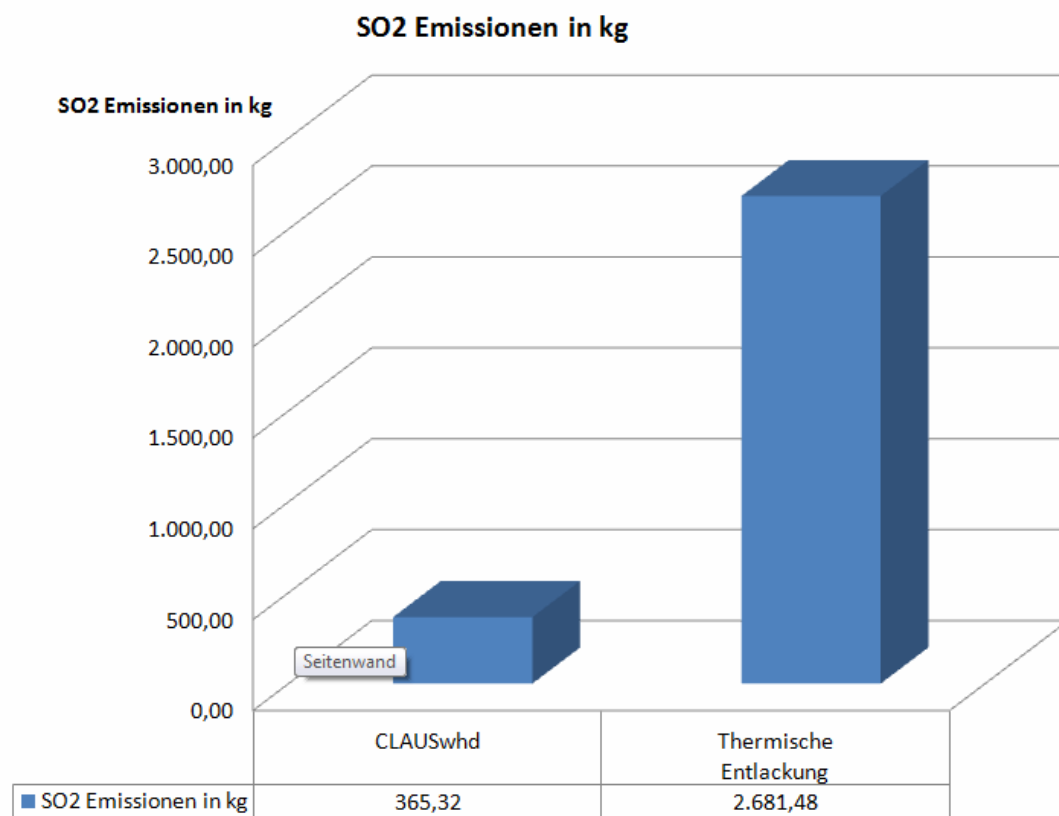


Abb. 7 Schwefeldioxidemissionen, eigene Darstellung

Der Schwefeldioxidausstoß der thermischen Entlackung ist wiederum primär auf die Stahlgitterherstellung zurückzuführen. Dennoch fällt auf, dass es nicht wie beim CO ein Faktor von ungefähr 17 ist, sondern die Emission lediglich 7,34mal so hoch ist. Man kann dies durch die Entstehung von SO₂ bei der Gewinnung elektrischer Energie aus Kohle erklären. Der höhere elektrische Energiebedarf des CLAUSwhd-Verfahrens relativiert also die Wirkung der weniger häufigen Stahlgitterherstellung im Bezug auf die Schwefeldioxidentstehung etwas. Bei der Verwendung des Energieträgers Erdgas entsteht weniger SO₂ als beim Beziehen seiner Energie aus dem deutschen Stromnetz. Dennoch lässt sich wiederum die Stahlgitterherstellung als schadschöpfender Faktor identifizieren.

4.2.3 Normierung einer Ökobilanz

Neben den normalen Sachbilanzen und Wirkbilanzen, erstellt „Umberto 5.5“ ebenfalls eine normierte Bilanz. In dieser werden die Stoffe in Einwohnergleichwerten aufgeführt, was

bedeutet, dass sie auf die Menge, die ein Einwohner in einem Jahr produziert, bezogen sind. Die folgende Tabelle zeigt die normierte Bilanz der beiden Verfahren im Vergleich zueinander.

3.1 Verbrauch von

1.12 Abfallentstehung

Deponievolumen

CLAUSwhd	1,91	m3
Thermische Entlackung	0,58	m3

Rohöl-Äquivalente

CLAUSwhd	21,23	EW
Thermische Entlackung	169,41	EW

Kernkraft

CLAUSwhd	81,86	EW
Thermische Entlackung	39,96	EW

KEA fossil

CLAUSwhd	27,98	EW
Thermische Entlackung	201,50	EW

KEA gesamt

CLAUSwhd	36,22	EW
Thermische Entlackung	186,66	EW

Wasserverbrauch

CLAUSwhd	0,52	EW
Thermische Entlackung	10,61	EW

3.2 Treibhauseffekt

GWP (100)

CLAUSwhd	93,13	EW
Thermische Entlackung	241,22	EW

3.4 Photooxidantienbildung

POCP

CLAUSwhd	10,62	EW
Thermische Entlackung	37,36	EW

NCPOCP

CLAUSwhd	22,89	EW
Thermische Entlackung	87,46	EW

3.5 Versauerung

Versauerungspotential

CLAUSwhd	20,88	EW
Thermische Entlackung	106,95	EW

3.6 Nährstoffeintrag

Eutrophierungspotential (L)

CLAUSwhd	25,72	EW
Thermische Entlackung	106,09	EW

Eutrophierungspotential (W)

CLAUSwhd	0,02	EW
Thermische Entlackung	0,01	EW

Eutrophierungspotential, ges.

