



Kooperationsstelle Hamburg/LIFE Projekt

E I N H A N D B U C H

Pflanzenöl- ester

**Innovative Produkte
in der Metallreinigung**

Herausgegeben von der Kooperationsstelle Hamburg, Januar 2001

A. Stautz, M. Dobernowsky, Dr. H. Gertel-Kloos, L. Lißner, B. Meyer, A. Wagner

■ Impressum

Pflanzenölester – Innovative
Produkte in der Metallreinigung
Handbuch
Selbstverlag, Hamburg 2001
ISBN 3-928110-03-9

Dieses Handbuch wird herausgegeben von der
Kooperationsstelle Hamburg und ist ein
Ergebnis des Projektes „Metallreinigung mit
Fettsäureestern zur Reduzierung von
VOC-Emissionen“ im Rahmen des LIFE-
Programms der EU Generaldirektion Umwelt.

Texte

- Andreas Stautz
- Mario Dobernowsky, Dr. Heike Gertel-Kloos,
Lothar Lißner, Barbara Meyer, Annette Wagner
(Kooperationsstelle Hamburg)
- Susanne Kummerer (ppm, Österreich)
- André van Raalte, Demi Theodori
(Chemiewinkel, Niederlande)

Textliche Ergänzungen, Anregungen und Kommentare

Frank Banuscher, Umweltbehörde der Freien und
Hansestadt Hamburg
Dr. Armin Bossemeyer, Nordmetall – Verband der
Metall- und Elektro-Industrie e.V.
Dr. Ulrich Schmidt, Haltermann GmbH, Hamburg

Korrekturen

Hannelore Moldenhauer

Gestaltung

Jutta Dalladas-Djemai, Birte Holländer

© Kooperationsstelle Hamburg

Preis

Handbuch: EURO 15/CD-Version: EURO 5

Internetverfügbarkeit

Teile des Handbuchs finden Sie unter folgender
Internet-Adresse:
www.uni-hamburg.de/kooperationsstelle-hh

Bestellung

Kooperationsstelle Hamburg
Besenbinderhof 60, 20097 Hamburg
Tel. 00 49 40-28 58-640
Fax 00 49 40-28 58-641
E-Mail: koopphh@uni-hamburg.de

Life – das Projekt

Das Life Projekt „Metallreinigung mit Fettsäure-
estern zur Reduzierung von VOC-
Emissionen“ wurde unter Federführung
der Kooperationsstelle Hamburg mit folgenden
Partnern durchgeführt:

- Nordmetall – Verband der Metall- und
Elektro-Industrie e.V., Dr. Armin Bossemeyer
- IG Metall Bezirk Küste, Peter Neuhaus,
Christian Schoof
- Haltermann GmbH, Dr. Ulrich Schmidt,
Bernd Renner
- B+V Industrietechnik, Arno Klemz
- Umweltbehörde der Freien und Hansestadt
Hamburg, Frank Banuscher
- Chemiewinkel Universität Amsterdam(NL),
Dr. Pieter van Broekhuizen, John Braham
- ppm (A), Susanne Kummerer

Finanziert und begleitet wurde das Projekt
von der EU, Generaldirektion Umwelt,
der Umweltbehörde Hamburg und
der Arbeitsgemeinschaft der Metall-Berufs-
genossenschaften.

Kopierhinweis

Nach Erwerb dieses Handbuches können
Auszüge kopiert werden. Zur Herstellung wurde
ein umweltverträglicher Wachsfarben-
Drucker eingesetzt. Beim Kopieren – speziell mit
automatischem Einzug – können eventuell
Wachsrückstände die Funktionsfähigkeit
Ihres Kopiergerätes beeinträchtigen.

■ Vorwort

Neue Wege im Umwelt- und Gesundheitsschutz erfordern neue Kooperationen und Bündnisse. Wenn sich unterschiedliche Partner zusammenschließen, um Umwelt- und Gesundheitsschutz zu fördern, können sich größere Erfolgchancen ergeben als auf den eingefahrenen Wegen.

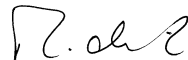
Bei der Oberflächenreinigung in der Metallbranche geht es darum, Schmutz „sauber“ von Metallteilen oder Werkstücken zu entfernen. Neue Technologien sollen dafür sorgen, dass dieser Prozess nicht nur technisch einwandfrei, sondern auch „sauber“ für Gesundheit und Umwelt abläuft. Der Einsatz von Pflanzenölestern ist ein Schritt in diese Richtung.

Unter Federführung der Kooperationsstelle Hamburg kooperierten im Projekt „Metallreinigung mit Fettsäureestern zur Reduzierung von VOC-Emissionen“ der Arbeitgeberverband Nordmetall, die Gewerkschaft IG Metall Bezirk Küste sowie als Rohstoffhersteller die Firma Haltermann und als Anwender viele große und kleine norddeutsche Metallbetriebe. Finanziert und begleitet wurde das Projekt von der EU, Generaldirektion Umwelt („Life“-Programm), der Umweltbehörde Hamburg und der Arbeitsgemeinschaft der Metall-Berufsgenossenschaften. Weitere Projektpartner im europäischen Ausland waren ppm, ein Forschungs- und Beratungsinstitut in Österreich sowie Chemiewinkel, eine Einrichtung der Universität Amsterdam in den Niederlanden.

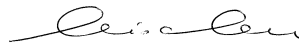
Das Projekt hat die Option des industriellen Reinigens ohne VOC-Emissionen mit nicht verdunstenden Pflanzenölestern zur echten Alternative fortentwickelt. Die Ergebnisse können von den Betrieben genutzt werden, um weitere Ver-

besserungen von Gesundheits- und Umweltschutz zu verwirklichen.

Die gemeinsame Brancheninitiative von IG Metall Bezirk Küste, Nordmetall und der Norddeutschen Metallberufsgenossenschaft wird der neuen Technik weiter den Weg ebnen. Die Unterzeichner hoffen, dass der kooperative Ansatz Schule macht und auch in anderen Gebieten zu ähnlichen Erfolgen führt.



(Frank Teichmüller)
IGM Bezirk Küste, Bezirksleiter



(Dr. Thomas Klischan)
Nordmetall, Geschäftsführer



(Alexander Porschke)
Umweltbehörde Hamburg, Senator



(Dieter Benscheidt)



(Peter Neuhaus)

Norddeutsche Metall-BG, Vorstand

■ Einleitung

Es besteht mittlerweile weitgehend Einigkeit zwischen Industrie, Wissenschaft, Behörden und Verbänden: der Einsatz von flüchtigen organischen Lösemitteln in der Industrie soll und kann weiter reduziert werden. Aus Gründen des Gesundheits- und des Umweltschutzes ist es notwendig, diese chemischen Verbindungen zügig zu ersetzen. Dazu sind vor allem integrierte technische und chemische Innovationen erforderlich.

Die Metallindustrie ist der größte industrielle Anwender von Lösungsmitteln für die Oberflächenreinigung. Die Betriebe und Arbeitnehmer fordern hier immer wieder einfache, problemlos einsetzbare und ökonomisch vertretbare Ersatzstoffe. Solche Alternativen müssen entwickelt und erprobt werden.

Dänische Drucker hatten vor knapp 15 Jahren die Idee, bei Reinigungsarbeiten an Druckmaschinen flüchtige Wasch- und Spezialbenzine durch Pflanzenöle zu ersetzen. Die Kooperationsstelle DGB-Gewerkschaften/Hochschulen hat in den vergangenen Jahren diese Idee aufgegriffen und in mehreren internationalen Projekten zum Themenkomplex „Substitution gefährlicher Stoffe in innerbetrieblichen Produktionsverfahren“ weiter entwickelt. Dabei ging es im Kern immer darum, in Kooperation mit Betrieben, Verbänden, Herstellern, Wissenschaft etc. den Ersatzstoffeinsatz praktisch auszuprobieren und positive betriebliche Beispiele zu schaffen.

Auf Basis des Ausgangsgedankens „Gleiches löst sich in Gleichem“ und unterstützt durch die durchgeführten Projekte ist heute eine Produktpalette entstanden, die im wesentlichen auf den Estern pflanzlicher Öle basieren. Sie haben ein-

deutige Vorteile im Umwelt- und Gesundheitsschutz – ihre Besonderheit ist, dass sie nicht verdunsten. Auch wenn sie damit für einige Reinigungsaufgaben nicht in Frage kommen, sind sie aufgrund ihrer hervorragenden Reinigungswirkung für viele technische Anwendungen geeignet.

Es war die Grundidee, diese Technologie auf die Teilereinigung in der Metallbranche zu übertragen. Hier geht es darum, Schmutz „sauber“ von Metallteilen oder Werkstücken zu entfernen. Die Idee führte zum Projekt „Metallreinigung mit Fettsäureestern zur Reduzierung von VOC-Emissionen“ Aus dem Namen des EU-Förderprogramms „Life“ leitete sich die Kurzbezeichnung „Life-Projekt“ ab.

Ziel war es, die Eignung der Produkte für die Praxis zu prüfen und auf Basis der praktischen Erfahrungen weiter zu entwickeln. Dieses Ziel ist erreicht worden. Im Projekt wurden eine Fülle von Tests, praktischen Anwendungen und begleitenden Untersuchungen durchgeführt.

Dieses Handbuch ist eine Anleitung für alle diejenigen, die Reiniger auf Basis pflanzlicher Ester einsetzen und fördern wollen. Es enthält den gesammelten Erfahrungsschatz des Projektes im Hinblick auf den praktischen Einsatz der Ester. Außerdem enthält das Handbuch weitere Hintergrundinformationen zur Esterreinigung – zu chemischen Grundlagen, zu technischen Eigenschaften, zu Kosten, zur Umweltverträglichkeit etc. – die im Rahmen des Projektes erarbeitet wurden.

Lothar Lißner,
Kooperationsstelle Hamburg

Inhalt

Vorwort	3
Einleitung	5
1. Umwelt- und Gesundheitsschutz	
1.1 Pflanzenölester als wirksame Alternative	9
1.2 Nutzung nachwachsender Rohstoffe	11
1.3 Verringerung von Belastungen am Arbeitsplatz	12
1.4 Beitrag zum Klimaschutz	15
1.5 Praxisbeispiele außerhalb der Metallindustrie	16
Druckindustrie: Reinigungsarbeiten im Offsetdruck	16
Bauindustrie: Einsatz als Betontrennmittel	18
2. Was sind eigentlich Pflanzenölester?	
2.1 Grundkomponenten und Herstellungsprozess	20
2.2 Variationen in der Produktpalette	21
2.3 Chemische und physikalische Eigenschaften	23
2.3.1 Siedepunkt, Dampfdruck, Flammpunkt und Verdunstungsverhalten	23
2.3.2 Dichte, Viskosität und Oberflächenspannung	25
2.3.3 Löslichkeitsverhalten	26
2.3.4 Elektrisches Verhalten und Selbstentzündung	27
2.3.5 Korrosionsschutz	28
3. Technik und Wirtschaftlichkeit – Vorteile für die Metallreinigung	
3.1 Pflanzenölester in der Oberflächenreinigung	30
3.1.1 Reinigungsmedien in der Metallreinigung	30
3.1.2 Reinigungsverfahren mit Pflanzenölestern	31
3.1.3 Unterstützende Faktoren: Temperatur und Bewegungsenergie	32
3.1.4 Reinigungswirkung: Laborversuche und betriebliche Anwendungen	34
3.1.5 Schmutztragevermögen und Oberflächenreinheit	36
3.1.6 Materialverträglichkeit	37
3.1.7 Automatische Reinigung: Weiterentwicklung von Anlagen	39
3.1.8 Standzeitverlängerung, Recycling und Entsorgung	40
3.2 Wirtschaftlichkeit in der Anwendung	44
Verbrauch und Preise	44
Kostenkalkulation: Ein Beispiel	45

4.	Erfahrungen aus Metallbetrieben – Beispiele	
4.1	Einsatz in der Instandhaltung	47
4.2	Entfernen von Schutzbeschichtungen	48
4.3	Reinigung und Korrosionsschutz im Maschinenbau	49
4.4	Bitumenentfernung von Industrieschildern	50
4.5	Reinigung von Feuerwehrfahrzeugen	51
5.	Voraussetzungen für eine erfolgreiche Anwendung	
5.1	Klärung der Anwendungsbedingungen	52
	Anforderungen an Reinigungswirkung definieren	52
	Weiterbehandlung der gereinigten Teile berücksichtigen	52
	Verträglichkeit mit Reinigungsanlagen und Reinigungsgut prüfen	53
	Hersteller befragen/Reinigungsprodukt auswählen	53
5.2	Umstellung der Reinigungstechnik	54
	Durchführung von Pilottests	54
	Kooperation im Betrieb/Information der Mitarbeiter	54
	Umstellung der Arbeitsweise/Einweisung in die neue Reinigungstechnik	54
	Sicherheitshinweise für den richtigen Umgang	55
	Reinigungstechnik und Verfahrensablauf optimieren	55
6.	Ökologischer Nutzen und Qualitätssicherung	
6.1	Verbesserung der Luftqualität: Das Beispiel Ozon	56
6.2	Biologische Abbaubarkeit	57
6.3	Pflanzenölester im Lebenszyklus	59
6.4	Qualitätskriterien für Produkte	60
7.	Service: Informationen und Kontakte	
7.1	Produktübersicht und Herstelleradressen	62
7.2	Hersteller von Reinigungsanlagen	64
7.3	Europäische Projekte zu Pflanzenölestern	65
7.3.1	Metallindustrie: LIFE-Projekt	65
7.3.2	Forschung: VofaPro-Projekt	66
	Druckindustrie: SUBSPRINT-Projekt	67
	Bauindustrie: SUMOVERA-Projekt	68
	Literaturhinweise	70



1.1 Pflanzenölester als wirksame Alternative

In vielen Betrieben gelten Reinigungsarbeiten als lästige Nebenarbeiten. Sie gehören zu den vorbereitenden Arbeiten, sind Zwischenschritte oder der Abschluss einer Tätigkeit. Die Reparatur eines Motorenteils oder die Herstellung einer Maschine sind die eigentlichen Dienstleistungen bzw. Produkte eines Unternehmens der Metallindustrie. Diese Aufgaben binden die betriebliche Aufmerksamkeit. Reinigungsarbeiten sind demgegenüber Nebentätigkeiten, die zuweilen vernachlässigt werden, obwohl Verbesserungen möglich sind. Eine Umstellung der Reinigungstechnik auf pflanzenölbasierte Produkte könnte Probleme beseitigen und neue Chancen eröffnen.

Pflanzenölester bieten **technische und ökologische Vorteile** für die Oberflächenreinigung. Was Pflanzenölester in der Metallreinigung leisten und wo zur Zeit ihre Grenzen liegen, wird in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben. Fazit ist: Pflanzenölester sind in vielen Anwendungsbereichen eine wirksame Alternative zu herkömmlichen Reinigungsmitteln. Der Einsatz pflanzenölbasierter Reiniger kann aber nur erfolgreich sein, wenn zuvor die Anwendungsbedingungen geklärt werden. Art der Verschmutzungen, Oberflächenreinheit, Materialverträglichkeit, Beschaffenheit der Reinigungsanlagen, Umwelt- und Gesundheitsschutz sind einige der Faktoren, die dabei zu beachten sind.

Allein in Deutschland wurden bereits in über 60 Betrieben der Metallindustrie intensive **Praxisversuche mit Estern** durchgeführt. Von den Anwendern wird die gute Reinigungswirkung, die Hautverträglichkeit, der milde Geruch¹ sowie der temporäre Korrosionsschutz besonders geschätzt. Die Reinigungskraft von Pflanzenölestern ist generell mit der von herkömmlichen Kaltreinigern vergleichbar. In einigen Anwendungsbereichen lassen sich sogar bessere Ergebnisse erzielen. In den Branchen Maschinen- und Kraftwerksbau, Automobilbau und Zulieferer, Schiffswerften, Stahlwerke, Eisenbahnen, Feinmechanik und Elektroindustrie sind Esterprodukte in betriebsinternen Schlossereien und Werkstätten im Einsatz. Neben der Instandhaltung zählt die Teilereinigung im Maschinenbau, die Entfernung von Schutzbeschichtungen und der temporäre Korrosions-

schutz zu den weiteren bisherigen Einsatzgebieten der Pflanzenölester in der Metallindustrie.

Vorschriften des **Gesundheits- und Umweltschutzes** und eine erhöhte Sensibilität gegenüber Gefahrstoffen legen den Betrieben eine Überprüfung ihrer Reinigungsbereiche nahe. Bei der Verwendung von organischen Lösemitteln kann eine Sanierung bzw. Umstellung auf schwerflüchtige Reiniger notwendig werden. Die im März 1999 von der Europäischen Union verabschiedete EG-Lösemittel-Richtlinie² zum Schutz der Umwelt und das Substitutionsgebot der Gefahrstoffverordnung im deutschen Arbeitsschutzrecht sind Beispiele hierfür. Das Kundeninteresse am Qualitätsmanagement der Betriebe steigt und zunehmend wird die Berücksichtigung von Kriterien des nachhaltigen Wirtschaftens (z.B. Öko-Audit) erwartet. Gefragt sind Produkte und Verfahren, die nicht nur technisch hochwertig, sondern auch ökologisch und gesundheitlich gut verträglich sind. Pflanzenölester erfüllen diese Kriterien und können herkömmliche Reinigungsprodukte in vielen Anwendungen ersetzen.

Die **Druckindustrie** ist ein Beispiel für diese Veränderung. Die Unzufriedenheit mit den traditionellen Reinigungsmitteln in Druckereien war zum Ende der 80er Jahre die Triebfeder zur Entwicklung neuer Reinigungsmittel aus Pflanzenölestern. Diskussionen über gesundheitsgefährdende Wirkungen von organischen Lösemitteln, die oft auch als Reinigungsbenzine oder Kaltreiniger bezeichnet werden, veranlassten Gewerbetreiber in Kopenhagen zu unkonventionellen Reinigungsversuchen mit Salatöl aus einem nahegelegenen Supermarkt. Mit Unterstützung der dänischen Umweltbehörde begannen Testreihen, die zu Produktinnovationen führten und bei Herstellern und Anwendern auf Interesse stießen. Auf internationalen Fachmessen wurden verschiedene neuentwickelte Produkte vorgestellt und viele Offsetdruckereien stellten ihre Reinigungstechnik um. In der Folge wurde auch die Eignung der Pflanzenölester für andere Anwendungszwecke entdeckt und gefördert, so etwa

¹ Produkte auf Basis von Methylestern haben oft einen strengeren Geruch.

² Die europäische Richtlinie 1999/13/EG (VOC-Richtlinie) muss bis zum April 2001 in nationales Recht umgesetzt werden.

der Einsatz als Betontrennmittel (Schalöl) im **Baubereich** oder als Reinigungsmittel in der **Metallreinigung**.

Die heute auf dem Markt befindlichen Produkte aus Pflanzenölestern haben mit dem Salatöl aus dem dänischen Supermarkt nur noch eine Grundkomponente, das Pflanzenöl, gemein. Sie sind chemisch aufbereitete und spezialisierte Produkte für eine breite Palette von Anwendungen. Insbesondere gegenüber organischen Lösemitteln haben **Pflanzenölester** vielerlei **Vorteile**:

Arbeitsschutz und Ökologie

- Wegfall von Schadstoffemissionen am Arbeitsplatz
- Reduzierung der Umweltbelastung
- Bessere Hautverträglichkeit
- Keine mineralöltypische Geruchsbelästigung
- Nicht kennzeichnungspflichtig nach GefStoffV und Chemikaliengesetz
- Leicht biologisch abbaubar
- Nutzung nachwachsender Rohstoffe

Anwendung und Technik

- Gute Reinigungsleistung bei sehr vielen typischen Verschmutzungen
- In bestimmten Anwendungsbereichen bessere Wirkung als klassische Kaltreiniger
- Temporärer Korrosionsschutz gegen Flugrost in der Metallreinigung
- Flammpunkt größer 100°C (VbF entfällt)
- Emulgierbarkeit von Produkten
- Einsatz definierter Fettsäureester anstelle von hochkomplexen Mineralölgemischen
- Zugeschchnittene Produkte für spezielle Anwendungen

Wirtschaftlichkeit

- Geringer Verbrauch
- Hohe Standzeiten
- Kostenreduzierung für Brand- und Explosionsschutz
- Reduzierung technischer Einrichtungen (z.B. Absaugungen)
- Wegfall aufwendiger Gefahrstoffmessungen
- Verringerte Lagerkosten/langfristig billigere Betriebsversicherungen
- Imagevorteil gegenüber Konkurrenzbetrieben
- Wirksamkeit bei Zertifizierungen

Pflanzenölester haben selbstverständlich auch Grenzen der Wirksamkeit und **spezifische Produkteigenschaften**, die unter Umständen nachteilig für einzelne Anwendungsbereiche sind. So verhindert die geringe Verdunstungsrate der Pflanzenölester zwar unerwünschte Emissionen, lässt jedoch einen dünnen Ölfilm auf dem gerei-

nigten Werkstück zurück. Wo temporärer Korrosionsschutz gefordert ist, kann dieser vermeintliche Nachteil ein Vorteil sein. Wo jedoch nachfolgende Bearbeitungsschritte hohe Anforderungen an eine fettfreie Oberfläche stellen, ist eine Nachreinigung notwendig. Im Kapitel 3.1 werden Vorteile und Grenzen der neuen Reinigungstechnik ausführlich dargestellt.

Dem im Einkauf höheren Grundpreis der Pflanzenölester steht insbesondere ein geringerer Verbrauch und ein hohes Schmutztragevermögen entgegen. Nähere Aufschlüsselungen finden sich im Kapitel 3.2. „Wirtschaftlichkeit“. Je nach Anforderungen und Anwendungsbereichen stehen heutzutage Produkte mit unterschiedlichen Grundkomponenten und in verschiedenen Modifikationen zur Verfügung. Das Handbuch gibt potentiellen Anwendern einen Überblick und beschreibt Beispiele aus der Praxis.

In einer Reihe von europäischen Projekten wurde die Eignung von Pflanzenölestern für industrielle Anwendungen geprüft und bestätigt. An den Projekten waren (bzw. sind) Forschungseinrichtungen und Institute, Materialprüfungsanstalten, Hersteller- und Anwenderbetriebe, Gewerkschaften und Arbeitgeberverbände beteiligt und wirkten in unterschiedlicher Form zusammen, um Voraussetzungen zu klären und neue Anwendungsbereiche zu erschließen. Der Einsatz von Pflanzenölestern wurde durch das Projekt „SUBSPRINT“ in der Druckindustrie sehr populär. „SUMOVERA“ gab wichtige Impulse zum Einsatz von esterbasierten Betontrennmitteln in der Bauindustrie. „VOFAPro“ schuf mit seiner Forschung weitere Grundlagen für neue Einsatzgebiete. Das neueste **EU-Projekt „LIFE“** arbeitet speziell für die Metallindustrie und präsentiert mit diesem Handbuch die Vorteile der Pflanzenölester für die Metallreinigung.³ Die Kooperationsstelle Hamburg war an allen Projekten maßgeblich beteiligt und hält ein vielfältiges Angebot an Informationsmaterial und Hilfen für interessierte Betriebe bereit. Die Projektpartner im LIFE-Projekt und die Hersteller von Pflanzenölestern stehen darüber hinaus zur Kontaktaufnahme zur Verfügung.

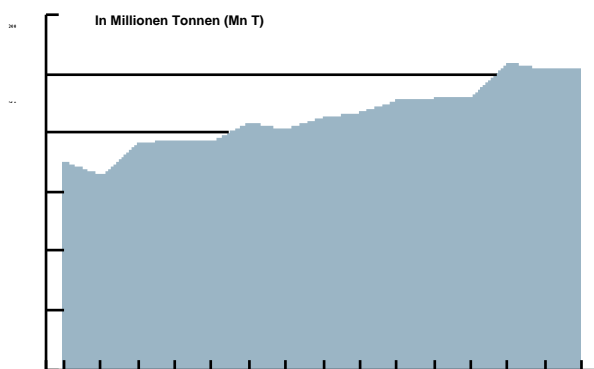
³ Kurzbeschreibungen zu den Projekten, Kontaktadressen und ein Verzeichnis der beteiligten Partner findet sich im Serviceteil des Handbuches (Kapitel 7).

1.2 Nutzung nachwachsender Rohstoffe

Fossile Energieträger sind nur begrenzt verfügbar. Obwohl immer neue Fördergebiete erschlossen werden, sind die Erdölreserven der Erde endlich. Klassische Kaltreiniger sind Mineralölprodukte, deren Verbrauch die natürlichen Ressourcen vermindern. Eine Lösung des Problems ist der verstärkte Einsatz von Produkten auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen. Pflanzenölester sind hierfür ein gutes Beispiel. Für ihre Herstellung werden pflanzliche Öle, beispielsweise aus Raps, Kokos oder Soja, gewonnen und in einem chemisch-technischen Verfahren mit Alkoholen zu Estern umgewandelt.⁴ Die Grundkomponente „pflanzliches Öl“ ist ein gängiges landwirtschaftliches Produkt, das in fast allen Klimazonen angebaut werden kann.

Mehr als 300 Pflanzenarten können zur Erzeugung pflanzlicher Öle genutzt werden. Nur etwa zehn Ölpflanzen werden jedoch in großem Maßstab angebaut, wobei deren Öle und Fette überwiegend im Nahrungsbereich verwendet werden. Durch Sojaöl wird über ein Viertel der Weltmarktnachfrage nach Pflanzenöl abgedeckt. In Westeuropa sind der Raps und die Sonnenblume die bedeutendsten Ölpflanzen.

Weltweite Produktion der zehn wichtigsten Isaaten als Rohstoff zur Pflanzenlgewinnung



Weltweit sind Ertrag und Anbaufläche für Ölpflanzen in den letzten Jahren stetig gestiegen. Als Folge davon stieg auch die **Produktion von Pflanzenöl** von 13,9 Millionen Tonnen (Mn t) im Jahre 1950 bis auf 74,6 Mn t im Jahr 1996.⁵ Die Europäische Union ist weltweit die wichtigste Verbrauchsregion für Öle und Fette. Die EU importiert mehr Ölsaaten als sie selbst produziert, wobei das meiste Öl jedoch verbrauchernah gepresst wird. Ölsaaten liefern neben dem Öl auch proteinreichen Schrot, der zur Tierfütterung eingesetzt wird. Da es sich um Koppelprodukte han-

delt, ist eine ausgeglichene Nachfrage notwendig. Derzeit besteht eher ein Überangebot an Pflanzenöl, während die Soja- und Rapsschrotproduktion hinter der Nachfrage zurückbleibt. In dieser Situation ist die Suche nach technischen Anwendungen für Pflanzenöle durchaus sinnvoll.

Die **technische Nutzung** pflanzlicher Öle nimmt zu. 1980 wurden weltweit etwa 10% der essbaren Pflanzenöle für technische Zwecke verwendet, 1990 waren es schon ca. 14%. Sojabohnen, Raps, Kopra und Ölpalmen liefern relativ preiswerte Öle und sind deshalb auch vorherrschend für technische Anwendungen. Neben dem Preis ist vor allem die Struktur der in den Ölen enthaltenen Fettsäuren für die technischen Anwendungen von Bedeutung. Während beispielsweise ungesättigte Fettsäuren aus ernährungsphysiologischen Gesichtspunkten für Speiseöle wünschenswert sind, beeinflussen diese Fettsäuren die chemische Stabilität technischer Produkte eher negativ. Es kann u.a. zu einer unerwünschten Verharzung und zum „ranzig werden“ kommen. Durch die sorgfältige Auswahl der Öle und die nachfolgenden technischen Verfahrensschritte werden diese Probleme bei Esterprodukten der namhaften Hersteller ausgeschlossen. Die besondere Attraktivität des Einsatzes von Pflanzenölestern für betriebliche Anwendungen liegt in deren technischen Eigenschaften und in der **Förderung von nachwachsenden Rohstoffen**. Kritisch wird dem beispielsweise entgegengehalten, dass Pflanzenöle viel zu wertvoll für industrielle Zwecke sind und eine intensive Landwirtschaft der Umwelt eher schadet als nützt. Die ethisch-moralischen Aspekte dieser Frage können hier nicht näher diskutiert werden. An dieser Stelle nur soviel: Die technische Nutzung einiger Pflanzenöle wird die Nahrungsmittelversorgung der Erdbevölkerung nicht ernsthaft behindern. Den ökologischen Bedenken wird zudem durch eine Lebenszyklusanalyse von Pflanzenölestern begegnet, über deren Ergebnisse im Kapitel 6.3 berichtet wird.

Die ökologisch beste Alternative ist immer die Vermeidung, der Nicht-Einsatz von Reinigungsmitteln. Wo Werkstücke nicht oder nur gering verschmutzt sind, ist eine aufwendige Reinigung unnötig. Eine unterlassene Reinigung kann andererseits im nächsten Bearbeitungsschritt zu neuen Problemen führen, die den vermeintlichen ökologischen Vorteil in sein Gegenteil verkehren.

⁴Eine nähere Beschreibung des Herstellungsprozesses findet sich im Kapitel 2.

⁵Vgl. die Studie: Bertz, K.: Vegetable Oil Based Fatty Acid Ester Production; Herausgeber: Kooperationsstelle Hamburg, Hamburg 1997

1.3 Verringerung von Belastungen am Arbeitsplatz

Eine gute Lösefähigkeit und hohe Aggressivität von Reinigungsmitteln, die gegenüber Verschmutzungen erwünscht ist, kann sich negativ auf die Gesundheit von Beschäftigten auswirken. Haut, Atemwege und Augen sind erste Angriffspunkte für Gefahrstoffe aus Reinigungsmitteln, die als Flüssigkeiten, Dämpfe und Sprühnebel ihre schädigende Wirkung entfalten können. Daher enthalten das Arbeitsschutzgesetz, die Gefahrstoffverordnung und die Unfallverhütungsvorschriften eine Vielzahl von Bestimmungen, die Schadstoffbelastungen minimieren und zu einem sicheren Umgang mit Gefahrstoffen beitragen sollen.

Organische Lösemittel und wässrige Reinigungssysteme bestimmen zur Zeit den Markt in der Oberflächenreinigung. Sie haben jeweils ein spezifisches Gefahrenpotential und sind nur mit entsprechenden Sicherheitsbestimmungen am Arbeitsplatz einsetzbar. Produkte auf Basis von Pflanzenölestern unterstehen selbstverständlich auch dem Arbeitsschutz, haben jedoch eine Reihe von Vorteilen, die das Gefahrenpotential begrenzt und die Gesundheitsbelastungen reduziert. Pflanzenölester sind beispielsweise im Vergleich zu vielen mineralölbasierten Reinigern, z.B. den typischen Kaltreinigern, hautfreundlicher. Die geringe Verdunstung und eine geringe Toxizität zeichnet sie gegenüber organischen Lösemitteln aus. Die positiven Eigenschaften der **Pflanzenölester** veranlasste die Berufsgenossenschaft Druck und Papierverarbeitung sowie die Norddeutsche Metall-Berufsgenossenschaft dazu, ihnen das Prädikat „**Empfehlenswert**“ zu geben.⁶

In der Metallindustrie fordert die Norddeutsche Metall-Berufsgenossenschaft ihre Mitgliedsbetriebe auf, unter dem Gesichtspunkt der Ersatzstoffprüfung (§ 16 Abs.2 Gefahrstoffverordnung) zu ermitteln, ob Reinigungsmittel mit hohem Flammpunkt und niedriger Verdunstung einsetzbar sind. Genannt werden in diesem Zusammenhang u.a. schwerflüchtige Kohlenwasserstoffe (Hochsieder) und vegetabile Reinigungsöle (Pflanzenölester)⁷. Neben der Reinigungswirkung und der Ökologie ist der Arbeitsschutz die „starke Seite“ der Pflanzenölester. Zum besseren Vergleich wird im Folgenden auf die gesundheitliche Problematik von organischen Lösemitteln und wässrigen Reinigern hingewiesen.

Organische Lösemittel

Sie galten lange Zeit als Non-Plus-Ultra der Reinigungstechnik. Insbesondere die Chlorkohlenwasserstoffe (CKW) waren wegen ihrer guten Reini-

gungswirkung, der schnellen Verdunstung und der Unbrennbarkeit sehr begehrt und vielfältig im Einsatz. Der Nachweis ihrer gesundheitsschädlichen und umweltschädigenden Wirkung schränkte ihre Verwendung sehr stark ein und schuf den Bedarf nach neuen, weniger belastenden Reinigungsmitteln. Wässrige Reinigungsmittel gelten beispielsweise als eine Alternative. Aber auch unter den organischen Lösemitteln selbst gibt es Stoffe, die im Vergleich zu CKW's ein reduziertes Gefahrenpotential haben und oft verwendet werden.

Umgangssprachliche Begriffe wie „Reinigungsbenzine“ oder „Kaltreiniger“ beschreiben gängige Produkte aus der Gruppe der organischen Lösemittel, die vor allem in manuellen und halbautomatischen Bereichen Verwendung finden. Es handelt sich hierbei um chemische Verbindungen aus Kohlenstoff und Wasserstoff. Je nach Anordnung der Kohlenstoffatome wird nach kettenförmigen (aliphatischen) oder ringförmigen (cyclischen) Kohlenwasserstoffen unterschieden. Reiniger auf Kohlenwasserstoffbasis zeichnen sich durch gutes Lösevermögen für organische Stoffe aus. Im Gegensatz zu den Chlorkohlenwasserstoffen müssen bei Verwendung von aliphatischen oder cyclischen Kohlenwasserstoffen Brand- und Explosionsgefahren beachtet werden. Entsprechend dem Flammpunkt werden solche Reiniger nach VbF-Gefahrenklassen eingeteilt, mit denen spezielle Schutzvorschriften verbunden sind. In der industriellen Metallentfettung werden in Deutschland jährlich rund 27.000 Tonnen halogenfreie Kohlenwasserstoffreiniger eingesetzt. 90% der Menge findet bei der manuellen Reinigung mit Pinsel und Lappen Verwendung, nur 10% werden in automatischen Reinigungsanlagen umgesetzt.⁸

Der Flammpunkt eines Kohlenwasserstoff-Reinigers ist ein guter Anhaltspunkt für das Verdunstungsverhalten. Je niedriger der Flammpunkt liegt, desto stärker ist die Verdunstung und damit die Abgabe von Schadstoffen in die Umgebungsluft. **Lösemitteldämpfe** können über die Atemwege in den Körper gelangen und dort auf den

⁶Berufsgenossenschaft Druck und Papierverarbeitung: Wasch- und Reinigungsmittel für den Offsetdruck - Zulässige Produkte, Wiesbaden, BG Information 10/99 Best. Nr. 522 und Brancheninitiative zur Reduzierung von Lösemittellemissionen bei der Metallreinigung. Vgl.: Norddeutsche Metall-Berufsgenossenschaft, Hannover 21. Juli 2000.

⁷Vgl.: Maschinenbau und Metall-Berufsgenossenschaft, Reinigen und Entfetten, Düsseldorf 1997, S. 19

⁸Vgl.: Schwarz/Leisewitz: Lösemittellemissionen aus Reinigungsanlagen; Stand der Technik und Minderungspotentiale zur Senkung der VOC-Emissionen; in: Metalloberfläche, Jahrgang 54 (2000) 6, Seite 22

Organismus wirken. Es kann zu Kopfschmerzen, Schwindel, Übelkeit und zu einer Reizung der Schleimhäute kommen. In schweren Fällen sind Schädigungen von Leber, Niere oder Nervensystem möglich. Einige Substanzen stehen sogar unter Krebsverdacht. Durch die richtige Auswahl der Inhaltsstoffe seitens der Hersteller können negative gesundheitliche Wirkungen reduziert werden.

Allen organischen Lösemitteln gemein ist ihre fettlösende Wirkung, die sich nicht nur auf Verschmutzungen beschränkt, sondern auch auf die menschliche Haut wirkt. Stoffe mit hautresorptiven Eigenschaften gelangen durch die unverletzte Haut in den Organismus, wenn beispielsweise ohne entsprechende Schutzhandschuhe gearbeitet wird. Durch die Entfettung der Haut wird die natürliche Schutzschicht stark angegriffen, es kann zu Rissen und zu Ekzemen kommen.

Wässrige Reinigungsmittel

Wässrige Reiniger (anorganische Lösemittel) sind vor allem dort im Einsatz, wo ein hoher Anspruch an die Reinheit von Oberflächen gestellt wird, z.B. vor der Veredelung von Metallen durch Galvanisieren, Emaillieren oder Phosphatieren. Wässrige Reiniger werden zumeist in halbautomatischen oder automatischen Reinigungsanlagen eingesetzt. Während Reinigungsprozesse vor Oberflächenveredelungen in stark alkalischen Bädern (pH Wert = 11–14) durchgeführt werden, kommen „Neutralreiniger“ (pH Wert = 7–9) in erster Linie bei der Zwischen- und Endreinigung zum Einsatz. Saure Reinigungslösungen (pH Wert = 6–1) werden überwiegend für spezielle Anwendungszwecke, beispielsweise das Beizen, eingesetzt. Die Reinigungsmittel setzen sich ganz allgemein aus anorganischen Salzen, Tensiden, Komplexbildnern und Inhibitoren zusammen.

Im Vergleich zu flüchtigen Kohlenwasserstoffreinigern wird die Gefahrstoffbelastung der Luft durch den Einsatz wässriger Reiniger zumeist verbessert. Dem stehen die stark ätzenden und reizenden **Wirkungen** der alkalischen und sauren Reiniger **auf Haut und Schleimhäute** gegenüber. Die Einwirkungen von Laugen auf Haut und Schleimhäute können gefährlicher sein als die von Säuren. Laugen können durch Quellung von Zellbestandteilen zu tiefgreifenden, schmerzhaften Gewebeerstörungen (Nekrosen) führen. Unter Säureeinwirkung zieht sich das geschädigte Gewebe in der Regel zusammen und bildet so eine Schutzschicht gegen den weiteren Säureangriff (Ausnahme: Flusssäurehaltige Produkte). Auch hier hängt das Ausmaß der schädigenden Wirkung von der Art der Substanz, der Menge, der Konzentration und der Temperatur des einwirk-

kenden Stoffes sowie von der Dauer der Einwirkung ab. Insbesondere beim Ansetzen pulverförmiger Reiniger oder beim Befüllen von Anlagen sind die Augen gefährdet, da hier mit bleibenden Schäden zu rechnen ist. Die Wirkung reicht von Reizungen der Augen über Hornhauttrübung bis hin zur Erblindung. Spritzer von Laugen, selbst in 1%iger Konzentration, können den Verlust des Augenlichtes bedeuten. Besonders gefährlich ist, dass derartige Spritzer nicht sofort wahrgenommen werden.