CLAUSwhd	10,86	EW
Thermische Entlackung	44,76	EW

3.7 Krebsrisiko

Krebsrisikopotential		
CLAUSwhd	7,06	EW
Thermische Entlackung	103,92	EW
3.72 PM10		
PM 10 Potenzial		
CLAUSwhd	34,91	EW
Thermische Entlackung	552,51	EW
3.8 Lärm / Fahrleistung		
Lärm (nah)		
CLAUSwhd	15,98	EW
Thermische Entlackung	15,98	EW
Fahrleistung (gesamt)		
CLAUSwhd	190,85	EW
Thermische Entlackung	190,85	EW
3.10 Gesundheitl. Wirkung		
BaP		
CLAUSwhd	1,25	EW
Thermische Entlackung	1,33	EW
Blei		
CLAUSwhd	51,75	EW
Thermische Entlackung	1.810,25	EW
Cadmium		
CLAUSwhd	64,74	EW
Thermische Entlackung	1.759,28	EW
Dieselpartikel		
CLAUSwhd	109,32	EW
Thermische Entlackung	109,32	EW
Kohlenmonoxid		
CLAUSwhd	7,47	EW
Thermische Entlackung	124,36	EW
Schwefeldioxid		
CLAUSwhd	16,19	EW
Thermische Entlackung	118,81	EW
Staub		
CLAUSwhd	21,96	EW
Thermische Entlackung	769,65	EW
3.11 Ökotoxische Wirkung		
Ammoniak		
CLAUSwhd	0,38	EW
Thermische Entlackung	0,20	EW
AOX		
CLAUSwhd	0,00	EW
Thermische Entlackung	0,00	EW
Fluorwasserstoff		
CLAUSwhd	0,89	EW
Thermische Entlackung	1,68	EW
Schwefeldioxid		
CLAUSwhd	16,19	EW
Thermische Entlackung	118,81	EW
Staub		
CLAUSwhd	21,96	EW
Thermische Entlackung	769,65	EW

Stickoxide		
CLAUSwhd	49,33	EW
Thermische Entlackung	204,78	EW

Auffallend hohe Werte in dieser Tabelle sind die bei der thermischen Entlackung anfallenden Werte von Cadmium und Blei. Diese liegen in einem Bereich von der Menge, die 1800 Menschen in einem Jahr erzeugen. Diese lassen sich auf die Stahlherstellung zurückführen, welche sich bei näherer Betrachtung, als der schadschöpfende Faktor identifizieren lässt.

Was den Kohlenstoffdioxidausstoß angeht, so ist dieser bei beiden Verfahren auf die Verbrennung des Lackes und beim thermischen Verfahren auch auf die Verbrennung des Erdgases und auf die Stahlgitterherstellung zurückzuführen.

Auffällig ist auch, dass die bei der thermischen Entlackung auftretenden Werte fast immer deutlich über den Werten der Wasserhochdruckreinigung liegen. Da sich dem Leser allerdings nicht genau erschließt, wie und auf welcher Grundlage die Einwohnerwerte von „Umberto“ berechnet werden, ist es generell sicher aussagekräftiger die absoluten Werte aus den Sach- und Wirkbilanzen gesondert zu betrachten. Außerdem kann man aus der Art der Betrachtung nicht auf den Einfluss der einzelnen Prozessschritte schließen, was für die gesamte Analyse und das Ableiten von Handlungsempfehlungen aber von Nöten ist.

Der Vergleich der beiden Verfahren macht deutlich, dass es unter ökologischen Aspekten äußerst empfehlenswert ist mit dem CLAUSwhd-Verfahren an Stelle des thermischen Verfahrens zu entlacken.

4.3 Fehleranalyse

In diesem Abschnitt werden potentielle Fehlerquellen dieser Projektarbeit analysiert und ihr möglicher Einfluss besprochen. Dies ist wichtig, da die Fehleranalyse im Prinzip den Qualitätswert der ermittelten Daten betrachtet und somit für die Auswertung von Relevanz ist. Im Folgenden werden verschiedene Fehlerquellen identifiziert und deren Wirkung analysiert.

4.3.1 Qualität der Datenquellen

Um die beiden Verfahren, thermisches Entlacken und CLAUSwhd-Verfahren, vergleichen zu können, war die Erhebung und Auswertung einer großen Menge von Daten erforderlich. Zum Teil erwies es sich dabei als sehr aufwendig an diese Daten zu gelangen, viele waren gar nicht aus erster Hand zu bekommen. Generell war es sicherlich einfacher Prozessdaten des CLAUSwhd-Verfahrens zu erhalten, da zu der Firma Hugo Claus GmbH & Co. KG von Beginn an ein direkter Kontakt bestand. Beim thermischen Entlacken hingegen wurden zunächst diverse Unternehmen kontaktiert, bis es die Firma Schöbel Industriereinigung GmbH ermöglichte, vor Ort Informationen über das thermische Entlacken zu sammeln. Weiterhin existieren viele grundlegende Daten, die für die Modellierung beider Verfahren von Relevanz sind. Auch diese Daten mussten zum Teil geschätzt, beziehungsweise errechnet werden. Nachfolgend sind einige Daten aufgelistet, die nicht direkt aus externen Quellen bezogen werden konnten und daher eigenständig ermittelt wurden.

Masse der Lackkruste

In der Praxis variiert diese Größe je nach Einsatzgebiet und Beschaffenheit des Gitters, da die Gitter unterschiedlich stark und nicht unbedingt gleichmäßig verlacken. Daher ist die Masse der Lackkruste zum Beispiel eine Größe, die im Vorfeld der Modellierungen anhand verschiedener Aussagen gemittelt werden musste und dadurch einen potentiellen Fehler zur Auswertung beiträgt.

Dichte des Lackes

Dieser Faktor beeinflusst die Masse der Lackkruste. Hier wurde ein gemittelter Wert benutzt, da unterschiedliche Lacksorten über unterschiedliche Dichten verfügen können. Dadurch kann die in dem Modell benutzte Lackmenge von tatsächlichen Mengen abweichen.

Anzahl der Gitter, die pro Charge gereinigt werden können (Thermisches Entlacken)

Auch diese Größe konnte nicht eindeutig festgelegt werden, da erstens die Öfen unterschiedlich groß sein können und zweitens die Firma Schöbel Industriereinigung GmbH keine Gitterroste entlackt, weshalb in diesem Fall keine Daten aus erster Hand genutzt werden konnten. Die Anzahl der Gitter, die pro Charge entlackt werden können, beeinflusst natürlich in welchem Maße Stoffe, bezogen auf einen Quadratmeter Gitterrost, erzeugt und verbraucht werden.

Anzahl der Gitter, die pro Tag gereinigt werden können (CLAUSwhd-Verfahren)

Da das CLAUSwhd-Verfahren bisher noch nicht unter voller Auslastung betrieben wird, mussten auch hier einige Annahmen getroffen werden. Die Anzahl entlackter Gitterroste pro Tag ist beispielsweise eine der Größen, die durch Auswertungen der Angaben der Firma Hugo Claus GmbH & Co. KG berechnet wurden. Hierbei wurde ein lineares Verhalten aller Prozessparameter angenommen.

Wichtige Größen, wie der Strom- und Wasserbedarf, hängen von dieser Annahme ab, weshalb auch hier ein potentieller Fehler entstanden sein könnte.

Insgesamt birgt die Qualität der Annahmen vermutlich das größte Fehlerpotential und es lässt sich nur schwer einschätzen, wie groß der Einfluss tatsächlich ist. Nachfolgend sind noch weitere Fehlerquellen aufgeführt, die ebenfalls beachtet werden sollten.

4.3.2 Fehlerpotential „Umberto“ Datenbank

Für einige Transitionen, die Prozesse im Stoffstrommodell modellieren, werden vorgefertigte Funktionen aus der Datenbank von „Umberto 5.5“ genutzt, da einige Prozesse sehr komplex sind. Ein Beispiel hierfür ist der Transport von Gütern. In den vorgestellten Modellen wird für den Prozessschritt Transport eine Transition aus der Datenbank gewählt.

Der potentielle Fehler an dieser Stelle ist, dass diese Transitionen aus der Datenbank von dem Nutzer der Software nicht immer vollständig nachvollzogen werden können, da sie recht komplex sein können. Es sei aber an dieser Stelle gesagt, dass man davon ausgehen kann, dass die Datenbank über korrekte Transitionen verfügt, da diese von Fachleuten erstellt wurden.

Ein potentieller Fehlereinfluss auf die Auswertung ist somit sicherlich vorhanden, da die vollständige Überprüfung der genutzten Transitionen nicht möglich ist, er ist aber letztendlich eher unwahrscheinlich.

4.3.3 Fehlerpotential menschliches Handeln

Bekannt ist, dass auch das menschliche Handeln Quelle vieler Fehler ist. So kann sicherlich auch nicht ausgeschlossen werden, dass in irgendeiner der vorgenommenen Berechnungen ein Fehler unterlaufen ist. Es wurden jedoch eine Vielzahl von Maßnahmen, wie doppelte Rechnungen und Korrekturlesen, getroffen, um diese Fehler zu minimieren. Deswegen ist hier das Fehlerpotential eher als gering zu erachten.

4.3.4 Betrachtung der Beeinträchtigung

Um zu analysieren, ob mögliche Fehler in den genannten Punkten das Ergebnis dieser Ausarbeitung beeinträchtigen, werden nachfolgend relevante Vergleichsgrößen durch Zu- und Abschläge variiert. Gewählt wurde hierfür ein Variationswert von 20 Prozent. Dieser Wert ist bereits als sehr groß zu bewerten, denn wenn man bedenkt, dass auf der einen Seite 20 Prozent hinzukommen, während auf der anderen Seite 20 Prozent abgehen, handelt es sich um eine starke Abweichung der Ergebnisse.

Selbst wenn also einige der für die Modellierung verwendeten Werte aufgrund der genannten Fehlerquellen nicht exakt der Realität entsprechen sollten, wären die resultierenden Abweichungen sicherlich geringer als die hier betrachteten 20 Prozent.