Sicherheit durch Pflanzenölester

Neue Erkenntnisse aus Wissenschaft und Forschung führen immer wieder zu schärferen Sicherheitsbestimmungen. Ein Beispiel hierfür ist die kontinuierliche Absenkung von Grenzwerten für Schadstoffkonzentrationen am Arbeitsplatz während der letzten Jahrzehnte. Manche Gefahrstoffe, die früher fast bedenkenlos verwendet wurden (z.B. Chlorkohlenwasserstoffe), dürfen heute nur noch mit starken Einschränkungen oder gar nicht mehr eingesetzt werden. Berufskrankheiten, die es früher offiziell nicht gab, sind heute anerkannt und werden im Verzeichnis der Berufskrankheiten geführt. Ein Beispiel ist die „Polyneuropathie oder Enzephalopathie durch organische Lösemittel oder deren Gemische“, die auf Gehirnschädigungen durch Lösemittelexposition abzielt. Im Sinne eines **präventiven Arbeitsschutzes** sollten daher die Stoffe bevorzugt werden, die ein großes Sicherheitspotential haben. Pflanzenölester sind hierbei eine gute Wahl.

Selbst dort, wo gesetzliche Regelungen für den Umgang mit Gefahrstoffen den Schutz der Gesundheit ausreichend sichern würden, bleibt ein gewisses „Restrisiko“. Informationsdefizite oder die Sorglosigkeit im Umgang mit Schutzbestimmungen, manchmal sogar die bewusste Umgehung von vermeintlich beschwerlichen Bestimmungen (z.B. das Tragen von Schutzhandschuhen) können zu Gefährdungen führen. Um die gesundheitlichen Folgen beim Umgang mit Gefahrstoffen und Überraschungen aufgrund des „menschlichen Faktors“ im Betrieb zu minimieren, ist daher die Auswahl der richtigen, der sicheren, Produkte sehr wichtig.

Je gefährlicher ein Reinigungsmittel von Haus aus ist und je länger Beschäftigte mit dieser Substanz Kontakt haben, desto gravierender können die Folgen sein. Produkte auf Basis von Pflanzenölestern schaffen aufgrund ihrer Herkunft, ihrer Zusammensetzung, ihrer Eigenschaften und ihrer Verarbeitung ein großes Sicherheitspolster für Betriebe und Beschäftigte.

- Ein hoher Flammpunkt schützt vor Brand- und Explosionsgefahren.

- Geringe Verdunstungsraten entlasten die Raumluft.
- Die geringe Toxizität macht die Überwachung von Luftgrenzwerten (Grenzwerte gemäß TRGS 900) entbehrlich.
- Berufskrankheiten sind bei bestimmungsgemäßem Gebrauch nicht zu erwarten.

Selbstverständlich müssen auch beim Umgang mit Pflanzenölestern bestehende Sicherheitsbestimmungen eingehalten werden. Die geringe Verdunstung der Pflanzenölestern hat den Nachteil, dass unabsichtliches Verschütten zu einer Rutschgefahr führen kann. Neben einer sorgfältigen Handhabung wird empfohlen, Matten oder Roste an den Reinigungsarbeitsplätzen zu installieren. Da diese Produkte als Reinigungsmittel die Haut auf Dauer entfetten können, ist beispielsweise Hautschutz notwendig. Die Reiniger aus Pflanzenölestern besitzen eine gute **Hautverträglichkeit** und ein geringes Hautschädigungspotential. Diese Aussage stützte sich bisher v.a. auf die positiven Praxiserfahrungen – auch aus der Druck- und Bauindustrie. Inzwischen wurde dies in einer wissenschaftlichen Studie nachgewiesen. Die Kooperationsstelle Hamburg hat eine vergleichende Untersuchung zur lokalen Hautverträglichkeit von Produkten zur Metallreinigung durchführen lassen⁹

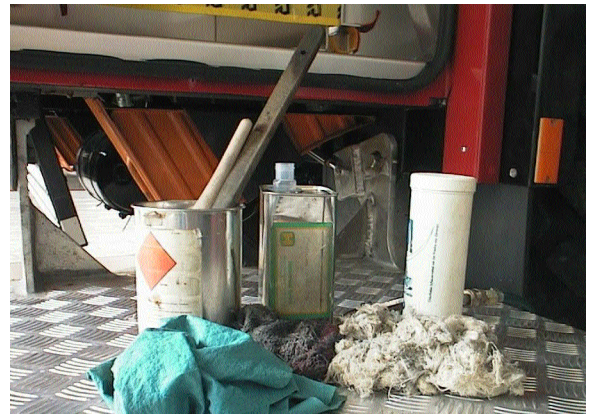
In der Laborstudie wurden im PATCH-Test zehn verschiedene Reiniger getestet: drei typische Kaltreiniger aus Kohlenwasserstoffgemischen (AIII Aliphate, Hochsieder Aliphate, AIII Isoparaffine), ein wässrig-alkalischer Tensidreiniger und fünf Esterprodukte mit unterschiedlicher Zusammensetzung. Die drei getesteten Kohlenwasserstoff-Reiniger führten bei 6-stündigem Hautkontakt zu deutlichen Unverträglichkeitsreaktionen (z.B. starke Hautrötungen) bei fast allen Versuchspersonen. Alle anderen Testprodukte zeigten keine bis geringe Wirkungen und wurden noch einmal für 23 Stunden appliziert. Bei dieser Dauereinwirkung wurden drei Esterölprodukte praktisch ohne unerwünschten Reaktionen vertragen – eine esterbasierte Mikroemulsion und der wässrige Reiniger zeigten leichte Irritationswirkungen. Diese Ergebnisse zeigen, dass die pflanzenölbasierten Reiniger wesentlich hautverträglicher einzustufen sind als die mineralölbasierten Produkte.

Aus Sicht des präventiven Arbeitsschutzes sind **Pflanzenölestern in der Summe positiv** zu werten. Es ist lohnenswert, ihre Eignung für die Reinigungsaufgaben im Betrieb zu testen. An dieser Stelle kann selbstverständlich nur eine Aussage zu der Produktgruppe der Pflanzenölestern und den bisher vorliegenden Erfahrungen gemacht werden, die sehr positiv sind. Da die Formulierung

der einzelnen Produkte in der Verantwortung der Hersteller liegt und die Rezepturen nicht veröffentlicht werden, sind bei der Verwendung von Pflanzenölestern alle Vorsichtsmaßnahmen zu treffen, die gesetzlich vorgeschrieben oder vom Hersteller empfohlen werden. Für den Umgang mit allen chemischen Produkten gilt, sich vor der Verwendung über mögliche Gefahren und den bestimmungsgemäßen Gebrauch zu informieren. Dies kann den Anwenderbetrieben nicht abgenommen werden.¹⁰



Lösemittelgeschädigte Handflächen (Baubereich)



Ester ersetzen Lösemittel

⁹ Hautstudie durchgeführt von: BioSkin, Institut für Dermatologische Forschung und Entwicklung GmbH, Hamburg. Studie kann bezogen werden über die Kooperationsstelle Hamburg.

¹⁰ Weitere ausführliche Beschreibungen zu den Eigenschaften und Vorteilen der Pflanzenölestern finden sich insbesondere in den Kapiteln 2, 3 und 6

1.4 Beitrag zum Klimaschutz

Flüchtige organische Verbindungen können Gesundheitsgefahren und Umweltschäden verursachen. NMVOC-Emissionen¹¹ aus Industrie, Gewerbe und Haushalt tragen zu Smog-Situationen im Sommer, zur Zerstörung der Ozonschicht in der oberen Atmosphäre und zur globalen Erwärmung der Erde bei. Lösemittellemissionen machen den größten Teil der NMVOC-Emissionen in Deutschland aus. Die Substitution leicht flüchtiger Lösemittel durch schwer verdunstende Stoffe, der vermehrte Einsatz geschlossener Anlagen und die Reduktion von diffusen Emissionen wird notwendig sein, um Menschen und Umwelt besser vor den Gefahren zu schützen. Pflanzenölester können hierbei einen sehr wertvollen Beitrag leisten.

Leicht flüchtige organische Verbindungen und Stickstoffoxide zählen zu den wichtigsten Vorläufersubstanzen, aus denen sich Ozon entwickelt. Dieses Gas ist chemisch sehr reaktiv und kann deshalb Menschen, Umwelt und Materialien schädigen. Ozon spielt in der Erdatmosphäre eine doppelte Rolle, die durch die Begriffe „Sommer-smog“ und „Ozonloch“ charakterisiert werden können. Im Kapitel 6.1 ist daher die Ozonproblematik näher erläutert.

Emissionsquellen von flüchtigen organischen Verbindungen (NMVOC) in Deutschland

in Tausend Tonnen	1990 absolut	1997* absolut	1997* in %
Lösemittelverwendung	1160	1010	55,9
Industrieprozesse	153	126	7,0
Brennstoffgewinnung und -verteilung	220	42	2,3
Übriger Verkehr	76	52	2,9
Straßenverkehr	1428	479	26,5
Haushalte	129	78	4,3
Kleinverbraucher	9	5	0,3
Industriefeuerungen	12	8	0,4
Kraft- und Fernheizwerke	8	7	0,4
Gesamt	3195	1807	100,0

* vorläufige Angaben (Stand: Februar 1999).
Quelle: Umweltbundesamt, Pressemitteilung Ozon v. 30.06.99

¹¹ VOC = Volatile Organic Compounds = flüchtige organische Verbindungen. In der Umweltberichterstattung wird auch oft der Begriff NMVOC (= Non-Methan Volatile Organic Compounds) verwendet, um den Anteil von Methan herauszurechnen. Beabsichtigt ist, die durch menschliches Verhalten verursachten Emissionen genauer zu beschreiben, da Methan u.a. durch Tiere und Vulkanausbrüche produziert wird.

¹² Verpflichtung aus dem „Genfer Protokoll“ der UN Wirtschaftskommission für Europa (UN ECE) zur Reduzierung

Deutschland hat bisher seine **internationale Verpflichtung** zur Verminderung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen erfüllen können.¹² Der Rückgang dieser Schadstoffe um rund 1,4 Mio. t (43 %) in den Jahren 1990 bis 1997 wurde jedoch hauptsächlich im Bereich des Straßenverkehrs durch neue gesetzliche Abgasregelungen und den Austausch der 2-Takt-Fahrzeuge in den neuen Bundesländern erreicht. Dieser Modernisierungsschub, der durch die Folgen der deutschen Einheit begünstigt wurde, wird sich so schnell nicht wiederholen lassen.

Die **Lösemittelverwendung** ist mit Abstand der Hauptverursacher der NMVOC-Emissionen in Deutschland. Fast 56% der Emissionen der flüchtigen organischen Verbindungen kommen aus dieser Quelle. Im Verkehrsbereich (Emissionsanteil rund ein Drittel) entstehen die NMVOC-Emissionen überwiegend aus unverbranntem Kraftstoff sowie aus der Verdunstung von Kraftstoffen aus dem Kraftstoffsystem und an Tankstellen.

Industrie und Gewerbe setzen Lösemittel in vielfältigen Verfahren als Bestandteile in Farben und Lacken, Klebern, Abbeizern, Reinigungsmitteln, Betontrennmitteln etc. ein. Die offenen Anwendungen und die diffusen Emissionen stellen dabei das Hauptproblem dar. Lösemittel unterscheiden sich untereinander nicht nur in ihrem Verdunstungsverhalten, sondern auch in ihren schädlichen Wirkungen (Toxizität). Die Art des Lösemittels, die eingesetzten Mengen und das Verfahren sind entscheidend für das Gefahrenpotential.

Die Oberflächenreinigung mit Lösemitteln ist in fast allen Branchen verbreitet. 1994 wurden beispielsweise in Deutschland rund 130.000 Tonnen Lösemitteldämpfe durch die Oberflächenreinigung in die Luft emittiert.¹³ Dies entspricht einem Anteil von rund 13% an den NMVOC-Emissionen aus der Lösemittelverwendung. Neben der Farbherstellung und -verarbeitung, der Klebebeschichtung und Klebstoffherstellung gehören die Metallindustrie und die Druckindustrie zu den Industriebereichen, die einen erheblichen Anteil zu dieser Belastung beitragen. Der Einsatz von Lösemitteln in Anlagen zur Oberflächenreinigung beläuft sich gemäß

flüchtiger organischer Verbindungen bis 1999 um 30% (Basisjahr 1988).

¹³ Vgl.: Mahrwald, B. und Böttcher-Tiedemann, C.: Ökologische Anforderungen an umweltverträgliche Reinigungsprozesse – aktuelle und künftige rechtliche Regelungen; in: Kooperationsstelle Hamburg: Pflanzenölbasierte Ester – neue Wege in der Oberflächenreinigung, Workshopdokumentation, Hamburg 1997, Seite 9.

einer 1999 erschienenen Studie des Umweltbundesamtes auf **63.700 Tonnen pro Jahr** (Bezugsjahr 1998). Dabei wird die Oberflächenreinigung in die Sektoren Dienstleistung außerhalb der Industrie, Pkw-Entkonservierung, allgemeine industrielle Metallentfettung, industrielle Spezialanwendungen, Präzisionsreinigung und Entlackung unterteilt. Die Emissionen aus allen diesen Prozessen in die Luft betragen ca. 31.000 Tonnen, rund 32.500 Tonnen werden entsorgt. Die sehr diffusen Anwendungen machen eine genaue und vollständige Erfassung nahezu unmöglich. So werden Lösemittelanwender wie bspw. Aufzugservicefirmen und andere Vor-Ort-Montagedienste in der genannten Studie als Emissionsquelle nicht aufgeführt.¹⁴

Die politischen Diskussionen um die Lösemittelverwendung und das Ozonproblem wirken sich in Form von Regulierungen und Auflagen auch auf die Betriebe mit Oberflächenreinigung aus. Die Lösemittelverwendung in Industrie, Gewerbe und Haushalten gerät verstärkt ins Visier der Umweltpolitik. Die Bundesregierung hat sich in internationalen Vereinbarungen zu einer drastischen Reduzierung der VOC-Emissionen verpflichtet. Das „**Göteborger Protokoll**“ der UN Wirtschaftskommission für Europa (UN ECE) vom 1.12.1999 sieht für Deutschland eine **Reduzierung der VOC-Emissionen um 69%** bis zum Jahr 2010 vor (Basisjahr 1990). Für die Lösemittelverwendung gelten seit dem 29. März 1999 die Anforderungen der EG-Lösemittelrichtlinie (1999/13/EG), die bis zum 31. März 2001 in nationales Recht umgesetzt werden muss. Das Umweltbundesamt erwägt, bei der nationalen Umsetzung der Lösemittelrichtlinie niedrigere Schwellenwerte für den Jahresverbrauch festzulegen, um so mehr Betriebe in die Überwachung einzubeziehen.¹⁵

Neben technischen Maßnahmen trägt eine veränderte Zusammensetzung von Produkten zugunsten schwer flüchtiger Bestandteile und die Verwendung von Ersatzstoffen ohne VOC-Potential zur Schadstoffminderung bei. Pflanzenölester haben hierbei durch ihre geringe Flüchtigkeit besondere Vorteile, insbesondere bei offenen Anwendungen. Mit der Verwendung von Pflanzenölestern sind die Betriebe gegenüber den Anforderungen des modernen Umweltschutzes „auf der sicheren Seite“.

¹⁴ Vgl.: Schwarz/Leisewitz: Stand der Technik und Potentiale zur Senkung der VOC-Emissionen aus Anlagen zur Reinigung von Oberflächen; Forschungsbericht des Umweltbundesamtes Nr. 29744906/2, Berlin 1999, Seite 29; und: Mahrwald, B.: EG-Lösemittelrichtlinie – Umsetzung in Deutschland und weitere Ziele; in: JOT3/2000, Seite 22–27

¹⁵ a.a.O., Seite 26

1.5 Praxisbeispiele außerhalb der Metallindustrie

Druckindustrie: Reinigungsarbeiten im Offsetdruck

Seit über 10 Jahren werden Produkte auf Basis von Pflanzenölestern in der deutschen Druckindustrie zum Reinigen von Offsetdruckmaschinen eingesetzt. Viele Betriebe haben positive Erfahrungen mit diesen Reinigern gesammelt und sind zur Daueranwendung übergegangen. Die Berufsgenossenschaft Druck und Papierverarbeitung stuft die **Pflanzenölester** als „**empfehlenswert**“ ein. Reinigungsarbeiten an Druckmaschinen sind mehrmals täglich erforderlich, wenn sich Druckformen, Farben und Papierformate ändern oder es beim Fortdruck zu Problemen kommt. Farbwalzen, Farbkästen, Gummidrucktücher, Gegendruckzylinder und Feuchtwerke sind von den Reinigungsarbeiten im Offsetdruck betroffen. Traditionell werden hierfür mineralölbasierte Reiniger eingesetzt. Sehr oft sind Testbenzine im Einsatz, die teilweise mit Zusätzen von aromatischen Kohlenwasserstoffen versehen sind. Die flüchtigen Lösemittel gerieten in der Druckbranche in die Kritik, da ihre Dämpfe bei den vielen manuellen Reinigungsarbeiten direkt eingeatmet werden und der Kontakt mit den Flüssigkeiten zu Hautkrankheiten führt. Zu Beginn der 90er Jahre konnten fast 40% der im Bereich der Berufsgenossenschaft Druck und Papierverarbeitung angezeigten Berufskrankheiten auf die Einwirkungen von Lösemitteln zurückgeführt werden. Rund ein Drittel aller angezeigten Berufskrankheiten bestanden aus Hauterkrankungen. Technische Lösungen und die Erprobung von Ersatzstoffen hatten daher hohe Priorität.

Reinigungsmittel aus Pflanzenölestern wurden erstmals 1990 auf dem deutschen Markt für den Offsetdruck angeboten. Die in Dänemark entwickelte Technologie hat eine hohe Reinigungskraft bei Offsetfarben und anderen im Druckbereich typischen Verschmutzungen. Der Einsatz von Pflanzenölestern ist mittlerweile an den meisten Maschinentypen im Offsetdruck möglich. Durch die Zugabe von Emulgatoren können die Pflanzenölester mit den Verschmutzungen mittels Wasser von den Farbwalzen, dem Gummiducktuch etc. abgewaschen werden. Der gesundheitliche Vorteil der geringen Flüchtigkeit verlangt in technischer Hinsicht jedoch eine sorgfältige Handhabung der Produkte. Falsch dosiertes und fehlgeleitetes Reinigungsmittel verdampft nicht mehr automatisch in die Luft, sondern verbleibt auf den Maschinenteilen. Bei der Verwendung von Pflanzenölestern gilt daher: Weniger ist mehr!



Manuelle Reinigung einer Offsetdruckmaschine mit Pflanzenölestern

1995 wurde unter Federführung der Berufsgenossenschaft Druck und Papierverarbeitung und unter Mitarbeit der Industriegewerkschaft Medien und des Bundesverbandes Druck e.V. ein **freiwilliges Branchenabkommen** vereinbart, dem sich Druckmaschinenhersteller, Zulieferbetriebe und der Verband der Druckfarbenindustrie anschlossen.¹⁶ Kernpunkt des Branchenabkommens ist die Vereinbarung von chemischen Kriterien für Reinigungsmittel im Offsetdruck und einer festgelegten Verfahrensweise zur gesundheitlichen und technischen Überprüfung von Reinigungsmitteln.

Hersteller von Reinigungsmitteln, die mit dem Zertifikat „BG-geprüft“ werben wollen, müssen die Rezeptur ihrer Produkte der Berufsgenossenschaft gegenüber offen legen. Diese wird anonymisiert und vom Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitssicherheit (BIA) toxikologisch bewertet. Eine von der Berufsgenossenschaft eingesetzte ehrenamtliche Expertengruppe prüft und beurteilt darüber hinaus im Zweifelsfall und berät die Unfallversicherung in ihrer Entscheidung. Danach erfolgt eine technische Prüfung bei einem in der Drucktechnik anerkannten Institut. Die Grundzüge des Verfahrens werden von einem Beraterkreis überwacht, der aus den Tarifpartnern und wissenschaftlichen Instituten besteht.

Die Berufsgenossenschaft Druck und Papierverarbeitung fordert ihre Mitgliedsbetriebe zur Verwendung schwer flüchtiger Reinigungsmittel auf. Pflanzenölester sind empfehlenswert, ihre Verwendung entspricht dem Stand der Technik

(s. folgende Tabelle). Die manuelle Reinigung von Druckmaschinen kann problemlos erfolgen, ältere automatische Wascheinrichtungen sollten hingegen geprüft und unter Umständen für den Einsatz der Ester modifiziert werden.

Eingruppierung von Reinigungsmitteln nach dem Branchenabkommen

Spezialbenzin AI Flammpunkt <21° C	Für vorhandene und neue Druckmaschinen nicht zulässig.
Testbenzin AII Flammpunkt 21–55° C	Für vorhandenen Maschinenbestand nur in Ausnahmefällen zulässig. Für neue Druckmaschinen nicht zulässig.
Testbenzin AIII Flammpunkt 55–100° C	Für vorhandenen Maschinenbestand und neue Druckmaschinen zulässig.
Schwerflüchtige Kohlenwasserstoffe Flammpunkt über 100° C/Hochsieder	Für vorhandene und neue Druckmaschinen empfehlenswert.
Pflanzenölester Flammpunkt wesentlich über 100° C	Für vorhandene und neue Druckmaschinen empfehlenswert.

Der 10. Mai 1995 gilt als Stichtag für die Eingruppierung in Neu- und Altmaschinen. Quelle: Berufsgenossenschaft Druck und Papierverarbeitung: Brancheninitiative zur Verminderung von Lösemittelmissionen im Offsetdruck, Wiesbaden 5/96, S.10

¹⁶ Vgl.: Berufsgenossenschaft Druck und Papierverarbeitung: Brancheninitiative zur Verminderung von Lösemittelmissionen im Offsetdruck, Wiesbaden 5/96, Best.Nr. 228

Die Berufsgenossenschaft Druck und Papierverarbeitung und die Kooperationsstelle Hamburg haben Produktlisten für zulässige bzw. empfehlenswerte Reinigungsmittel erstellt. Die Liste der Berufsgenossenschaft wird auf Grundlage der Kriterien aus dem Branchenabkommen geführt und im halbjährlichen Rhythmus aktualisiert.¹⁷ Die Produktliste der Kooperationsstelle Hamburg kann u.a. über das Internet abgerufen werden. Druckereien und Beschäftigten geben diese Aufstellungen wichtige Hinweise für die Auswahl der Wasch- und Reinigungsmittel im Offsetdruck. Zusätzlich stellen die meisten Druckmaschinenhersteller eigene Produktlisten zur Verfügung.

Die Diskussion über die Einsatzmöglichkeiten der Pflanzenölestern und die Brancheninitiative hat die **Umstrukturierung des Marktes** positiv beeinflusst. Auf dem Reinigungsmittelmarkt für Offsetdruckereien haben die leicht flüchtigen und daher stark die Atemluft belastenden Al-Lösemittel deutliche Marktanteile verloren. Die weniger flüchtigen AIII-Lösemittel und die schwer flüchtigen Hochsieder auf Mineralölbasis profitierten demgegenüber vom Trend zur Entlastung der Atemluft. Hierbei dürfte der Preisvorteil der Mineralölprodukte gegenüber den Pflanzenölestern eine wichtige Rolle spielen. Die pflanzenölbasierten Produkte haben zur Zeit bei der Verkaufsmenge einen Marktanteil, der, je nach Berechnung, zwischen 2 und 5% liegt. Bei einem Vergleich der Reinigungsprozesse dürfte der Anteil der pflanzenölbasierten Produkte jedoch höher liegen, da diese Produkte einen geringeren Verbrauch haben. Mischprodukte erschweren zudem eine scharfe Trennung zwischen mineralölbasierten und pflanzenölbasierten Produkten.

Die Kooperationsstelle Hamburg stellt Fachinformationen zu Pflanzenölestern und Reinigungsarbeiten im Offsetdruck auf ihren Internetseiten zur Verfügung. Die Adresse sowie eine Liste einschlägiger Veröffentlichungen befindet sich im Service-Teil (Kapitel 7) dieses Handbuches.

Bauindustrie: Einsatz als Betontrennmittel

In den letzten Jahren hat sich der Markt für Betontrennmittel in Europa deutlich verändert. Seit Beginn der 90er Jahre gibt es neue Trennmittel auf Basis von Pflanzenölen, die den mineralölbasierten Trennmitteln in vielen Bereichen technisch gleichwertig, auf manchen Gebieten sogar überlegen sind. Die neuen Produkte bieten ökologische Vorteile. Betontrennmittel werden auf Bau-

stellen und in Fertigteilerwerken verwendet, wobei die mineralölbasierten Produkte noch den Großteil des Marktes ausmachen. Der Verbrauch von Betontrennmitteln in Deutschland wird auf 15–20 Mio. Liter pro Jahr geschätzt.

Betontrennmittel werden auch als Schalöl bezeichnet. Sie sollen gewährleisten, dass sich die Schalung aus Holz, Metall oder Kunststoff, die dem flüssigen Beton den Halt bis zum Abbinden gibt, nach dem Trocknen problemlos entfernen vom Beton lässt. Es soll eine gut aussehende Betonoberfläche entstehen.

Es geht aber nicht nur um die Trennung von Schalung und Beton. Ein gutes Trennmittel soll auch weitere **positive Anwendungseigenschaften** haben. Dazu gehört u.a. die Unterdrückung von Porenbildung, eine Verträglichkeit mit den Betonzusatzstoffen, eine geringe Abmehlungstendenz des Betons nach der Trocknung, eine gleichmäßige Farbe der Betonoberfläche, ein geringer Verbrauch und die Vermeidung einer Hydrophobierung. Hinzu kommt eine Unempfindlichkeit gegenüber unterschiedlichen Temperaturen, die Möglichkeit des Versprühens des Trennmittels und eine geringe Verdunstung bei hohen Temperaturen. Die Trennmittel sollen selbstverständlich dem Arbeits- und Umweltschutz Rechnung tragen, keine leicht flüchtigen organischen Verbindungen enthalten, geruchsneutral und nicht entflammbar sein sowie keine Hautirritationen hervorrufen.

Die Liste der Anforderungen ist lang und erfordert von den Herstellern eine sorgfältige Formulierung der Produkte. Pflanzenölbasierte Trennmittel sind entsprechend getestet und werden schon seit Jahren von verschiedenen Firmen erfolgreich eingesetzt. Technische Vorteile der pflanzenölbasierten Trennmittel liegen u.a. in der guten Qualität der Betonoberflächen, dem niedrigen Verbrauch und den geringen Verdunstungsverlusten bei hohen Temperaturen. Nachteilig ist, dass bei der Schalungsreinigung und beim Auftrag des Trennmittels sehr sorgfältig gearbeitet werden muss und dass die esterbasierten Trennmittel vergleichsweise teuer sind.

Pflanzenölbasierte Trennmittel können in zwei Typen unterschieden werden:

- Produkte auf Basis von Pflanzenölen oder Pflanzenölestern ohne Zusatz von Wasser. Diese Trennmittel sehen so aus wie die üblichen mineralölbasierten Produkte, haben aber nicht deren typischen Geruch.
- Wässrige Emulsionen. Diese Produkte sind weiß und undurchsichtig wie Milch. Nach dem Auftragen verdunstet das Wasser und ein sehr dünner und gleichmäßiger Ölfilm bleibt zurück.

¹⁷ Berufsgenossenschaft Druck und Papierverarbeitung: Wasch- und Reinigungsmittel für den Offsetdruck – Zulässige Produkte, Wiesbaden, BG Information 1099 Best. Nr. 522



Da pflanzenölbasierte Trennmittel keine VOC-relevanten Bestandteile enthalten und leichter biologisch abbaubar sind, ist ihre Verwendung ein Beitrag zum Gesundheits- und Umweltschutz.¹⁸ Der Zusatz bestimmter Additive zum Trennmittel kann jedoch zu einem Allergierisiko für Bauarbeiter führen und ist mit dem Risiko bei der Verwendung herkömmlicher Trennmittel vergleichbar. Der Hautschutz sollte daher in keinem Fall vernachlässigt werden. Die Hersteller sind in Bezug auf die Auswahl der Additive zu größter Sorgfalt aufgerufen und die Anwender sollten diesen Punkt bei der Produktauswahl beachten. Vermieden werden sollte das Einatmen von Ölnebeln beim Versprühen der Produkte. Dies gilt für alle Arten von Trennmitteln gleichermaßen. Aus Sicht der Bau-Berufsgenossenschaften ist die Gefährdung durch Betontrennmittel eng mit der chemischen Zusammensetzung der Produkte, dem Flammpunkt und den Anwendungsbedingungen verbunden. Betrachtet man die übliche Anwendungstechnik des Aufsprühens, so sind unter diesen Bedingungen selbst Flüssigkeiten der Feuergefährdungsklasse AIII noch entzündbar. Erst wenn der Flammpunkt oberhalb von 100°C liegt, ist eine Entzündung des Sprühstrahls unter den Bedingungen, die auf Baustellen angetroffen werden, nicht mehr möglich.¹⁹ Pflanzenölbasierte Produkte erfüllen diese Kriterien und sind daher auch in diesem Punkt sicher in der Anwendung.

Die Berufsgenossenschaften der Bauwirtschaft haben zusammen mit den im Verband Deutsche Bauchemie e.V. organisierten Herstellern Produktgruppen für Betontrennmittel erar-

beitet. Dadurch soll die Suche nach Produkten mit geringem Gefährdungspotential vereinfacht werden. Ein auf dem Sicherheitsdatenblatt oder dem Etikett vermerkter Code erleichtert die Erkennung. Kriterien für die Einteilung der Produktgruppen sind die Entzündbarkeit und der Gehalt an aromatischen Kohlenwasserstoffen. Dadurch ergeben sich sechs Produktgruppen (s. Tabelle unten). Nicht berücksichtigt sind die leicht entzündlichen Produkte, die nur noch einen sehr kleinen Marktanteil besitzen.

Die Gruppe BTM 10 kennzeichnet die Produkte mit dem geringsten Gefährdungspotential. Dort sind Produkte auf Pflanzenölbasis, aber auch einige Produkte auf der Basis von Mineralöl eingestuft. Neben diesem Einstufungssystem existiert noch der „Blaue Engel“ des Umweltbundesamtes, der nach RAL UZ 64 für biologisch schnell abbaubare Schmierstoffe und Schalöle vergeben wird. Ein vom EU-Projekt SUMOVERA entwickelter Kriterienkatalog für umwelt- und gesundheitsfreundliche Betontrennmittel, der nähere Differenzierungen zulässt, wurde der Fachöffentlichkeit 1999 zur Diskussion vorgelegt.²⁰ Weitere Fachinformationen und eine Produktliste von Herstellern pflanzenölbasierter Trennmittel können über die Internetseiten der Kooperationsstelle Hamburg abgerufen werden. Die Adresse sowie eine Liste einschlägiger Veröffentlichungen befindet sich im Service-Teil (s. Kapitel 7) dieses Handbuchs.

Einteilung von Betontrennmitteln nach dem Gefährdungspotential¹⁹

Produktcode	Bezeichnung	Kennzeichnung	R- und S-Sätze	VbF-Klasse
BTM 10	Betontrennmittel, kennzeichnungsfrei	-	-	-
BTM 20	Betontrennmittel, dünnflüssig	Xn gesundheitsschädlich	R 65 S 46 - 62	- -
BTM 30	Betontrennmittel, entaromatisiert	Xn gesundheitsschädlich	R 65 S 24 - 46 - 62	A III
BTM 40	Betontrennmittel, aromatenarm	Xn gesundheitsschädlich	R 65 S 24 - 46 - 62	A III
BTM 50	Betontrennmittel, entzündlich, entaromatisiert	Xn gesundheitsschädlich	R 10 - 65 S 24 - 46 - 62	A II
BTM 60	Betontrennmittel, entzündlich, aromatenarm	Xn gesundheitsschädlich	R 10 - 65 S 24 - 46 - 62	A II

¹⁸ Ausnahme: Emulsionen für den Einsatz im Winter enthalten bis zu 5% Alkohol als Frostschutz.

¹⁹ Kersting, K.: Einsatz von Trennmitteln auf Basis nachwachsender Rohstoffe aus Sicht der Bau-Berufsgenossenschaft; in: Dokumentation zum Workshop: Perspektiven

ven für pflanzenölbasierte Betontrennmittel, Projekt SUMOVERA, Kooperationsstelle Hamburg 1999.

²⁰ Vgl.: Dokumentation zum Workshop: Perspektiven für pflanzenölbasierte Betontrennmittel, Projekt SUMOVERA, Kooperationsstelle Hamburg 1999.

2. Was sind eigentlich Pflanzenölester?

2.1 Grundkomponenten und Herstellungsprozess

Pflanzenöl und Alkohol sind die Grundkomponenten für die Herstellung von Pflanzenölestern. Reine Pflanzenöle bestehen aus Triglyceriden. Dies sind relativ große, verzweigte Moleküle, die den Ölen eine hohe Viskosität verleihen, sie also sehr dickflüssig machen. Für die Verwendung zum Kochen im Haushalt ist dies unerheblich, für viele technische Anwendungen jedoch sehr störend. Pflanzenöle enthalten zudem von Natur aus verschiedene Fettsäuren, die ihnen unterschiedliche Eigenschaften verleihen. Sind beispielsweise mehrfach ungesättigte Fettsäuren aus ernährungsphysiologischer Sicht sehr erwünscht, so kann dies im technischen Bereich zu Oxidation und Instabilität führen.

Die richtige Formulierung eines pflanzenölbasierten Reinigers beginnt mit der Auswahl der wichtigsten Grundsubstanz: des Pflanzenöls. Pflanzenöle sind Ester des dreiwertigen Alkohols Glycerin, der mit drei Fettsäureketten gekoppelt ist. Jede Fettsäure wird durch die Zahl der Kohlenstoffatome (C) und die Anzahl der Doppelbindungen charakterisiert. Die verschiedenen Fettsäuren verleihen den Ölen unterschiedliche Eigenschaften. Fazit ist, dass die richtige **Auswahl des Pflanzenöls** der erste Schritt zu einer erfolgreichen Formulierung des späteren Produkts ist.

Nach der Auswahl des Pflanzenöls muss der **dazu passende Alkohol** gewählt werden, um die gewünschten Produkteigenschaften zu erzielen. Der Alkohol kann aus nativen Quellen erzeugt werden (Bio-Alkohol), wird aber aus Kostengründen zumeist aus Mineralöl gewonnen. Das Pflanzenöl bleibt jedoch die Hauptsubstanz des späteren Esters. Durch die Reaktion mit Alkohol findet eine Veresterung bzw. Umesterung statt. Die beiden Prozesse werden im Folgenden näher beschrieben. Als Ergebnis entsteht ein chemisch verändertes Produkt auf Basis nachwachsender Rohstoffe. Wenn in diesem Handbuch von Estern (Pflanzenölestern, Fettsäureestern) gesprochen wird, sind Produkte gemeint, die nach einer **chemisch-technischen Umwandlung der Pflanzenöle** entstehen. Im Prinzip gibt es zwei verschiedene Wege für diese Umwandlung, damit Fettsäuren aus natürlichen Ölen für technische Anwendungen nutzbar sind.

Im „Zwei-Schritt-Prozess“ der **Veresterung** wird das Pflanzenöl zu Beginn in die jeweiligen freien Fettsäuren und Glycerin aufgespalten. Vor dem zweiten Schritt werden die Fettsäuren getrennt (fraktionierte Destillation), um auf diesem Weg möglichst reine Fettsäuren zu erhalten. Diese werden dann mit, in der Regel einwertigen Alkoholen neu verestert. In der Praxis wird eine 100%ige Reinheit angestrebt, aber fast nie erreicht.



Einer der wichtigsten Pflanzenöllieferanten ist die **Kokospalme**

Umesterung ist demgegenüber ein „Ein-Schritt-Verfahren“, in dem ein Pflanzenöl in einen technischen Ester überführt wird. Die Umesterung ist der Veresterung sehr ähnlich. Der Unterschied liegt hauptsächlich darin, dass der Prozess direkt stattfindet, ohne vorherige Aufspaltung des Öls in freie Fettsäuren und Glycerin. Das Ergebnis der Umesterung ist eine Estermischung gemäß der Fettsäure-Zusammensetzung des ursprünglichen Pflanzenöls.

Die heute für kommerzielle Esterprodukte verwendeten Grundkomponenten sind somit Reaktionsprodukte aus pflanzlichen Ölen und Alkoholen. Rapsölester und Kokosfettsäureester sind zur Zeit in Europa dominierend für technische Anwendungen. Daneben gibt es noch Ester auf Basis anderer Pflanzenöle, z.B. Rüböl und Sojaöl.

Der bekannteste Pflanzenölester ist sicherlich der **Rapsmethylester (RME)**, der vor allem als „Bio-Diesel“ für Kraftfahrzeuge eingesetzt wird. Er wird durch Umesterung von Rapsöl mit Methanol hergestellt. Über 600.000 t Biodiesel werden in Europa pro Jahr produziert. Rapsmethylester ist ein vergleichsweise günstiger Ester, der jedoch für Reinigungsaufgaben oder andere spezielle

Anwendungen gereinigt und weiter aufbereitet werden muss.

Rapsmethyl ester bestehen überwiegend aus C18-Fettsäuren, die zu einem erheblichen Teil ungesättigt sind.²¹ Diese preisgünstigen Ester zeigen leider einige technische Nachteile. Beispielsweise können Gummimaterialien aufquellen, was allerdings in gewissem Umfang durch andere Formulierungsbestandteile ausgeglichen werden kann. Sie sind nicht sehr oxidationsstabil, was zu einer stärkeren Geruchsbildung und zu einer Viskositätserhöhung führen kann. Für Reinigungsvorgänge mit einmaliger Anwendung sind sie allerdings wegen ihrer hohen Lösekraft gut geeignet.

Die Herstellung von **Kokosfettsäureester** erfolgt durch Umesterung von Kokosfett mit Alkoholen. Kokosfett enthält überwiegend gesättigte Säuren im Bereich C8 bis C16. Hauptbestandteil ist die Laurinsäure. Bei diesen Estern tritt das Problem der Oxidationsempfindlichkeit nicht auf. Kokosfettsäuren können aufgrund ihrer im Vergleich zu Rapsfettsäuren kürzeren Kettenlänge mit höheren Alkoholen umgeestert werden, ohne dass die Produkte zu dickflüssig werden. Viele Hersteller esterbasierter Reinigungsmittel greifen daher auf Kokosester als Hauptbestandteil zurück.

Neben pflanzenölbasierten Estern gibt es noch die Gruppe der **synthetischen Ester**²². Diese entstehen durch Veresterung mineralölbasierter Säuren mit Alkoholen. Hier besteht ebenfalls die Möglichkeit, maßgeschneiderte Komponenten herzustellen. Durch Zugabe synthetischer Ester lassen sich die technischen Eigenschaften von Pflanzenölestern gezielt verändern. So können Produkte hinsichtlich niedriger Viskosität, guter Oberflächenbenetzung, gutem Kriechvermögen und hoher Lösekraft optimiert werden. Der Hersteller kann mit den zur Verfügung stehenden Bausteinen Reiniger formulieren, bei denen Reinigungsleistung und Materialverträglichkeit auf das jeweilige Anwendungsgebiet abgestimmt ist. Dort, wo die Herstellung bestimmter Ester aus Pflanzenölen für spezielle Anwendungszwecke sehr aufwendig und teuer ist, können auch Kostengesichtspunkte zum Einsatz synthetischer Ester führen. Der Ursprung der Grundkomponenten für das Endprodukt ist für die Anwender nicht nachvollziehbar. Wer Wert auf die Verwendung nachwachsender Rohstoffe legt, sollte daher beim jeweiligen Hersteller nachfragen, wie hoch der Anteil der Pflanzenöle im Endprodukt ist. Mehr zu dieser Frage findet sich im Kapitel 6.4.