In den Diagrammen dargestellt und verglichen sind die Werte der CO₂ Äquivalenten und des Energieverbrauchs. In beiden Vergleichen werden die Werte des CLAUSwhd-Verfahrens um 20 Prozent erhöht, sprich „verschlechtert“, während die Werte des thermischen Entlackens um 20 Prozent reduziert und damit quasi „verbessert“ werden.

Dies wird getan, da das CLAUSwhd-Verfahren nach dem bisherigen Ergebnis der Ausarbeitung dem thermischen Entlacken vorzuziehen ist. Auf diese Weise wird betrachtet, ob das Verfahren mit diesen Auf- beziehungsweise Abschlägen, den potentiellen Fehlern, immer noch vorzuziehen wäre.

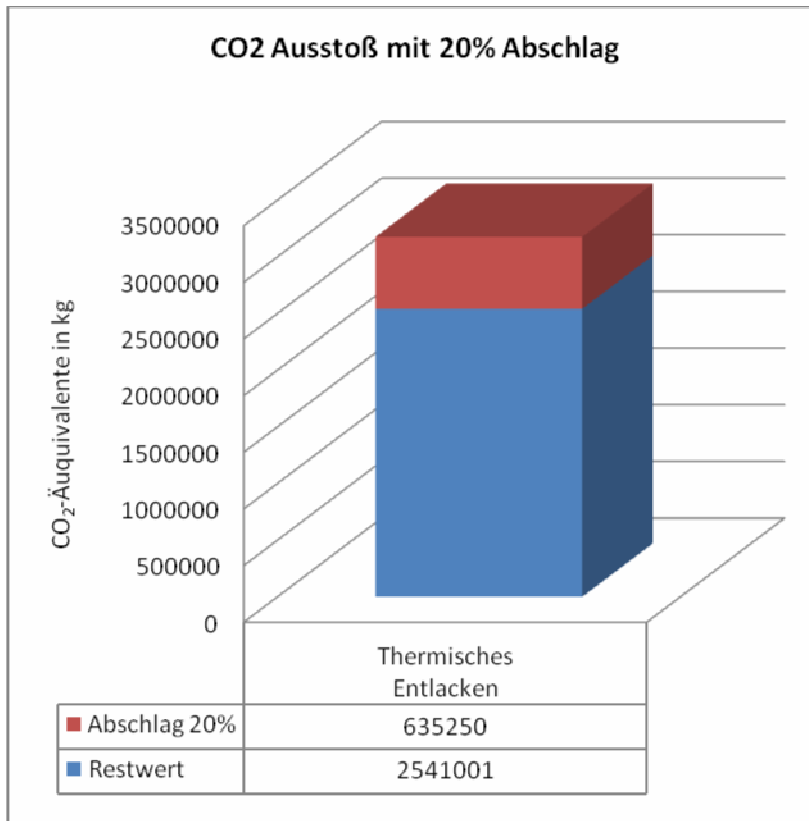


Abb. 8 CO₂ Ausstoß Thermisches Entlacken mit Abschlag, eigene Darstellung

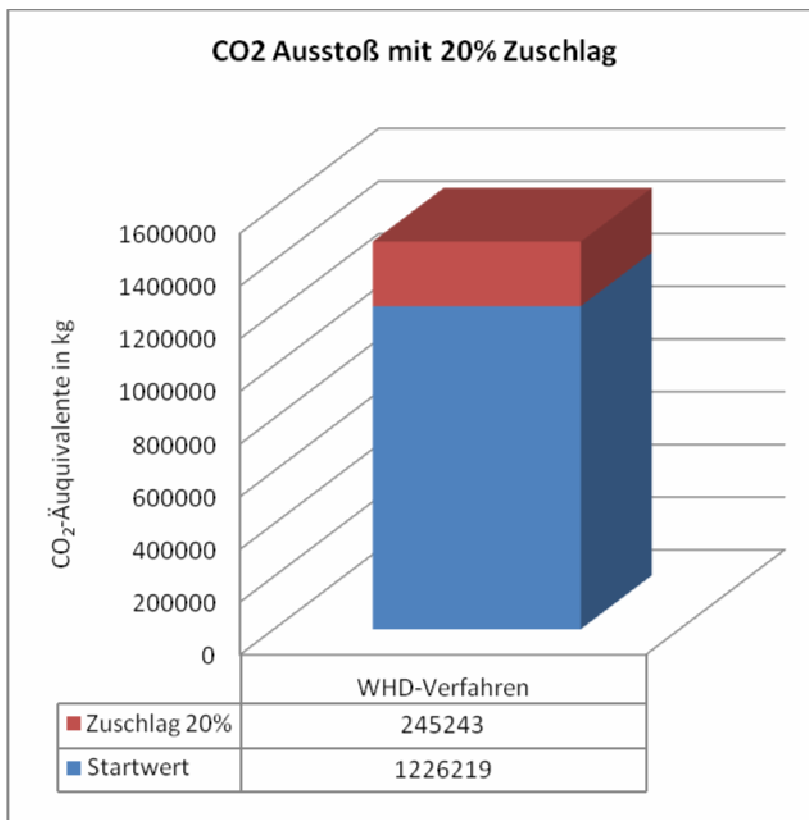


Abb. 9 CO₂ Ausstoß WHD-Verfahren mit Zuschlag, eigene Darstellung

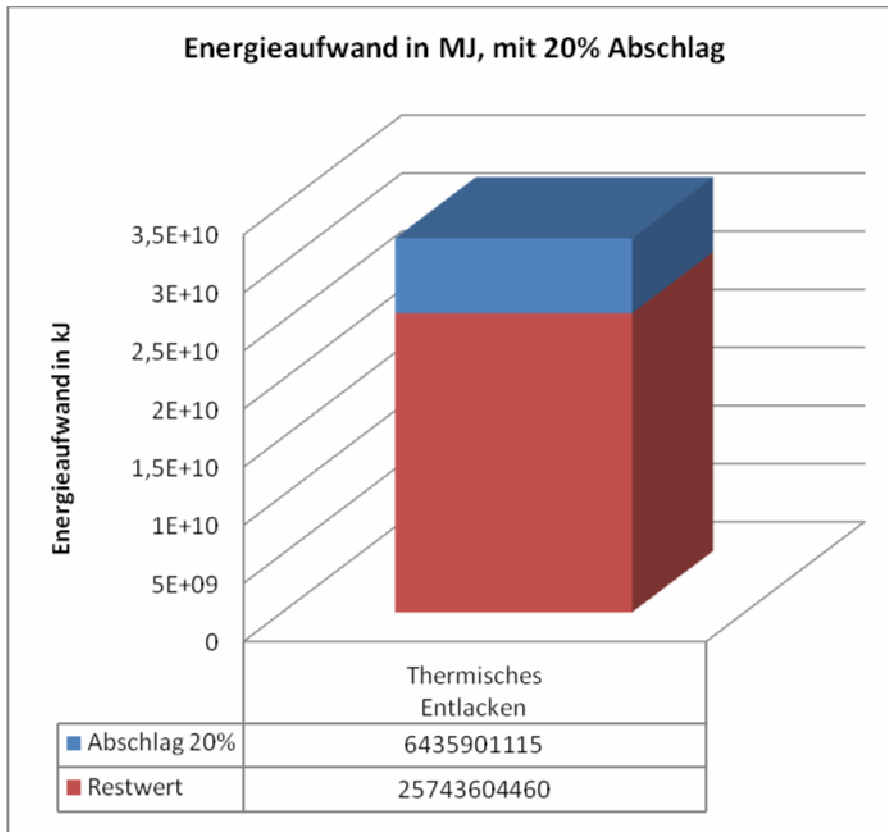


Abb. 10 Energieaufwand Thermisches Entlacken mit 20 Prozent Abschlag, eigene Darstellung

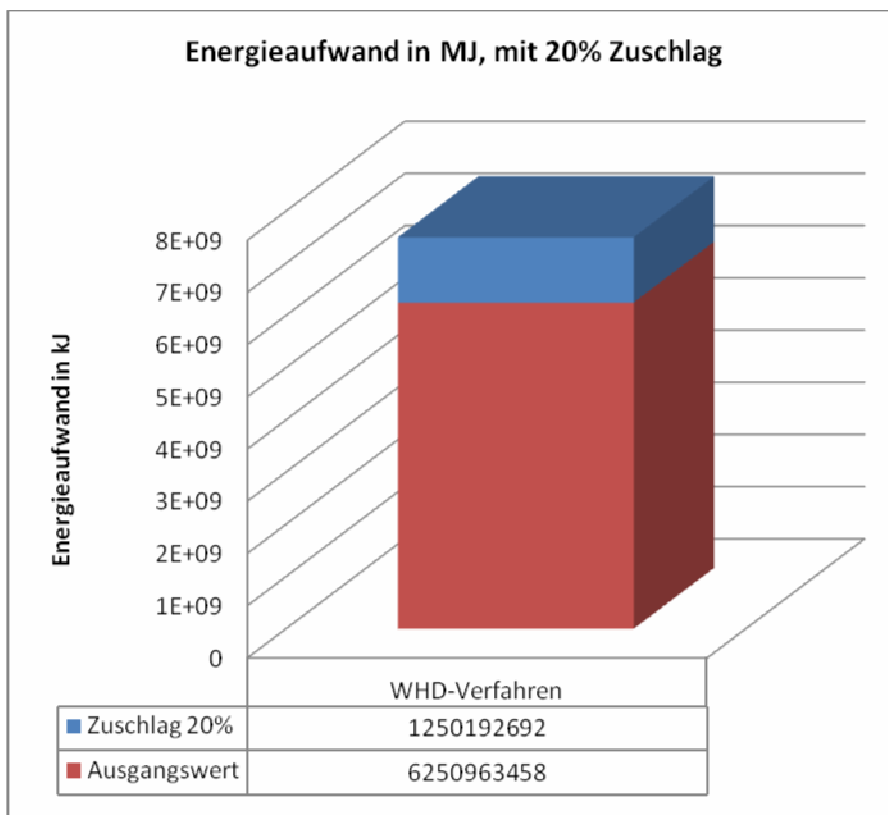


Abb. 11 Energieaufwand WHD-Verfahren mit 20 Prozent Zuschlag, eigene Darstellung

4.3.5 Ergebnis der Fehlerbetrachtung

	Thermisches Verfahren	CLAUSwhd-Verfahren	Prozentualer Unterschied
Energie in MJ	25.743.604	7.501.156	343%
CO ₂ Äquiv. in kg	2.541.001	1.471.462	173%

Abb. 12 Ergebnis Tabelle Fehleranalyse

In der oben stehenden Tabelle sieht man nun, dass trotz der Reduzierung der Werte des thermischen Entlackens und trotz der Erhöhung der Werte des WHD-Verfahrens, das Ergebnis eindeutig bleibt.