2.2 Variationen in der Produktpalette

Pflanzenöl allein ist schon ein Reinigungsmittel. Nach dem Prinzip „Gleiches löst Gleiches“ kann z.B. der Schmutz nach einer Fahrradreparatur mit etwas Pflanzenöl von den Händen entfernt werden. Aufgrund der ähnlichen chemischen Struktur von Verschmutzung und Reinigungsmittel funktioniert dies gut. Seit den ersten Reinigungsversuchen mit reinen Pflanzenölen (s. 1.1) haben sich die Produkte von heute erheblich weiterentwickelt. Mittlerweile lassen sich folgende Produktgruppen unterscheiden:

Gruppen von pflanzen basierten Produkten für die Metallreinigung

Art des Reinigers	Anwendung
Reine Pflanzenöle	Nicht üblich
Pflanzenölester	Anwendung erprobt
Pflanzenölester mit Emulgator	Anwendung erprobt
Mikroemulsionen	Anwendung erprobt
Pasten	Anwendung erprobt

Variationsmöglichkeiten

Die zuvor beschriebenen Esterprodukte sind nicht wassermischbar. Wasser und Öl stoßen sich bekanntlich ab. Daher entsteht bei diesen Produkten unter den betrieblichen Anwendungsbedingungen keine Gefahr von Verkeimungen und den damit verbundenen biologischen Zersetzungen. Eine solche Formulierung garantiert eine hohe Stabilität und eine lange Standzeit. Falls nach der Reinigung mit Pflanzenölestern ein Bearbeitungsschritt folgt, der eine hohe Reinheit erfordert, kann eine Nachreinigung z.B. mit einem wässrigen Medium notwendig sein. Ein **Pflanzenölester mit Emulgatorzusatz** ermöglicht es, den unerwünschten Restfilm des Esters abzuwaschen und das Werkstück anschließend sauber zu trocknen.

Soll die Reinigungswirkung von Pflanzenölestern mit der Reinigungswirkung von Wasser in einem Reinigungsgang kombiniert werden, so bieten sich Emulsionen an. Hervorzuheben sind dabei die **Mikroemulsionen**. Sie sind stabiler und weniger viskos als die traditionellen Emulsionen. Mikroemulsionen verhalten sich wie eine homo-

²¹ Schmidt, U.: Reinigen mit nicht-VOC-relevanten Lösemitteln. JOT 11/98.

²² Bei Schmierstoffen werden unter synthetischen Ester häufig auch pflanzenölbasierte Produkte verstanden, die durch chemisch-technische Umwandlung von Pflanzenölen hergestellt wurden.

gene Mixtur, bei der sich Öl und Wasser gegenseitig einkapseln. Während bei Emulsionen feinst verteilte Öltröpfchen in Wasser zu einer milchigen, undurchsichtigen Flüssigkeit führen, sind Mikroemulsionen durchsichtig klar. Grund dafür ist die Tröpfchengröße, die unterhalb der Wellenlänge des Lichtes liegt. Mikroemulsionen aus Pflanzenölestern sind wassermischbar und entfalten ihre optimale Wirkung bei 40–60°C. Dadurch sind sie sehr gut in beheizbaren Tauchbecken, Ultraschallbädern oder automatischen Anlagen einsetzbar.

Pflanzenölester können nicht nur als Grundkomponente eines Reinigers dienen, sondern verstärken als **Zusatzstoffe** in einigen Anwendungsbereichen die Wirksamkeit anderer Reiniger. In der Druckindustrie beispielsweise geben einige Hersteller ihren mineralölbasierten Produkten Anteile von Estern bei, um das Reinigungsergebnis bei Offsetdruckmaschinen zu verbessern. In den Niederlanden gibt es neuere Entwicklungen bei zwei Anbietern von Reinigungsmitteln, die ihren alkalisch-wässrigen Produkten Fettsäureester als Additive zusetzen, um sie in der Metallreinigung einzusetzen. Dadurch wird eine sehr gute Reinigungswirkung erzielt, bei einem Preis, der dem von Mineralölprodukten vergleichbar ist. Es ist denkbar, dass die Anzahl solcher **Kombi-Produkte** in Zukunft noch steigen wird.

Produkte auf Basis von Pflanzenölestern müssen nicht notwendigerweise Flüssigkeiten sein. Auf dem Markt stehen auch **pastöse Esterprodukte** zur Verfügung. Der wesentliche Vorteil von Pasten ist, dass sie nicht tropfen und deshalb sehr gut auf dem Werkstück haften, z.B. auch auf senkrechten Flächen. Sie haben sich besonders zur Entfernung von Beschichtungen zur Langzeitkonservierung (z.B. Tectyl) bewährt. Bei ausgehärteten Beschichtungen und dadurch sehr hartnäckigen Verschmutzungen kann die gute Lösekraft der Pasten noch verstärkt werden, indem man sie längere Zeit einwirken lässt.

Suche nach der besten Lösung

Die Hersteller von Pflanzenölestern sind bestrebt, ihre Produkte zu optimieren und investieren in die Produktentwicklung. So kann die Wirksamkeit und die Anwendungsbreite der Produkte verbessert werden. Die heute auf dem Markt befindlichen Produkte sind in vielen Betrieben erfolgreich erprobt und werden dauerhaft eingesetzt. Im Projekt wurde z.T. die Erfahrung gemacht, dass wenn Pflanzenölester in betrieblichen Tests nicht sofort die erhoffte Wirkung erzielen, manche Anwender schnell eine Neuformulierung der Produkte fordern, die sich an den speziellen Erfor-

dernissen orientiert. Dies ist verständlich, jedoch in der Regel nicht notwendig. Zunächst sollte im Betrieb geprüft werden, ob das Produkt richtig angewendet wurde oder ob geringfügige technische bzw. organisatorische Veränderungen im Reinigungsablauf auch zum erwünschten Ziel führen, ohne Änderung der Produktrezeptur. In einem Unternehmen des Maschinenbaus konnte beispielsweise durch arbeitsorganisatorische Umstellungen die Einwirkzeit eines Esters verlängert werden, um ein besseres Lösevermögen zu erzielen. In der Summe konnte dadurch sogar Arbeitszeit gespart werden.

Da es keine wirklich universellen Reinigungsmittel gibt, ist der gute Kontakt zwischen Herstellern und Anwendern sehr wichtig, um Erfahrungen auszutauschen und mögliche Fehlerquellen auszuschließen.

Informationen über die am Markt befindlichen **Produkte und Herstelleradressen** sind im Kapitel 7 zu finden. Sie können auch über die Internetseiten der Kooperationsstelle Hamburg aktualisiert abgerufen werden. Auskünfte über spezielle Anwendungsbereiche und weitergehende Produktinformationen geben die jeweiligen Hersteller der Pflanzenölester. Das EU LIFE-Projekt und die beteiligten Projektpartner stehen für zusätzliche Auskünfte zur Verfügung. Adressen finden sich ebenfalls im Serviceteil (s. Kapitel 7). Dort ist auch eine Liste mit einschlägigen Veröffentlichungen abgedruckt.

2.3 Chemische und physikalische Eigenschaften

Die chemische Struktur einer Verbindung bestimmt wesentlich ihre physikalischen und chemischen Eigenschaften. Pflanzenölester bestehen aus einer langen Kohlenwasserstoffkette mit normalerweise 10 bis 20 Kohlenstoffatomen und einer Estergruppe. Die Kohlenwasserstoffkette kann sowohl gesättigt als auch ungesättigt, verzweigt als auch unverzweigt sein.

Die physikalisch-chemischen Parameter haben großen Einfluss auf die potentielle Reinigungswirkung einer solchen Verbindung. Die Viskosität zum Beispiel ist ein Indikator dafür, wie leicht Esterprodukte auf die zu reinigende Oberfläche aufgetragen werden können. Die Oberflächenspannung gibt Information über die Benetzungsfähigkeit einer Oberfläche. Das Löslichkeitsverhalten zeigt, welche Art von Schmutz, Fett oder Farbe durch Ester gelöst bzw. entfernt werden können.

2.3.1 Siedepunkt, Dampfdruck, Flammpunkt und Verdunstungsverhalten

Siedepunkt, Flammpunkt und Dampfdruck sind chemisch-physikalische Eigenschaften, die eng miteinander verknüpft sind (s. Tabelle unten). Sie bestimmen das Verdunstungsverhalten und die Feuergefährlichkeit von Flüssigkeiten. Diese Eigenschaften haben großen Einfluss auf die Wahl des Reinigungsmittels, des Reinigungsverfahrens und der Sicherheitstechnik.

Der **Siedepunkt** einer Lösung beschreibt die Verdampfungstemperatur, bei der die Flüssigkeit in einen dampfförmigen Aggregatzustand übergeht. Der Siedepunkt steigt mit zunehmendem Umgebungsdruck stark an und kann unter Vakuumbedingungen reduziert werden.

Pflanzenölester haben einen vergleichsweise sehr hohen Siedepunkt. Im Rahmen des EU-Projektes VOFAPro²³ wurden einzelne Pflanzenölester und esterbasierte Produkte untersucht. Die

Messungen ergaben Siedepunkte zwischen 211°C und 366°C. Für die Anwender in den Betrieben geben die Sicherheitsdatenblätter der Hersteller Auskünfte über die Daten der jeweiligen Produkte. Mikroemulsionen sieden aufgrund ihres hohen Wassergehalts bereits bei 100°C. Grundsätzlich erhöht sich der Siedepunkt mit wachsender Molekülgröße einer Substanz. Ein Pflanzenölester mit einer verzweigten Estergruppe siedet bei einer niedrigeren Temperatur als ein Ester mit einer Kohlenwasserstoffkette der selben Länge, bei dem die Estergruppe unverzweigt ist. Die hohen Siedetemperaturen zeigen, dass die Flüchtigkeit der Pflanzenölester sehr gering ist. Je höher der Siedepunkt ist, desto geringer ist der Dampfdruck.

Der **Dampfdruck** wird in den Sicherheitsdatenblättern in Millibar bei einer Temperatur von 20°C angegeben (mbar/20°C). Flüssigkeiten mit hohem Dampfdruck haben das Bestreben, Moleküle an den Gasraum (die Luft) über ihnen abzugeben, bis sich ein Gleichgewicht, d.h. eine Sättigung einstellt. Je höher der Dampfdruck ist, desto flüchtiger ist also eine Substanz.

Pflanzenölester haben bei Raumtemperatur einen sehr geringen Dampfdruck. Die angebotenen Produkte weisen zumeist einen Dampfdruck von unter 0,1 mbar/20°C auf. Bei einigen Produkten kann er höher liegen, jedoch selten über 1 mbar/20°C. Es ist vorteilhaft, den Dampfdruck unter 0,1 mbar/20°C zu halten, da dies für eine geringe Flüchtigkeit steht und somit die Atemluft von unerwünschten Dämpfen freihält. Die Lösemittelrichtlinie der Europäischen Union (vgl. Kapitel 1.4) und die VOC-Lenkungsabgabe auf Lösemittlemissionen in der Schweiz sehen ebenfalls einen Grenzwert für den Dampfdruck von 0,1 mbar/20°C vor. Die Einhaltung dieses Wertes bringt den Betrieben die Sicherheit, von den Auflagen dieser Verordnungen ausgenommen zu sein. Werden Produkte auf Basis von Pflanzenölestern angeboten, die einen relativ hohen Dampfdruck haben, so ist dies fast immer ein Hinweis darauf, dass den Produkten andere, leichter flüchtige Stoffe zugesetzt wurden, wie etwa Lösemittel. Eine Ausnahme bilden Emulsionen, bei denen

Chemisch-physikalische Eigenschaften von Reinigungsmitteln im Vergleich²⁴

Bezeichnung	Gefahrenklasse nach VbF	Flammpunkt in °C	Dampfdruck in mbar	Verdunstungszahl *
Spezialbenzin	A I	unter 21	190	2–6
Testbenzin	A II	21–55	10–15	20–70
Testbenzin	A III	55–100	1–5	100–120
Höhsiedende Kohlenwasserstoffe	keine	über 100	0,5–1	sehr hoch
Pflanzenölester	keine	deutlich über 100	0,1–0,5	sehr hoch

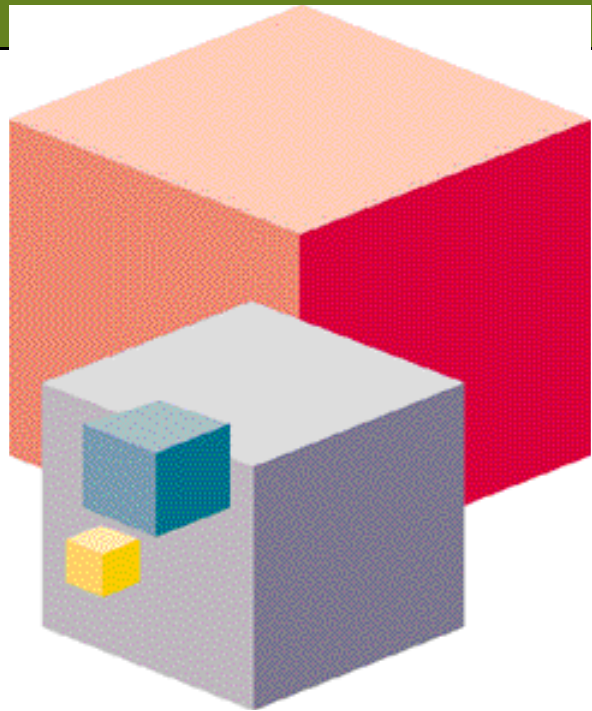
* Verdunstungszahl: Vergleichsmaß für die Trocknung von Flüssigkeiten im Vergleich zu Diethylether (=1)

²⁴ Berufsgenossenschaft Druck und Papierverarbeitung: Arbeiten im Offsetdruck – Umgang mit Arbeitsstoffen, Wiesbaden 1995, S.40

Eingeatmete Menge L semitteldampf pro Arbeitstag

- Verwendung von Spezialbenzin VbF AI:
5,5 Liter
- Verwendung von Testbenzin VbF AII:
1,7 Liter
- Verwendung schwerflüchtiger Kohlenwasserstoffe (Hochsieder):
0,025 Liter
- Verwendung von Pflanzenölester:
0,007 Liter

Datenbasis: Berechnungen der Berufsgenossenschaft Druck und Papierverarbeitung und Messungen in Druckereien. Angegeben ist die Menge an reinem Dampf des Reinigungsmittels, das ein Mitarbeiter während einer Schicht einatmet. Die Werte können je nach Arbeitsbedingungen schwanken. Quelle: BG Druck und Papierverarbeitung: Brancheninitiative zur Verminderung von Lösemittlemissionen im Offsetdruck, Wiesbaden 1996, Seite 6



der Wasseranteil den Dampfdruck ansteigen lässt (Dampfdruck von Wasser bei 20°C = 23 mbar). Während der Zusatz von Lösemitteln VOC-Emissionen zur Folge haben kann, ist der Zusatz von Wasser aus gesundheitlicher Sicht unbedenklich.

Der **Flammpunkt** ist ein zusätzlicher Hinweis auf das Verdunstungsverhalten einer Flüssigkeit. Er ist zugleich wichtigster Parameter für die Bestimmung der Feuer- und Explosionsgefährlichkeit. Der Flammpunkt ist definiert als die niedrigste Temperatur, bei der sich aus einem brennbaren Lösemittel so viele Dämpfe entwickeln, dass sich dieses Lösemitteldampf-Luft-Gemisch nach einem festgelegten Prüfverfahren noch entzünden lässt. Je niedriger der Flammpunkt, desto schneller die Verdunstung. Zur Einordnung der Brand- und Explosionsgefahren hat die Verordnung über brennbare Flüssigkeiten (VbF) Gefahrenklassen geschaffen. Die meisten organischen Lösemittel fallen unter die Gefahrenklassen AI bis AIII. Pflanzenölester mit einem Flammpunkt deutlich über 100°C fallen nicht unter diese Verordnung. Höhersiedende Kohlenwasserstoffe, sogenannte „Hochsieder“, sind in diesem Punkt mit den Pflanzenöleestern vergleichbar, werden jedoch aus Mineralölen hergestellt.

Der hohe Flammpunkt der Pflanzenölester reduziert die Brandgefahren auf ein Minimum. Die Kosten für aufwendigen Brandschutz und besondere Lagerhaltung werden stark reduziert. Hinzu kommt, dass der hohe Flammpunkt das Verdunstungsverhalten günstig beeinflusst. Das Produkt

bleibt in der Reinigungsanlage wirksam und belastet nicht die Umgebungsluft. Im Vergleich zu den sehr schnell verdunstenden Spezial- und Testbenzinen ist die Verdunstung von Pflanzenöleestern bei Raumtemperatur kaum messbar.

Siedepunkt, Dampfdruck und Flammpunkt geben Aufschluss über das **Verdunstungsverhalten**. Sehr geringe Verdunstungsraten schaffen einen sehr großen Sicherheitsbereich für die menschliche Gesundheit. Die Vermeidung von Emissionen hält die Atemluft frei von chemischen Substanzen. Die Abbildung oben verdeutlicht dies am Beispiel der eingeatmeten Menge Lösemitteldampf pro Arbeitstag. Haben diese Substanzen zusätzlich von Natur aus bzw. bedingt durch den Herstellungsprozess ein geringes Gefahrenpotential, so kann man von einer „doppelten Sicherung“ sprechen, die sich in der Praxis bezahlt macht: Schadstoffmessungen und teure Schutzmaßnahmen werden entbehrlich.

Einfacher Praxistest

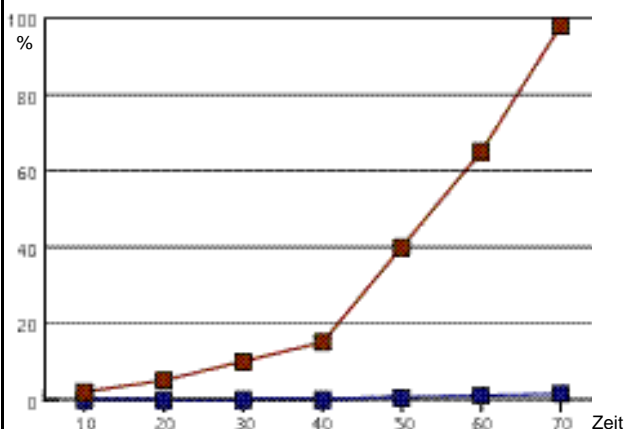
In einem Praxisversuch wurde jeweils ein Glasgefäß mit einem üblichem AIII-Kaltreiniger und mit einem Pflanzenölester im Arbeitsbereich einer Instandsetzungshalle mehrere Wochen offen in ein Regal gestellt. Temperatur- und Zugluftbedingungen waren somit identisch mit den Bedingungen am normalen Verwendungsort. Eine entsprechende Hochrechnung der beobachteten Verdunstungsverluste ergibt, dass aus einem offenen Bad mit einer freien Fläche von 1 m² in einem Mo-

nat ca. 10 Liter eines herkömmlichen Kaltreinigers in die Umgebung verdampfen, während ein entsprechender Ester keine nennenswerten Verluste zeigt (s. Abbildung unten).

(Test bei B+V Industrietechnik; Berechnung durch Fa. Haltermann)

Die niedrige Verdunstungsrate der Pflanzenölester ist aus Sicht des Arbeits- und des Umweltschutzes zu begrüßen. Technische Vorteile ergeben sich zusätzlich, wenn nach der Reinigung ein kurzzeitiger Korrosionsschutz erforderlich ist, z.B. für eine Zwischenlagerung. Ursache ist ein sehr dünner, aber wirksamer Schutzfilm, der auf dem gereinigten Werkstück zurückbleibt, falls es keine Nachbehandlung gibt. Dies kann andererseits von Nachteil sein, wenn sich direkt nach der Reinigung eine Weiterverarbeitung anschließt, die höchste Reinheit voraussetzt (z.B. Lackieren, Galvanisieren). Genauere Beschreibungen und Lösungsvorschläge hierzu finden sich in den Kapiteln 4 bis 6.

Verdunstungsraten im Vergleich



Vergleich der Verdunstungsraten eines AIII-Kaltreinigers (rotbraune Linie) mit einem Esterprodukt (blaue Linie); Fa. Haltermann, Hamburg 1998.

2.3.2 Dichte, Viskosität und Oberflächenspannung

Die **Dichte** (ρ) eines Stoffes errechnet sich aus dem Quotienten der Masse seiner Materie und den dazugehörigen Volumen (g/cm^3). Messungen von einzelnen Pflanzenölestern und esterbasiereten Produkten durch das EU-Projekt VOFAPro ergaben eine Dichte zwischen $0,853$ und $0,896 \text{ g}/\text{cm}^3$ bei 20°C . Ungesättigte Pflanzenölestester wiesen die höchste Dichte auf. Je länger die Kohlenstoffkette und/oder je größer die Estergruppe ist, desto niedriger ist die Dichte. Die höchste Dichte wurde u.a. bei Estern aus Rapsöl beobachtet. Dies war zu erwarten, da Rapsöl große Anteile ungesättigter Fettsäuren enthält.

Die **Viskosität** ($\text{mPa}\cdot\text{s}$) ist ein Maßstab für das Fließverhalten einer Verbindung, der stoffabhängige Anteil des Reibungswiderstandes. Es misst die intermolekularen Kräfte, die gegen die Beweglichkeit oder das Fließen bei einer Verschiebung wirken. Je höher die Viskosität, desto weniger beweglich ist die Flüssigkeit. Reinigungsmittel mit einer niedrigen Viskosität besitzen bessere Kriecheigenschaften und sind deshalb besonders für Teile mit komplizierter Geometrie (z.B. Sacklöcher, Spalten) geeignet.

Die Viskosität von Pflanzenölestern ist zumeist niedriger als $10 \text{ mPa}\cdot\text{s}$. Die Werte schwanken gewöhnlich je nach Produkt zwischen $2,3$ und $9,8 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ bei 20°C . Eine Zunahme der Länge der Kohlenstoffkette oder größere Estergruppen führen zu einer Zunahme der Viskosität. Je höher die Temperatur, desto niedriger ist die Viskosität. Die Viskosität der Pflanzenölester ist jedoch in der Regel höher als bei Reinigungsbenzinen (aliphatischen Kohlenwasserstoffen). Deren geringere Viskosität, je nach Zusammensetzung liegt sie dort um die $1,0 \text{ mPa}\cdot\text{s}$, erlaubt ihnen ein besseres Fließverhalten. Diese Eigenschaft der Ester kann bei bestimmter Teilegeometrie oder schwer zu unterkriechendem Schmutz von Nachteil sein. Gegenüber höhersiedenden Kohlenwasserstoffen hebt sich dieser Nachteil auf, da auch sie eine erhöhte Viskosität haben. Die Viskosität von Pflanzenölestern kann durch chemische Modifikationen jedoch verbessert werden, sollte dies für eine erfolgreiche Anwendung notwendig sein.

Eine weitere Voraussetzung für ein wirksames Reinigungsmittel ist ein gutes Benetzungsvermögen gegenüber Oberflächen. Hierüber gibt die **Oberflächenspannung** Auskunft. Je niedriger die Oberflächenspannung (dyn/cm) desto weniger Energie wird benötigt, um z.B. die Oberfläche eines Flüssigkeitstropfens zu vergrößern. Das bedeutet, dass die Flüssigkeit die zu reinigende Oberfläche leichter benetzen kann.

Die Oberflächenspannung von Pflanzenölestern liegt im Bereich anderer organischer Verbindungen. Bei 20°C haben sie eine Oberflächenspannung im Bereich von 22 bis $31 \text{ dyn}/\text{cm}$. Je länger die Kohlenwasserstoffkette, desto höher ist die Oberflächenspannung der Ester. Bei ansteigender Temperatur zeigt sich eine lineare Reduzierung der Oberflächenspannung. In dieser Beziehung sind die Pflanzenölester den organischen Lösemitteln gleichwertig.

Chemisch-physikalische Eigenschaften von Pflanzenleestern

Eigenschaften	einzelne Pflanzenölester	esterbasierte Produkte	Referenzprodukt C ₉ -C ₁₂ entaromatisierter Kohlenwasserstoff
Dichte (g/cm ³ /20°C)	0,859–0,875	0,853–0,896	0,765
Viskosität (mPa*s/20°C)	2,3–9,8	2,4–9,0	1,13
Oberflächenspannung (dyn/cm/20°C)	27,9–30,8	22,4–31,3	23,3

Daten aus dem EU-Projekt VOFAPro zu physikalisch-chemische Eigenschaften von Pflanzenleestern. Die Experimente wurden mit 15 einzelnen Fettsäureestern (C₁₀–C₁₈) und mit 17 esterbasierten Produkten durchgeführt. Als Referenzprodukt wurde ein entaromatisierter Kohlenwasserstoff gewählt, bei dem die Werte für Viskosität und Oberflächenspannung bei 25°C, für Dichte bei 15°C dargestellt sind. Quelle: Kooperationsstelle Hamburg: VOFAPro Final Report, Hamburg 1997, Seite 74.

Die chemisch-physikalischen Eigenschaften von Pflanzenleestern lassen ein gutes Reinigungsvermögen erwarten. Sie haben Viskositäten, mit denen sie gut auf zu reinigende Objekte aufgetragen werden können. Ihre Oberflächenspannungen liegen in denselben Bereichen wie die anderer organischer Verbindungen. Sie sind demzufolge genauso benetzungsfähig wie gebräuchliche Reinigungsmittel auf Mineralölbasis.

2.3.3 Löslichkeitsverhalten

Die Reinigungswirkung jedes Lösemittels wird in erster Linie durch das Löslichkeitsverhalten bestimmt. Es beschreibt die Fähigkeit, mit der eine Substanz (das Reinigungsmittel) eine andere Substanz (die Verschmutzung) in Lösung bringt oder sich mit ihr mischt. Die Untersuchung des Löslichkeitsverhaltens dient der Abschätzung, welche Verunreinigung mit welcher Art von Reinigungsmittel am ehesten beseitigt werden kann.

Der **Kauri-Butanol-Wert** eines Lösemittels wird häufig zur Beschreibung der Lösefähigkeit

herangezogen. Das zu untersuchende Reinigungsmittel wird nach und nach in eine Lösung gegeben, in der ein Kauri-Harz in n-Butanol gelöst ist (butanolische Kaurikopallösung). Dies geschieht so lange, bis eine Trübung entsteht. Das dazu erforderliche Volumen des Reinigungsmittels in Milliliter ist der Kauri-Butanol-Wert (KB-Wert). Ein hoher Kauri-Butanol-Wert deutet auf ein hohes Lösevermögen hin. Der KB-Wert von Pflanzenleestern liegt gewöhnlich zwischen 47 und 66. Bessere Werte haben chlorierte Kohlenwasserstoffe, z.B. Perchlortylen mit 90. Schlechtere Werte weisen Reinigungsbenzine auf, deren Werte in der Regel zwischen 30 und 50 liegen.²⁵ Eine umfassendere Einschätzung des Löslichkeitsverhaltens liefern die Hansen-Löslichkeitsparameter (HSP), da sie auch die polaren Bindungskräfte und die Wasserstoffbindungen einbeziehen. Mit dem HSP-System werden Beziehungen zwischen zwei Substanzen (Reinigungsmittel und definierte Verschmutzung) beschrieben, aus denen sich das voraussichtliche Löslichkeitsverhalten ableiten läßt. Berechnungen der HSP-Werte im EU-Projekt VOFAPro kamen zu folgenden Ergebnissen²⁶:

Hansen-Löslichkeitsparameter (HSP) für Lösemittel und Pflanzenlester

Lösemittel	HSP - Gesamt tot (J/cm ³) ^{1/2}	HSP - Dispersion D (J/cm ³) ^{1/2}	HSP - Polar P (J/cm ³) ^{1/2}	HSP - Wasserstoffbindung H (J/cm ³) ^{1/2}
n-Heptan	15,1	15,1	0,0	0,0
n-Dodekan	16,1	16,1	0,0	0,0
Einzelne Pflanzenölester	14,8 - 16,8	14,2 - 16,2	1,0 - 2,3	3,3 - 6,7
Esterbasierte Produkte	14,8 - 16,8	14,2 - 15,4	0,8 - 2,4	3,4 - 8,4
Xylol	18,0	17,8	1,0	3,1
Toluol	18,2	18,0	1,4	2,0

²⁵ Vgl.: University of Amsterdam, Chemiewinkel: Metal cleaning and degreasing with vegetable based fatty acid esters, Amsterdam 1998, Seite 6

²⁶ Vgl.: Kooperationsstelle Hamburg: Pflanzenölbasierte Ester – neue Wege in der Oberflächenreinigung, Workshopdokumentation, Hamburg 1997, Seite 36. Daten für

organische Lösemittel aus: University of Amsterdam, Chemiewinkel: Metal cleaning and degreasing with vegetable based fatty acid esters, Amsterdam 1998, Seite 7. Zur HSP-Theorie vgl.: EnPro ApS: VOFAPro Final Individual Progress Report, Kooperationsstelle Hamburg 1997, Seite 30f

Alle untersuchten Pflanzenölester, mit Ausnahme einer ebenfalls untersuchten Mikroemulsion, haben einen Gesamt-Löslichkeitsparameter (τ_{tot}), der im Bereich von 14,8–16,8 (J/cm^3)^{1/2} liegt. Die HSP-Werte für Pflanzenölester sind mit denen von aromatischen Kohlenwasserstoffen vergleichbar. Gegenüber (entaromatisierten) aliphatischen Kohlenwasserstoffen weisen sie eine größere Tendenz auf, polare Verbindungen und Wasserstoffverbindungen einzugehen, was für die Reinigung von Vorteil sein kann.

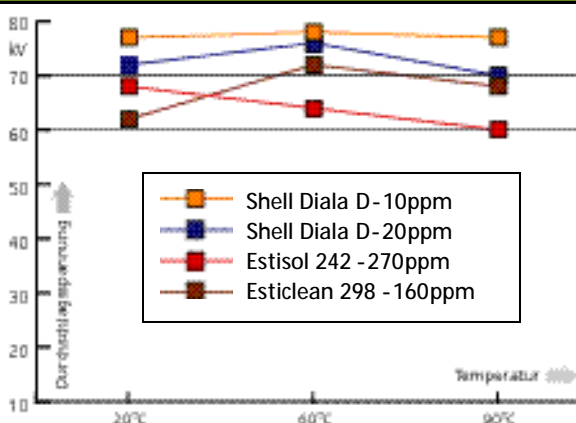
Bei den Pflanzenölestern hat die Länge der Kohlenwasserstoffkette nur einen geringen Einfluss auf das Löslichkeitsverhalten der Ester. Dies wird hauptsächlich durch die Größe der Estergruppe bestimmt. Je größer die Estergruppe ist, desto geringer ist die Fähigkeit zum Lösen.

Obwohl das System der Hansen-Löslichkeitsparameter eine gute Grundlage für Entscheidungen liefert, um die Löslichkeit von Substanzen durch Reiniger vorauszusagen, gibt es doch Einschränkungen. In der Praxis sind Schmutze oft Zusammensetzungen unterschiedlicher Substanzen, die fast nie genau zu ermitteln sind. Die Hansen-Parameter sind gute Indikatoren, ersetzen jedoch nicht Vorversuche im Labor bzw. praktische Tests in den Betrieben.

2.3.4 Elektrisches Verhalten und Selbstentzündung

Für Betriebe, bei denen Reinigungsarbeiten in elektrischen Bereichen anfallen, ist die **Durchschlagsspannung** eines Reinigungsmediums von Bedeutung, um das **elektrische Verhalten** eines Materials zu beschreiben. Es muss sichergestellt sein, dass es nicht zu unerwünschten elektrischen

Durchschlagsspannung von Flüssigkeiten in Abhängigkeit von der Temperatur



Quelle: Universität Hannover, Schering-Institut für Hochspannungstechnik und Hochspannungsanlagen, Prüfbericht vom 6.4.1999 an die Kooperationsstelle Hamburg, die in ppm angegebenen Werte beziehen sich auf die Feuchtigkeit.

Strömen kommt. Als Durchschlagsspannung bezeichnet man den Widerstand, den ein (Isolier-) Material fließendem Strom bis zum Durchschlag entgegengesetzt. Sie wird in Volt gemessen und gibt Auskunft über die Leitfähigkeit des untersuchten Materials.

Produkte aus Pflanzenölestern schneiden bei entsprechenden Tests nicht schlechter ab als häufig eingesetzte Isolieröle auf Mineralölbasis. Untersuchungen von zwei Esterprodukten am Schering-Institut für Hochspannungstechnik und Hochspannungsanlagen der Universität Hannover ergaben vergleichbare Werte für die Durchschlagsspannung bei verschiedenen Temperaturen.

Das mineralölbasierte Isolieröl „Shell Diala D“ ist mit zwei verschiedenen Feuchtigkeitswerten (10 und 20 ppm) dargestellt. Trotz der höheren Feuchtigkeitswerte weisen die Esterprodukte „Estisol 242“ und „Esticlean 298“ der Fa. Haltermann eine vergleichbare Durchschlagsspannung auf. In Abhängigkeit von der Temperatur (20 bis 90°C) variiert sie zwischen 60 und 70 kV.

Selbstentzündung

Der Flammpunkt eines Reinigungsmittels ist der wichtigste Anhaltspunkt für mögliche Brandgefahren. Dies wurde im Vorangegangenen schon dargestellt. Es gibt jedoch auch die Gefahr der Selbstentzündlichkeit, für die die Betrachtung des Flammpunkts allein nicht ausreicht. Pflanzenölester haben zumeist einen Flammpunkt über 100°C und fallen somit nicht unter die Verordnung über brennbare Flüssigkeiten (VbF). Es gibt jedoch bestimmte Ester, die aufgrund ihrer Fettsäuren unter ungünstigen Umständen zu einer Selbstentzündung führen können. Es sind Pflanzenölester mit einem hohen Anteil an ungesättigten Fettsäuren, die z.B. als Reste in Reinigungstüchern im Abfallcontainer mit Sauerstoff reagieren, Wärme entwickeln und sich im Extremfall selbst entzünden können. Rapsölbasierte Ester sind eher von dieser Problematik betroffen, kokosölbasierte Ester nicht. Die Gefahr der Selbstentzündung wurde von den Herstellern der Esterprodukte erkannt und durch entsprechende Kombination der Fettsäuren ausgeschlossen.

Hinweise auf das Potential der Selbstentzündung bei Pflanzenölestern gibt die **Jodzahl** (mg Jod/g Reiniger). Sie sollte **unter 60** liegen, um die angesprochenen Probleme auszuschließen. Im Rahmen des EU-Projektes VOFAPro wurden 1996 die Jodzahlen für eine Reihe von einzelnen Pflanzenölestern und esterbasierten Produkten gemessen. Die Werte schwankten zwischen 0,1 und 117. Ester mit ungesättigten Fettsäuren stellten sich aufgrund ihrer Doppelbindungen als sehr oxidati-

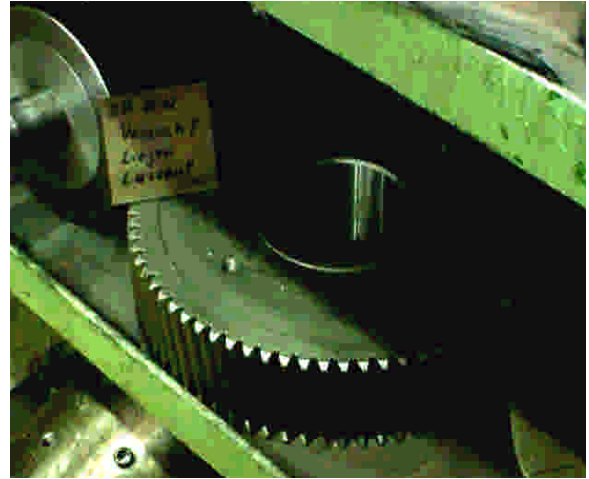
onsfähig heraus. Je höher die Zahl der Doppelbindungen ist, desto höher ist die Jodzahl und die Oxidationsfähigkeit. Bei Estern mit gesättigten Fettsäuren ist eine Selbstentzündung nicht möglich, da die Jodzahl mit 1 bis 5 sehr niedrig liegt. Produkte mit vorwiegend gesättigten Fettsäuren haben zudem den Vorteil, dass sie in der Anwendung chemisch stabil bleiben und keine Gefahr besteht, dass es unter Sauerstoffeinwirkung zu Veränderungen (z.B. Erhöhung der Viskosität) kommt. Die Hersteller können auf Anfrage Auskunft über die Jodzahl ihrer Produkte geben.

2.3.5 Korrosionsschutz

Korrosion bei metallischen Oberflächen beschreibt eine äußere Einwirkung mechanischer, chemischer oder physikalischer Art, die zu einer Veränderung der Oberfläche führt. Der bekannteste Korrosionsvorgang ist das Rosten von Eisen durch Sauerstoffeinwirkung in feuchter Atmosphäre. Korrosion kann die Grundeigenschaften von Metallen negativ beeinflussen und führt fast immer zu einer unerwünschten Beeinträchtigung der Oberfläche. Durch Korrosionsschutz sollen Schäden am Werkstoff vermieden bzw. vermindert werden.

Insbesondere für die Lagerung und den Transport von Metallteilen ist ein Schutzfilm als Korrosionsschutz erwünscht, der von einer leichten rückfettenden Wirkung eines Reinigers bis zu einer dicken Schutzschicht eines speziellen Korrosionsschutzmittels reichen kann. Zusammensetzung, Konsistenz und Auftragsmenge der Schutzschichten richten sich nach dem zu schützenden Material, der nachfolgenden Behandlung und der drohenden Gefahr für die Oberfläche. Die Trennung eines Werkstoffs von der korrosiven Umgebung durch Aufbringen eines schützenden Überzugs wird als passiver Korrosionsschutz bezeichnet. In vielen Fällen reicht ein kurz- und mittelfristiger Korrosionsschutz für einen Zeitraum von bis zu einem Jahr aus. Sehr viele Pflanzenölester können bei normaler Atmosphäre in geschlossenen Räumen einen **temporären Korrosionsschutz** bieten, der die Oberflächen der Metalle schützt (vgl. hierzu auch Kapitel 3.1).

Der Restfilm der Pflanzenölester ist für eine ganze Reihe von Anwendungen positiv. Er verhindert Flugrost und schützt vor Staub und Schmutz. Rückstandsfreie Reinheit würde die meisten Metalle der Rostgefahr aussetzen und eine zusätzliche Befettung für die Zwischenlagerung notwendig machen. Insbesondere für Reparatur- und Montagearbeiten ist der temporäre Korrosionsschutz der Pflanzenölester von Vorteil.