Der Energieverbrauch des thermischen Verfahrens liegt immer noch 3,4mal höher, als der des CLAUSwhd-Verfahrens. Dies ist ein deutlicher Wert, in Anbetracht der vorgenommenen Variierung der Werte. Und auch beim CO₂ Ausstoß liegt der Wert des thermischen Entlackens 1,7mal über dem des CLAUSwhd-Verfahrens.

Diese Ergebnisse sprechen für sich und man kann sagen, dass trotz möglicher Fehler, speziell in den Annahmen, die getroffen werden musste, das Ergebnis das gleiche bleibt. Das CLAUSwhd-Verfahren ist auch in diesem Vergleich in Sachen CO₂ Emissionen und Energieverbrauch (ökonomische und ökologische Betrachtung) dem thermischen Verfahren vorzuziehen.

4.4 Kosten

[,,]

4.5 Fazit

Das Wasserhochdruckverfahren bietet unter beiden betrachteten Gesichtspunkten, also Kosten und Umweltwirkung, deutliche Vorteile. Die Umweltbelastung fällt primär aufgrund des niedrigeren Energiebedarfs des Prozesses selbst und aufgrund der weniger oft benötigten Produktion von Stahlgittern deutlich geringer aus. Für die Stahlgitterproduktion ergab sich insbesondere bei der thermischen Entlackung ein wesentlich stärkerer Einfluss als man zunächst erwartet hätte. Bezieht man noch die soziale Komponente mit ein, so wird deutlich, dass es wesentlich angenehmer ist mit einem Produkt zu arbeiten, welches mit Wasser gereinigt wurde und nicht zeitweise 400 Grad Celsius heiß ist.

Die wichtigste ermittelte Stellgröße ist die Anzahl der Wiederverwendungen, wobei man anmerken sollte, dass die Quelle für die Anzahl der Wiederverwendungen das Fraunhofer Institut, welches die Beschichtung entwickelt hat, und die Firma Hugo Claus GmbH & Co. KG sind. Des Weiteren ist es wichtig zu erkennen, dass bei der Wasserhochdruckreinigung der größte Anteil der benötigten Energie wirklich für den Reinigungsprozess verwandt wird. Im Falle der thermischen Entlackung machen die keinen Mehrwert generierenden Prozesse, die

Stahlgitterherstellung und die Reinigung der Abgase, einen großen Teil des Gesamtenergiebedarfes aus.

Unter Berücksichtigung zukünftiger Entwicklungen ergeben sich noch weitere Betrachtungskriterien. Da der größte Anteil der Energie beim CLAUSwhd-Verfahren aus dem Stromnetz stammt, kann zukünftig von noch größeren ökologischen Vorteilen ausgegangen werden, da sich über die Zeit der Anteil an regenerativen Energien noch weiter erhöhen wird. Auf Seiten der thermischen Entlackung handelt es sich beim verwendeten Erdgas zwar um einen vergleichsweise umweltfreundlichen fossilen Energieträger, dessen chemische Eigenschaften aber über die Zeit gleich bleiben. Deswegen kann man keine zukünftigen Emissionseinsparungen erwarten. Weiterhin wird mit der Zeit die Ressourcenknappheit zu steigenden Rohstoffpreisen führen. Das bedeutet in Bezug auf den Vergleich der beiden Verfahren, dass sich die thermische Entlackung durch den Faktor Stahl noch weiter verteuern wird.

Um die Prozesskosten weiter zu senken, eröffnet sich die Option die Anlage auf dem eigenen Betriebsgelände zu installieren. Auf diese Weise können Emissionen und Kosten durch entfallende Transportwege gespart werden. Hierbei sind Investitionskosten und Größe der Anlage die Kriterien unter denen diese Entscheidung getroffen wird. Die wesentlich kleineren Wasserhochdruckanlagen bieten bei der Errichtung auf dem Betriebsgelände der Lackierstraße deutliche Vorteile.

Die Betrachtung der beiden Verfahren zeigt, dass zwischen Energiebedarf und somit Emissionen und Kosten eine Korrelation besteht. Je niedriger der Verbrauch von Produktionsfaktoren ist, umso niedriger sind Emissionen und Kosten. Dies verdeutlicht in welchem Maße der ökonomische Optimierungsgedanke, also das Vermeiden von Verschwendung und umweltbewusstes Denken in eine gemeinsame Richtung streben.

Für die Zukunft liegt es nahe, die Entlackung via PermaCLEAN^{PLAS} beschichteter Gitter und der WHD-Technik 500 abzuwickeln, um so Kosten zu sparen und Umwelt und Ressourcen zu schonen.

Ende Berichtsausschnittes zum Projekt „Antihafbeschichtung“

3.14 Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Beschichtungs- und Entlackungstechnik ist in einem Firmenprospekt unter der Marke CLAUSwhd dokumentiert.

In dieser Form wurden die Entwicklungsergebnisse auch direkt potentiellen Anwendern, darunter den Firmen

- Dürr AG
- Daimler AG
- BMW AG

- Opel AG
- Porsche AG
- Volkswagen AG
- Fendt AG
- Peguform GmbH
- Lichtgitter GmbH
- Nissin Kiko Co. Ltd.

präsentiert.

Die Ergebnisse der Entwicklungsarbeiten wurden in einer Reihe von Veröffentlichungen, Vorträgen und auf Ausstellungen bzw. Messen vorgestellt:

Veröffentlichungen (Text siehe Anlagen)

- | | | |
|-------|----------------------|---|
| 5/06 | besser lackieren: | Mit neuer Antihaftbeschichtung Entlackungskosten sparen
Autoren: Dr. Matthias Ott, Walter Hügler |
| 6/06 | besser lackieren: | Effizient entlacken
Autor: Dr. Matthias Ott |
| 8/06 | JOT: | Antihaftbeschichtung erleichtert Entlackung
Autoren: Dr. Matthias Ott, Walter Hügler |
| 9/06 | mo Metalloberfläche: | Leichter entlacken
Autoren: Dr. Matthias Ott, Walter Hügler |
| 9/06 | PlasmaNews: | Anwendung von Easy-to-Clean-Schichten
Autoren: Klaus Vissing, Dr. Matthias Ott |
| 12/07 | besser lackieren: | Antihaftbeschichtung spart Entlackungskosten
Autor: Walter Hügler |

Die Anwendung „Inline-Entlackung“ wurde in Form einer Pressemitteilung im Oktober 2008 in den Fachzeitschriften JOT und MO veröffentlicht. Text siehe Anlage...

Vorträge

11/07 DFO: Beschichtung und Entlackung von Komponenten in Lackieranlagen

Vortragender: Walter Hügler

10/07 parts2clean 2007 – Fachforum:

Easy-to-clean Oberflächen durch Plasmatechnik und Funktionalisierung von Lackoberflächen

Vortragender: Dr. Matthias Ott

10/08 parts2clean 2008 – Fachforum:

Reinigungsvermeidung von Oberflächen durch funktionelle Beschichtungen

Vortragender: Dr. Matthias Ott

Messen/Ausstellungen

04/07 Hannover Messe 2007: auf dem Stand des Fraunhofer IFAM innerhalb des SurfPlaNet
Hannover

10/07 parts2clean 2007: auf dem Stand des Fraunhofer IFAM innerhalb der Fraunhofer-Allianz Reinigungstechnik
Stuttgart

10/07 K2007: auf dem Stand des Fraunhofer IFAM innerhalb des Fraunhofer-Gemeinschaftstands
Düsseldorf

10/08 Automobiltag BW: Begleitausstellung, Poster siehe Anlage...

09/08 MESSE NAGOYA 2008 – Working on Environmental Challenges together: Präsentation auf dem Stand Adler GmbH – Nissin Kiko
Nagoya, Japan

10/08 parts2clean 2008: auf dem Stand des Fraunhofer IFAM innerhalb der
Fraunhofer-Allianz Reinigungstechnik
Stuttgart

4 Fazit

Im Rahmen der Entwicklungsarbeiten konnte nachgewiesen werden, dass Gitterroste, die im Lackierprozess mit den heute gebräuchlichen Nasslacksystemen kontaminiert wurden, problemlos mit Wasserhochdruck im Druckbereich 500 bar entlackt werden können, sofern die Gitterroste zuvor mit der Antihaftbeschichtung PermaCLEAN^{PLAS} beschichtet wurden.

Die entwickelte Anlagentechnik ist kompakt, so dass Entlackungsanlagen auch dezentral, d.h. werksnah, eingesetzt werden können. Der erreichte Entwicklungsstand erlaubt die Umsetzung der Anlagentechnik als industriell einsetzbare Durchlaufanlagen.

Das entwickelte Entlackungsverfahren hat das Potential, aufgrund der nachfolgend genannten Argumente, die heute noch vorherrschenden chemischen und pyrolytischen Entlackungsverfahren abzulösen:

- Die Entlackungskosten liegen - bereits bei einem einschichtigen Betrieb -signifikant unter den heutigen Marktpreisen
- Die Ökobilanz des Verfahrens ist positiv. Beim Einsatz des Verfahrens kann der Energieeinsatz um den Faktor 6 bis 8, die CO₂-Emission um den Faktor 3 reduziert werden.
- Das Entlackungsverfahren schont die Betriebsmittel. Eine mechanische Beschädigung der Komponenten durch die Entlackung ist ausgeschlossen, so dass deren Lebensdauer nicht wie bei den klassischen Entlackungsverfahren durch die Entlackung begrenzt wird.
- Durch den werksnahen Einsatz reduzieren sich die Durchlaufzeiten erheblich. Komplette Zweitsätze von Gitterrosten, die heute aufgrund der externen Entlackung erforderlich sind, können entfallen.
- Bei einer dezentralen Anwendung des Entlackungsverfahrens entfallen externe Logistikkosten komplett.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das im Rahmen des Projektes entwickelte Verfahren zukunftssicher ist, da es in erheblichem Umfang sowohl ökonomische wie auch ökologische Vorteile gegenüber den vorherrschenden Verfahren bietet.