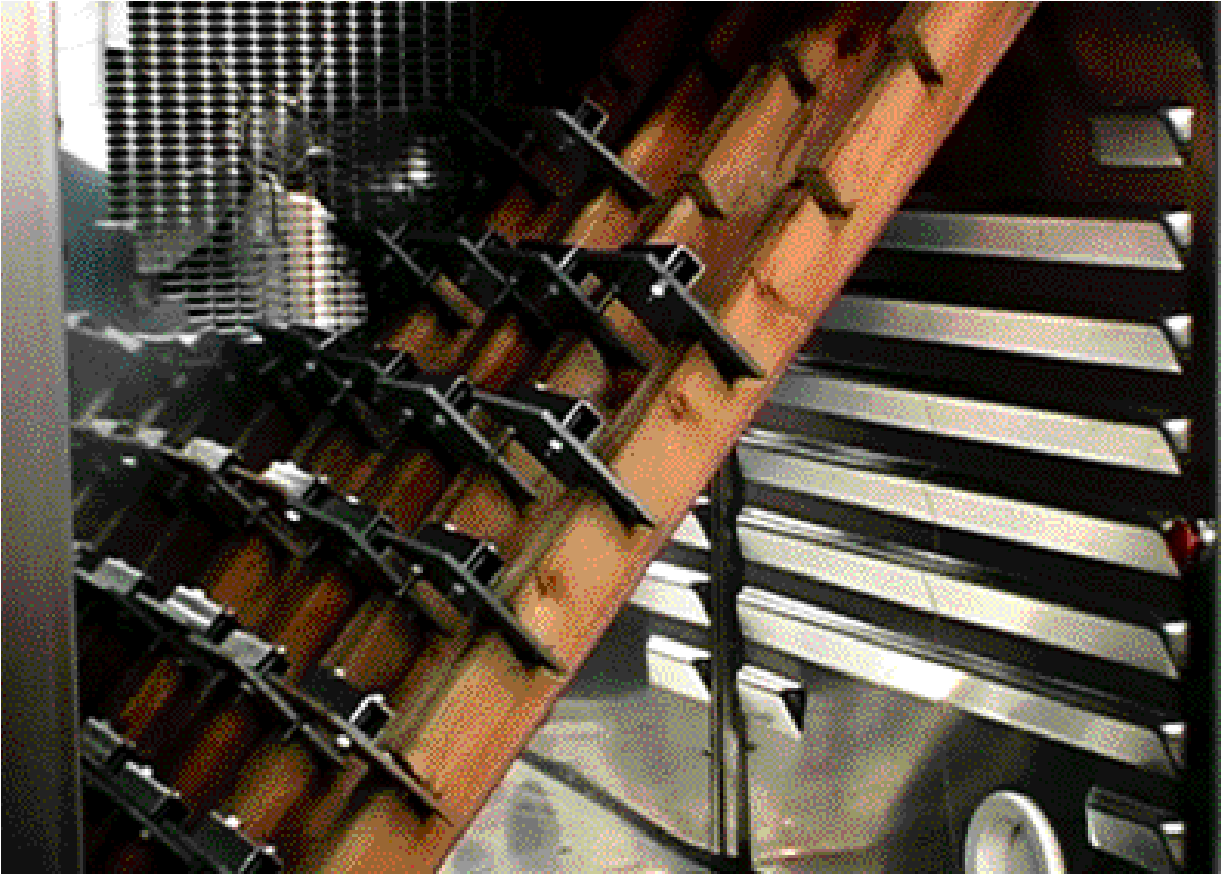
Zahnrad Flender ESAT



Proben nach dem 1. Zyklus der 3. Prüfung

In betrieblichen Versuchen beim Getriebehersteller Flender ESAT in Herne wurde ein Zahnrad ein Jahr lang nach der Reinigung mit Pflanzenölestern in den Produktionsräumen zwischengelagert. In dieser Zeit trat kein Flugrostbefall auf (siehe Foto). Ein zusätzlicher Korrosionsschutz nach der Reinigung kann bei der Verwendung von Pflanzenölestern in solchen Fällen eingespart werden.

Das EU LIFE-Projekt vergab zusätzlich einen Untersuchungsauftrag an das Institut für Werkstoffkunde und Schweißtechnik (IWS) der Fachhochschule Hamburg, um die **Korrosionsschutzwirkung von Esterprodukten** zu testen. Sandgestrahlte Blechproben aus unlegiertem Baustahl (S 235 JR; alte Bezeichnung St37) wurden als Proben verwendet, auf denen ein verzundertes und an einer Seite geschliffenes Vierkantrohr mit unlegierten und hochlegierten Schrauben befestigt wurde, um die Teilegeometrie komplizierter zu gestalten. Weiterhin war eine Gewindebohrung vorhanden. Die Proben wurden in mehreren Prüfprogrammen unterschiedlichen Temperaturen (30



Proben in der Klimakammer des IWS

bis 45°C) und unterschiedlicher relativer Luftfeuchtigkeit (50 bis 98%) in einer Klimakammer ausgesetzt. Insgesamt sieben Esterprodukte, ein wässriger Reiniger mit Korrosionsschutz und ein Kohlenwasserstoffreiniger wurden in ihrer Wirkung mit einem unbehandelten Blech verglichen. Zusätzlich wurde ein Blech mit einem speziellen Korrosionsschutzmittel behandelt und ebenfalls verglichen.

Die beste Korrosionsschutzwirkung erzielte das speziell für diese Zwecke entwickelte Korrosionsschutzmittel. Die Esterprodukte konnten einen begrenzten und abgestuften Korrosionsschutz bewirken. Eine Prüfung bei niedrigerer Temperatur (30°C Lufttemperatur und 98% relative Luftfeuchte) konnte die Ergebnisse am besten differenzieren. Vergleicht man die Proben von Stahlblechen, die in einen Kohlenwasserstoff-Reiniger bzw. in verschiedene Esterprodukte getaucht wurden mit unbehandelten Blechen, so haben die Ester die eindeutig bessere Korrosionsschutzwirkung.²⁷

Korrosionsschutz

IWS Institut für Werkstoffkunde und Schweißtechnik, Hamburg

- Klimaprüfung: Kondenswasser-Konstantklima, basierend auf DIN 50017
- Proben: unlegierte Bleche (St 37) mit verschiedenen Oberflächen (gestrahlt, geschliffen, verzundert)
- Bedingungen

	Prüfung 1-3	Prüfung 4
Dauer	11 Tage	3 Tage
Temperatur	40-45°C	30°C
rel. Feuchte	50-98%	98%

- Sichtprüfung (Anzahl und Größe der korrodierten Flächen)

²⁷ Vgl.: Untersuchungsbericht des Instituts für Werkstoffkunde und Schweißtechnik (IWS) der Fachhochschule Hamburg an die Kooperationsstelle Hamburg vom 03.04.2000.

3. Technik und Wirtschaftlichkeit – Vorteile für die Metallreinigung

3.1. Pflanzen lester in der Oberflächenreinigung

Die Reinigung von Metalloberflächen ist in unterschiedlichen Produktionsbereichen notwendig. Sie kann den Ausgangspunkt bilden für die eigentlichen Arbeiten, wenn beispielsweise verschmutzte Motoren repariert oder angelieferte Maschinenteile von Schutzbeschichtungen befreit werden müssen. Oft ist die Reinigung als Zwischenschritt in die Produktion selbst integriert, wenn Werkstücke auf Passgenauigkeit vermessen werden oder nach der eigentlichen Herstellung eine Veredelung erfolgen soll. Die Reinigung kann auch ganz am Ende der Produktionskette stehen, um dem Kunden ein Produkt ohne Verschmutzungen zu liefern. Die Anforderungen an die Reinheit der Oberflächen kann dabei genauso variieren wie die Verschmutzungen selbst.

3.1.1 Reinigungsmedien in der Metallreinigung im Vergleich

Wässrig-alkalische Reiniger, Chlorkohlenwasserstoffe und andere Kohlenwasserstoff-Lösemittel sind derzeit die gängigsten Medien für die vielfältigen Reinigungsaufgaben in der Metallindustrie.²⁸ Produkte auf Basis von Pflanzenölestern sind demgegenüber noch nicht so verbreitet und bekannt, obwohl sie in einigen Betriebe schon seit Jahren erfolgreich eingesetzt werden. Um die Reinigungswirkung und die Anwendungsbereiche von Pflanzenölestern in der Metallreinigung besser einordnen zu können, wird nachfolgend eine kurze Charakteristik der gängigen Reinigungsmedien gegeben. Im Vergleich wird auch auf die Unterschiede im Gefährdungspotential und in den Möglichkeiten, sich vor Gesundheitsgefahren zu schützen, eingegangen.²⁹ **Wasser** wäre aus Sicht der Verfügbarkeit und des geringen Gefährdungspotentials das ideale Reinigungsmittel. Es löst vielerlei Verschmutzungen, doch leider ist die Reinigungskraft des Wassers begrenzt. Schon im Haushalt werden Spülmittel benötigt, um das Geschirr von Fettresten zu befreien. Auf Dauer greift auch Wasser die äußere Schutzschicht der Haut an und entfettet sie.

Wässrige Reinigungssysteme sind seit langem u.a. zur Vorbereitung von Oberflächen für eine anschließende Veredelung wie Galvanisieren, Emaillieren, Phosphatieren und Chromatieren im Einsatz. Die Ansprüche an die Sauberkeit der Werkstücke sind hierbei hoch, da schon geringe Restverschmutzungen die Haftung der anschließend aufgetragenen Überzugsschicht herabsetzen. Daher werden die Werkstücke häufig mit einer Kombination verschiedener Reinigungsbäder vorbehandelt. Wässrige Reinigungssysteme gibt es von stark alkalisch über neutral bis zu stark sauer. Es dominiert der Einsatz in halbautomatischen oder automatischen Reinigungsanlagen. Als Nachteil der wässrigen Reinigungssysteme sind die großen Abwassermengen zu sehen, die neutralisiert und entsorgt werden müssen. Hinzu kommt, dass Additive wie z.B. Korrosionsinhibitoren und Biozide zugesetzt werden müssen, um Rostbildung und Verkeimung zu unterdrücken. Viele dieser Zusätze können zu gesundheitlichen Problemen, z.B. Hauterkrankungen führen. Noch sind Pflanzenölester keine Hauptkonkurrenten für wässrige Reiniger. Sie werden eher als Ergänzung gesehen, z.B. für die Vorreinigung mit anschließender wässriger Nachreinigung.

Die Verwendung von **Chlorkohlenwasserstoffen** (CKW) zu Reinigungszwecken ist aus Gründen des Umwelt- und Arbeitsschutzes sehr stark reglementiert worden. Entsprechend der 2. Bundesimmissionsschutzverordnung dürfen CKWs bis auf wenige Ausnahmen nur noch in geschlossenen Anlagen eingesetzt werden. Tauchreinigung und Dampfentfettung sind gängige Verfahren. Die gute Reinigungswirkung, die Unbrennbarkeit und die schnelle Verdunstung der CKWs sind aus technischer Sicht sehr vorteilhaft. Prinzipiell können CKW-Anlagen auf Pflanzenölester umgerüstet werden (s. Kapitel 3.1.7). In

²⁸ Vgl. u.a.: Maschinenbau und Metall-Berufsgenossenschaft: Reinigen und Entfetten, Broschüre, Düsseldorf 1997, Seite 20f; und: Burgbacher/Hermann: HKW-freie Reinigungsverfahren, Landsberg 1993, Seite 160; und: Müller, K.-P.: Lehrbuch Oberflächentechnik, Braunschweig 1996

²⁹ Zu den Gefahren am Arbeitsplatz bei verschiedenen Reinigungsmedien vgl. Kapitel 1.3

Anwendungsbereichen und bei Reinigungsanlagen, die mit **nicht-halogenierten Kohlenwasserstoffen** (NHKW) betrieben werden, wollen Produkte aus Pflanzenölestern vorrangig Marktanteile gewinnen. Pflanzenölester bieten sich als Alternative zu den mineralölbasierten organischen Lösemitteln an, die brennbar, leicht flüchtig und von ihrer Zusammensetzung her teilweise ökologisch bedenklich sind (s. Tabelle unten). Hierzu gehören „Kaltreiniger“, insbesondere die mit Anteilen aromatischer Kohlenwasserstoffe, aber auch andere Reiniger aus Mischungen von verschiedensten Kohlenwasserstoffen. Diese Lösemittel sind für eine Vielzahl von Verschmutzungen geeignet. Ihre Lösekraft bestimmt sich nach der Zusammensetzung der Inhaltsstoffe, die, je nach Formulierung durch die Hersteller, sehr unterschiedlich ist.

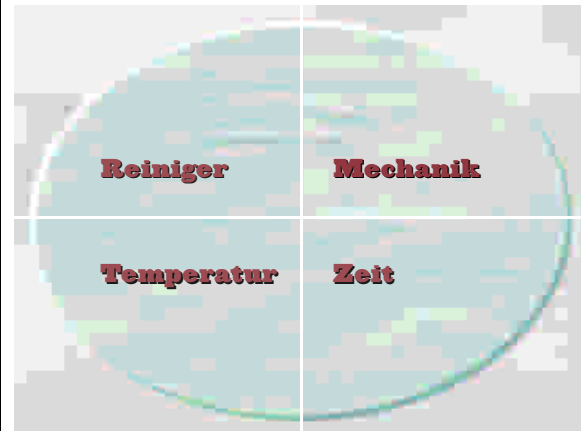
Pflanzenölester haben eine Reinigungswirkung, die denen der Kohlenwasserstoffe vergleichbar ist. Im Kapitel 4 wurden die chemisch-physikalischen Eigenschaften der Ester ausführlich beschrieben, ihre Lösekraft und die technischen Vorteile dargestellt. Die gesundheitlichen und ökologischen Vorteile der Pflanzenölester (u.a. sehr geringe Verdunstung, geringe Toxizität, Verringerung der Brandgefahr und gute biologische Abbaubarkeit) sind in den Kapiteln 3 und 8 näher erläutert. Schilderungen von praktischen Erfahrungen aus Anwenderbetrieben finden sich vor allem im Kapitel 6. In diesem Kapitel wird speziell auf die Wirksamkeit der Pflanzenölester in Verbindung mit gängigen Reinigungsverfahren bei der Metallreinigung eingegangen.

3.1.2 Reinigungsverfahren mit Pflanzen lestern

Das Reinigungsverfahren wird im wesentlichen durch das Reinigungsmedium, die Behandlungszeit, die Temperatur und die mechanische Unterstützung der Reinigung bestimmt.

Die Parameter der Grafik rechts sind nicht isoliert zu sehen, sie beeinflussen sich gegenseitig.

Eine stärkere mechanische Unterstützung kann die Reinigungszeit verkürzen, aber auch das Reinigungsgut beschädigen. Die Wahl des Reinigungsmittels macht Vorgaben für die Bearbeitungstemperatur, die sich wiederum auf die Behandlungszeit auswirkt, usw.



Die **manuelle Reinigung** ist trotz aller Automation noch immer ein bedeutender Bereich in vielen Betrieben, auch wenn sie als Randbereich oft stiefmütterlich behandelt wird. Es ist gerade die manuelle Reinigung, die in der Industrie den größten Anteil an den Schadstoffemissionen durch flüchtige Lösemitteln bei der Metallreinigung hat. Im Kfz-Handwerk ist die manuelle Teilereinigung an Waschtischen inzwischen die zweitwichtigste Emissionsquelle von Lösemitteldämpfen, gleich nach der Lösemittelabgabe durch Bremsreiniger. Bei den manuellen Arbeiten sind die gesundheitlichen und ökologischen Gesichtspunkte sehr entscheidend, da hier ein direkter Kontakt zwischen Reinigungsmittel und Mensch gegeben ist. Am Arbeitsplatz wird das Reinigungsmittel an Waschständen mit Pinsel, Bürste oder Lappen aufgebracht und es wird versucht, die Verschmutzungen durch Abreiben und Abbürsten zu entfernen. Bei der offenen Anwendung kommen zur Zeit überwiegend Kohlenwasserstoffgemische der Gefährdungsklassen AII und AIII (Kaltreiniger) zum Einsatz. Diese Waschtische eignen sich hervorragend für den Einsatz von Pflanzenölestern und können zumeist problemlos mit dem neuen Produkt befüllt werden. Die teil-

Kohlenwasserstoffe und Pflanzen lester			
Bezeichnung (Flammpunkt)	Gefahrenklasse nach VbF	Kennzeichnung	Flüchtigkeit
Herkömmliche Kohlenwasserstoffreiniger (21–100°C)	AII bis AIII	leichtentzündlich bzw. entzündlich	Leichtflüchtig bzw. flüchtig
Pflanzenölester (Über 100°C)	keine	keine	sehr schwer flüchtig

Erläuterung: VbF = Verordnung über brennbare Flüssigkeiten

weise vorhandenen Absauganlagen werden für die Ester nicht mehr benötigt.

Manuelle Reinigungsarbeiten kommen auch in Verbindung mit offenen **Tauchbecken** vor. Verschmutzte Werkstücke werden eingetaucht und eingeweicht, um die spätere manuelle Nachreinigung zu erleichtern. Absauganlagen sind teilweise vorhanden, manchmal dient aber nur eine große Metallabdeckung als zeitweiliger Emissionsschutz. Auch hier ist eine Umstellung auf Pflanzenölester ohne größeren Aufwand möglich. Maschinenteile, die für Waschtische und Tauchbecken zu groß sind, müssen in Fabrik- oder Lagerhallen mit Lappen, Pinsel und Bürste von Verschmutzungen befreit werden. Diese Art Reinigungsarbeiten fallen z.B. bei der Ablösung von Schutzbeschichtungen großer Teile an und sind u.a. im Schiffsbau durchaus üblich. Im Bereich der manuellen und offenen Reinigung kommen nicht nur die gute Reinigungswirkung, sondern auch die Vorteile hinsichtlich des Arbeits- und Umweltschutzes voll zum Tragen.

Automatisierte Reinigungsverfahren können halbautomatisch oder vollautomatisch gestaltet sein, wobei der Grad der Automation durch die Beschickung mit Reinigungsgut bestimmt wird. Die Anlagen sind auf Einzelstücke, Chargen oder Durchlaufbetrieb eingerichtet und als Einkammer-Reinigung oder als Mehrkammer-Reinigung konzipiert. Wenn diese Anlagen mit Kohlenwasserstoffen bei erhöhter Temperatur betrieben werden, sind Absauganlagen und Explosionsschutzeinrichtungen erforderlich. Die Flüchtigkeit und die Brennbarkeit der Kohlenwasserstoffe ist hierbei eine dauerhafte Gefahr. Dem Einsatz von Pflanzenölestern in automatischen Anlagen steht grundsätzlich nichts im Wege. Vor dem Einsatz muss in Kontakt mit dem Anlagenhersteller geprüft werden, ob die Materialverträglichkeit gegeben ist und ggf. Modifikationen an der Anlage notwendig sind. Die Reinigungsstufen und der Prozessablauf müssen aufeinander abgestimmt sein.³⁰

Zu den weiteren Reinigungsmethoden gehört die **Dampfentfettung**. Hierbei werden die zu reinigenden Teile über die Reinigungsflüssigkeit gehängt. Das Lösemittel wird auf den Siedepunkt erhitzt und die Dämpfe kondensieren an den kälteren Metallteilen. Verunreinigungen werden abgelöst und fallen mit den Tröpfchen wieder in die Flüssigkeit darunter zurück. Für diese Art der Reinigung werden vor allem Chlorkohlenwasserstoffe eingesetzt, da sie nicht brennbar sind. Es sind jedoch auch andere Kohlenwasserstoff-Rei-

niger für die Dampfentfettung erhältlich. Die **Dampfentfettung durch Pflanzenölester** ist nur unter Vakuum sinnvoll, da ihr Siedebereich über 200°C liegt. Je nach Produktformulierung kann eine Dampfentfettung im Vakuum bei ca. 90°C durchgeführt werden. Regelanwendungen gibt es hierfür jedoch zur Zeit noch nicht.

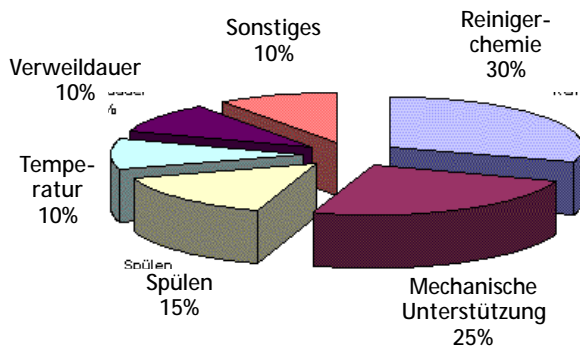
Bei den **elektrischen Verfahren** stehen die **Niederdruck Plasmareinigung** und die atmosphärische **Korona-Entladung** zur Verfügung. Beide Verfahren werden zur Feinreinigung als letzter Reinigungsschritt eingesetzt. Die Plasmareinigung entfettet mit elektrisch angeregten Gasen (ohne Lösemittel) im Vakuum bei etwa 1mbar in geschlossenen Anlagen. Die Reinigung von Werkstücken mit atmosphärischen Korona-Entladungen finden bei normalem Atmosphärendruck statt und kann somit auch in „offenen“ Verfahren angewendet werden. Während die Plasmareinigung weitgehend unabhängig von der Geometrie der Werkstücke arbeiten kann, schränken komplizierte Geometrien den Anwendungsbereich für die Korona-Entladung ein. Die Behandlung von Metall-Bahnen ist ein klassisches Beispiel für deren Anwendung bei einfachen Geometrien. Beide elektrischen Verfahren könnten den Einsatz von Pflanzenölestern ergänzen, um nach der Hauptreinigung den dünnen Restfilm der Pflanzenölester zu entfernen. Hierüber liegen jedoch noch keine aussagekräftigen Testreihen vor. Die Anwendung dieser Kombination wäre in der Praxis sicherlich auf einige wenige Bereiche beschränkt, da die elektrischen Verfahren entweder sehr aufwendig sind oder durch die Teilegeometrie eingeschränkt werden.

3.1.3 Unterstützende Faktoren: Temperatur und Bewegungsenergie

Organische Lösemittel, die zur Verwendung bei Raumtemperatur vorgesehen sind, werden als „Kaltreiniger“ bezeichnet. Da der Flammpunkt der Kaltreiniger zumeist zwischen 25 und 65°C liegt, ist ihre Verdunstungsrate bei Raumtemperatur wesentlich höher als die der Pflanzenölester, deren Flammpunkt bei über 100°C liegt. Wird nun die **Temperatur erhöht**, sei es ungewollt durch Maschinenwärme oder hohe Sonneneinstrahlung im Sommer, oder gewollt durch eine Erwärmung des Reinigungsbades, nimmt die Verdunstung und damit auch die Geruchsentwicklung der Kaltreiniger stark zu. Pflanzenölester haben demgegenüber bei höheren Temperaturen deutlich geringere Verdunstungsverluste. Der große technische Vorteil der Temperaturerhöhung liegt in der Steigerung der Reinigungswirkung. Fast alle Ver-

³⁰ Vgl. auch die Zusatzinformationen zu automatischen Anlagen im weiteren Verlauf dieses Kapitels.

Einflüsse auf das Reinigungsergebnis



Specht, H. und Eckard, T.: Welches Reinigungssystem ist das richtige? In: JOT 3/1999, Seite 21

schmutzungen lassen sich besser lösen, wenn oberhalb der Raumtemperatur gearbeitet wird.

Eine höhere Temperatur verringert die Viskosität der Ester und verbessert dadurch ihr Kriechverhalten. Die Ester werden flüssiger, können das Reinigungsgut einfacher umfließen und besser in kleine Öffnungen eindringen. Es ist aber nicht jeder Pflanzenölester für jede Temperatur geeignet. Die thermische Stabilität ist von der Formulierung der Produkte abhängig. Anwender sollten in jedem Fall beim Anbieter nachfragen, bis zu welcher Temperatur das entsprechende Produkt bedenkenlos einsetzbar ist. Es sind Produkte auf dem Markt, die bis zu einer Arbeitstemperatur von gut 90°C thermisch stabil bleiben.

Neben der substanziellen Frage der thermischen Stabilität stellt sich auch die Frage der Geruchsbelästigung. Bei Raumtemperatur sind fast alle Pflanzenölester im Geruch neutral. Bei einigen Estern kann eine Temperaturerhöhung (ab ca. 40°C) zu einer Geruchsentwicklung führen, die bei offenen Anwendungen als Belästigung empfunden werden kann. Eine sorgfältige Auswahl der Grundkomponenten kann dieser Geruchsentwicklung vorbeugen. Während beispielsweise der Geruch erwärmter Rapsmethylester eher als negativ wahrgenommen wird, sind erwärmte Kokosester geruchsneutraler. Hersteller geben hierzu nähere Hinweise.

Mechanische Einflüsse sind ebenfalls von großer Bedeutung, um die Reinigungswirkung zu verstärken (s. Abbildung oben). **Tauchen** ist das einfachste Verfahren, bei dem durch ein kontinuierliches Auf- und Absenken oder ein Rotieren des Reinigungsgutes in der Flüssigkeit Bewegungsenergie genutzt wird. Beim **Fluten** verbleibt das Reinigungsgut in einer festen Position, während die Reinigungsflüssigkeit durch Pumpen in Bewegung gehalten wird und das Werkstück umspült. Es können auch **Bürsten** zur automatischen Reinigung eingesetzt werden. Dies bietet sich beispielsweise bei der Reinigung von Bandstahl an,

der kontinuierlich über diese Bürsten läuft. Bürsten, Tauchen und Fluten sind mechanische Hilfsmittel, die bei der Reinigung mit Pflanzenölestern problemlos einsetzbar sind.

Durch das **Spritzen** wird ebenfalls mechanische Energie auf das Reinigungsgut ausgeübt. Die Anordnung der Spritzdüsen hängt wesentlich von der Geometrie des zu reinigenden Werkstücks ab.

Vorsicht ist beim **Versprühen von Pflanzenölestern** geboten. Obwohl die Pflanzenölester einen sehr hohen Flammpunkt haben, treten in Abhängigkeit von Sprühdruck und Größe der Düsen Sprühnebel auf, die bei ungünstigen Umgebungsbedingungen zu entzündlichen Gemischen führen können. Bilden sich Sprühnebel bei offenen Anwendungen, können Absaugmaßnahmen oder persönliche Schutzausrüstung notwendig werden, um das Einatmen der Tröpfchen zu vermeiden. Generell werden Ölnebel (auch von Lösemitteln) als gesundheitlich riskant eingestuft. Es sind daher Vorabklärungen erforderlich, um den Sprühdruck festzulegen und die Düsen auf die Konsistenz des Reinigungsmittels einzustellen. Im Vakuum sind Sprühanwendungen sicherer. Explosionsfähige Sprühnebel können zudem umgangen werden, indem man das Reinigungsmittel aus einem hohen Anteil Wasser und einem geringen Anteil Ester zusammensetzt, was bei Mikroemulsionen der Fall ist.

Ultraschall wird zur Unterstützung der Reinigungswirkung bei der Tauchreinigung eingesetzt. Elektrisch erzeugte Schwingungen übertragen die Reinigungsenergie und führen zu mechanischen Wellen in der jeweiligen Flüssigkeit. Die Wellen bestehen aus Schwingungsteilen mit wechselweise hohem und niedrigem Druck. Bei ausreichender Schwingungsweite (Amplitude) entsteht die sogenannte Kavitation. Sie erzeugt Schockwellen mit hoher Intensität, die auf das Reinigungsgut einwirken und vorhandenen Schmutz ablösen. Während der Druck auf das Werkstück reinigungstechnisch unwirksam ist, erzeugt der Sog die Kavitation, in deren Folge sich Verschmutzungen ablösen. Ultraschall kann in Verbindung mit wässrigen Reinigern, Kohlenwasserstoffen oder Pflanzenölestern eingesetzt werden. Bei der Verwendung von niedrig viskosen Pflanzenölestern unterstützt Ultraschall die Reinigungswirkung. Der Einsatz von Mikroemulsionen ist ebenfalls sehr erfolgversprechend. Sie können gut in Temperaturbereichen bis 80°C gefahren werden, wobei ihr Wasseranteil die Kavitation bei ca. 70°C am wirksamsten macht. Temperatur und Schwingungsfrequenz sollten immer dem Reinigungsmedium angepasst sein und in Abstimmung mit dem Anlagenhersteller und dem Reinigungsmittelproduzenten eingestellt werden.

Einsatzmöglichkeiten von Pflanzenölestern und Mikroemulsionen auf Basis von Pflanzenölestern in unterschiedlichen Reinigungsverfahren

Reinigungsverfahren	Einsatzmöglichkeiten Pflanzenölester	Einsatzmöglichkeiten Mikroemulsionen
Manuelle Reinigung	++	*
- Teilereinigung an Waschtischen	++	*
- Tauchbecken	++	++
Automatische Reinigungsanlagen ¹	++	++
Mechanische Unterstützung	++	++
- Tauchen, Fluten, Bürsten	++	++
- Spritzen ²	+	++
- Ultraschall	+	++
Dampfentfettung (unter Vakuum)	+	*

Erläuterung: ++ = gut einsetzbar / + = begrenzt einsetzbar / (= nicht einsetzbar / * = noch keine Praxiserfahrung

¹ Eignung vor dem Einsatz überprüfen (Temperatur, Materialbeständigkeit, Aerosolbildung bei Spritzverfahren)

² Beim Versprühen von Pflanzenölestern treten in Abhängigkeit von Sprühdruck und Größe der Düsen Sprühnebel auf, die bei ungünstigen Umgebungsbedingungen zu entzündlichen Gemischen führen können. Vorabklärungen sind daher beim Versprühen unbedingt erforderlich.

Bei der Verwendung von Pflanzenölestern sind alle beschriebenen Verfahren zur mechanischen Unterstützung einsetzbar. Es ist in jedem Fall zu prüfen, welches Verfahren das bestmögliche Reinigungsergebnis erzielt. Anpassungen bestehender Reinigungsanlagen sind auch hier ggf. notwendig.

3.1.4 Reinigungswirkung: Laborversuche und betriebliche Anwendungen

Die Wirkung eines Reinigungsmittels soll möglichst optimal sein. Die Reinheit von Oberflächen lässt sich jedoch nur schwer exakt bestimmen: „Wie sauber ist rein?“ Trotz der Verfügbarkeit einer Vielzahl von Testverfahren, sind quantifizierbare Aussagen mit allgemeiner Reichweite kaum möglich. Laborwerte geben der betrieblichen Praxis eine Orientierung, können jedoch den Testversuch mit original verschmutzten Teilen (am besten vor Ort) nur selten ersetzen. **In der Praxis hat es sich bewährt, die Reinheitsanforderungen an die Oberfläche über den erfolgreichen Ablauf des Folgeprozesses zu definieren.** Wenn es bei der nachfolgenden Bearbeitung keine Probleme gibt, ist die Reinigungswirkung ausreichend.

Einflussfaktoren

Nur mit dieser einfachen Regel allein wird jedoch keine optimale Entscheidung über das Reinigungsverfahren und das Reinigungsmittel zu treffen sein. Die nachstehenden Parameter (s. Tabelle rechts) können die Entscheidung beeinflussen, wobei die Gewichtung der einzelnen Faktoren sehr unterschiedlich sein kann.

Reinigungstests im Labor

Reinigungstests im Labormaßstab können als

Orientierung für potentielle Anwender dienen. Im Rahmen des EU-Projekts VOFAPro wurde die Reinigungswirkung von Pflanzenölestern bei Metallen vom Materialprüfungsinstitut Materials Ireland in Dublin getestet. Die Ergebnisse sind u.a. auf CD über die Kooperationsstelle Hamburg erhältlich (Datenbank EIS=Ester-Informationssystem). Die Versuche bestätigten, dass Pflanzenölester sehr wirkungsvolle Reiniger sind. Unterschiedliche Metalle wurden mit vier verschiedenen Testverschmutzungen behandelt und anschließend mit drei Reinigungsmethoden (Manuell, Tauchen, Sprühen) gesäubert. **Die Pflanzenölester lösten gängige Industrieschmutze und eignen sich daher gut für die Oberflächenreinigung von Metallen.** Mineralöl, Kohlenstaub, Wollfett, Stearinsäure, Aluminiumoxid und Metallspäne wurden gut abgereinigt. Pflanzenölester haben jedoch, wie organische Lösemittel auch, nur eine begrenzte Wirkung auf Oxidschichten bzw. stark eingebrannten Schmutz.

Des Weiteren wurde im Auftrag des LIFE-Projektes am Institut für Werkstofftechnik (IWT) in Bremen die Reinigungswirkung von sieben Pflanzenölestern in Laborversuchen untersucht. Ein gängiger Kohlenwasserstoffreiniger diente als Referenzprodukt. Die Proben von Metallteilen wurden mit einem Shell-Standardschmutz durch Aufstreichen verunreinigt. Für die Tests wurden zwei Probengeometrien (mit und ohne Spalt) gewählt. Um den Einfluss der Temperatur auf die Reinigungswirkung zu untersuchen, fanden zusätzliche Reinigungsversuche bei 40 und 70°C statt. Die Reinigungswirkung wurde durch Gewichts- und Flächenanalysen beurteilt. Generell sind die Proben ohne Spalt nach der Reinigung sauberer als die mit Spalt. Bei allen Reinigungsmitteln ist der auf den Proben noch vorhandene Restschmutz angelöst und lässt sich mit einem Tuch vollständig entfernen. Niedrigviskose Pflan-

Faktoren für die Auswahl des richtigen Reinigungsmittels und -verfahrens
Art und Beschaffenheit des zu reinigenden Gegenstands <i>(Material, Oberflächenbeschaffenheit)</i>
Art, Zusammensetzung und Grad der Verschmutzung
Zweck der Reinigung bzw. Qualitätsanforderung an die Reinigung <i>(Vorreinigung, Zwischenreinigung, Endreinigung)</i>
Nachfolgende Behandlungsschritte <i>(Reparatur, Veredelung, Lagerung, etc.)</i>
Geometrie und Stückzahl des Reinigungsgutes
Verfügbare Technik der Reinigung/vorhandene oder geplante Reinigungsanlage
Temperaturbegrenzungen
Arbeits- und Verfahrensabläufe/Prozessintegration
wirtschaftliche Gesichtspunkte <i>(Zeitvorgaben, Kosten für Anlage, Reiniger, Entsorgung etc.)</i>
Arbeitsschutz- und Umweltschutzaspekte

zenölester reinigen die Proben mit Spalt (kompliziertere Geometrie) besser als höher viskose Ester. Eine Erhöhung der Temperatur verbessert die Reinigungsleistung, wobei einige Ester erst bei 70°C eine verstärkte Wirkung entwickelten.

Betriebliche Tests und Regelanwendungen
Allein in Deutschland wurden bereits in über 40 Betrieben der Metallindustrie intensive Praxisversuche mit Estern durchgeführt. Besonders geschätzt wird von den Anwendern die Reinigungswirkung, die gute Hautverträglichkeit, der milde Geruch sowie der temporäre Korrosionsschutz. Bei einigen Anwendungen störte der Restfilm und in Einzelfällen gab es Probleme mit der Materialverträglichkeit (Kunststoff und Eloxalschicht). Unverträglichkeiten mit Komponenten von Waschtischen und Tauchbecken sind dagegen nicht aufgetreten.

Pflanzenölester sind in ihrer Reinigungskraft mit herkömmlichen Kaltreinigern vergleichbar. Alle gängigen Verschmutzungen im Bereich der Instandhaltung (Öle, Fette, Kühlschmierstoffe, Metallspäne, etc.) können problemlos abgereinigt werden. Bei einer Reihe von speziellen Verschmutzungen wie Colophonium, Molykote (MoS₂-haltiger Schmierstoff), Bitumen und Konservierungsmittel zeigen die Ester sogar eine **bessere Reinigungswirkung**.

Ein großer Anwendungsbereich für Pflanzenölester ist die Instandhaltung und Reparatur. In vielen Betrieben unterschiedlicher Branchen wie Maschinen- und Kraftwerksbau, Automobilbau und Zulieferer, Schiffswerften, Stahlwerke, Eisenbahnen, Feinmechanik und Elektroindustrie werden die Esterprodukte mittlerweile regelmäßig in

den betriebsinternen Schlossereien und Werkstätten eingesetzt. Die folgenden Kurzvorstellungen sollen zusätzliche Hinweise auf die Anwendungsmöglichkeiten geben. Im Kapitel 6 werden weitere Beispiele dargestellt.

Die B+V Industrietechnik in Hamburg reinigt seit Jahren demontierte Maschinen- und Anlagenteile vor der Instandsetzung mit Pflanzenölestern. Die Firma Helkenberg in Velbert setzt einen Waschtisch mit Pflanzenölestern für alle Reinigungsarbeiten in der Schlosserei ein. Das Werk Hamburg der DaimlerChrysler AG nutzt ebenfalls Pflanzenölester in der Teilereinigung in Waschtischen im Bereich der Maschinenreparatur (s. Abbildung 5). Die Firma MACO Beschläge in Salzburg reinigte u.a. Stanzwerkzeuge in der Instandhaltung erfolgreich mit diesen Produkten. In allen Fällen konnten mineralölbasierte Lösemittel (Kaltreiniger) durch Pflanzenölester ersetzt werden.

Bei dem in der Medizintechnik tätigen Unternehmen **Stryker Howmedica Osteonic** in Kiel wurden über sechs Monate Versuche mit Pflanzenölestern durchgeführt. Bei der Fertigung von chirurgischen Maschinen bewährte sich das neue Produkt zur Zwischenreinigung nach der Kaltumformung. Im Gegensatz zum herkömmlichen Kohlenwasserstoff-Reiniger ließen sich mit dem Ester die Bearbeitungsöle vollständig entfernen. Auch in der Betriebsschlosserei konnten Verunreinigungen mit Ölen, teilweise verharzten Fetten und Kühlschmiermitteln besser als vorher entfernt werden.

Bei dem Automobilzulieferer **Johnson Controls** in Lüneburg wurde die Reinigung der Produktionsmaschinen (Nietpistolen) auf einen Pflanzenölester umgestellt, der in einem Tauchbad zur Wirkung kommt. In einer selbstgebauten, rotierenden Trommel werden die verklebten Backen der Nietpistolen automatisch gereinigt.

Im Wolfsburger Werk der **Volkswagen AG** verliefen Tests an Waschtischen in der Ausbildungswerkstatt positiv. Weitere Versuche mit Pflanzenölestern zur Entfernung des Festschmierstoffes Molybdänsulfid (MoS₂) von Gelenkwellen verliefen ebenfalls sehr gut. In Zusammenarbeit mit dem Reinigungsanlagenhersteller Multimatic wurde eine automatische Reinigungsanlage an die Pflanzenölester angepasst (s. Kapitel 3.1.7).

In den Niederlanden wurde in der Instandhaltungsabteilung der **Niederländischen Eisenbahn** (N.S. Amersfoort) ein Pflanzenölester für die manuelle Reinigung von Radlagern über längere Zeit getestet. Das Reinigungsverhalten wurde im Vergleich zum vorher eingesetzten AIII-Reiniger als gut beurteilt. Der Restfilm der Ester trägt sich mit dem Schmiermittel für die Radlager und



Teilereinigung im Bereich der Instandhaltung von Werkzeugmaschinen bei der DaimlerChrysler AG.

wirkt nach der Reinigung als Konservierung für die Lagerung.

Die Firma **Rosenbauer AG** in Leonding (Österreich) verwendet Pflanzenölester mit einem Emulgatorzusatz zur Endreinigung und Konservierung von Feuerwehrfahrzeugen vor deren Auslieferung. Es werden Aluminium und Stahlbleche von losem Schmutz, Metallabrieb, Ölen und Fetten sowie von Klebstoffresten gereinigt. Die Korrosionsschutzwirkung des Reinigers wird positiv bewertet, die Akzeptanz bei den Mitarbeitern ist sehr gut. Auf ihren Wunsch hin wird das Produkt jetzt routinemäßig eingesetzt.

Übersicht: Einsatzbereiche für Pflanzenölester

Auf Grundlage von Laborversuchen, Angaben von Herstellern und betrieblichen Erfahrungen wurde die folgende Übersicht zusammengestellt. Dargestellt sind die Einsatzbereiche, für die sich Pflanzenölester im Grundsatz eignen. Die Lösekraft einzelner Produkte bestimmt sich nach der Zusammensetzung der Inhaltsstoffe, die je nach Formulierung durch die Hersteller unterschiedlich ist. Reinigungsmittel und Verschmutzung müssen aufeinander abgestimmt sein. Nicht jedes Produkt ist für jede Anwendung gleich gut geeignet. Anwenderbetriebe sollten das für sie richtige Reinigungsmittel in engem Kontakt mit dem Anbieter auswählen. Verschmutzungen für die sich Pflanzenölester nicht bzw. nur teilweise eignen

sind: Oxide, Korrosionsprodukte und eingebrannte Ölkohle.

Beispiele für Einsatzmöglichkeiten von Pflanzenölestern

Verschmutzungen
Tierische und pflanzliche Öle und Fette
Mineralöle und -fette
Ziehöle und -fette (z.B. Stearate)
Wachse
Schmierstoffe/Kühlschmierstoffe
Korrosionsschutzöle und -schutzbeschichtungen
Läpp- und Polierpasten
Graphit/MoS ₂ /Pigmente
Bitumen/Teer
Metallspäne
Schleifstaub/Strahlmittelrückstände

3.1.5 Schmutztragevermögen und Oberflächenreinheit

Im LIFE-Projekt wurde das Schmutztragevermögen von Pflanzenölestern untersucht. Ein Projektpartner, die Fa. Haltermann, führte hierzu Modellversuche durch. **Bis zu einer Ölbelastung von 20–25%** erfolgte **keine nennenswerte Rückverschmutzung** der gereinigten Teile. Pflanzenölester haben gegenüber gängigen Kaltreinigern eine bessere Fettaufnahmekapazität, da ein wesentlicher Teil der Schmutze (Öle und Fette) in

Lösung gehen. Die hohe Fettaufnahmekapazität führt zu einer langen Standzeit des Reinigers. Auch wenn der Pflanzenölester durch den eingebrachten Schmutz verfärbt sein sollte, bleibt seine Reinigungswirkung lange erhalten.

Die geringe Flüchtigkeit der **Pflanzenölester hinterlässt einen dünnen Restfilm** auf dem Reinigungsgut, z.B. nach einer Tauchreinigung. Die Schichtdicke ist von der Konsistenz des Reinigungsmittels und von der Verarbeitungstemperatur abhängig. Diese Filmschicht kann als Rückstand das Reinigungsergebnis beeinträchtigen. Ob dies so ist, hängt jedoch von der Weiterbehandlung des Werkstücks ab. Bei flüchtigen Lösemitteln verdunsten Rückstände des Reinigungsmittels in die Umgebungsluft und belastet die Umwelt. Bei Pflanzenölestern wird die Umwelt geschont, es bleibt jedoch ein dünner Restfilm zurück.

Dieser Restfilm kann als **temporärer Korrosionsschutz** erwünscht sein, kann aber auch eine Weiterbearbeitung des Werkstücks erschweren. Dort, wo absolute Reinheit erforderlich ist (z.B. bei der Beschichtung von Metallen), muss der Reinigung mit Pflanzenölestern ein zweiter Reinigungsschritt folgen. Je nach Anforderung kann diese Nachreinigung mit einem organischen Lösemittel oder einem wässrigen Verfahren erfolgen. Pflanzenölester erfüllen in diesen Fällen die **Funktion der Vorreinigung**.

Wenn ein Metall nach der Reinigung mit einer Farbe erfolgreich beschichtet werden kann, so spricht dies für die Qualität der Reinigung. Diesem Grundsatz folgend wurde bei dem Materialprüfungsinstitut „Materials Ireland“ in Dublin eine Testreihe durchgeführt und das Aufbringen von Farben nach einer Reinigung mit Pflanzenölestern bewertet. Die Tabelle unten gibt einen Überblick über die Ergebnisse. Durch geeignete Nachbehandlung kann der Restfilm entfernt werden, so

dass eine Beschichtung möglich ist. Ist diese Nachbehandlung manuell oder thermisch nicht möglich, ist ein zweites Reinigungsmedium erforderlich. Wasser ist grundsätzlich geeignet, wenn vorher ein Ester mit Emulgator oder eine Esteremulsion verwendet wurde. Beim Einsatz reiner Ester muss die Nachreinigung mit üblichen Kohlenwasserstoffen oder wässrig-alkalischen Reinigern erfolgen. Da hierfür nur geringe Mengen erforderlich sind, wird die Gesamtmenge an flüchtigen Lösemitteln reduziert.

Derartig hohe Reinheitsanforderungen (siehe Tabelle unten) werden jedoch nicht immer verlangt. Werkstücke, die nach einem Bearbeitungsschritt zum Prüfen, Zwischenlagern oder für Montagearbeiten zu reinigen sind, sollen häufig nur makroskopisch frei von Öl, Fett und weiteren Rückständen sein. In den meisten Fällen ist der dünne Restfilm sogar als temporärer Korrosionsschutz erwünscht.

3.1.6 Materialverträglichkeit

Bei der Auswahl des geeigneten Reinigungsmittels steht die Reinigungswirkung im Vordergrund. Wichtig ist aber auch, dass sich keine Unverträglichkeiten mit dem zu reinigenden Material oder mit der Reinigungsanlage ergeben. Das Reinigungsgut darf nicht angegriffen oder verfärbt werden. Das Aufquellen von Gummidichtungen oder das Anlösen von Kunststoffverkleidungen ist absolut unerwünscht. Bei Maschinen und Anlagen dürfen keine Korrosionserscheinungen oder eine Ablösung des Maschinenschutzlackes auftreten.

Verträglichkeit gegenüber Nicht-Metallen
Zur Klärung dieser Frage können beispielsweise die Hansen-Löslichkeitsparameter (HSP) heran-

Reinigung und Weiterbearbeitung/Tests im VOFAPro-Projekt

Reinigungsmittel	Reinigungsprozess	Weiterbehandlung	Reinigungsergebnis		Beschichtung möglich
			Rückstände vorhanden	Keine Rückstände	
Pflanzenölester ¹	Manuell	Abtropfen lassen	✓		Nein
		Trocken wischen		✓	Ja ²
		Behandlung mit Lösemittel		✓	Ja ²
	Tauchen	Abtropfen lassen	✓		nein
		Trockenofen		(✓)	Ja ³
	Sprühen	Trockenofen		(✓)	Ja ³

Erläuterung:

(1) = Im Test waren vier Pflanzenölester

(2) = Test mit wasserbasierter und lösemittelbasierter Farbe, sowie mit einer speziellen Schutzbeschichtung

(3) = Test nur mit wasserbasierter und lösemittelbasierter Farbe

(✓) = Rückstände von Produkten mit relativ niedrigem Siedepunkt können im Trockenofen verdampft werden.

Quelle: Materials Ireland: VOFAPro-Report, Dublin 1997; und: Philip Thornton: Why cleaners clean; Referat auf dem VOFAPro-Workshop in Amsterdam 1997.

gezogen werden, die schon im Kapitel 2 erwähnt wurden. Die Löslichkeit von Bindemitteln kann ein Hinweis darauf sein, ob der Schutzlack einer Maschine durch ein Reinigungsmittel angegriffen wird. Eine Rückversicherung bei den Herstellern von Pflanzenölestern und den Herstellern von Maschinen und Anlagen wird darüber hinaus weitere Klarheit bringen. Ein praktischer Versuch vor Ort mit einem Test-Werkstück bzw. mit dem Maschinenlack der Reinigungsanlage bringt weiteren Aufschluss. Da überprüft werden muss, ob neue Produkte mit alten Anlagen harmonieren, sollten alle Wege der Informationsbeschaffung, der Rückversicherung und des praktischen Versuchs gegangen werden.

Löslichkeitstests im Rahmen des EU-Projektes VOFAPro zeigen, dass die meisten Pflanzenölester die Fähigkeit haben, **Bindemittel** wie Alkyde, Chlorkautschuk und Hexa-Methoxy-Methylmelamin zu lösen oder sich mit ihnen zu vermischen. Methyl- und Ethylester können außerdem Bindemittel wie Phenolharze und Epoxidharze mit niedrigem Molekulargewicht lösen. Nitrocellulose ist in Pflanzenölestern teilweise löslich.

Dies bedeutet jedoch nicht, dass Pflanzenölester automatisch eine Gefahr für den Maschinenschutzlack darstellen. Jahrelange praktische Erfahrungen in der Druckindustrie und in der Metallindustrie sprechen für sich. Entscheidend ist immer die jeweilige Formulierung des Produktes und der Anwendungszweck. Während einige Pflanzenölester im Reinigungsbereich als Graffiti-Entferner eingesetzt werden (hohe Farbablösung ist erwünscht), verhalten sich andere Ester neutral gegenüber Maschinenlacken (Farbablösung unerwünscht). Die Hersteller kennen diese Eigenschaften und geben ihren Produkten je nach Anwendungszweck die richtige Zusammensetzung.

Pflanzenölester können **Gummi** quellen lassen und **Kunststoffe** angreifen. Dieses Erkenntnis ist den Herstellern ebenfalls bekannt. Die Fähigkeit, Pflanzenölester zu absorbieren und sich zu verändern, hängt von der Art des betreffenden Kunststoffes bzw. Gummis ab. Vergleiche von Pflanzenölestern mit einem gängigen organischen Lösemittel (entaromatisierter Kohlenwasserstoff C₁₀-C₁₂) ergaben bei Quelltests ähnliche Werte. Unterschiede waren in folgenden Bereichen zu beobachten:

- Silikon- und Butylkautschuk werden vom Kohlenwasserstoff doppelt so stark angegriffen wie von Pflanzenölestern.

- Neopren wird von Pflanzenölestern angegriffen, jedoch nicht vom Kohlenwasserstoff.
- Das Quellverhalten von Kautschuk ist bei einer Ester-Mikroemulsion (Basis: Rapsölester) im allgemeinen geringer als bei reinen Pflanzenölestern.³¹

Im Gegensatz zu leicht flüchtigen Kohlenwasserstoffen haben Pflanzenölester die Eigenschaft, lange auf den Materialien zu verbleiben, da sie schwer flüchtig sind. Diese Eigenschaft setzt eine gute Materialverträglichkeit voraus. In der Druckindustrie wurden schon gute Erfahrungen mit der Maschinenverträglichkeit der Pflanzenölester bei Offsetdruckmaschinen gesammelt. Dort werden beispielsweise Gummidrucktücher mit Pflanzenölestern ohne Probleme gereinigt. Der Einsatz in automatischen Waschanlagen ist in Druckereien gängige Praxis. Mit dem heutigen Wissen und den im Einsatz befindlichen Formulierungen kann das Problem der Materialverträglichkeit auch in der Metallindustrie gelöst werden.

Verträglichkeit gegenüber Metallen

Pflanzenölester wirken normalerweise nicht korrodierend auf Metalle, im Gegenteil. Sie sind sehr gut als **temporärer Korrosionsschutz** einsetzbar. Die Schutzwirkung ist je nach Produktzusammensetzung unterschiedlich ausgeprägt. Im Kapitel 2 finden sich hierzu nähere Ausführungen. Ausnahmen von der Korrosionsschutzwirkung wurden im EU-Projekt VOFAPro beschrieben, sind den namhaften Herstellern bekannt und werden von ihnen in den Produktformulierungen berücksichtigt.

Im VOFAPro-Projekt wurden fünf Ester³² auf Korrosionswirkungen gegenüber einer Reihe von Metallen bei Raumtemperatur untersucht. Die Ergebnisse belegen, dass Pflanzenölester nicht von Natur aus korrosiv wirken. Die Produkte, die auf reinen Fettsäureestern aus Pflanzenölen basierten, griffen die Metalle nicht an. Korrosion wurde nur bei zwei Produkten festgestellt, wovon eines synthetisch war und das andere einen Emulgator enthielt. Diese Produkte führten nur **bei einigen Metallen zu Materialveränderungen**. Zinkbeschichtete Metalle oder solche, die Zink enthielten (feuerverzinkter Stahl und Messing), wurden von dem Produkt mit Emulgator angegriffen, während das synthetische Produkt korrodierend auf Stahl wirkte.

Verzinkte und zinkhaltige Metalle können durch freie Fettsäuren angegriffen werden. Wenn

³¹ Vgl.: Kooperationsstelle Hamburg: VOFAPro Technische Information 1997 und Kooperationsstelle Hamburg: VOFAPro Final Report, Hamburg 1997, Seite 84. Im Test: Fünf Ester, eine Ester/Mikroemulsion und ein Kohlenwasserstoff als Referenzprodukt.

³² Im Test: Zwei Produkte auf Kokosölbasis, ein synthetischer Ester, ein Produkt auf Rapsölbasis mit Emulgator und ein Ester aus reinem Methyloleat.

Pflanzenölester aus technischen Gründen (Reinigungswirkung) auf bestimmte Fettsäuren nicht verzichten können, wird dies durch Korrosionsinhibitoren ausgeglichen. Insofern sind durch die Verwendung von Pflanzenölestern keine Materialveränderungen bei Metallen zu erwarten. Die mehrjährige Praxis in den Betrieben (Druckindustrie, Metallindustrie, Bauindustrie) belegt deren Materialverträglichkeit. Trotzdem verdient diese Frage Aufmerksamkeit, da nicht alle Materialmischungen (Metalllegierungen) in Verbindung mit allen Esterformulierungen im Labormaßstab vorab getestet werden können oder schon in der Praxis erprobt wurden. Um ein „Restrisiko“ auszuschließen, empfiehlt sich die gleiche Vorgehensweise wie bei den Nicht-Metallen beschrieben: Informationsbeschaffung, Rückversicherung bei Herstellern und praktischer Versuch vor Ort.

Verträglichkeit mit nachfolgenden Schweißarbeiten

In der Praxis wurde die Frage aufgeworfen, ob bei Schweißarbeiten an Metallen, die vorher mit Pflanzenölestern gereinigt wurden, durch den Restfilm des Esters gesundheitsschädliche Emissionen entstehen können. Untersuchungen am Laser Zentrum Hannover haben gezeigt, dass neben den Emissionen der Schweißrauche zusätzlich keine relevanten Konzentrationen mit Grenzwerten belegter Schadstoffe auftreten.³³

Gefragt wurde auch, ob ggf. Beeinträchtigungen für die Qualität der Schweißnähte zu erwarten sind. Nach Aussagen des „Netherlands Institute of Welding“ können Schweißnähte durch die Bildung von Gasblasen porös werden, wenn sich zu viele Rückstände auf dem Metall befinden. Durch Auswahl des Esterproduktes und die Behandlung nach der Reinigung kann jedoch die Restfilmstärke beeinflusst werden. Zu berücksichtigen ist auch, dass sogar lackierte Metalle geschweißt werden können. Bei einem dünnen Restfilm aus Pflanzenölestern sind daher kaum Qualitätseinbußen zu erwarten.

3.1.7 Automatische Reinigung: Weiterentwicklung von Anlagen

Bisher liegen sehr viele positive Erfahrungen mit der Verwendung von Pflanzenölestern bei der manuellen Reinigung, sowie bei der Verwendung in Waschtischen und in Tauchbädern vor. Noch wenig entwickelt ist die **Anwendung in auto-**

matischen Reinigungsanlagen. Ein Grund hierfür ist, dass diese Anlagen sehr viel teurer sind und in vielen Fällen als Maßanfertigung von Anlagenbauern an die Betriebe geliefert werden. Da nur wenige Reinigungsaufgaben vollkommen identisch sind, muss es immer wieder zu Anpassungen kommen, für die die Anlagenbauer ein spezielles Know-how entwickelt haben. Da es für Anwenderbetriebe ein technisches Risiko und eine finanzielle Belastung darstellt, funktionierende, abgestimmte Anlagen für Reinigungstests mit neuen Reinigern aus der Produktion zu nehmen, ist hier die Bereitschaft für Testversuche verständlicherweise gering. Die Unzufriedenheit mit bestehenden Anlagen oder neue Anforderungen durch behördliche Auflagen können jedoch Anstöße für neue Überlegungen geben.

Die Verwendung von Pflanzenölestern in automatischen Anlagen und mehrstufigen Reinigungsverfahren kann durchaus sinnvoll sein. In der ersten Stufe ist die gute Lösekraft der Pflanzenölester zur Entfernung der Oberflächenverschmutzung einsetzbar. In der zweiten Stufe kann das Reinigungsergebnis optimiert werden, beispielsweise mit wässrigen Reinigern. Aber auch Einkammersysteme mit hintereinander geschalteten Verfahrensabläufen (z.B. Befüllen, Umfluten, Abpumpen, Spülen, Entleeren, Trocknen) sind prinzipiell für Pflanzenölester einsetzbar. Einige Hersteller von Reinigungsanlagen zeigen sich aufgeschlossen gegenüber Pflanzenölestern und prüfen, ob sie erprobte Anlagen durch Modifikationen so verändern können, dass sie für die Reinigung mit Pflanzenölestern geeignet sind. Beispiele hierfür sind die Firmen **MAFAC** aus Alpirsbach und **Multimatic** aus Hilter.

Im Rahmen des LIFE-Projektes wurde bei der Firma MAFAC ein Reinigungstest mit einer **wässrigen Mikroemulsion** auf Basis von Pflanzenölestern durchgeführt. Für die Versuche wurde eine Ein-Bad-Anlage (Spritz-Flut-Reinigungsanlage) verwendet, die ca. 300 Liter Flüssigkeit fasst. Das Reinigungsbad setzte sich aus 96% Brauchwasser und 4% Mikroemulsion zusammen. Das Reinigungsgut bestand aus Kugelgelenken und Faltenbälgen (Werkstoffe: Stahl und Kunststoff), die aus dem VW-Werk in Wolfsburg stammten. Die Teile waren stark mit Molykote, einem molybdändisulfidhaltigen Festschmierstoff, verschmutzt. Ein rotierendes Spritzsystem und die Rotation des Reinigungskorbes unterstützten die Reinigung. Die Temperatur wurde zwischen 50 und 80°C variiert. Die Reinigungswirkung der Mikroemulsion war in dieser Anlage außergewöhnlich gut, obwohl noch nicht alle Parameter optimiert waren. Nach Einschätzung der Firma MAFAC kann selbst bei diesen schwierigen Verschmutzungen auch im

³³ Vgl.: Untersuchungsbericht „Charakterisierung der Emissionen beim Schweißen von mit Estisol 242 behandelten Blechen“ des Laser Zentrum Hannover e.V. (LZH) an die Kooperationsstelle vom 20.9.00 und 16.10.00.

Engspaltenbereich von guten bis sehr guten Ergebnissen bei Temperaturen von 75 bis 80°C gesprochen werden.

Einschätzung einer Mikroemulsion aus Sicht der Firma MAFAC

„Das **hervorragende Lösevermögen** der eingesetzten wässrigen Mikroemulsion mit Pflanzenölestern gegenüber einer vergleichbaren wässrigen Lösung mit Tensiden und anorganischen Salzen überzeugt insbesondere dahingehend, dass die Reinigungsproblematik der äußerst schwierigen und schwer verschmutzten Bauteile bei relativ niedrigem pH-Wert von 10,05 vollständig gelöst werden konnte; ferner zeigten die in Lösung gegangenen Fett- und Ölschmutzkomponenten in angemessenem Zeitraum eindeutige und klare Tendenz zur Zweiphasentrennung und ermöglichten somit ein einfaches Pflegen und fortlaufendes Aufbereiten des Reinigungsbades mit mechanischen Systemen wie, z.B. Flut-, Skimmsysteme oder auch Koaleszenzverfahren.“

Kommentierung der Versuchsergebnisse durch Herrn Schwarz, Firma MAFAC, Alpirsbach, 4.8.99. Im Test: Mikroemulsion „Esticklean 105A“ der Fa. Haltermann.

Während die Anlage bei MAFAC mit einer Mikroemulsion betrieben wurde, ist von der Firma Multimatic eine automatische Anlage für nicht emulgierte Pflanzenölestern entwickelt worden. Multimatic als Anlagenhersteller, die Fa. Haltermann als Hersteller des Pflanzenölestern, die Volkswagen AG als potentieller Anwenderbetrieb und das LIFE-Projekt arbeiten in dieser Frage zusammen und haben eine Referenzanlage geschaffen, die sich unter Produktionsbedingungen bewähren muss. Da die Vorversuche im Umflut-Verfahren erfolgreich verlaufen sind, wird VW Wolfsburg diese für Pflanzenölestern modifizierte Perchlorethylen-Anlage kaufen. In dieser Anlage erfolgt auch eine destillative Aufbereitung der Pflanzenölestern im Vakuum.

3.1.8 Standzeitverlängerung, Recycling und Entsorgung

Recyclingverfahren sollen den Schmutzeintrag vom Reinigungsmittel trennen, ohne die Eigenschaften des Reinigers negativ zu beeinflussen. Das Recycling von verschmutzten Pflanzenölestern würde den Einsatz von Frischware und die Menge des zu entsorgenden Abfalls reduzieren. Durch kontinuierliches, prozessbegleitendes Recycling ließe sich die Standzeit von Reinigungs-

bädern entscheidend verlängern. Sinkende Kosten würden die Preisdifferenz zwischen Pflanzenölestern und Mineralölprodukten verringern bzw. ausgleichen und die neuen Produkte konkurrenzfähiger machen.

Als Möglichkeiten des Recyclings für Pflanzenölestern in der Metallreinigung kommt neben der **Filtration von Feststoffen** bisher nur die **Vakuumdestillation** in Betracht. Die bestehenden Möglichkeiten und die geplanten Entwicklungen werden im folgenden beschrieben.

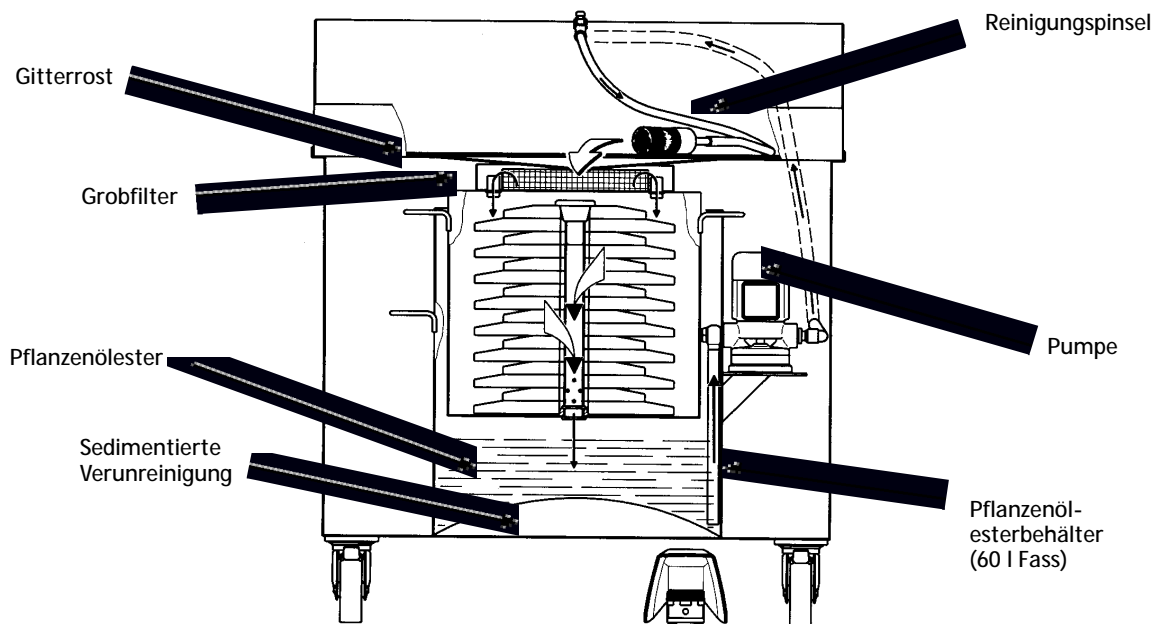
Filtration

Die Filtration von Pflanzenölestern wurde in Reinigungstischen der Firma Karberg & Hennemann aus Hamburg erprobt und dient der **Standzeitverlängerung** (s. Abbildung unten). Das Verfahren wird in vielen Betrieben der Metallindustrie erfolgreich angewendet.

Das Reinigungsmittel wird im Kreislauf geführt, wobei Schmutzpartikel / Feststoffe mittels eines speziellen Cellulosefilters (s. Abbildung rechts) zurückgehalten und von der flüssigen Phase getrennt werden. Die Filtrationsgeschwindigkeit der Ester hängt vor allem von deren Viskosität ab. Je geringer die Viskosität ist, desto schneller verläuft die Filtration. Mit diesem Filtertyp werden Partikel bis zu einem Durchmesser von 1 µm entfernt. Öle und Fette werden im Pflanzenölestern gelöst. Die hohe Fettaufnahmekapazität der Ester von 20–25% lässt eine lange Verwendungsdauer zu. Die Standzeiten können aufgrund der Filtration um ein Vielfaches verlängert werden. Eine Verfärbung des Reinigers während der Anwendungszeit mindert nicht die Reinigungsleistung.

Ein niedrig viskoser Ester ist auch bei Waschtischen ohne Filtereinrichtung zu empfehlen, da sich die Schwebeteilchen in einem dickflüssigen Ester nur langsam am Grund des Behälters absetzen und Durchlaufprobleme in den Rohrleitungen auftreten können. Bei der Verwendung von Waschtischen ist daher eine Filtration in jedem Fall sinnvoll.





Reinigungstisch der Firma Karberg & Hennemann

Membranfiltration

Im Rahmen des Projektes wurde auch untersucht, inwieweit Membranverfahren zur Abtrennung von flüssigen Verunreinigungen z.B. eingetragenen Mineralöl geeignet sind.

Am GKSS-Forschungszentrum in Geesthacht wurde die Umkehrosmose (Löslichkeitsmembran) als Trennverfahren getestet. Die dort entwickelten Membranen waren für diese Anwendung jedoch nicht offen genug und es fand kein Permeatfluss statt.

Die Herstellung geeigneter Membranen erscheint aufgrund der sehr hohen Entwicklungskosten nicht sinnvoll.

Bei der Firma Hüsch Membrantechnologien in Kreßberg-Waldtann wurde versucht, einen Pflanzenölester mit eingetragenen Lagerfett durch Ultrafiltration (Porenmembran) aufzubereiten. Die Analysen der Permeatproben ergaben jedoch, dass keine Trennung erfolgt war.

Die Firma Altenburger Electronic (Seelbach) führte Testfiltrationen des verunreinigten Pflanzenölestern mit Edelstahlmembranen (Mikrofiltration) durch. Das Permeat war zwar optisch weitgehend klar und visuell frei von Feststoffen. Eine Trennung der gelösten flüssigen Inhaltsstoffe war jedoch auch in diesem Fall nicht möglich.

Nach heutigem Kenntnisstand sind Filtrationsverfahren daher nur begrenzt einsetzbar. Sie können Schmutzpartikel vom Pflanzenölester trennen und dadurch die Standzeiten verlängern. Für die Aufbereitung von Pflanzenölestern, in die flüssige Verschmutzungen eingetragen wurden, müssen andere Verfahren gewählt werden.

Vakuumdestillation

Bei der Destillation nutzt man den unterschiedlichen Siedepunkt von Flüssigkeiten, um sie voneinander zu trennen. Destillationsversuche mit verunreinigten Pflanzenölestern wurden bei einem Partner des LIFE-Projektes, der Fa. Haltermann, durchgeführt. Gebrauchter Ester aus der Instandsetzung der Niederländischen Eisenbahnen (N.S. Amersfoort), verunreinigt mit Radlagerfett und geringen Anteilen an Kohlenwasserstoffen, wurde im Labormaßstab unter Vakuum redestilliert. Dies ist möglich, da gesättigte Pflanzenölester eine sehr gute thermische Stabilität aufweisen. Es wurde ein fast wasserhelles, geruchsmildes Destillat in einer Ausbeute von ca. 80% und einer Reinheit von 91% erzielt, das zur Wiederverwendung geeignet war.

Bei der Destillation können Mineralölkomponten (aus Verschmutzungen) und Pflanzenölester dann getrennt werden, wenn die Differenz der Siedepunkte über 10°C liegt. Andernfalls bleiben Bestandteile des Mineralöls im recycelten Ester zurück. Dies kann die Eigenschaften des Ausgangsproduktes beeinflussen, muss sich jedoch nicht negativ auf die Reinigungswirkung auswirken. Ob eine Anwendung des destillierten Reinigers unter diesen Bedingungen möglich ist, sollte im Einzelfall geprüft werden.

Für den Druckereibereich bietet u.a. die Firma ISI Industrie Service International aus Westerkappeln Aufbereitungsanlagen für Pflanzenölester an. Bei dieser Recyclingtechnologie handelt es sich um kleinere Einheiten (15–100 Liter Chargen) zur Vakuumdestillation. Die Anlagen sind

sowohl mobil als auch stationär einsetzbar. In einem Versuch wurden fünf Liter eines gebrauchten Esters mittels Vakuumdestillation aufbereitet und anschließend analysiert. Der Ester kam aus der Reinigung von Kleinteilen einer Präzisionsdreherei und war mit Kühlschmierstoffen, Schneid- und Hydraulikölen verschmutzt. Das Destillat enthielt feine Schwebeteilchen unklarer Herkunft sowie einen geringen Anteil (ca. 2 %) Kohlenwasserstoffe, die offensichtlich während der Reinigungsvorgänge ungewollt eingetragen wurden. Betriebliche Tests in der Dreherei mit dem Destillat bestätigten, dass ein erneuter Einsatz problemlos möglich ist. Die Aufbereitungskosten wurden auf 0,70 DM pro Liter verunreinigtem Ester geschätzt, was relativ gering ist. Genauere Aussagen über die Kosten sind erst möglich, wenn es Referenzanlagen gibt, die sich in der Praxis bewähren. Um die Investitionskosten zu amortisieren, müssen größere Mengen an Ester (mind. 100 Liter/Monat) für die Aufbereitung zur Verfügung stehen.

Entsorgung

Lieferanten von mineralölbasierten Kaltreinigern bieten zumeist den Service an, bei Lieferung eines neuen Fasses Frischware den verbrauchten Reiniger automatisch mitzunehmen und zu entsorgen. Dieser Service ist natürlich kostenpflichtig bzw. in den Preis der Frischware eingerechnet. Für Pflanzenölester ist der Abholservice gebrauchter Reiniger noch nicht immer gegeben. In diesen Fällen müssen Produkte, deren Reinigungswirkung erschöpft sind, von den Betrieben in Eigenregie entsorgt werden.

Seit Oktober 1996 hat sich die gesetzliche Grundlage der Abfallbehandlung verändert. Das **Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW/AbfG)** ersetzte das alte Abfallgesetz (AbfG). Das neue Gesetz will die Kreislaufwirtschaft fördern, Abfälle vermeiden helfen und die umweltverträgliche Beseitigung von Abfällen sicherstellen. Das KrW-/AbfG wird durch Verordnungen, Technische Anleitungen und Verwaltungsvorschriften konkretisiert.

Das alte Abfallgesetz unterschied zwischen ‚Abfällen‘ und ‚Reststoffen‘. Im neuen KrW-/AbfG gibt es nur „Abfälle zur Verwertung“ und „Abfälle zur Beseitigung“. Bei der **Verwertung** ist die stoffliche Verwertung (Gewinnung sekundärer Rohstoffe) und die energetische Verwertung (Nutzung als Ersatzbrennstoff) vorgesehen. Unter **Beseitigung** fällt die Verbrennung von Stoffen mit geringem Heizwert (thermische Behandlung in Müllverbrennungsanlagen) und die Deponierung.

Für die Behandlung problematischer Abfälle sind des weiteren zwei Verordnungen wichtig:

Die „Bestimmungsverordnung besonders überwachtungsbedürftiger Abfälle“ (BestbÜAbfV), Umgangssprachlich für Sonderabfälle vorgesehen, und die „Bestimmungsverordnung überwachtungsbedürftiger Abfälle zur Verwertung“ (BestüVAbfV). Nicht überwachtungsbedürftiger Abfall, z.B. aus privaten Haushalten, Papier etc. fällt nicht unter diese Verordnungen.

Was überwachtungsbedürftig ist und was nicht, ergibt sich aus dem Abfall und seinen Komponenten. Pflanzenölester für die Metallreinigung, die mit Fetten, Mineralölen, Kühlschmiermitteln, Metallspänen etc. verunreinigt sind, gelten als besonders überwachtungsbedürftiger Abfall. Je nach Verschmutzung kommt eine energetische Verwertung als Ersatzbrennstoff oder eine thermische Beseitigung in Müllverbrennungsanlagen in Frage.

Das KrW-/AbfG hat neue Abfallschlüssel eingeführt, die seit dem 01.01.1999 verpflichtend gelten. Entsprechend der Verordnung zur Einführung des Europäischen Abfallkataloges (EAKV) werden **neue, sechsstellige Abfallschlüssel** vergeben. Früher gab es den LAGA-Katalog (Abfallart und Schlüssel), die Schlüsselnummern waren fünfstellig. Für die notwendige Umschlüsselung steht ein Umsteige-katalog zur Verfügung³⁴. Die neue Verordnung ist herkunftsbezogen, also nach Branchen aufgebaut. In der EAKV wird auch beschrieben, wie man bei der Festlegung des Abfallschlüssels vorzugehen hat.

Der Abfallerzeuger ist nach dem Gesetz für die Festlegung des Abfallschlüssels verantwortlich und muss für seinen Abfall die richtige Schlüsselnummer herausuchen. Die grundsätzliche Zuordnung der neuen Abfallschlüssel (welcher LAGA-Schlüssel wird zu welchem EAK-Schlüssel) ist Ländersache und damit nicht überall in Deutschland gleich. Die jeweiligen Umweltbehörden der Länder und die Entsorgungsfachbetriebe bieten ihre Hilfe an. Der Abfallerzeuger muss darüber hinaus die Inhaltsstoffe seines Abfalls näher deklarieren. Unter Umständen müssen dazu Analysen gemacht werden. Ausnahmen gibt es für ‚Standard-Abfälle‘, beispielsweise gebrauchtes Getriebeöl aus einer Kfz-Werkstatt. Allerdings kann trotzdem eine Rückstellprobe entnommen werden, um evtl. später Überprüfungen vornehmen zu können.

Grundsätzlich unterscheidet das neue Abfallrecht nicht, ob es sich um einen pflanzenölbasierten Reiniger oder um ein mineralölbasiertes Produkt handelt. Diese Unter-

³⁴ Zum Beispiel der Umsteige-katalog der Niedersächsischen Gesellschaft zur Endablagerung von Sonderabfall mbH (NGS).

scheidung sieht der Europäische Abfallkatalog nicht vor. Der alte LAGA-Abfallschlüssel: 55357 (Kaltreiniger, frei von halogenierten organischen Lösemitteln) wird für beide Arten von Reinigern nach EAK zum **Abfallschlüssel 14 01 03**. Mit der Nummer **14** wird der Reiniger zu einem besonders überwachungsbedürftigen Abfall.

- 14 steht für das Kapitel: Abfälle von als Lösemittel verwendeten organischen Stoffen.
- 14 01 bezeichnet die Gruppe: Abfälle aus der Metallentfettung und Maschinenwartung.
- 14 01 03 bezeichnet: Abfälle aus der Metallentfettung und Maschinenwartung, andere Lösemittel und Lösemittelgemische.

„Andere“ bezieht sich darauf, dass keine FCKW bzw. keine Halogene enthalten sind. Abfälle mit diesen Stoffen tragen am Ende die Nummern 01 bzw. 02.

Die Einstufung eines pflanzenölbasierten Reinigers als ein besonders überwachungsbedürftiger Abfall ist eine Art **Vorsichtsmaßnahme**, um einer missbräuchlichen Entsorgung vorzubeugen. Produkte, die nicht für den Nahrungsmittelbereich produziert bzw. eingesetzt werden, sollen auch als Abfall nicht in diesen Bereich gelangen können. Es soll verhindert werden, dass pflanzenölbasierte Produkte, die zur industriellen Reinigung eingesetzt worden sind, über die stoffliche Verwertung unsachgemäß beispielsweise in Tierfutter gelangen. Daher die strengen Anforderungen des besonders überwachungsbedürftigen Abfalls, nach denen die Behörden dem gewählten Entsorgungsweg des Abfallerzeugers und des Abfallentsorgers zustimmen müssen.

Nach Meinung von Experten sollte grundsätzlich der gleiche Abfallschlüssel für das gebrauchte und das ungebrauchte Produkt angegeben werden. Ungebrauchte Mengen kommen zwar selten als Abfall vor, es ist aber für den Abfallerzeuger einfacher, nur mit einem Abfallschlüssel umzugehen. Reste von Frischware und gebrauchtem Reiniger können so in dasselbe Sammelgefäß gegeben werden. Die Nachweisformulare müssen dann nur für eine Abfallart ausgefüllt werden. Da die pflanzenöl- und die mineralölbasierten Reiniger die gleichen Abfallschlüssel bekommen, können sie im Prinzip auch gemeinsam entsorgt werden. Dies gilt aber nur, wenn der Entsorger diesen Abfall verbrennen lässt. Falls eine destillative Wiederaufbereitung stattfindet, dürfen pflanzenöl- und mineralölbasierte Reiniger keinesfalls zusammengeschüttet werden, da sonst die Aufbereitung gestört wird.

Weitere Hinweise

- Pflanzenölbasierte Reiniger auf wässriger Basis

(Mikroemulsionen) erhalten die EAK-Nummer **14 01 05**.