Voraussetzung für einen wirtschaftlichen Durchbruch der neuen Entlackungstechnologie ist die Bereitschaft der Anwender, das Entlackungsgut nach Entlackungsverfahren zu trennen und differenziert zu beauftragen.

Aufgrund der Marktresonanz kann davon ausgegangen, dass es gelingt, das wirtschaftliche Potential der entwickelten Entlackungstechnik schrittweise in Verkaufserfolge umzusetzen.

Weitere Entwicklungsmöglichkeiten

Erhebliches Entwicklungspotential hat das neue Verfahren für weitere Betriebsmittel wie Aussteller oder Gehänge in der Automobillackierung, die zusammen mit dem

Fahrzeug auch alle Vorbehandlungsstufen durchlaufen. Die Beständigkeit der Antihafbeschichtung in Abhängigkeit von den eingesetzten Vorbehandlungsbädern wäre in einem weiteren Entwicklungsprojekt jedoch noch zu untersuchen. Möglicherweise sind hierfür auch zusätzliche, beständige, Schichtvarianten zu entwickeln.

Zudem sollte für die Anwendung für Gehänge in Durchlaufanlagen, bei denen die PermaCLEAN^{PLAS}-Beschichtung eine so gute Antihafwirkung zeigt, dass sich der Lack-Overspray bereits durch eine "Reinigungsduche" mit 6 bar von den Betriebsmitteln löst und die darunter hängenden zu lackierenden Bauteile kontaminiert, eine Lösung gefunden werden. Hierfür wären weitere PermaCLEAN^{PLAS}-Beschichtungen mit einer lediglich "mittelmäßigen Antihafwirkung" gegenüber den entsprechenden Lacksystemen zu entwickeln.

Eine weitere große Verbesserung im Sinne der ökonomischen und ökologischen Vorteile wäre die Entwicklung eines WHD-Entlackungsmoduls für den Einsatz innerhalb von Durchlauflackieranlagen. Dadurch könnte nahezu vollständig auf zusätzliche Betriebsmittel wie Gehänge verzichtet werden, da diese Betriebsmittel entweder nach jedem Lackierzyklus in der Linie entlackt werden oder nach wenigen Zyklen über einen Bypass lediglich kurzzeitig zur Entlackung ausgeschleust werden. Hierbei würden zudem nicht nur die Transportkosten entfallen, sondern auch die manuelle Handlungsbearbeitung für das einsammeln innerhalb des Lackierbetriebes.

Da die hier beschriebenen weiteren Entwicklungsarbeiten einerseits einen hohen F&E-Aufwand bedeuten, andererseits aber zu einer weiteren wesentlichen Einsparung von Energieerzeugern führen würde, sollten diese Arbeiten im Rahmen eines DBU-Folgeprojektes durchgeführt werden.

5 Literaturverzeichnis

- [Abf01] Abfallbilanz 2001 für das Land Sachsen-Anhalt
- [Abf02] Abfallbilanz 2001 (Saarland)
- [BüAbV] Bestmimmungsverordnung bes. überwachungsbedürftige Abfälle
BestbüAbfV
- [Lan02] Landesabfallbilanz Rheinland-Pfalz 2002
- [MLU01] Daten und Informationen zur Abfallwirtschaft 2001, Land Brandenburg,
Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz
(MLUV)
- [Son03] Sonderabfallbilanz Land Bremen 2002 und 2003
- [Sta03] Statistisches Bundesamt, CHEM Research, VdL (s. Farbe&Lack, 109,
2/2003)
- [The05] "NMVOC-Emissionen aus der Lösemittelanwendung und Möglichkeiten
zu ihrer Minderung" Dissertation von Jochen Theloke, Fakultät Maschinenbau der
Universität Stuttgart, 2005. Anlagen

6 Anlagen

- Anlage 1 Entlackungskabine
- Anlage 2 Filtration
- Anlage 3 Hochdruckpumpe
- Anlage 4 Düsenrad
- Anlage 5 Übersicht Entlackungsversuche
- Anlage 6 Entlackungsversuch VW Hannover
- Anlage 7 Entlackungsversuch Sudhaus
- Anlage 8 Kurzbericht Lebensdauer PermaCLEAN^{PLAS}
- Anlage 9 PermaCLEAN^{PLAS} Technische Information
- Anlage 10 Versuchsergebnisse mit verschiedenen Substraten
- Anlage 11 Pressenotiz JOT- Inline-Entlackung JOT
- Anlage 12 Interview „besser lackieren“ – Effizient Entlacken
- Anlage 13 Veröffentlichung „besser lackieren“ – Mit neuer Antihftbeschichtung
Entlackungskosten nachhaltig senken
- Anlage 14 Veröffentlichung MO – Leichter entlacken
- Anlage 15 Veröffentlichung JOT - Antihftbeschichtung senkt Entlackungskosten
- Anlage 16 Messeposter CLAUSwhd
- Anlage 17 Programm DFO-Tagung
- Anlage 18 Vortragsunterlagen DFO-Tagung
- Anlage 19 Anzeige PermaCLEAN^{PLAS}
- Anlage 20 Entlackungskomponenten Traktorenfabrik
- Anlage 21 Aufnahmehaken für Automobilgetriebe
- Anlage 22 Bericht zum Lehrprojekt „Antihftbeschichtung“