- Putzlappen, die nur mit Pflanzenölester verunreinigt sind, werden nicht als besonders überwachungsbedürftiger Abfall angesehen und erhalten die EAK-Nummer **15 02 01**.
- Werden mit den Putzlappen jedoch schädliche Verunreinigungen bzw. gefährliche Verschmutzungen aufgenommen, bekommen die Lappen den Abfallschlüssel **15 02 99** und sind besonders überwachungsbedürftiger Abfall.
- Für den Fall, dass die Pflanzenölester im Betrieb wieder aufbereitet werden, gelten für die Destillationsrückstände die Abfallschlüssel **14 05 05** (Schlämme, die bei der Destillation entstehen und die nicht mehr verwendet werden können) bzw. **14 05 03** (Lösemittel, die entstehen und die nicht mehr verwendbar sind).
- Abfallentsorgung ist Ländersache. Die hier erwähnten Abfallschlüssel, die nach Rücksprache mit der Hamburger Umweltbehörde genannt wurden, sind für das Bundesland Hamburg maßgeblich. Für die anderen Bundesländer sind sie allenfalls eine Empfehlung bzw. Richtschnur. Die jeweiligen Länderbehörden geben hierzu weitere Auskünfte.

3.2 Wirtschaftlichkeit in der Anwendung

Verbrauch und Preise

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung eines Reinigungsprozesses ist der Literpreis des Reinigungsmittels ein wichtiger Faktor. Genauso wichtig ist die Auswahl eines zur Reinigungsaufgabe passenden Produktes. Andere Faktoren wirken sich ebenfalls auf die Kosten aus. Das Schmutztragevermögen und damit verbunden die Standzeit des Reinigers ist bedeutsam für den Zeitpunkt des Neukaufs von Frischware. Filtrations- oder Recyclingverfahren sparen mittelfristig Geld ein. Kostenerhöhend wirken demgegenüber Arbeits- und Umweltschutzmaßnahmen, die zu treffen sind, wenn Gefahrstoffe zu Reinigungszwecken eingesetzt werden.

Pflanzenölester sollten daher nicht allein nach dem Preis pro Liter beurteilt werden. Nur eine **Gesamtbetrachtung des Reinigungsprozesses** kann ein klares Bild über die Wirtschaftlichkeit ergeben. Bei einem einfachen Vergleich auf Basis von Literpreisen für Frischware schneiden die Pflanzenölester z.B. gegenüber herkömmlichen Kohlenwasserstoffreinigern deutlich schlechter ab: Sie sind ca. 2–3 mal teurer. Erst die Einbeziehung aller Faktoren belegt die Wirtschaftlichkeit der Pflanzenölester. Der Gesetzgeber hat Handlungshilfen zur Prüfung von Ersatzverfahren erarbeitet, die in diesem Zusammenhang durchaus nützlich sind. Um die Bereiche der Wirtschaftlichkeit und Zumutbarkeit transparenter zu machen, wird in der Anlage III der Technischen Regel Gefahrstoffe 440 den Betrieben ein Schema vorgegeben, anhand dessen die Auswirkungen des Einsatzes von Ersatzlösungen beurteilt werden können.³⁵ Das Schema wurde für dieses Handbuch leicht modifiziert (s. Tabelle rechts).

Die vorgeschlagene Art der **qualitativen Beurteilung** von Ersatzverfahren ist als Mittel für eine Gesamtbetrachtung geeignet, um den Einsatz von Pflanzenölestern realistisch zu bewerten. Sie zielt auf die Wirtschaftlichkeit ab und setzt eine technische Eignungsprüfung voraus. Die einzelnen Faktoren können je nach betrieblicher Situation weiter ausdifferenziert werden. Eine genaue Berechnung und Abwägung der Kosten kann sich einer solchen qualitativen Betrachtung anschließen. Für jeden der Einflussfaktoren ist zu ermitteln, ob sich die ins Auge gefasste Ersatzlösung im Vergleich zum bisherigen Verfahren positiv (+), negativ (-) oder neutral (0) auswirkt. Weitere Einflussfaktoren können ergänzt werden.

Der Einsatz von Pflanzenölestern verringert in der Regel die Aufwendungen für technische Schutzmaßnahmen, Lagerhaltung, Gefahrstoff-

messungen und arbeitsmedizinische Vorsorge. Durch die geringe Flüchtigkeit der pflanzenölbasierten Reiniger und deren gutes Schmutztragevermögen reduzieren sich in den meisten Fällen die Verbrauchsmengen. In Waschtischen verlängern beispielsweise Cellulosefilter die Anwendungsdauer (s. Kapitel 3.1.8). Die verlängerten Standzeiten tragen wesentlich zu einer Kostenentlastung bei. Dies ergaben auch Versuche bei der Niederländischen Eisenbahn in Amersfoort. Dort wurde ein Pflanzenölester bei der manuellen Reinigung von Radlagern über einen längeren Zeitraum getestet. Es zeigte sich ein gutes Reinigungsverhalten und eine vierfach längere Standzeit im Vergleich zu AIII-Kaltreinigern (Standzeit Kaltreiniger 6 Wochen, Standzeit Ester 26 Wochen).

Das Recycling von verschmutzten Pflanzenölestern reduziert den Einsatz von Frischware und die Menge des zu entsorgenden Abfalls. Neben der Filtration von Feststoffen kommt zur Abtrennung flüssiger Verunreinigungen die Vakuumdestillation in Betracht. Nähere Angaben hierzu finden sich im Kapitel 3.1.8. Die Preisdifferenz zwischen Pflanzenölestern und Mineralölprodukten kann durch Optimierung geeigneter Recyclingmaßnahmen weiter verringert bzw. ausgeglichen werden.

Bei den Entsorgungskosten für Pflanzenölester könnten unter Umständen auch finanzielle Nachteile entstehen. Während sich beispielsweise bei flüchtigen Lösemitteln die Menge eines gebrauchten Reinigungsbades bei offener Anwendung (erlaubt oder unerlaubt) durch Verdunstung in die Umgebungsluft verringert, bleibt die Menge der schwer flüchtigen Pflanzenölester konstant. Zur Zeit kann der ökologische Vorteil der geringen Emissionen die Entsorgungskosten steigen lassen, da sich die zu entsorgende Menge nicht durch Verdunstung reduziert. Die politischen Bestrebungen gehen jedoch in die Richtung, flüchtigen Lösemittlemissionen durch gezielte Maßnahmen zu reduzieren. Hier seien die Schweizer VOC-Abgabe und die Umsetzung der EU-Lösemittelrichtlinie in nationales Recht genannt.

Preise für Esterprodukte aus Pflanzenölen

Der mit Abstand wichtigste Ester in Europa ist Rapsmethylester (RME), der vor allem als Biodiesel eingesetzt wird. 1995 überschritt die europäische Nachfrage für Biodiesel 600.000 t pro Jahr. Biodiesel für Kraftfahrzeuge ist der preiswerteste

³⁵ Vgl. Anlage III der TRGS 440: Ermittlung der Zumutbarkeit des Einsatzes von Ersatzlösungen nach §16 Gefahrstoffverordnung

Einsatzmöglichkeiten von Pflanzenestern und Mikroemulsionen auf Basis von Pflanzenestern in unterschiedlichen Reinigungsverfahren

Einflussfaktoren	Änderung + / 0 / -	Bemerkungen
Materialkosten		
• Standzeiten		
• Verbrauchsmengen pro Zeiteinheit		
• Preise pro Liter		
• Hilfsstoffe		
Anlagekosten		
• Neuanlage, Anlagenmodifikation		
• Wartungskosten		
• Energiekosten		
Technische Schutzmaßnahmen		
• Absaug- und Lüftungsmaßnahmen		
• Brand- und Explosionsschutz		
Arbeitskosten		
• Vor- und Nacharbeiten, Rüstzeiten		
• Verfahrensdauer/Reinigungszeit		
• Mitarbeiterqualifikation und -motivation		
Persönliche Schutzmaßnahmen		
• Schutzausrüstung		
• Hygienemaßnahmen		
Arbeitsmedizin		
• Krankenstand/Ausfallzeiten		
• Wege- und Untersuchungskosten		
Transportkosten		
• Frachttarife, Verpackung, etc.		
Lagerkosten		
• Wassergefährdungsklasse (WGK)		
• Brand- und Explosionsschutz (VbF)		
Entsorgungskosten		
• Abfallmenge in Liter/kg pro Zeiteinheit		
• Preis pro Liter/kg Abfall		
• Auswirkung Filtration bzw. Recycling		
• Abluft, Abwasser		
Gefahrstoffüberwachung		
• Arbeitsplatzmessungen		
Weitere Einflussfaktoren		
• Kundenzufriedenheit		
• Firmenimage		
Abschließende Bewertung		

Quelle: Anlage III der Technischen Regel Gefahrstoffe 440 nach §16 GefStoffV/Stand März 1999/Ergänzungen durch den Autor.

Ester und wird zu einem Preis von ca. 1,70 DM (Oktober 2000) verkauft. Rapsmethylester sind für technische Reinigungsprozesse jedoch nur bedingt einsetzbar (s. Kapitel 2.1).

Die in der Metallreinigung eingesetzten Pflanzenölester sind wesentlich teurer. Für den Produktpreis ausschlaggebende Faktoren sind, die

verwendeten Grundkomponenten (Pflanzenöle und Alkohole) und die technische Aufbereitung. Beispielsweise sind die technisch höherwertigen Kokosfettsäureester teurer als Rapsölester. Esterprodukte für die Metallreinigung sind, je nach Abnahmemenge, zur Zeit ab ca. 7,00 DM pro Liter (ohne MwSt.) erhältlich.

Kostenkalkulation: Ein Beispiel

In der Praxis zeigt sich, dass viele Betriebe direkte Kostenvergleiche für Hilfsstoffe und Verbrauchsgüter nur schwer erstellen können. Angaben über den Verbrauch von Reinigungsmitteln an Einzelarbeitsplätzen oder an einzelnen Reinigungsanlagen werden sehr oft nicht erhoben und ausgewertet. Bei Betriebsbesuchen stellten die Mitarbeiter/-innen des EU-Projekts des öfteren fest, dass keine genauen Verbrauchsdaten über Reinigungsmittel verfügbar waren. Dies erschwerte die Erstellung von entsprechenden Kostenvergleichen. Reinigungsmittel sind als Hilfsstoffe eine Art Durchgangsposten, der von der Kostenrechnung her nicht genau genug erfasst wird. Ein hoher Preis pro Liter Frischware wirkt daher sofort abschreckend, da in einer ersten Überschlagsrechnung alle anderen Faktoren (z.B. Verbrauchsmengen) konstant gehalten werden.

Wie die Tabelle unten verdeutlicht, sollten mehrere Faktoren in der Kostenrechnung berücksichtigt werden. In vielen Fällen relativiert sich der höhere Einkaufspreis durch Einsparungen an anderer Stelle. In einigen Anwendungsbereichen ist die Reinigung mit Pflanzenölestern sogar billiger. Als Beispiel sei auf einen Pilotbetrieb des LIFE-Projektes, ein großes Kabelwerk, verwiesen. Eine transparente Kostenaufstellung unter Einbeziehung der ungünstigen Liefer- und Vertragsbedingungen mit dem Lieferanten des bisherigen Kaltreinigers führte zu einem überzeugenden Vorteil für die Pflanzenölester.

Im Sommer 1998 wurde dem Pilotbetrieb ein Reinigungstisch mit 60 Liter Pflanzenölester „Esticlean 298“ leihweise zur Verfügung gestellt. Bei einem Betriebsbesuch im März 1999, also nach ca. neun Monaten, wurde eine Probe des ge-

brauchten Reinigers entnommen und ein Öleintrag (als Verschmutzung) von ca. 5% ermittelt. Bei einer Weiterverwendung des Reinigers bis zu einem maximalen Öleintrag von 20% würde die durchschnittliche Standzeit in diesem speziellen Arbeitsbereich drei Jahre betragen.

Im selben Arbeitsbereich wurde vorher ein AIII-Kaltreiniger verwendet. Die kleinstmögliche Liefermenge von 200 Litern wurde nach drei Monaten automatisch vom Lieferanten ausgetauscht und entsorgt. Hieraus ergibt sich in drei Jahren ein Verbrauch von 2400 Litern, ohne nähere Prüfung des Verschmutzungsgrades. Diese Vorgehensweise gibt kein klares Bild über die wirkliche Standzeit des Kaltreinigers. Der Wechselrhythmus wird jedoch den Erfahrungswerten des Lieferanten entsprechen. Ein einfacher Kostenvergleich (ohne Einbeziehung aller Daten aus dem vorab genannten Schema der TGRS 440) ergab folgendes Ergebnis (siehe Kostenvergleich Esticlean 298).

Neben diesem sehr extremen Beispiel gibt es weitere Kostenvergleiche aus anderen Betrieben, die ebenfalls zeigen, dass sich eine Umstellung lohnen kann. Das folgende Beispiel bezieht sich auf einen Reinigungsarbeitsplatz in der Instandhaltung auf einer Werft. Hier werden Maschinenteile der gesamten Werft gereinigt (siehe Kostenvergleich Estisol 242).

Weitere Informationen zu Kosteneinsparungen werden bei den betrieblichen Erfahrungsberichten in Kapitel 4.1 und 4.2 gegeben.

Kostenvergleich Esticlean 298/Kaltreiniger (Werkstatt/Kabelwerk)

Reiniger	Kleinstmögliche Liefermenge	Auswechslung des Reinigers/Standzeit	Gesamtverbrauch in 3 Jahren	Preis pro Liter ¹	Kosten pro Jahr
Esticlean 298	60 Liter	3 Jahre ²	60 Liter	10,16 DM	203 DM
Kaltreiniger	200 Liter	1/4 Jahr ³	2400 Liter	4,58 DM	3666 DM

Erläuterungen:

¹Inclusive Mehrwertsteuer und Entsorgung / ²Hochgerechnet aus neun Monaten Betriebszeit /

³ Automatischer Austausch durch den Lieferanten

Kostenvergleich Estisol 242/Kaltreiniger (Instandhaltung/Werft)

Reiniger	Kleinstmögliche Liefermenge	Auswechslung des Reinigers/Standzeit	Gesamtverbrauch pro Jahr	Preis pro Liter ¹	Kosten pro Jahr
Estisol 242	60 Liter	1 Jahr ²	60 Liter	9,60 DM	600 DM
Kaltreiniger	400 Liter	1 Jahr	400 Liter	4,65 DM	1860 DM

Erläuterungen:

¹Inclusive Mehrwertsteuer und Entsorgung (Entsorgungskosten: 0,55 DM/Liter)/²Hochgerechnet aus ¼ Jahr Betriebszeit (6% Schmutzeintrag => max. liegt bei 25%)

4.1 Einsatz in der Instandhaltung

Im **PIRELLI Kabelwerk** in Schwerin wurden Pflanzenölester zunächst in einem kleineren **Reparaturstützpunkt** in einem Waschtisch der Firma Karberg&Hennemann getestet. Die Mitarbeiter waren mit der Reinigungswirkung der Pflanzenölester sehr zufrieden, so dass die Versuche auf die **Zentralwerkstatt** ausgedehnt wurden. Dort werden Getriebeteile, Gehäuse, Lager und Wellen aus Stahl, Edelstahl, Messing, Aluminium und Gusseisen gereinigt. Als Verunreinigungen treten loser Staub und eingebrannter Schmutz, Mineralöle, Fette, Kühlschmiermittel und Metallabrieb auf. Eine rückfettende Wirkung des Reinigungsmittels ist durchaus erwünscht, da die Teile nach der Reinigung montiert, gelagert oder mechanisch bearbeitet werden. Eine Materialverträglichkeit mit Kunststoffen und Gummi wird verlangt. Es ist beabsichtigt, den mineralölbasierten Kaltreiniger in der gesamten Zentralwerkstatt auf Pflanzenölester umzustellen. Der Jahresbedarf an Reinigungsmittel in der Instandhaltung beträgt ca. 800 Liter.

Nach einer Testphase von neun Monaten wurde eine Probe des gebrauchten Esters „Esticlean 298“ aus dem Waschtisch im Reparaturstützpunkt entnommen und ein Öleintrag (als Verschmutzung) von ca. 5% ermittelt. Bei einer Weiterverwendung des Reinigers bis zu einem maximalen Öleintrag von 20% würde die durchschnittliche Standzeit in diesem speziellen Arbeitsbereich drei Jahre betragen. Gegenüber dem bisherigen Kaltreiniger ergibt sich eine sehr viel längere Standzeit und eine Reduzierung der Verbrauchsmengen. Berücksichtigt man zusätzlich die Umstellung der Lieferbedingungen für die Reiniger, so ist die Kostenersparnis für den Betrieb beachtlich (vgl. hierzu das Beispiel im Kapitel 3.2.).

Bei der Firma **Helkenberg Drehtechnik GmbH** in Velbert wurden verschiedene Pflanzenölester in der Schlosserei für die manuelle Reinigung getestet (Maschineninstandsetzung). Der bisherige AIII-Kaltreiniger sollte ersetzt werden, um die Raumluft zu verbessern und die große Anzahl von Hauterkrankungen bei den Beschäftigten zu senken. Helkenberg ist eine Präzisionsdreherei, die Ventile, Teile für Einspritzpumpen, Armaturen etc. herstellt.

Die Tests in der Schlosserei verliefen positiv. Bei der Wartung und Reparatur der Drehmaschinen werden Wellen, Kupplungen, Magazine und Revolver gereinigt. Der Einsatz des Pflanzenölesters „Esticlean 298“ in einem Waschtisch der Firma Karberg & Hennemann konnte hier wegen der guten Reinigungswirkung und dem angenehmen Geruch voll überzeugen und wurde als Regelanwendung eingeführt. Nebenbei wurde entdeckt, dass die Kupplungen bei den Automaten sehr viel später ausgebaut werden müssen, wenn man den Ester „Esticlean 210“ auf die Kupplung in der Maschine sprüht, um sie besser gängig zu machen. Damit wird in vielen Fällen der Wartungsrythmus verlängert.

Über gute Erfahrungen in der Anwendung von Pflanzenölestern berichtet die **Reparaturwerkstatt Feiler** in Groß-Enzersdorf (Österreich). Gesundheitsschutzaspekte waren beim Ersatz des bisherigen aromatenhaltigen Lösemittels durch einen Pflanzenölester ausschlaggebend. Motoren bzw. Motorenteile von landwirtschaftlichen Maschinen und Gartenpflegegeräten werden seit 1999 an einem Waschstand mit „Esticlean 298“ der Fa. Haltermann gereinigt. Entfernt werden vor allem Öle, Fette und Metallabrieb. Der neutrale Geruch und die gesundheitliche Verträglichkeit des Esters wird vom Unternehmen höher bewertet als der leicht erhöhte Zeitaufwand bei schwierigen Verschmutzungen und der vergleichsweise höhere Preis. Feiler hat sich entschieden, beim Pflanzenölester zu bleiben.

In der **Fahrzeugreparaturwerkstatt** der Aluminium Ranshofen Service GmbH (Ranshofen/Österreich) wurden ebenfalls gute Erfahrungen mit „Esticlean 298“ gemacht. Der Ester wurde dort in einem Tauchbad und zur manuellen Reinigung von Maschinenteilen eingesetzt. Bitumen, Teer, Schmiermittel und Metallabrieb sind die Hauptverschmutzungen. In der Reinigungswirkung wurden keine Unterschiede im Vergleich zum vorher verwendeten Petroleum-Produkt festgestellt. Technisch gesehen gab es keine Probleme, auch der dünne ölige Film, den der Ester auf dem Reinigungsgut hinterlässt, führte zu keinerlei Beanstandungen. Bemängelt wurde lediglich der Preis. Da mineralölbasierte Reiniger zum halben Preis angeboten werden, ist die Geschäftslieferung nicht sicher, ob sie weiterhin auf Pflanzenölester setzen soll.

4.2 Entfernen von Schutzbeschichtungen

Schutzbeschichtungen und Konservierungsmittel sollen Metallteile vor Korrosion und Beschädigung bewahren. Äußere Einwirkungen mechanischer, chemischer oder physikalischer Art, die zu einer Veränderung der Oberfläche führen, sind unerwünscht. Schäden an Werkstoffen, die durch Handhabung, Lagerung oder Transport entstehen können, sollen vermieden werden. Wachsartige Schutzbeschichtungen sind eine große Herausforderung für die Reinigung, da sie aus widerstandsfähigem Material bestehen, die sich besonders nach längerer Zeit aufgrund der Alterung nur schwer entfernen lassen. Zudem werden sie häufig dick aufgetragen. Die empfohlene Auftragsstärke wird in der Praxis oft um das 10–20fache überschritten. Die Lieferanten wähen sich damit „auf der sicheren Seite“. Die Kunden müssen diese Übervorsicht mit verstärkten Reinigungsanstrengungen ausgleichen. Eine bessere Abstimmung in dieser Frage würde Reinigungsmittel und Arbeitszeit sparen.

Die Schiffswerft **Thyssen Nordseewerke** in Emden hat gute Erfahrungen bei der Verwendung von Pflanzenölestern gesammelt, um Schutzbeschichtungen der Marke „Tectyl“ abzureinigen. Diese **Langzeitkonservierung** wird u.a. für **Schiffsdieselmotoren** verwendet, die aus Fernost zugeliefert werden. Dort wird die Hauptmaschine des Schiffneubaus für den Versand mit einer Konservierungsbeschichtung versehen und zur Endmontage nach Emden verschifft.

Nach Einbau der Hauptmaschine muss in mühseliger Handarbeit die Abreinigung der Schutzschicht mit Kaltreiniger, Pinsel und Lappen erfolgen. Dieser Reinigungsvorgang benötigt große Mengen Reinigungsmittel und dauert mehrere Tage. Gerade in den engen und schlecht belüfteten Teilen von Schiffsn Neubauten bieten sich die Ester an, um flüchtige Kaltreiniger zu ersetzen. Nach Auswahl eines Esters wurde ein größerer Testversuch an einer Schiffswelle direkt im Maschinenraum eines Schiffes durchgeführt. Die Welle hatte einen Durchmesser von etwa 0,6 m und eine Länge von 6–7 m. Zum besseren Vergleich wurde der herkömmliche Kaltreiniger auf der einen Seite der Welle und der Ester auf der anderen Seite aufgetragen.

Mit dem Kaltreiniger konnte die volle Reinigungswirkung nur sehr schwer erreicht werden. Überraschenderweise war das Ergebnis mit dem Ester zu Beginn noch schlechter. Nach einiger Zeit ließ sich jedoch die Schutzbeschichtung auf der mit Ester behandelten Seite sehr viel besser ablösen und konnte mit einem Lappen abgewischt



Entfernung der Schutzbeschichtung von einer Schiffswelle bei den Thyssen Nordseewerken in Emden

werden. Die Reinigungswirkung war im Vergleich zum herkömmlichen Kaltreiniger doch besser. Wichtig war die Einwirkzeit.

Bei einem späteren Reinigungsversuch an einer anderen Maschine ließ sich die Schutzbeschichtung trotz Einwirkzeit nicht mehr so gut entfernen. Die Ursache hierfür liegt in der unterschiedlichen Zusammensetzung der verschiedenen Schutzbeschichtungen. Allein die Firma Valvoline bietet über 15 verschiedene Tectyl-Sorten für unterschiedliche Anwendungsbereiche an. Aus den Papieren der Lieferanten von Maschinenteilen geht zumeist nicht eindeutig hervor, mit welcher Sorte Schutzbeschichtung die Teile versehen sind. Diese Information sollten zur Routinemitteilung werden, um dem Kunden und dem Mitarbeiter im Reinigungsbereich die Arbeit zu erleichtern. Die Thyssen Nordseewerke arbeiten an dieser Frage.

4.3 Reinigung und Korrosionsschutz im Maschinenbau

Praktischer Hinweis: Metallteile mit hartnäckigen Schutzbeschichtungen sollten zunächst mit Estern eingestrichen werden. Nach einer Einwirkzeit, die von der Art der Schutzbeschichtung, der Schichtdicke und dem Alter der Beschichtung beeinflusst wird, kann dann in einem zweiten Arbeitsgang leichter gereinigt werden. Dieses Verfahren reduziert den Kraftaufwand der Reinigungsperson und die effektive Reinigungszeit.

Die holländische **Schiffswerft Van der Giesen-de Noord** hat eine Reihe von Esterprodukten zum Entfernen von Schutzbeschichtungen („Tectyl“) getestet. Mit einem pastösen Produkt der Firma Scheidel (COCOsoft 12/2) konnte die beste Reinigungswirkung erzielt werden. Die Werft hat dieses Produkt bei der Abreinigung von Schutzbeschichtungen von Maschinenteilen zur Daueranwendung gemacht. Es ergaben sich Ersparnisse bei der Arbeitszeit und den Gesamtkosten. Beispielsweise wurden für die „Tectyl“-Entfernung von einer fünf Meter langen Kurbelwelle mit herkömmlichen Kaltreinigern bis zu 50 Arbeitsstunden benötigt. Bei „COCOsoft“ wird das fast gelartige Produkt in wenigen Stunden manuell aufgetragen. Die Paste wirkt über Nacht auf die Schutzbeschichtung ein und kann am nächsten Tag zusammen mit der Beschichtung entfernt werden. Unterstützt durch einen Wasser-Hochdruckreiniger dauert dies nur wenige Stunden. Den Mehrkosten von rund 1.700 DM jährlich für das etwas teurere Esterprodukt stehen ca. 80% weniger Arbeitskosten an diesem Arbeitsplatz gegenüber. In der Summe ergibt sich für die Werft eine deutlich positive Bilanz – nicht nur bei den Kosten, sondern auch beim Schutz ihrer Mitarbeiter vor Lösemitteldämpfen. Das gute Zusammenspiel von Esterprodukt und Einwirkzeit bei der Entfernung von hartnäckigen Schutzbeschichtungen belegt auch ein Beispiel aus Hamburg. Bei der Firma **MAN B&W Diesel** wurde ein Versuch zur Abreinigung einer Langzeitkonservierung (eine dick aufgetragene und ausgehärtete Schicht Tectyl 506-EH von Valvoline) mit Erfolg durchgeführt. Auch hier überzeugte das pastöse esterbasierte Produkt der Firma Scheidel „Cocopaste“, welches wegen seines etwas stärkeren Geruchs nur außerhalb der Halle angewendet wurde. Nach einem Tag Einwirkzeit konnte die Schutzschicht von einer Kurbelwelle mühelos entfernt werden. Durch das Esterprodukt ergeben sich enorme Kostenersparnisse, da bisher mit den üblichen Lösemitteln und mit Dampfstrahlern ca. 80 Arbeitsstunden benötigt wurden.

Im Herbst 1997 wurden beim Getriebehersteller **Flender ESAT** in Herne im Bereich der Fertigung und Montage zwei neue Tauchbecken mit jeweils 600 Litern Fassungsvermögen in Betrieb genommen. Aus Arbeits- und Umweltschutzgründen hat man sich damals entschlossen, beide Tauchbecken mit einem Pflanzenölester, Esticlean 298, der Fa. Haltermann, zu befüllen.

Die Tauchbecken haben unterschiedliche Aufgaben. Ein Becken wird zur **Reinigung von Getriebeteilen** (Wellen und Zahnräder) verwendet, die mit Metallspänen und Bearbeitungsölen verschmutzt sind. Die Getriebeteile werden anschließend mechanisch vermessen. Das andere Becken wird fast ausschließlich zur **Konservierung von Getriebeteilen** genutzt, die vor der Montage mitunter monatelang zwischenlagern.

Neben der guten Reinigungswirkung und der hohen Standzeit der Bäder hat sich bei Flender ESAT besonders der temporäre Korrosionsschutz durch die rückfettende Eigenschaft der Ester als vorteilhaft erwiesen. Bei einem Zahnrad, das für Versuchszwecke über ein Jahr in der Werkhalle gelagert wurde, war noch kein Anzeichen von Flugrostbefall zu erkennen.

4.4 Bitumentfernung von Industrieschildern

Die Firma **Kilian Industrieschilder GmbH** in Hamburg stellt Schilder her, die vor allem auf Maschinen, Fahrzeugen und Geräten angebracht werden. Diese Schilder nennen beispielsweise Typ, Baujahr und Hersteller der Maschine oder geben in Fahrstühlen Auskunft über die maximale Traglast bzw. die Höchstzahl der Personen, die mitgeführt werden dürfen. Diese Schilder sollen dauerhaft und robust gegenüber mechanischen und chemischen Einwirkungen sein.

Im Herstellungsprozess wurden Pflanzenölester zum **Ablösen von Trennschichten aus Bitumen** mit sehr guten Ergebnissen getestet. Bei Kilian Industrieschilder werden die Bleche für diese Schilder an den Stellen, wo nicht geätzt bzw. lackiert werden soll, mit einer Bitumentrennschicht versehen. An den unbehandelten Stellen kann eine Säure das Blech angreifen, um eine Vertiefung zu erzielen. Anschließend wird auf das gesamte Schild ein Lack aufgetragen, der sich in die Vertiefung legt und bei ca. 130°C eingebrannt wird. Danach muss die Bitumentrennschicht mit dem darauf eingebrannten Lack entfernt werden, ohne dass der Lack in den tiefgeätzten Bereichen

angegriffen wird. Keine leichte Aufgabe für ein Reinigungsmittel.

Bisher verläuft die Entfernung der lackierten Bitumenschicht wie folgt: Die Schilder werden für 12 Stunden in ein Mehrkammerbad (Vorreinigung I) gestellt, in dem sich ein AII-Produkt (Kristallöl) befindet. Der Reiniger dringt durch den Lack und wirkt auf den Bitumen ein. Dieser quillt auf und verursacht ein Aufplatzen des Lacks. Die aufgeweichten Schichten werden danach mit Spachtel und Lappen manuell bearbeitet. Restlicher Bitumen wird in einer kleinen Durchlaufanlage (Vorreinigung II) mit einem AIII-Produkt entfernt. Der Verbrauch liegt bei jeweils 400 Litern pro Jahr. In einem dritten Reinigungsschritt mit Butyldiglykol (BDG) und Wasser erreicht man fettfreie Oberflächen, die z.B. besonders dann wichtig sind, wenn sich ein zweiter Lackierungsschritt anschließt.

Alternativ zu den AII- bzw. AIII-Reinigern wurden Pflanzenölester im Betrieb getestet. Ein Produkt der Firma Scheidel (Cocosol 10) reinigte sehr gut, wurde aber wegen des als unangenehm empfundenen Geruchs nicht akzeptiert. Bei Labortests der Fa. Haltermann zeigten sich zwei andere Produkte ebenfalls als wirksam (Estisol 242 und Estisol 210/13). Nach einer Einwirkzeit von nur 5



Arbeitsplatz zur automatischen Vorreinigung bei der Firma Kilian Industrieschilder



Manuelle Vorreinigung Mehrkammerbad

bis 10 Minuten ist die lackierte Bitumenschicht der Schilder aufgequollen und in Flocken zerfallen. Mit geringem mechanischem Aufwand können diese Flocken dann entfernt werden. Nach einer ersten optischen Beurteilung hat die lackierte und eingebrannte Beschriftung nicht unter den Estern gelitten. Diese Ester sind im Geruch wesentlich milder. Nachdem die manuelle Vorreinigung bereits auf Esticlean 242 umgestellt wurde, erfolgte auch eine Umstellung bei der automatischen Vorreinigung.



Endreinigung von Feuerwehrfahrzeugen bei der Firma Rosenbauer International AG in Österreich

4.5 Reinigung von Feuerwehrfahrzeugen

Die **Rosenbauer International AG** setzt in ihrem Stammwerk in Leonding bei Linz (Österreich) Pflanzenölester zur **Endreinigung von Feuerwehrfahrzeugen** ein. Das Traditionsunternehmen hat neun weitere Produktionsstätten in Europa und jeweils zwei in den USA und in Asien. Das Kerngeschäft ist die Produktion von Feuerwehrfahrzeugen, die Entwicklung und Fertigung von Pumpen und die Ausrüstung von Fahrzeugen und Löschmannschaften. Mit weltweit 1.300 Mitarbeiter/-innen gehört Rosenbauer zu den drei größten Unternehmen dieser Branche.

Bei der Endreinigung/Finishing der Feuerwehrfahrzeuge müssen Reste von Klebstoffen, Fette, Öle, Metallabrieb und Staub manuell mit einem Lappen entfernt werden. Die Karosserie der Fahrzeuge besteht ausschließlich aus Aluminium, die zu 100% geklebt wird, also ohne Schweißnähte auskommt. Als Reinigungsmittel wurden früher tensidhaltige Produkte eingesetzt, deren Wirkung nicht immer ausreichend war. Seit 1999 verwendet man stattdessen den Pflanzenölester „Esticlean 298“ (mit Emulgatorzusatz) der Fa. Haltermann. Die Reinigungswirkung wird als sehr gut bewertet, das Schmutztragevermögen ist sogar erheblich besser als bei den zuvor eingesetzten Produkten. Die Korrosionsschutzwirkung des Reinigers ist ein weiterer positiver Faktor. Auf Wunsch der Mitarbeiter wird der Pflanzenölester routinemäßig eingesetzt.

Die Feuerwehrfahrzeuge werden nicht großflächig, sondern nur punktuell von den sichtbaren Verschmutzungen mit dem Ester gereinigt. Eine Ausweitung des Einsatzes auf andere Produktionsbereiche hängt u.a. davon ab, ob Kleber und Lacke gefunden werden, die sich problemlos auf mit Pflanzenölestern gereinigte Oberflächen aufbringen lassen.



5. Voraussetzungen für eine erfolgreiche Anwendung

5.1 Klärung der Anwendungsbedingungen

Um den Einsatz von Pflanzenölestern zum Erfolg zu verhelfen, bietet sich eine schrittweise Vorgehensweise an, die technische, organisatorische und personelle Aspekte in den Umstellungsprozess einbezieht. Hierfür werden nachfolgend einige Hinweise gegeben.

► Anforderungen an Reinigungswirkung definieren

Um die Anforderungen an die Reinigungswirkung zu definieren, müssen insbesondere folgende Fragen beantwortet werden:

- Was ist der Zweck der Reinigung?
- Welche Verschmutzungsarten treten auf?
- Wie sauber soll die Oberfläche sein (Reinigungsziel)?
- Wie oft muss gereinigt werden (Reinigungshäufigkeit)?

Die nähere Beschreibung des **Zwecks der Reinigung** schließt die Frage ein, ob eine Reinigung an der bisherigen (oder beabsichtigten) Stelle überhaupt notwendig ist. Kann durch Vermeidung einer Verschmutzung oder durch organisatorische Umstellungen im Produktionsprozess ein Reinigungsschritt eingespart werden, ist dies sicherlich die beste Lösung.

Voraussetzung für eine erfolgreiche Reinigung ist die genaue Kenntnis der **Verschmutzungsart**. Neben Standardprodukten für einfache Verschmutzungen wie z.B. Öle, Fette, loser Schmutz und Metallabrieb gibt es bereits Produkte für spezielle Verunreinigungen wie z.B. Bitumen oder Langzeitkonservierungen (s. Kapitel 2.2). Deshalb ist eine gute Kommunikation zwischen Anwenderbetrieb und Reinigungsmittelhersteller sinnvoll.

Bei der **Frage der Reinigungshäufigkeit** verhält es sich ähnlich. Können Reinigungsintervalle verlängert werden oder können kürzere Intervalle mit einer Schnellreinigung spätere aufwendige Reinigungen ersetzen? Sind Verfahrensabläufe sinnvoll angeordnet oder kann über den Einsatz von Material und Hilfsmitteln die Reinigungshäufigkeit beeinflusst werden?

Die **Definition des Reinigungsziels** klärt die Frage: „Wie sauber muss es sein?“ Im Kapitel 3.1. wurde schon erwähnt, dass es sich in der Praxis bewährt hat, die Reinheitsanforderungen an die

Oberfläche über den erfolgreichen Ablauf des Folgeprozesses zu definieren. Wenn es bei der nachfolgenden Bearbeitung keine Probleme gibt, ist die Reinigungswirkung ausreichend. Nicht der theoretisch mögliche Reinheitsgrad einer Oberfläche ist das Optimum eines Reinigungsprozesses, sondern der in der Praxis notwendige Grad an Reinheit ist entscheidend. Die Mitarbeiter vor Ort im Reinigungsbereich können dazu Hinweise geben. Diese Orientierung ist nicht nur technisch sinnvoll, sie spart auch Arbeits- und Materialkosten. Dies zahlt sich nicht nur betriebswirtschaftlich aus, es reduziert auch den Ressourcenverbrauch.

Die eigenen Reinigungsanstrengungen können sich auch dann reduzieren, wenn die gelieferte Ware beim Kunden ohnehin gereinigt wird. Das Gespräch mit den eigenen Kunden kann hierzu Aufschluss geben.

► Weiterbehandlung der gereinigten Teile berücksichtigen

Der erfolgreiche Verlauf des Folgeprozesses definiert die notwendige Reinheit. Führen beispielsweise Restverschmutzungen zu falschen Messwerten oder kann ein Lack nicht aufgetragen werden, dann ist die Qualität der Reinigung nicht ausreichend. Muss jedoch beispielsweise auf einer großen Maschine ein kleiner Schriftzug mit Lack aufgebracht werden, kann es durchaus Sinn machen, diese Fläche speziell nachzureinigen, wenn die Reinheitsanforderungen für den Hauptteil der Maschine wesentlich geringer sind.

Durch die Verwendung von Pflanzenölestern können bei der Weiterbehandlung von gereinigten Teilen **Vor- und Nachteile** entstehen. Aufgrund der geringen Flüchtigkeit verbleibt ein dünner Restfilm auf dem Reinigungsgut. Die Schichtdicke ist von der Konsistenz des Reinigungsmittels und von der Verarbeitungstemperatur abhängig. Der Restfilm kann stören, wenn beispielsweise im Folgeprozess eine Beschichtung erfolgen soll, die hochgereinigte Oberflächen voraussetzt. Die rückfettende Wirkung der Ester kann jedoch auch als temporärer Korrosionsschutz erwünscht sein, wenn sich Reparatur- und Montagearbeiten anschließen oder Maschinenteile zwischengelagert werden. In Bereichen, wo absolute Reinheit erforderlich ist, muss der Reinigung mit Pflanzenölestern ein zweiter Reini-

gungsschritt folgen. Je nach Anforderung kann diese Nachreinigung mit einem wässrigen Verfahren oder mit organischen Lösemitteln erfolgen. Pflanzenölester erfüllen in diesen Fällen die Funktion der Vorreinigung.

► **Verträglichkeit mit Reinigungsanlagen und Reinigungsgut prüfen**

Bevor ein neues Reinigungsmittel eingesetzt wird, sollte seine Verträglichkeit mit den Materialien des Reinigungsgutes und der bestehenden Reinigungsanlage geprüft werden. Hierbei sind folgende Punkte zu beachten:

- Gibt es Hinweise auf Unverträglichkeiten mit Dichtungen, Gummileitungen etc.?
- Kann der Maschinenlack angegriffen werden?
- Muss die Reinigungsanlage für das neue Mittel umgebaut werden?

Aufgrund der Vielfalt der Reinigungssysteme sind pauschale Antworten nicht möglich. Da Pflanzenölester einen hohen Flammpunkt und eine sehr geringe Verdunstung haben, entfallen eine ganze Reihe von Vorkehrungen, die z.B. bei organischen Lösemitteln notwendig sind. Die **Eignung bestehender Anlagen** für Pflanzenölester muss aber in jeden Fall **vor einem Einsatz geprüft** werden. Reinigungstische und einfache Tauchbäder bedürfen in aller Regel keiner oder nur einer geringen Veränderung. Bei automatischen Anlagen können größere Anpassungen notwendig sein, da hier oft mehrere Reinigungsstufen und Zusatzaggregate, z.B. zum Befüllen, Umfluten, Abpumpen, Spülen und Trocknen zum Einsatz kommen.

Es ist ebenfalls zu prüfen, welche unterstützenden Faktoren für das neue Reinigungsmittel zulässig und sinnvoll sind. Bei der Verwendung von Pflanzenölestern ist das Tauchen, Fluten und Bürsten fast immer problemlos möglich. **Vorsicht ist beim Versprühen** von Pflanzenölestern geboten. In Abhängigkeit von Sprühdruk und Größe der Düsen treten Sprühnebel auf, die bei ungünstigen Umgebungsbedingungen zu entzündlichen Gemischen führen können. Dies ist schon aus dem Umgang mit Kohlenwasserstoffen bekannt (s. Kapitel 3.1). Es sind daher Vorabklärungen erforderlich, um den richtigen Druck festzulegen und die Düsen auf die Konsistenz des Reinigungsmittels einzustellen. Sprühanwendungen sind im Vakuum in jedem Fall sicherer. Bei der Verwendung von Mikroemulsionen sind explosionsfähige Sprühnebel nicht zu erwarten. Sie eignen sich auch gut für Anwendungen in Ultraschallbädern. Bei niedrig viskosen Estern wurde ebenfalls eine Verbesserung der Reinigungsleistung durch Ultraschall beobachtet. Die Reinigungswirkung kann auch durch eine höhere Temperatur gesteigert werden.

Sie verringert die Viskosität der Ester und verbessert dadurch ihr Kriechverhalten. Pflanzenölester sind thermisch stabil, es ist jedoch nicht jedes Produkt für jede Temperatur geeignet. Anwender sollten in jedem Fall beim Anbieter nachfragen, bis zu welcher Temperatur das entsprechende Produkt bedenkenlos einsetzbar ist.

► **Hersteller befragen/
Reinigungsprodukt auswählen**

Die Vielfalt der Reinigungsaufgaben in der Metallindustrie macht es schwer, Empfehlungen für spezielle Produkte zu geben. Was in einem Betrieb problemlos funktioniert, kann in einem anderen Betrieb zu Schwierigkeiten führen. Unterschiedliche Verschmutzungen können zu abweichenden Reinigungsergebnissen führen. Bei einem Test auf einer Schiffswerft war beispielsweise ein Pflanzenölester gegenüber einer Schutzbeschichtung sehr wirksam, bei der Abreinigung einer anderen Beschichtung des selben Herstellers ergaben sich jedoch Probleme. Ein Universalreiniger „für Alles“ wird zwar immer wieder von den Anwendern gewünscht, ist aber nur realisierbar, wenn die Verschmutzungen und Einsatzbedingungen sehr ähnlich sind. **Ein Universalreiniger, der für eine breite Palette von Verschmutzungen hochwirksam ist, sollte auch mit Skepsis betrachtet werden.** Oft leidet hierbei der Gesundheits- und Umweltschutz.

Trotz der Unterschiedlichkeit von Verschmutzungen, Umgebungsbedingungen, Reinigungsanlagen und Anwenderbetrieben können Reinigungsprodukte formuliert werden, die für eine Vielzahl von Aufgaben einsetzbar sind und den Standards des modernen Arbeits- und Umweltschutzes entsprechen. Es sind **Pflanzenölester für Standardverschmutzungen und für spezielle Einsatzbereiche verfügbar**. Neben reinen Pflanzenölestern werden u.a. Produkte mit Zusätzen von mineralölbasierten Komponenten und Mikroemulsionen angeboten. Die Produktpalette ist zur Zeit noch überschaubar, was dem Anwenderbetrieb die „Qual der Wahl“ etwas erleichtert. Die Hersteller und Lieferanten erweitern den Markt für ihre Produkte Schritt für Schritt und stehen potentiellen Anwendern mit ihrem Know-how zur Verfügung. Die Kooperationsstelle hat im EU LIFE-Projekt eine ganze Reihe von Informationsmaterial erstellt. Literaturhinweise, Namen und Adressen finden sich im Service-Teil dieses Handbuchs in Kapitel 7. Über die Internetseiten der Kooperationsstelle Hamburg ist eine Produktliste für Pflanzenölester in der Metallreinigung abrufbar, die jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt (<http://www.uni-hamburg.de/kooperationsstelle-hh>).

5.2 Umstellung der Reinigungstechnik

Wenn die technischen Voraussetzungen im Grundsatz geklärt sind, können einzelne Waschtische oder Anlagen mit Pflanzenölestern befüllt werden. In diesen Vorversuchen werden die Reinigungsmittel unter Produktionsbedingungen mit betriebsüblichen Verschmutzungen getestet und ggf. auftretende Probleme bereits frühzeitig behoben. Verlaufen die Versuche positiv, kann der Einsatz in größeren Mengen erwogen werden. Aus den bisherigen Erfahrungen wurden folgende Hinweise entwickelt, die eine erfolgreiche Vorgehensweise unterstützen.

► Durchführung von Pilottests

Pilottests sollten immer mit allen Beteiligten abgesprochen werden. Es kann sich anbieten, einzelne Personen mit in die Entscheidungsfindung einzubeziehen. In welchem Umfang dies möglich und sinnvoll ist, kann von Betrieb zu Betrieb unterschiedlich sein. Sind umfangreiche Testläufe geplant, sollten die Testbedingungen vorab festgelegt werden. Dazu gehören der Anwendungsbereich, die Reinigungsmittel, die Testpersonen und der Zeitrahen.

Die Auswahl des Pflanzenölesters sollte mit Hilfe aller verfügbaren Informationen sorgfältig erfolgen. Verschmutzung, erwartetes Reinigungsergebnis und Reinigungsmittel müssen zueinander passen. Bei den Tests selbst kann unter Umständen die Hinzuziehung eines Instructors des Herstellers bzw. Lieferanten des Pflanzenölesters sinnvoll sein. Wenn Reinigungsanlagen betroffen sind, sollte der Einsatz der Ester vorher mit den Anlagenherstellern abgestimmt werden.

Zur Erfassung der Testergebnisse ist es hilfreich, einen kurzen Prüfbogen zu erarbeiten. Ergebnisse lassen sich dadurch besser analysieren und Bewertungen zuordnen. Der subjektive Eindruck der Testpersonen wird auf eine sachliche Grundlage gestellt. Ein solcher Testbogen könnte enthalten:

- Name der Abteilung, des Arbeitsbereichs und der Testperson
- Name des Pflanzenölesters und des zuvor verwendeten Produktes
- Bezeichnung des gereinigten Werkstücks/ Maschinenteils
- Art der Verschmutzung
- Kurzbeschreibung der Reinigungsmethode
- Beurteilung der Reinigungswirkung
- Einschätzung des Zeit- bzw. Kraftaufwands für das Reinigen
- Datum der Reinigung sowie Raum für Bemerkungen und Kommentare

Um den Aufwand zum Ausfüllen zu begrenzen, sollte der Testbogen möglichst viele Fragen mit Antwortmöglichkeiten zum Ankreuzen enthalten. Die Auswertung dieser Bögen kann Grundlage für ein Auswertungsgespräch sein, an dem auch Mitarbeiter aus dem Reinigungsbereich teilnehmen sollten.

Tests lassen sich natürlich auch mit weniger Aufwand durchführen und können trotzdem aussagekräftige Ergebnisse erbringen. Wichtig ist, dass die Testbedingungen nachvollziehbar sind und Bewertungen auf solider Grundlage erfolgen. Gründlich durchgeführte Tests vermeiden, dass es zu unliebsamen Überraschungen kommt, wenn die Reinigungstechnik in größerem Maßstab umgestellt wird.

► Kooperation im Betrieb/ Information der Mitarbeiter

Die Einbeziehung aller zuständigen betrieblichen Akteure ist wichtig für eine erfolgreiche Umstellung des Reinigungsverfahrens. Geschäftsleitung, Betriebsrat, Sicherheitsfachkräfte, Arbeitsmediziner, Meister und die Arbeitnehmer im Reinigungsbereich kommen hierfür in Frage. Sie sollten über die Pilottests bzw. die Umstellung auf Pflanzenölester informiert sein, einer Versuchsreihe positiv gegenüber stehen und zu einer möglichst objektiven Beurteilung bereit sein. Die Anordnung von Reinigungsversuchen ohne vorherige Information der Mitarbeiter sollte vermieden werden. Ideal ist eine **Kooperation der zuständigen Personen**, die von einer Bestandsaufnahme ausgehend Motivation für die neue Reinigungstechnik schafft. Technische Leistung kann besser überzeugen, wenn vorher ein Grundverständnis für das Anliegen und die damit verbundenen Aufwendungen geschaffen wird.

► Umstellung der Arbeitsweise/Einweisung in die neue Reinigungstechnik

Wie jedes andere Produkt auch haben Pflanzenölester spezifische Eigenschaften. Die Umstellung auf die neue Reinigungstechnik kann sehr einfach sein. Sie kann aber auch eine Veränderung des Arbeitsablaufes, technische Modifikationen an Reinigungsanlagen und eine veränderte Handhabung der Produkte mit sich bringen. Um neue Anwendungstechniken und die Hintergründe der Umstellung zu erläutern, sind **Einweisungen für die betroffenen Mitarbeiter** notwendig. Es empfiehlt sich hierfür etwas Zeit einzuplanen. Die Beschränkung auf „Lies das mal und probier das mal aus“ führt oft zu Fehlern bei der Anwendung.

Beim täglichen Umgang müssen die speziellen Eigenschaften der Ester beachtet werden. Die Ester sind schwer flüchtig und verdunsten im

Gegensatz zu typischen Kaltreinigern nicht von selbst. Unabsichtliches Verschütten und Verspritzen kann zu einer **Rutschgefahr** führen. Esterreste müssen sauber aufgewischt oder mit Sägemehl abgestreut werden. Neben einer sorgfältigen Handhabung wird empfohlen, Matten oder Roste an den Reinigungsarbeitsplätzen zu installieren. Ein Beispiel für die Veränderungen im Arbeitsablauf ist die Entfernung von Schutzbeschichtungen z.B. Tectyl. Bei dieser Reinigungsaufgabe benötigen die Ester in der Regel eine **Einwirkzeit**. Diese kann für andere Arbeiten genutzt werden und sollte mit den Mitarbeitern abgesprochen werden.

Die schwer flüchtigen Pflanzenölester fühlen sich auf der Haut leicht ölig an. Mitarbeiter, die zuvor mit leicht flüchtigen Lösemitteln gearbeitet haben, können hiervon irritiert sein. Wer an typischen Lösemittelgeruch gewöhnt ist, wird in den meisten Fällen positiv auf die Pflanzenölester reagieren, da sie neutraler riechen. Die Konsistenz, der Geruch und das Verdunstungsverhalten der Reiniger wird mit als erstes wahrgenommen und unterscheidet sich von flüchtigen Lösemitteln. Wenn hierüber vorab informiert wird und das Esterprodukt zu der Anwendung passt, sind in dieser Beziehung keine Probleme zu erwarten.

► Sicherheitshinweise für den richtigen Umgang

Pflanzenölester wurden als Alternative zu leicht flüchtigen Reinigern entwickelt und verstehen sich als gesundheitlich und ökologisch verträgliche Produkte. Die wichtigste Grundkomponente, das Pflanzenöl, ist ein natürlicher Stoff. Durch die Veresterung mit Alkoholen, die technische Aufarbeitung und weitere Zusatzstoffe (z.B. Emulgatoren) wird aus dem Pflanzenöl ein chemisches Produkt. Sicherheitshinweise für den richtigen Umgang mit Pflanzenölestern werden von den Herstellern und Lieferanten zur Verfügung gestellt und sollten für die **Unterweisung der Mitarbeiter** herangezogen werden.

Pflanzenölester sollen als Reinigungsmittel Verschmutzungen lösen, Schmierstoffe, Öle und Fette entfernen. Sie wirken entfettend, auch auf die menschliche Haut. Die in das Reinigungsmittel eingetragenen Verschmutzungen, z.B. Schmierstoffe und Metallspäne, können die Haut schädigen. Bei der Verwendung von Pflanzenölestern sind daher **Schutzhandschuhe notwendig**. In der Praxis haben sich Schutzhandschuhe aus Nitrilkautschuk an besten bewährt. Im Unter-

schied zu anderen Kautschukmaterialien ist Stickstoff in die chemische Verbindung eingebunden. Dadurch wird eine hohe Öl- und Kohlenwasserstoffbeständigkeit gewährleistet.³⁶ Da eine falsche Materialzusammensetzung und undichte Stellen die Schutzwirkung der Schutzhandschuhe stark beeinträchtigen, sollte Wert auf die richtige Auswahl der Handschuhe und auf deren regelmäßige Erneuerung gelegt werden.

Eine Abstimmung mit dem Hersteller ist zwingend erforderlich, wenn Pflanzenölester versprüht werden sollen. Da unter Umständen explosionsfähige Gemische entstehen können, sind vorab die Voraussetzungen für ein **Versprühen** zu klären.

► Reinigungstechnik und Verfahrensablauf optimieren

Verlaufen Pilottests zur allgemeinen Zufriedenheit, steht einer Umstellung in größerem Maßstab nichts mehr im Wege. Für die Umstellung und insbesondere wenn die Reinigungswirkung noch nicht den Erwartungen entspricht, ist es sinnvoll sich an den Hersteller oder Lieferanten zu wenden. Ein klärendes Gespräch bzw. ein Betriebsbesuch durch einen Instrukteur kann häufig Lösungen bieten. Gegebenenfalls ist ein besser angepasstes, neues Produkt einsetzbar. Bei der Umstellung vorhandener Reinigungsanlage auf den Einsatz mit Pflanzenölestern sind die Anlagenbauer die richtigen Ansprechpartner. Eine Gesprächsrunde mit Mitarbeitern des eigenen Unternehmens kann Probleme in der Handhabung oder Informationsdefizite beheben.

³⁶ Vgl.: Berufsgenossenschaft Druck und Papierverarbeitung: Schutzhandschuhe für das Arbeiten mit Reinigungslösungen; in: tag für tag 1/1996, Seite 10



Ökologischer Nutzen und Qualitätssicherung

6.1 Verbesserung der Luftqualität t: Das Beispiel Ozon

Die Verwendung von Pflanzenölestern unterstützt die Industrie bei der Emissionsminderung und hilft, die internationalen Verpflichtungen Deutschlands zum Klimaschutz zu erfüllen. Am Beispiel Ozon wird deutlich, dass der Einsatz von Pflanzenölestern zu einer Verbesserung der Luftqualität beitragen kann, wenn dadurch flüchtige organische Verbindungen ersetzt werden.

Neben den flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) sind die Stickstoffoxide (NO_x) die zweite wichtige **Vorläufersubstanz von Ozon**. Die Stickstoffoxide stammen zu ca. 60 % aus dem Verkehrsbereich, über die Hälfte der VOC-Emissionen in Deutschland werden durch die Lösemittelverwendung verursacht. Die Ozonproblematik ist sehr komplex und Veränderungen der Ozonkonzentration in der Atmosphäre haben große Auswirkungen auf Menschen, Tiere, Pflanzen und Materialien. Die Begriffe „Sommersmog“ und „Ozonloch“ charakterisieren die doppelten Gefahren dieser Veränderung. Ozon zählt zu den Treibhausgasen und trägt zur Erwärmung der Erdatmosphäre bei.

Sommersmog

In den unteren Luftschichten bis zehn Kilometern Höhe (der Troposphäre) bildet sich zusätzliches Ozon durch komplexe photochemische Reaktionen von Sauerstoff und Luftverunreinigungen. Bei intensiver Sonneneinstrahlung werden vor allem aus Stickstoffoxiden und flüchtigen organischen Verbindungen sogenannte photochemische Oxidantien wie Ozon gebildet. Der so entstehende photochemische Smog (Sommersmog) belastet die Gesundheit der Menschen und die Umwelt.

Der Sommersmog enthält eine Vielzahl von Substanzen, die eine starke Reizwirkung auf die Augen und die Schleimhäute der oberen Atemwege (Nasen-Rachen-Raum) ausüben können. Nebenprodukte der Ozonbildung spielen hierbei eine wichtige Rolle. Bei Ozonbelastung gibt es keine genau eingrenzbar Risikogruppe, da die individuelle Empfindlichkeit sehr unterschiedlich ist. Neben der direkten Reizwirkung wird bei Ozon auch ein allergieförderndes Potential vermutet und es liegen Hinweise auf eine erbgut-schädigende und krebserzeugende Wirkung vor.³⁷

Zur Wirkung von Ozon auf Pflanzen liegen hauptsächlich Untersuchungen an landwirtschaftlichen Nutzpflanzen und an Bäumen in Wäldern vor. Sobald Ozon von einer Pflanze direkt, z.B. über Spaltöffnungen, aufgenommen wird, greift es hier wegen seiner oxidativen Wirkung die Zellstruktur des Pflanzengewebes an.

Ozonloch

In den Luftschichten der Stratosphäre, oberhalb von etwa zehn Kilometern, befindet sich mit über 90% der Hauptanteil des natürlichen Ozons. Dieses Gas hat dort die lebenswichtige Funktion eines Filters gegen schädliche ultraviolette Anteile der Sonnenstrahlung. Lösemittel aus der Gruppe der Halogenkohlenwasserstoffe, zu denen auch die Chlorkohlenwasserstoffe (CKW) und die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) gehören, tragen zur Zerstörung dieser Schutzschicht bei. Mit dem „Montrealer Protokoll“ von 1987 sind weltweite Vereinbarungen getroffen worden, um die Emissionen dieser Stoffe zu verringern. Seit Ende 1995 besteht ein Verbot der Herstellung und Freisetzung von FCKW mit Ausnahmeregelungen für Entwicklungsländer. Trotz dieser Maßnahmen wird ein Ozonrückgang von fünf Prozent pro Jahrzehnt erwartet, da die langlebigen, ozonabbauenden Gase nicht ganz von der Erde verschwunden sind und weiterhin in die Stratosphäre aufsteigen. Nach wie vor werden riesige Ozonlöcher, beispielsweise über der Antarktis, beobachtet.

Zwischen dem Ozon in der Stratosphäre und dem Ozon in bodennahen Bereichen gibt es nur wenig Austausch. Der Gasaustausch zwischen den beiden Luftschichten verläuft nur sehr langsam und die Lebensdauer des Ozon in den unteren Schichten der Atmosphäre ist relativ kurz. Die Phasen der erhöhten Ozonkonzentration während des Sommersmogs können die Ozonlöcher in höheren Regionen nicht „stopfen“.

Ausblick

Nach Ansicht des Umweltbundesamtes müssen insbesondere die Ozon-Vorläufersubstanzen VOC und NO_x auf etwa 70 bis 80 % reduziert werden, bezogen auf die Werte zu Mitte der 80er Jahre. Nur so sind gesundheitsgefährdende Ozonkon-

³⁷ Vgl.: Umweltbundesamt: Hintergrundinformation Sommersmog, Berlin Juni 1999

zentrationen in Bodennähe nach heutigem Kenntnisstand in Deutschland weitgehend auszuschließen. Es wird zukünftig immer wichtiger werden, die Umweltpolitik durch den Einsatz schwerflüchtiger, nicht VOC-relevanter Produkte dauerhaft zu unterstützen. Pflanzenölester können hierzu einen wichtigen Beitrag leisten.

6.2 Biologische Abbaubarkeit

Bei Transporten, Abfüllarbeiten sowie bei der Anwendung von Reinigungsmitteln kann es zu Boden- und Wasserverunreinigungen kommen. Bei Unfällen auf dem Betriebsgelände ist das Unternehmen direkt betroffen, bei Transportschäden auf der Straße können Natur- und Wasserschutzgebiete in Mitleidenschaft gezogen werden. Die gute biologische Abbaubarkeit eines Produktes verringert behördliche Auflagen, bietet unter Umständen Vorteile bei Zertifizierungen und schafft zusätzliche Sicherheit. Sie ist ein Qualitätsmerkmal für ein Reinigungsmittel.

In Sicherheitsdatenblättern für Produkte wird unter der Rubrik „Angaben zur Ökologie“ Auskunft über die Wassergefährdung gegeben. Es erfolgt u.a. eine Einstufung in die Wassergefährdungsklasse (WGK) nach dem Wasserhaushaltsgesetz bzw. nach der Verwaltungsvorschrift wassergefährdende Stoffe (VwVwS, letzte Fassung vom 17.05.1999). Seit Inkrafttreten des Bodenschutzgesetzes findet auch die ökotoxikologische Beurteilung von Stoffen im Boden stärkere Berücksichtigung. Es wird nicht mehr allein das Verhalten in aquatischen Medien bewertet, sondern auch das Verhalten im Umweltmedium Boden. Böden unterscheiden sich in vielfältiger Weise von Gewässern, so dass hierfür andere Testverfahren angewandt werden müssen.

Wassergefährdungsklassen

Definition	Wassergefährdungsklasse (WGK)
Stark wassergefährdender Stoff	WGK 3
Wassergefährdender Stoff	WGK 2
Schwach wassergefährdender Stoff	WGK 1
nicht wassergefährdender Stoff	

Reine Pflanzenöle (Triglyceride) werden je nach Anzahl der Kohlenstoffatome in die Wassergefährdungsklasse 1 bzw. nicht wassergefährdend eingestuft. Pflanzenölester als chemisch modifizierte Produkte gehören zumeist der WGK1 an. Reiniger aus Mineralölprodukten sind in WGK1, manchmal auch in der WGK2 zu finden.

Um weitere Informationen über die ökologischen Wirkungen von Pflanzenölestern zu erhalten, wurden von verschiedenen EU-Projekten Studien in Auftrag gegeben.³⁸ Die Abteilung für Um-



³⁸ EU-Projekt VOFAPro: Kooperationsstelle Hamburg: VOFAPro Final Report, Chapter 6: Biodegeneration, Bioaccumulation, Toxicity, Hamburg 1997, Seite 94f / Amsterdam Research Institute for Substances in Ecosystems, Department of Environmental and Toxicological

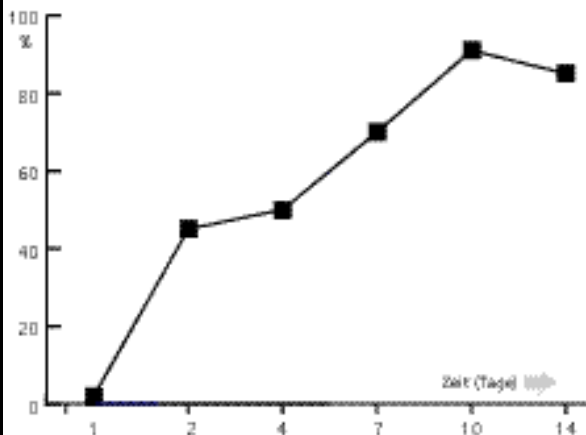
Chemistry (MTC): VOFAPro Individual Report, Amsterdam 1997/EU-Projekt SUMOVERA: Goetz/Landwehr: Biologischer Abbau und Mobilität von Betontrennmitteln auf Basis nachwachsender Rohstoffe im Boden; Herausgeber: Kooperationsstelle Hamburg, Hamburg 1998.

welt und toxikologische Chemie der Universität von Amsterdam untersuchte den biologischen Abbau pflanzenölbasierter Reinigungsmittel im Wasser, das Institut für Bodenkunde der Universität Hamburg erstellte ein Gutachten zum Abbauverhalten von pflanzenölbasierten Betontrennmitteln im Boden. Beide Studien bescheinigen den Pflanzenölestern eine leichte biologische Abbaubarkeit und sehen eindeutige Vorteile im Vergleich zu mineralölbasierten Produkten.

Aquatische Medien und Toxizität

Die Bioabbaubarkeit und Toxizität ausgewählter Ester wurde an der Universität Amsterdam untersucht. Die sogenannte leichte Bioabbaubarkeit wurde mit dem standardisierten „Closed-Bottle-Test“ (OECD 301 D) für fünf Pflanzenölester und ein Rapsölprodukt geprüft. Alle untersuchten Ester wurden durch die im Test verwendeten Bakterien schnell abgebaut. Dies belegt, dass diese Ester leicht biologisch abbaubar sind und man erwarten kann, dass sie auch in der Umwelt schnell abgebaut werden.

Biologische Abbaubarkeit eines Esters im Closed-Bottle-Test



Erläuterung: Getestet wurde 2-Ethylhexyllaurat.
Quelle: Kooperationsstelle Hamburg: VOFAPro-Bulletin, Hamburg 1997, Seite 19.

Zusätzlich wurden die möglichen toxischen Wirkungen der Pflanzenölester im Abwasser untersucht. Dazu wurden vier Pflanzenölester und ein Rapsölprodukt auf ihre Toxizität gegenüber Wasserlebewesen (Daphnien) getestet. Positiv fiel auf, dass sich in gesättigter Esterlösung keine akuten Effekte auf die Testorganismen fanden. Dies ist ein Hinweis auf ein sehr geringes Gefährdungspotential.

Ergänzend wurde eine Risiko-Abschätzung für Umweltgefahren für einige Ester durch Computersimulation mithilfe des Programms USES durchgeführt. Dieses Programm wurde für behördliche

Einrichtungen entwickelt und ermöglicht, Chemikalien durch den Vergleich ihrer prognostizierten Konzentrationen in verschiedenen ökologischen Bereichen mit berechneten, sicheren Umweltgrenzwerten zu bewerten. Für alle fünf Pflanzenölester, die in die Berechnung einbezogen wurden, waren die Risikoquotienten (prognostizierte Umweltkonzentration geteilt durch die erwartete Null-Effekt-Konzentration) deutlich unter Eins. Dieses Resultat zeigt, dass eine große Sicherheitsspanne besteht zwischen den Konzentrationen, die mit Wahrscheinlichkeit in der Umwelt auftreten werden und den Konzentrationen, bei denen Effekte auf aquatische Lebewesen zu erwarten sind. Diese Pflanzenölester können daher als ökologisch verträglich bezeichnet werden.

Biologische Abbaubarkeit im Boden

Das Institut für Bodenkunde der Universität Hamburg untersuchte pflanzenölbasierte Betontrennmittel im Vergleich zu mineralölbasierten Produkten auf ihre biologische Abbaubarkeit im Boden. Üblicherweise wird die biologische Abbaubarkeit von Stoffen in wässrigen Testsystemen im Labor bestimmt. Bei diesen Methoden ergaben sich häufig keine Unterschiede zwischen pflanzenölbasierten und mineralölbasierten Trennmitteln. Beide können eine leichte biologische Abbaubarkeit erreichen und beispielsweise das Umweltzeichen „Blauer Engel“ erhalten.

Die Bedingungen für einen biologischen Abbau im Wasser sind jedoch ganz andere als im Boden. Die Abbaugeschwindigkeit im Boden wird von der Wasserlöslichkeit und den Sorptions-eigenschaften des Stoffes beeinflusst. Darüber hinaus spielen die Milieubedingungen im Boden eine wichtige Rolle. Durchlüftung, Wassergehalt, Nährstoffangebot, pH-Wert und andere Bodeneigenschaften beeinflussen die biologische Aktivität. Der Vergleich von zwei mineralölbasierten Trennmitteln mit einem Pflanzenölester und einer Ester-Emulsion ergaben **Vorteile für die Esterprodukte**. Der untersuchte Rapsmethylester weist bei der Abbaubarkeit im Boden die beste Umweltverträglichkeit auf. Die Ester-Emulsion ist ebenfalls gut biologisch abbaubar. Die beiden Mineralölprodukte zeigten dagegen im Boden fast keinen biologischen Abbau, unabhängig von ihrer Einstufung als leicht biologisch abbaubar (mit einem wässrigen Testverfahren). Die Produkte auf Pflanzenölbasis waren den mineralölbasierten Produkten bei der biologischen Abbaubarkeit im Boden bei diesem Test überlegen.

6.3 Pflanzen lester im Lebenszyklus

Reinigungsmittel sind für Anwenderbetriebe Hilfsstoffe, die sie in ihrer Produktion oder bei ihrer Dienstleistung unterstützen. Ihr Einsatz richtet sich vorrangig nach technischen und betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten. Neben dem innerbetrieblichen Arbeits- und Umweltschutz gewinnen aber auch **Aspekte der allgemeinen Ressourcenschonung**, des umweltverträglichen und nachhaltigen Wirtschaftens für die Unternehmen an Bedeutung. Lebenszyklusanalysen sind dabei Entscheidungshilfen für die Auswahl von Produkten. Sie erfassen jede Phase des Lebenslaufes eines Produktes und analysieren die Auswirkungen auf die Umwelt.

Um die ökologischen Wirkungen eines Produktes „von der Wiege bis zur Bahre“ beurteilen zu können, müssen Herstellung, Verarbeitung, Transport, Anwendung und Entsorgung bewertet werden. Es ist ein sehr aufwendiges Verfahren, in das viele Daten und Modellrechnungen einfließen. Im EU-Projekt VOFAPro wurden Lebenszyklusanalysen erstellt und zwei Pflanzenölester mit einem Mineralölprodukt verglichen.³⁹ Betrachtet wurden:

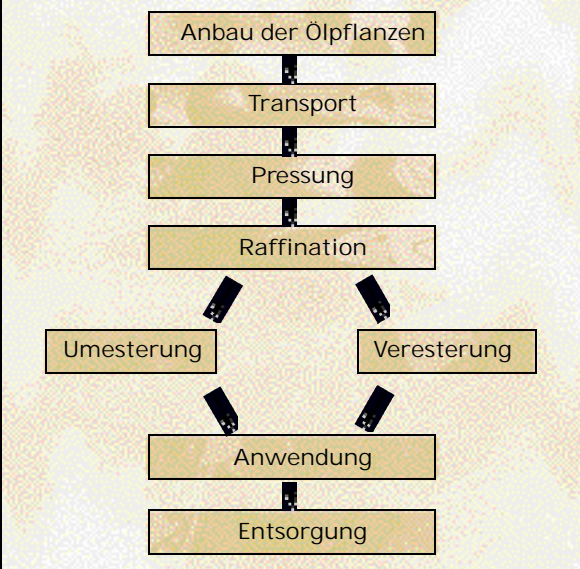
- Ein mineralölbasiertes Lösemittel (entaromatisierter C10–12 Kohlenwasserstoff)
- Ein rapsölbasierter Pflanzenölester (Rapsmethylester)
- Ein kokosölbasierter Pflanzenölester (2-Ethylhexyllaurat)

Betrachtet wurden die ökologischen Auswirkungen des Einsatzes von jeweils 1.000 kg eines Produktes. Der betriebliche Anwendungsbereich war ein offener Reinigungsprozess, der Schadstoffemissionen beim Einsatz flüchtiger Produkte zulässt. Zusätzlich wurden die Veränderungen im Umweltprofil untersucht, die sich durch Variationen der eingesetzten Menge eines Reinigungsmittels ergeben. Ökologische Bewertungen von zusätzlichen Rohmaterialien zur Herstellung der Produkte und weitere Umweltdaten ergänzen die Studie. Die Entsorgung wurde nicht berücksichtigt, da zum damaligen Zeitpunkt keine Aussage über das Recycling von Pflanzenölestern gemacht werden konnte.

In der Lebenszyklusanalyse wird jedes Produkt mit ökologischen Parametern bewertet und alle Wertungen gemeinsam ergeben dann das **ökologische Gesamtprofil**. Parameter sind bei-

spielsweise Nutzung von Land, Ressourcenverbrauch, Klimaeffekte und Wasserbelastung, Giftigkeit für Menschen, Tiere und Pflanzen, Bodengefährdung und Abfallverwendung. Diese Parameter decken jedoch nicht alle denkbaren negativen Umwelteinflüsse ab, da z.B. Schäden durch Transportunfälle (Öltanker) oder Waldrodungen (für landwirtschaftliche Flächen) eine Wertminderung für das Ökosystem darstellen, aber sehr schwer zu beziffern sind.

Etappen im Lebenszyklus eines Pflanzen lesters



Ergebnisse der Untersuchung

Von den drei untersuchten Produkten schneidet der Pflanzenölester auf Basis von Kokosöl in der Lebenszyklusanalyse am besten ab. Ein großer Teil der negativen Umweltwirkungen dieses Produkts kann der Herstellung des Alkoholanteils des Esters zugeschrieben werden und nicht der Produktion des Kokosöls. Der Verbrauch von Dieselmotoren für den Transport (in diesem Fall von den Philippinen) nach Europa hat negative Auswirkungen, beispielsweise auf die Erwärmung der Erdatmosphäre, und belastet die Umweltbilanz.

Beim Vergleich des Mineralölproduktes mit dem Rapsölmethylester fällt eine Differenzierung deutlich schwerer. Die Art der jeweiligen Umweltauswirkungen unterscheiden sich ganz erheblich. Die Umwelteffekte des Rapsölmethylesters beziehen sich hauptsächlich auf die landwirtschaftliche Anbauweise, die nach konventioneller Methode einen Eintrag von Pestiziden in den Erdboden und eine Eutrophierung des Wassers durch Düngemittel verursacht. In dieser Hinsicht ist der Anbau von Raps in Westeuropa wesentlich intensiver

³⁹ Autor und Titel der Studie: Terwoert, J. et al.: LCA of cleaning products in the metal industry; Herausgeber: Universität von Amsterdam/Chemiewinkel, Amsterdam 1996

und industrialisierter als der Anbau von Kokospalmen auf den Philippinen. Das mineralölbasierte Lösemittel wiederum bewirkt eine weitere Verringerung der endlichen Bodenschätze (Erdölförderung) sowie eine Zunahme von Schadstoffemission in der Luft. Dieser Effekt wird in der Hauptsache durch die Verdunstung des Lösemittels selbst während der eigentlichen Anwendung verursacht.

Nach der Untersuchung des Lebenszyklus der verschiedenen Produkte zeigt sich, dass ein auf Kokosöl basierender Methylester ökologisch gesehen zur Zeit die beste Wahl wäre. Wenn durch den Einsatz von Pflanzenölestern die eingesetzten Reinigungsmengen reduziert werden könnten, würde sich deren Umweltprofil weiter verbessern. Es könnten zudem weitere **Optimierungen im Lebenszyklus** vorgenommen werden. Eine umfassendere Nutzung von Nebenprodukten der Kokosölgewinnung oder ein stärker kontrollierter Einsatz von Düngemitteln beim Rapsanbau würde sich vorteilhaft für die Pflanzenölester auswirken. Bei mineralölbasierten Produkten würde ein Wechsel von leicht flüchtigen zu schwer flüchtigen Produkten die Umweltbilanz der Lösemittel verbessern. Eine Verlängerung der Standzeiten von Reinigungsbädern und die Verbesserung von Recyclingtechniken beeinflusst die Gesamtbeurteilung aller Produkte positiv.

Fazit ist: Der Ersatz flüchtiger organischer Lösemittel in offenen Anwendungen durch Pflanzenölester bedeutet in vielen Fällen eine eindeutige ökologische Verbesserung. Jedoch bedürfen auch Pflanzenölester der Optimierung im Lebenszyklus. Die letzte Phase des Lebenszyklus, die Entsorgung, ist durch geeignete Recyclingmaßnahmen ebenfalls noch entwicklungsfähig. Erste Fortschritte hierzu konnten inzwischen gemacht werden (vgl. Kapitel 5).

6.4 Qualitätskriterien für Produkte

Die Qualitätssicherung beginnt mit der Formulierung und Herstellung eines Produktes. Grundkomponenten werden ausgewählt und kombiniert, um eine optimale Wirksamkeit zu erzielen. Die Produkte sollen zwar vorrangig ihren technischen Anwendungszweck erfüllen, dürfen jedoch nicht den Umwelt- und Gesundheitsschutz vernachlässigen. Den Herstellern wird hierfür die Verantwortung übertragen. Gesetzgeber und Berufsgenossenschaften greifen regulierend ein und legen Rahmenbedingungen fest. Es bleibt aber noch genügend Raum zur Formulierung unterschiedlicher Produkte. Verantwortungsbewusste Hersteller werden dabei nach der Regel verfahren: **So viel Wirkung wie nötig, so wenig Belastung wie möglich.** Formulierungen für Pflanzenölester folgen dieser Regel, da sie sich als innovative Produkte verstehen: Technische Wirksamkeit, verbunden mit gesundheitlichem und ökologischen Nutzen zu konkurrenzfähigen Preisen.

Als die Reinigungstechnik mit Pflanzenölestern noch neu war, führte die Entwicklung von „Schnellschüssen“ bei einigen Produkten in der Druckindustrie zu vereinzelt negativen Erfahrungen in der Anwendung. Die zu Beginn der 90er Jahre beobachteten Probleme mit der Konsistenz und der Materialverträglichkeit der Ester konnten schnell behoben werden. Hersteller mit Qualitätsprodukten setzten sich durch. Positiver Nebeneffekt war, dass der Qualitätssicherung ein höherer Stellenwert eingeräumt wurde. Neben dem EU-Projekt SUBSPRINT war es die Berufsgenossenschaft Druck und Papierverarbeitung, die Vorgaben hierzu erarbeitete, die heute noch wirksam sind (vgl. hierzu Kapitel 1.5.). Diese Erfahrungen nützen auch der Produktentwicklung und der Qualitätssicherung in der Metallindustrie.

Die IG Metall Bezirk Küste und der Arbeitgeberverband Nordmetall haben gemeinsam mit der Norddeutschen Metall-BG im Juli 2000 eine gemeinsame **Brancheninitiative zum Arbeits- und Gesundheitsschutz** unterzeichnet. Sie hat die Reduzierung von Lösemittlemissionen bei der Metallreinigung zum Ziel. Die Vereinbarung gilt:

- für die Entfernung von metalltypischen Verschmutzungen bei der Instandhaltung und
- für die Entfernung von Korrosionsschutzbeschichtungen auf Metallteilen.

In einem abgestuften System wird der Einsatz unterschiedlicher Reinigungsmittel bewertet. Pflanzenölester sind als bevorzugte Produkte ein-

gestuft, deren Einsatz empfohlen wird. Flüchtige Reiniger der Gefahrenklassen AI, AII und AIII sollen in den genannten Bereichen im Regelfall nicht mehr verwendet werden.

Diese Brancheninitiative wird die Innovationen auf dem Markt für Oberflächenreinigung beschleunigen und positiv auf die Qualitätssicherung wirken. Die Metall-Berufsgenossenschaften prüfen darüber hinaus, ob über das Ersatzstoffgebot der Gefahrstoffverordnung hinaus ein eigenes Klassifizierungssystem für Produkte zur Metallreinigung sinnvoll ist, um den Arbeitsschutz zu verbessern. Inwieweit sich hier die Brancheninitiative in der norddeutschen Metallindustrie auswirkt, muss noch abgewartet werden.

Vorschläge zur Qualitätssicherung, die über bestehende gesetzliche Vorschriften hinaus gehen, liegen auch von der Kooperationsstelle Hamburg vor. Es gibt eine freiwillige Transparenz von Herstellern, die mit dem LIFE-Projekt zusammen gearbeitet haben. Auf Grundlage der Kriterien der Kooperationsstelle Hamburg wurden Hersteller von pflanzenölbasierten Metallreinigern zu ihren Produkten befragt. Die Ergebnisse sind in Form einer Produktliste auf den Internetseiten der Kooperationsstelle Hamburg verfügbar (www.uni-hamburg.de/kooperationsstelle-hh) und werden auf Anfrage auch verschickt. Die Produktliste soll potentiellen Anwendern eine Marktübersicht und zusätzliche Informationen geben. Sie ist keine Referenzliste und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Die Daten stützen sich ausschließlich auf Angaben von Herstellern, die der Kooperationsstelle Hamburg pflanzenölbasierte Testprodukte zur Metallreinigung zur Verfügung gestellt haben. Die Hersteller wurden im Sommer 1998 über ihr Angebot an Reinigern für die Metallindustrie befragt. Die Produktliste wird in unregelmäßigen Abständen aktualisiert. Weitere Hinweise zu Produkten und Herstellern finden sich auch im Serviceteil (Kapitel 7). In die Produktliste wurden nur Reinigungsmittel auf Basis von Pflanzenölestern aufgenommen, die entsprechend den Herstellerangaben die nebenstehenden Bedingungen erfüllen.

Kriterien für Metallreiniger auf Basis von Pflanzenölestern

- Anteil pflanzlicher Ester > 75%
- Flammpunkt > 100°C
- Dampfdruck < 0,1 mbar (bei 20°C)
- Keine toxischen Additive

Diese Kriterien berücksichtigen Aspekte des Gesundheitsschutzes, des Umweltschutzes und der Ressourcenschonung. Kriterien der techni-

schen Wirksamkeit sind hierbei nicht enthalten, da dies als gegeben vorausgesetzt wird. Die technische Wirksamkeit eines Produktes muss grundsätzlich vorhanden sein bzw. im jeweiligen Anwendungsbereich in der Praxis überprüft werden. Die genannten Kriterien beziehen sich auf das Endprodukt, nicht auf einzelne Grundkomponenten, und werden im folgenden kurz erläutert.

I. Nachwachsende Rohstoffe als Basis

Das Produkt sollte mindestens 75% Fettsäureester enthalten, die aus Pflanzenölen oder anderen nachwachsenden Rohstoffen gewonnen werden. Der zumeist petrochemisch gewonnene Alkoholanteil, der zur Veresterung der Öle notwendig ist, bleibt dabei unberücksichtigt. Die Zugabe von mineralölbasierten Komponenten zur Verbesserung der Wirksamkeit darf somit 25% nicht überschreiten. Bei Emulsionen wird der Wasseranteil bei der Berechnung des Prozentgehaltes nicht berücksichtigt. Durch den hohen Anteil von Fettsäureestern aus Pflanzenölen wird auch die biologische Abbaubarkeit des Endproduktes positiv beeinflusst.

II. Geringe Flüchtigkeit

Das Endprodukt sollte einen Flammpunkt über 100°C und einen Dampfdruck kleiner als 0,1 mbar bei 20°C haben. Beides zusammen stellt sicher, dass die Flüchtigkeit des Produktes und die Verdunstungsrate sehr gering sind. Dies verbessert insbesondere bei offenen Anwendungen den Arbeitsschutz und ist ein Beitrag zum Klimaschutz, da Emissionen in die Luft vermieden werden. Der Wert für den Dampfdruck orientiert sich an der Vorgabe der EG-Lösemittelrichtlinie und am Grenzwert der Schweizer VOC-Lenkungsabgabe⁴⁰. Liegt der Dampfdruck des Produktes unter 0,1 mbar, fällt es nicht unter diese Bestimmungen.

III. Verträglichkeit für Gesundheit und Umwelt

Das Endprodukt sollte keine gefährlichen Zusatzstoffe (Additive) enthalten, die sich schädlich auf die Gesundheit oder die Umwelt auswirken können. Als Zusatzstoffe gelten beispielsweise Konservierungsstoffe, Korrosionsschutzmittel, Emulgatoren etc. Toxische Stoffe (z.B. krebserregend, fruchtschädigend, stark allergisierend) sollten unbedingt ausgeschlossen werden.

Die Kooperationsstelle Hamburg betrachtet ihre Kriterien für pflanzenölbasierte Metallreiniger als Beitrag zur Qualitätssicherung und möchte gleichzeitig eine Diskussion darüber anregen.

⁴⁰ VOC = volatile organic compounds/vgl. Kapitel 1.3.



Service: Informationen und Kontakte

7.1 Produkt bersicht und Herstelleradressen Nennung von Kontaktpersonen

Produkt bersicht Ester le						
Hersteller/ Lieferant	Handelsname	Chem. Charak- terisierung	Flammpunkt °C	Dampfdruck mbar bei 20°C	Viskosität	Empfehlungen zur Anwendung
Haltermann GmbH Schopenstehl 15 D-20095 Hamburg Herr Dr. U. Schmidt Tel.: 040-333 18-401 Fax: 040-333 18-510 Herr S. Totzek Tel.: 040-333 18-427 Fax: 040-333 18-214 http://www. Haltermann.com	Esticlean 298	75–90% pflanzlicher Ester, Hauptanteil Kokos	100–150	< 0,1	5 cP (25°C)	Waschtische Tauchbäder guter Korrosionsschutz
	Esticlean 298 plus MVA 16952					
Haltermann GmbH	Esticlean 210/13	75–90% pflanzlicher Ester, Hauptanteil Kokos	100–150	< 0,1	4 mm ² /s (20°C)	Entfernung von Langzeitkonservierung, Bitumen voluminöser Schmutz, guter Korrosionsschutz
	Estisol 242					
OEL-RUDOLPH Hamburg Spaldingstr. 130 D-20097 Hamburg Herr A. Becker Tel.: 040-23-36 55 Fax: 040-23-26 53	RUMANOL Bio Universalreiniger	> 90% pflanzlicher Ester, Hauptanteil Raps	> 150	2,66 bei 169°C	4,0 mm ² /s (40°C) 1,7 mm ² /s (100°C)	Zur Entfettung von Metallen jeder Art, speziell wenn Korrosionsschutz erwünscht ist
	Cocosol 12					
Scheidel GmbH & Co KG Jahnstr. 38–42 D-96114 Hirschaid Herr W. Reinecke Tel.: 095 43-8426-19 Fax: 095 43-8426-31	Cococlean 12	> 90% pflanzlicher Ester, Hauptanteil Kokos mit Emulgatoren	100–150	< 0,1	0,61 cP (20°C) 4 mm ² /s (20°C)	Entfernung von Läpp-Pasten, Teilereinigung
	Terma EST 400					
Terma GmbH Grenz-Oberflächen- Chemie Osterwalder Str. 12 D-30827 Garbsen/ Hannover Herr Dieter C. Müller Tel.: 051 31-60 71 Fax: 051 31-965 88	Terma EST 400	> 90% pflanzlicher Ester, Hauptanteil Kokos	100–150	< 0,1	3,4 cP (25°C)	Waschtische Tauchbäder Reinigungsanlagen

Produkt bersicht Pasten auf Esterbasis						
Hersteller/ Lieferant	Handelsname	Chem. Charak- terisierung	Flammpunkt °C	Dampfdruck mbar bei 20°C	Viskosität	Empfehlungen zu Anwendung
Scheidel GmbH & Co KG Jahnstr. 38-42 D-96114 Hirschaid Herr W. Reinecke Tel.: 095 43-84 26-19 Fax: 095 43-84 26-31	Cocopaste 12	> 80 % pflanzlicher Ester, Hauptanteil Kokos, verdickte Emulsion	> 100	< 0,1	> 5000 mPas (20°C)	Spraylacklöser Graffiti-Entfernung Tectylentfernung auf Metall
Scheidel GmbH & Co KG	Cocosoft 12	> 80 % pflanzlicher Ester, Hauptanteil Kokos	> 100	< 0,1		Tectylentfernung auf Metall

Produkt bersicht Mikroemulsion auf Esterbasis						
Hersteller/ Lieferant	Handelsname	Chem. Charak- terisierung	Flammpunkt °C	Dampfdruck mbar bei 20°C	Viskosität	Empfehlungen zu Anwendung
Haltermann GmbH Schopenstehl 15 D-20095 Hamburg Herr Dr. U. Schmidt Tel.: 040-333 18-401 Fax: 040-333 18-510 Herr S. Totzek Tel.: 040-333 18-427 Fax: 040-333 18-214 http://www. Haltermann.com	Esticlean AC-3	Ca. 50% pflanzlicher Ester	> 100			Tauchbäder Ultraschallbäder Reinigungsanlagen

Industrielle Handreinigungst cher auf Basis von Pflanzen Iestern

sind zu beziehen bei:

Kimberly-Clark GmbH
Bereich Away from Home
Marketing Service
Postfach 1344
D-56209 Mülheim-Kärlich
Frau U. Neideck
Tel.: 0261-92 27-431
(KIMTUF Handreinigungstücher, feucht)

7.2 Hersteller von Reinigungs- und Recyclinganlagen

Hersteller von Reinigungsanlagen		
Hersteller	Ansprechpartner	Einsatz von Pflanzenölestern
Multimatic Oberflächentechnik GmbH Villa Carlshorst D-49176 Hilte Tel.: 054 24-23 26-80 Fax: 054 24-23 26-99 http://www.multimatic-ot.com	Herr Dipl.-Ing. Jürgen Luhede	Estisol 242 in automatischen Reinigungsanlagen
MAFAC Maschinenfabrik Ernst Schwarz GmbH & CO KG Max-Eyth-Strasse 2 D-72275 Alpirsback Tel.: 074 44-95 09-0 Fax: 074 44-41 71 http://www.mafac.de	Herr Joachim Schwarz	Mikroemulsion In automatischen Reinigungsanlagen
Karberg & Hennemann Marlowring 7 D-22525 Hamburg Tel.: 040-85 31 09-16 Fax: 040-85 31 09-44 http://www.kh.filter.de	Herr Patrick Hogrefe	Estisol 242 Esticlean 298 in Waschtischen mit Cellulosefilter
IBS Scherer GmbH Werk I Gewerbegebiet D-55599 Gau-Bickelheim Tel.: 067 01-93 83-0 Fax: 067 01-93 83-33 http://www.ibs-scherer.de	Herr Ferreruella	Waschtische
ELMA Hans Schmidbauer GmbH & Co KG Kolpingstrasse 1-7 D-78224 Singen/Hohentwiel Tel.: 077 31-882-250 Fax: 077 31-882-253 http://www.elma-anlagen.de	Herr Röhrs	Estisol 242, Mikroemulsion In Ultraschallbädern
Terma GmbH Grenz-Oberflächen-Chemie Osterwalderstrasse 12 D-30827 Garbsen/Hannover Tel.: 051 31-60 71 Fax: 051 31-965 88	Herr Dieter C. Müller	Terma EST 400 in Waschtischen
Hersteller von Recyclinganlagen		
Hersteller	Ansprechpartner	Einsatz von Pflanzenölestern
ISI Industrie Service International e.K. Gartenkamp 28 D-49492 Westerkappeln Tel.: 054 04-96 14-0 Fax: 054 04-96 14-33	Herr Wolfgang Brommer-Reuß	Anlagen für die Rückgewinnung Anlagen für Füllmengen von 15-100 Liter Esticlean 298 Estisol 242o
Karberg & Hennemann Marlowring 7 D-22525 Hamburg Tel.: 040-85 31 09-16 Fax: 040-85 31 09-44 http://www.kh.filter.de	Herr Patrick Hogrefe	Estisol 242 Esticlean 298 in Waschtischen mit Cellulosefilter

7.3 Europäische Projekte zu Pflanzenestern

7.3.1 Metallindustrie: LIFE-Projekt

LIFE ist das Umweltförderprogramm der Europäischen Union. Unter dem gleichnamigen Titel leitet die Kooperationsstelle Hamburg ein Projekt für die Metallindustrie: „Metallreinigung mit Estern auf Basis pflanzlicher Öle“. Im LIFE-Projekt kooperieren der Arbeitgeberverband Nordmetall, die Industriegewerkschaft Metall Bezirk Küste, die Fa. Haltermann als ein Produkthersteller, die Fa. B+V Industrietechnik als ein Anwenderbetrieb und die Kooperationsstelle Hamburg selbst. Im europäischen Ausland gibt es weitere Projektpartner in den Niederlanden und in Österreich. Das Projekt hat eine Laufzeit von November 1997 bis Oktober 2000.

Die Generaldirektion XI (Umwelt) der Europäischen Union ist der Hauptgeldgeber des Projektes. In Deutschland sind noch die Arbeitsgemeinschaft der Metallberufsgenossenschaften (ARGE-Metall-BG), die Freie und Hansestadt Hamburg (Umwelt- und Finanzbehörde) sowie die Projektpartner mit Eigenmitteln finanziell beteiligt.

Bis zum Oktober 2000 wurden in den beteiligten Ländern Reinigungstests mit Pflanzenölestern durchgeführt. Die neue Technik der Oberflächenreinigung wurde in über 60 Metallbetrieben mit unterschiedlichen Reinigungsanforderungen getestet. Eine dauerhafte Umstellung der Reinigungstechnik auf Pflanzenölester wird angestrebt. Mit Herstellern und Zulieferern wird an der Fortentwicklung der Reinigungs- und Recyclingtechnik gearbeitet. Die Verbreitung der Technologie erfolgt in erster Linie über Vorführungen in Betrieben, in Newslettern, auf Messen und in Workshops.

Das Projekt ist sehr erfolgreich verlaufen. Viele Metallbetriebe zeigten Interesse und haben Reinigungsversuche durchgeführt. Die Pflanzenölester konnten ihre Reinigungswirkung für unterschiedliche Reinigungsaufgaben unter Beweis stellen. Es zeigten sich aber auch Bereiche, wo die Eigenschaften der Ester und die betrieblichen Anforderungen nicht zueinander passten. Anwendungsmöglichkeiten und Grenzen sowie die Erfahrungen aus der Projektarbeit sind in diesem Handbuch beschrieben. Weitere Informationen können u.a. der Dokumentation eines Workshops entnommen werden, der 1999 im Haus der Arbeitssicherheit in Bad Wilsnack von der Kooperationsstelle Hamburg und der Norddeutschen Metall-Berufsgenossenschaft gemeinsam durchgeführt wurde (siehe hierzu die Literaturhinweise in Kapitel 7.4).

Projektpartner:

Deutschland

Kooperationsstelle Hamburg
(Projektkoordination)
Besenbinderhof 60
D-20097 Hamburg
Tel.: 00 49-40-28 58-640
Fax: 00 49-40-28 58-641
E-mail: koophh@uni-hamburg.de
www.uni-hamburg.de/kooperationsstelle-hh



65

Nordmetall
Verband der Metall- und
Elektro-Industrie e.V.
Kapstadtring 10
D-22297 Hamburg
Tel.: 00 49-40-63 78-42 62
Fax: 00 49-40-63 78-42 28
E-mail: bossemeyer@nordmetall.de
www.nordmetall.de



Industriegewerkschaft
Metall/Bezirk Küste
Kurt-Schumacher-Allee 10
D-20097 Hamburg
Tel.: 00 49-40-28 00 90-27
Fax: 00 49-40-28 00 90-55
E-Mail: christian.schoof@igmetall.de
www.igmetall.de



Haltermann GmbH
Schopensteht 15
D-20095 Hamburg
Tel.: 00 49-40-33 318-401
Fax: 00 49-40-33 318-510
E-Mail: ulrich.schmidt@hg.haltermann.de
www.haltermann.com



B+V Industrietechnik
Hermann-Blohm-Straße 5
D-20457 Hamburg
Tel.: 00 49-40-30 11-28 93
Fax: 00 49-40-30 11-19 14



Österreich

ppm forschung
und beratung
Kaplanhofstraße 1
A-4020 Linz
Tel.: 00 43-732-78 20 78
Fax: 00 43-732-78 20 78-99
E-mail: ppm.linz@ppm.at
Internet: http://www.ppm.at



Niederlande

Universität von Amsterdam/
Chemiewinkel
Nieuwe Achtergracht 166
P.O. Box 20242
NL-1000 HE Amsterdam
Tel.: 00 31-205 25-56 07
Fax: 00 31-205 25-56 15
E-mail: chemiewinkel@chem.uva.nl
Internet: <http://www.chem.uva.nl/cw>



7.3.2 Forschung: VOFAPro-Projekt

VOFAPro steht für „Vegetable Oils and their Fatty Acid Esters as Substitutes for Organic Solvents in Industrial Processes“. VOFAPro begann 1995 als Forschungsprojekt im Rahmen des Agro-Industrial-Research Programms (AIR) der Generaldirektionen XII (Wissenschaft-Forschung-Entwicklung) und VI (Landwirtschaft und ländliche Entwicklung) der Europäischen Union. Im Forschungsverbund arbeiteten Institute aus Dänemark, Deutschland, Irland und den Niederlanden. Workshops in diesen vier Ländern beendeten das Projekt im Herbst 1997.

Die chemische Charakterisierung von pflanzenölbasierten Fettsäureestern und die Untersuchung ihrer Reinigungswirkung standen im Mittelpunkt der Arbeit. Ziel war es, neue Erkenntnisse über das Verhalten der Ester zu gewinnen und weitere Anwendungsbereiche zu finden, um flüchtige organische Lösemittel bei industriellen Reinigungsprozessen ersetzen zu können.

Im Projekt wurden chemisch-physikalische Eigenschaften ausgewählter Pflanzenölester bestimmt, die biologische Abbaubarkeit und Toxizität der Ester überprüft, eine Lebenszyklusanalyse sowie eine Studie über die Verfügbarkeit von Pflanzenölen auf dem Weltmarkt erarbeitet. Reinigungstests im Labormaßstab und praktische Versuche in unterschiedlichen Betrieben ergänzten die Tätigkeit. Die Studien beschreiben die Verfügbarkeit der Rohstoffe, bestätigten die geringe Toxizität und die ökologische Verträglichkeit der Pflanzenölester. Die chemische Charakterisierung und die Reinigungstests ergaben, dass Pflanzenölester das Potential haben, organische Lösemittel in vielen Bereichen der Oberflächenreinigung zu ersetzen. Sie sind u.a. in der Metallreinigung, im Offsetdruck und in der Farben- und Lackindustrie einsetzbar.

Die Ergebnisse der Studien und Tests sind in einem VOFAPro-Bulletin, in der VOFAPro-Technische Information und in dem umfangreichen Abschlußbericht des Projektes (VOFAPro Final Report) nachzulesen. Die wichtigsten Ergebnisse

der Analysen und Tests wurden in eine Datenbank aufgenommen, die als Ester-Informationssystem (EIS) verfügbar ist. Die Eignung der Ester wurde zudem im September 1997 bei einem Workshop der Kooperationsstelle Hamburg mit einem Fachpublikum diskutiert und ist in einer entsprechenden Dokumentation dargestellt (siehe Literaturhinweise unter 7.4.).

Projektpartner:

Dänemark

Danmarks Tekniske Univeritet/IST
Institut for Teknologi of Samfund
Bygning 322
DK-2800 Lyngby
Tel.: 00 45-45 25-60 29
Fax: 00 45-45 93-66 20
E.mail: tj@ist.dtu.dk

EnPro ApS
Lersø Parkallé 42
DK-2100 Copenhagen
Tel.: 00 45-39 27 28 78
Fax: 00 45-31 18 36 90

Niederlande

Universität von Amsterdam/Chemiewinkel
Nieuwe Achtergracht 166
P.O. Box 20242
NL-1000 HE Amsterdam
Tel.: 00 31-205 25-56 07
Fax: 00 31-205 25-56 15
E-mail: chemiewinkel@chem.uva.nl
Internet: <http://www.chem.uva.nl/cw>

Irland

Materials Ireland/Forbairt
(Coatings Research Unit)
Glasnevin
IR-Dublin 9
Tel.: 003 53-1-808 24 83
Fax: 003 53-1-837 44 99

Deutschland

Kooperationsstelle Hamburg
(Projektkoordination)
Besenbinderhof 60
D-20097 Hamburg
Tel.: 00 49-40-28 58-640
Fax: 00 49-40-28 58-641
E-mail: koophh@uni-hamburg.de
Internet: <http://www.uni-hamburg.de/kooperationsstelle-hh>

Druckindustrie: SUBSPRINT-Projekt

Im Dezember 1992 startete im Rahmen des SPRINT-Programms der Europäischen Union das Innovations- und Technologie-Transfer-Projekt SUBSPRINT (Substitution of organic solvents in the printing industry), gleichzeitig in Dänemark, Deutschland und Spanien. Aufgrund des erfolgreichen Projektverlaufs wurde SUBSPRINT im Oktober 1993 auf Belgien, Italien, die Niederlande, Luxemburg und Großbritannien ausgedehnt. Ab Oktober 1994 kamen Finnland, Island, Österreich und Schweden dazu. Das Projekt lief bis Ende 1996.

SUBSPRINT sollte die Substitution von flüchtigen organischen Lösemitteln durch die Einführung von Reinigungsmitteln auf Basis von Pflanzenölestern im Offsetdruck voranbringen. Die Projektdurchführung und Koordination lag bei der Kooperationsstelle Hamburg. Das Projekt wurde gefördert durch die Europäische Union, Generaldirektion Telekommunikation, Informationsmarkt und Nutzung der Forschungsergebnisse (GD XIII). In Deutschland gab es darüber hinaus finanzielle Unterstützung durch die Freie und Hansestadt Hamburg, die Berufsgenossenschaft Druck und Papierverarbeitung und die Hans-Böckler-Stiftung.

Im Offsetdruck wurden die Druckmaschinen bis zum Ende der 80er Jahre in der Regel mit Spezial- oder Testbenzin gereinigt. Die daraus resultierenden Gefährdungen für die Anwender und die Umwelt schufen das Bedürfnis nach weniger gefährlichen, alternativen Reinigungsmitteln. Die in Dänemark entwickelte Technologie der Reinigung mit Pflanzenölestern sollte im Projekt geprüft, wenn nötig angepasst und in andere Länder übertragen werden. In Zusammenarbeit mit Betrieben und Arbeitnehmern wurde die neue Technologie mit dem Ziel getestet, sie zur Standardanwendung in möglichst vielen Betrieben zu machen. Die Unterstützung von Druckereien sowie die Durchführung von Seminaren und Workshops waren Bestandteil der Projektarbeit.

Aufgrund der sehr erfolgreichen Arbeit wurde die Technologie in den beteiligten Ländern verbreitet. In wenigen Jahren konnten Umstellungsraten erzielt werden, die, je nach Land, zwischen 2 und 50% liegen. Die Anstöße aus dem SUBSPRINT-Projekt führten in der deutschen Druckindustrie u.a. zu einer freiwilligen Branchenvereinbarung, die zu einer Reduktion der Lösemittel-emissionen im Offsetdruck beiträgt. Aus dem SUBSPRINT-Projekt stehen vielfältige Informationsmaterialien in acht europäischen Sprachen zur Verfügung. Die Kooperationsstelle Hamburg und die Berufsgenossenschaft Druck und Papierverarbeitung stellen Produktlisten für alternative Reinigungsmittel im Offsetdruck zur Verfügung (Literaturhinweise siehe Kapitel 7.4.).

Projektpartner

sterreich

ppm forschung und beratung
Kaplanhofstr. 1
A-4020 Linz
Tel.: 00 43-732-78 20 78
Fax: 00 43-732-78 20 78-99
E-mail: ppm.linz@ppm.at
www.ppm.at

Belgien

SDI Strategic Data and Innovation Bvba.
Koning Leopold III laan 23
B-8500 Kortrijk
Tel.: 00 32-56 37-15 40
Fax: 00 32-56 37-31 92
E-mail: Anne.Geuens@ping.be

Inter-Eco
Frans Verbeekstraat 233
B-3090 Overijse
Tel.: 00 32-2 657-94 37
Fax: 00 32-2 657-55 23
E-mail: VM000001@belgium.online.be

Dänemark

Institut for Teknologi og Samfund
Danmarks Tekniske Universitet
Bygning 303 øst
DK-2800 Lyngby
Tel.: 00 45-45 25 20 54
Fax: 00 45-45 93 66 20
E-mail: jac@ea.its.dto.dk

Københavns Tekniske Skole
11 Rebslagervej
Postboks 899
DK-2400 København NV
Tel.: 00 45-31 81-22 90
Fax: 00 45-31 81-29 17

Finnland

VTT Information Technology
Tekniikantie 4 B Espoo
P.O. Box 1204
FIN-02044 VTT Finland
Tel.: 003 58-9 456 52 40
Fax: 003 58-9 455 28 39
E-Mail: Ulf.Lindqvist@vtt.fi
www.vtt.fi

Deutschland

Kooperationsstelle Hamburg
 (Projektkoordination)
 Besenbinderhof 60
 D-20097 Hamburg
 Tel.: 0049-40-28 58-640
 Fax: 0049-40-28 58-641
 E-mail: koopph@uni-hamburg.de
 www.uni-hamburg.de/kooperationsstelle-hh

Island

IceTec
 Technological Institute of Iceland
 Keldnaholt
 IS-112 Reykjavik
 Tel.: 003 54-587-70 00
 Fax: 003 54-587-74 09
 E-mail: gudjonj@iti.is
 www.iti.is

Italien

SNOP
 Società Nazionale Operatori della Prevenzione
 c/o Azienda USL
 Viale Basetti 8
 I-43100 Parma
 Tel.: 00 39-052 19 31-848-850
 Fax: 00 39-052 19 31-896
 E-mail: grafrige@tin.it

Luxemburg

OEKO-Fonds
 6, rue Vauban
 L-2663 Luxembourg
 Tel.: 003 52-43 85 85
 Fax: 003 52-42 22 42

Spanien

CC.OO.
 Confederació Sindical de
 Comissions Obreres del P.V.
 Plaça Nàpols i Sicília 5
 3a Planta
 46003 València
 Tel.: 0034-6-388 21-00
 Fax: 0034-6-388 21-07

Schweden

IMT
 Institutet för Medieteknik
 Drottning Kristinas väg 51
 Box 5637
 S-114 86 Stockholm
 Tel.: 00 46-84 53 57-14
 Fax: 00 46-84 53 57-57
 E-Mail: rolf.dalhielm@imt.se
 www.imt.se

Großbritannien

Greater Manchester Hazards Centre Ltd.
 23, New Mount Street
 Manchester M4 4DE/U.K.
 Tel.: 00 44-16 19 53 40-37
 Fax: 00 44-16 19 53 40-01

South Bank University
 103, Borough Road
 London SE1 0AA/U.K.
 Tel.: 00 44-17 18 15-7900
 Fax: 00 44-17 18 15-7999

Niederlande

Universität von Amsterdam/Chemiewinkel
 Nieuwe Achtergracht 166
 P.O. Box 20242
 NL-1000 HE Amsterdam
 Tel.: 00 31-205 25-56 07
 Fax: 00 31-205 25-56 15
 E-mail: chemiewinkel@chem.uva.nl
 www.chem.uva.nl/cw

Bauindustrie: SUMOVERA-Projekt

Ziel des SUMOVERA-Projektes war die Förderung der Anwendung von pflanzenölbasierten Trennmitteln im Betonbau. Die Abkürzung SUMOVERA ergibt sich aus „Substitution of Mineral Oil Based Concrete Mould Release Agents by Non-Toxic, Readily Biodegradable Vegetable Oil Based Release Agents“. Das Technologie-Transfer-Projekt arbeitete von 1996 bis 1998 mit EU-Unterstützung durch die Generalkommission XIII im Rahmen des „Innovation Programme“. Die Projektpartner kamen aus Holland, Portugal, Finnland, Belgien, Frankreich und Deutschland. In jedem der beteiligten Länder bestanden Beraterkreise mit Vertretern aus Hersteller- und Anwenderbetrieben, Vertretern von Arbeitgeber- und Arbeitnehmerorganisationen, Einrichtungen des Arbeits- und Umweltschutzes sowie Behördenrepräsentanten.

Die Aktivitäten waren darauf ausgerichtet, Vorbehalte gegenüber pflanzenölbasierten Beton-trennmitteln auszuräumen und die Akzeptanz für diese Produkte bei den Anwenderbetrieben zu erhöhen. Im einzelnen wurden

- praktische Tests mit Pilotbetrieben organisiert,
- Gründe für die Nichtanwendung von pflanzenölbasierten Trennmitteln ermittelt und, in Zusammenarbeit mit Experten, die Suche nach Lösungen unterstützt,
- Informationen über technische Anwendungen, Wirtschaftlichkeit, Arbeitsschutz- und Umweltaspekte gesammelt und verbreitet,
- Informationen und Schulungen von Arbeitern und Management zur Anwendung pflanzenölbasierter Trennmittel angeboten,
- am Bauprozess beteiligte Parteien über die Produktlinien und die Eigenschaften der pflanzlich basierten Trennmittel informiert.

Schwerpunkt der Projektarbeit war die Durchführung von Pilotversuchen in Fertigteilwerken und auf Baustellen. Es konnte gezeigt werden, dass moderne pflanzenölbasierte Trennmittel verträglich für Umwelt und Gesundheit sind. Sie sind technisch den herkömmlichen mineralölbasierten Schälölen ebenbürtig oder sogar überlegen. Besonders überzeugend ist der Einsatz von neuartigen Emulsionen (Pflanzenölderivate in Wasser) in Betonfertigteilwerken. Zusätzlich zu den Pilottests wurden spezielle wissenschaftliche Fragestellungen, beispielsweise zur biologischen Abbaubarkeit, untersucht.

Aus der Projektarbeit stehen u.a. Newsletter, Handlungsanleitungen, Workshopdokumentationen, ein Abschlußbericht und zwei Videofilme zum Einsatz von Betontrennmitteln zur Verfügung (siehe Literaturhinweise in Kapitel 7.4.)

Projektpartner:

Niederlande

Universität von Amsterdam/Chemiewinkel
(Projektkoordination)
Nieuwe Achtergracht 166
Postfach 20242
NL-1000 HE Amsterdam
Tel: 00 31 - 205 25 - 56 07
Fax: 00 31 - 205 25 - 56 15
E-mail: chemiewinkel@chem.uva.nl
www.chem.uva.nl/cw

Deutschland

Kooperationsstelle Hamburg
Besenbinderhof 60
D-20097 Hamburg
Tel.: 00 49 - 40 - 28 58 - 640
Fax: 00 49 - 40 - 28 58 - 641
E-mail: koophh@uni-hamburg.de
www.uni-hamburg.de/kooperationsstelle-hh

Belgien

EUROPA (Sitz: Belgien)
Europäischer Verband der Holz- und Bauarbeiter
Konigstraat 45 Rue Royal
B-1000 Brüssel
Tel: 00 32 - 22 18 10 45
Fax: 00 32 - 22 19 82 28

Finnland

Helsinki University of Technology
Rakentalanoukio 4A
SF02150 Espoo, Finnland
Tel: 003 58 - 94 51 - 37 10
Fax: 003 58 - 94 51 - 38 26
E-mail: vesa.penttala@hut.fi

Frankreich

Bouygues Challenger
Direction Europe Sociale
1, Avenue Eugene Freyssinet
F-78061 Saint-Quentin-Yvelines Cedex
Tel: 00 33 - 130 60 - 54 13
Fax: 00 33 - 130 60 - 41 85

Portugal

Instituto Superior Técnico
Av. Rovisco Pais
PT-1096 Lisboa
Tel: 003 51 - 18 41 82 29 - 30
Fax: 003 51 - 18 48 84 81
E-mail: fbranco@civil.ist.utl.pt

7.4 Literaturhinweise

Pflanzenölester in der Metallindustrie

- University of Amsterdam/Chemiewinkel: Metal cleaning and degreasing with vegetable based fatty acid esters, Amsterdam 1998
- Kooperationsstelle Hamburg: Pflanzenölbasierte Reiniger in der Metallindustrie, Produktübersicht, Hamburg 1998 (kostenlos), Produktliste auch verfügbar über Internet: <http://www.uni-hamburg.de/kooperationsstelle-hh>
- Kooperationsstelle Hamburg/Norddeutsche Metall Berufsgenossenschaft: Metallreinigung mit Estern auf pflanzlicher Basis, Workshop Dokumentation, Hamburg/Hannover 1999 (zu beziehen über Kooperationsstelle Hamburg. Schutzgebühr DM 10,-)
- Kooperationsstelle Hamburg/Projekt LIFE: Metallreinigung – Reinigung mit Estern auf Basis pflanzlicher Öle, Newsletter 5/1999, Hamburg (kostenlos)
- Maschinenbau und Metall-Berufsgenossenschaft: Reinigen und Entfetten (Broschüre), Düsseldorf 1997
- Norddeutsche Metall Berufsgenossenschaft: Workshop „Metallreinigung mit Estern auf Basis pflanzlicher Öle“; in: GESUND+ SICHER 10/1999, Seite 307–309
- Schmidt, U.: Reinigen mit nicht-VOC-relevanten Lösemitteln; in: Journal für Oberflächentechnik, 11/1998, Seite 46–48
- Gertel-Kloos, H.: Metallreinigung mit Pflanzenölestern, in: Instandhaltung, Juni 2000, Seite 16–17

Betontrennmittel auf Basis von Pflanzenölestern

- Goetz, D./Landwehr, J.: Biologischer Abbau und Mobilität von Betontrennmitteln auf Basis nachwachsender Rohstoffe im Vergleich zu herkömmlichen, mineralölbasierten Trennmitteln im Boden, Hamburg 1998
- Kooperationsstelle Hamburg/Projekt SUMOVERA: Anwendung von pflanzenölbasierten Trennmitteln in Beton-Fertigteilwerken: Tips für die Praxis, Hamburg 1998
- Kooperationsstelle Hamburg/Projekt SUMOVERA: Anwendung von pflanzenölbasierten Trennmitteln auf Baustellen: Tips für die Praxis, Hamburg 1998
- Kooperationsstelle Hamburg: Perspektiven für pflanzenölbasierte Betontrennmittel: Workshop-

dokumentation, Hamburg 1999

- Kooperationsstelle Hamburg: Produktliste pflanzenölbasierte Betontrennmittel, Hamburg 1998 (verfügbar im Internet: <http://www.uni-hamburg.de/kooperationsstelle-hh>)
- Projekt SUMOVERA: SUMOVERA Newsletter I, 9/1997 und Newsletter II, 1/1999, Hamburg (kostenloser Bezug über Kooperationsstelle Hamburg)
- Projekt SUMOVERA: Zwei Videos zum Einsatz von Betontrennmitteln auf Basis nachwachsender Rohstoffe; Einsatz und Anwendungstechnik: Beton – Fertigteilwerk und Ortbeton, Amsterdam 1998 (Schutzgebühr je DM 30,-, beide zusammen DM 50,-. Bestellung über Kooperationsstelle Hamburg)
- Projekt SUMOVERA: Application of Vegetable-Oil based Concrete Mould Release Agents (VERA's) at Construction Sites and in Precast Concrete Factories: State-of-the-Art Document, Amsterdam 1999

Pflanzenölester im Offsetdruck

- Berufsgenossenschaft Druck und Papierverarbeitung: Brancheninitiative zur Verminderung von Lösemittlemissionen im Offsetdruck, Wiesbaden 1996
- Berufsgenossenschaft Druck und Papierverarbeitung: Wasch- und Reinigungsmittel für den Offsetdruck – Zulässige Produkte, Wiesbaden 2000
- Geray, M.; Stautz, A.; Thormählen, H.: Pflanzliche Reinigungsmittel als Alternative: Lösemittlersatz in der Druckindustrie, Hrsg.: IG Medien Hauptvorstand, Stuttgart 1994
- Kooperationsstelle Hamburg/SUB-SPRINT Projekt: Reinigung von Offsetdruckmaschinen mit pflanzlichem Reinigungsmittel, Handlungsanleitung, Hamburg 1994
- Kooperationsstelle Hamburg/SUBSPRINT Projekt: Schadstoffarme Druckerzeugnisse: Richtlinie für die Vergabe des österreichischen Umweltzeichens, Hamburg 1996, ISBN 3-928110-00-5
- Kooperationsstelle Hamburg/SUBSPRINT-Projekt: Reinigung von Offsetdruckmaschinen, Auswahlkriterien und Produktliste, Hamburg 1996, Produktliste auch verfügbar über Internet: <http://www.uni-hamburg.de/kooperationsstelle-hh>
- Kooperationsstelle Hamburg: SUBSPRINT Final Report, Hamburg 1997

Forschung zu Pflanzenölestern

- Bertz, K.: Vegetable Oil Based Fatty Acid Ester Production; Herausgeber: Kooperationsstelle Hamburg, Studie, Hamburg 1997
- Kooperationsstelle Hamburg: VOFAPro Bulletin, Fettsäureester als Ersatz für organische Lösemittel, Hamburg 1997, auch verfügbar über Internet: <http://www.uni-hamburg.de/kooperationsstelle-hh>
- Kooperationsstelle Hamburg: VOFAPro Technische Information, Reinigungsmittel auf Basis von Pflanzenölen für industrielle Anwendungen, Hamburg 1997, auch verfügbar über Internet: <http://www.uni-hamburg.de/kooperationsstelle-hh>
- Kooperationsstelle Hamburg: Pflanzenölbasierte Ester – neue Wege in der Oberflächenreinigung, VOFAPro Workshop Dokumentation, Hamburg 1997
- Kooperationsstelle Hamburg: VOFAPro Final Report, Hamburg 1997
- Kooperationsstelle Hamburg: EIS – Ester Information System, Access Datenbank auf CD, chemisch-physikalische Eigenschaften und weitere Daten über Pflanzenölester aus dem Projekt VOFAPro, Hamburg 1999
- Terwoert, J. et al.: LCA of cleaning products in the metal industry; Herausgeber: Universität von Amsterdam/Chemiewinkel, Amsterdam 1996

VOC-Emissionen

- Mahrwald, B.: EG-Lösemittelrichtlinie – Umsetzung in Deutschland und weitere Ziele; in: JOT 3/2000, Seite 22–27
- Schwarz, W./Leisewitz, A.: Stand der Technik und Potentiale zur Senkung der VOC-Emissionen aus Anlagen zur Reinigung von Oberflächen; Forschungsbericht der Umweltbundesamtes Nr. 29744906/2, Berlin 1999
- Schwarz, W./Leisewitz, A.: Lösemittlemissionen aus Reinigungsanlagen; Stand der Technik und Minderungspotentiale zur Senkung der VOC-Emissionen; in: Metalloberfläche (mo) Jahrgang 54 (2000) 6, Seiten 21–24
- Umweltbundesamt: Pressemitteilung Ozon (incl. Hintergrundinformation Sommersmog), Berlin 30.6.1999