

Integrierter Umweltschutz  
in der nachhaltigen Chemie

return to sender

# Chemikalien

# zurück

# in die Produktion



Stoffstrommanagement  
in der chemischen Industrie

Bei jeder chemischen Produktion und in Labors bleiben gebrauchte und ungebrauchte Chemikalien zurück. Viele dieser Chemikalien können wiederverwendet werden oder in einen Verwertungskreislauf gelangen. Kleine und mittlere Mengen stellen hier aber besondere Anforderungen. Das breit angelegte Forschungsvorhaben zielt auf die Analyse gebrauchter Chemikalien und auf deren Wiedereinsatz in der Produktion ab. Um den Stoffkreislauf im Sinne einer nachhaltigen Wirtschaft zu schließen, müssen aber auch wirtschaftliche, rechtliche und sozioökonomische Rahmenbedingungen erfüllt werden. Das interdisziplinäre Forscherteam untersucht an konkreten Beispielen die aktuellen und zukünftigen Chancen für eine breite Etablierung des umweltintegrierten Stoffstrommanagements.

In diesem Forschungsvorhaben werden Möglichkeiten untersucht, für den Kunden nicht mehr brauchbare **Chemikalien in die Produktion zurückzuführen und so den Kreislauf der Ressourcen zu schließen**. Probleme bereiten nach wie vor Abfälle, die dezentral und nur in kleinen oder mittleren Mengen anfallen. Ihre Sammlung und Aufbereitung scheidet normalerweise nicht an technischen, sondern an logistischen und ökonomischen Hindernissen. Das Ziel dieses Verbundvorhabens ist die Entwicklung eines integrierten, ökonomisch tragfähigen Erfassungs-, Transport-, Sortier- und Wiedereinsatzkonzepts für gebrauchte Chemikalien. Fehlchargen, überlagerte und nicht mehr benötigte Chemikalien, gebrauchte Lösemittel und -gemische sowie wässrige Lösungen aus Labor und Produktion sollen erfaßt und für einen Wiedereinsatz in der Produktion vorbereitet werden. Die erarbeiteten Lösungen sollen möglichst anwender- und kundenorientiert sein, damit die entwickelten Dienstleistungen für den Umweltschutz am Markt auch angenommen werden.

Sieben Ansatzpunkte sind für eine Kreislaufschließung der Stoffe zu unterscheiden: Kunde, rechtliche Rahmenbedingungen, Logistik, Identifizierung, Aufbereitung, Ermittlung von Einsatzbereichen und schließlich der Wiedereinsatz.

Der „Rückweg“ vom Abfall zum Produkt beginnt bei der Erfassung

Merck KGaA hat die Federführung bei der Entwicklung des Logistikkonzeptes und der Ermittlung der Einsatzbereiche für die gewonnenen Sekundärrohstoffe übernommen. Die Technische Universität Darmstadt trägt mit der Entwicklung von schnellen und ökonomisch arbeitenden Analyseverfahren für die angelieferten Chemikalien zu diesem Verbundvorhaben bei. Die Technische Universität Berlin wird begleitend eine Methode zur ökologischen und ökonomischen Bewertung und Optimierung des Stoffstrommanagements entwickeln. In Zusammenarbeit mit dem Institut NIKUS werden Untersuchungen zu den sozioökonomischen Auswirkungen im Sinne des nachhaltigen Wirtschaftens durchgeführt.

Um die Stoffkreisläufe ressourcenschonend zu schließen, muß für alle Abfälle eine zugeschnittene Lösung gefunden werden. Aufgrund der Vielzahl der realisierten Kreislaufschließungen im Rahmen dieses Projekts können nur Beispiele dargestellt werden. So konnten beispielsweise gebrauchte **Ätzchemikalien aus der Oberflächenätzung von Siliziumscheiben** über ein neu entwickeltes Logistiksystem zurückgeführt werden.



und Lenkung der Abfallströme beim Kunden und dem Transportsystem. Da es sich hierbei um Kleinmengen handelt, deren genaue Zusammensetzung nicht immer bekannt ist, müssen die Abfälle mit kostengünstigen Identifikationsmethoden analysiert und selektiert werden. Nur so läßt sich eine hochwertige Kreislaufführung in Produktionsprozessen realisieren. Ist die Zusammensetzung bekannt, können Stoffströme vereinigt und zu Chargen kombiniert werden, die von der Menge her ökonomisch aufzuarbeiten sind. Bis zur Zusammenstellung der Chargen sollen die Chemikalien in Zwischenlagern verbleiben, die durch ein Lagersystem so verwaltet werden, daß jederzeit Auskunft über die vorhandenen Mengen und Analysedaten zu erhalten ist. Die Chemikalien müssen den Anforderungen entsprechen, die an Primärrohstoffe gestellt werden. Oft ist dies nicht der Fall, deshalb sollen geeignete Verfahren zur Aufarbeitung entwickelt werden. Wenn nötig, müssen die Chargen speziell vorbereitet werden, um den Primärrohstoffspezifikationen zu genügen. Der letzte Schritt in der Wertschöpfungskette ist nach der Erschließung von neuen Einsatzfeldern dann die externe Verwendung beziehungsweise Einbindung in bestehende Produktionsprozesse der chemischen Industrie.

Zu diesem Forschungsvorhaben haben sich Wirtschaft und Wissenschaft zu einem interdisziplinären Verbund zusammengefunden. Die

**Die Kreislaufschließung von Stoffströmen auf möglichst hoher Wertschöpfungsebene stellt in mehrfacher Hinsicht einen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung dar. Zunächst werden positive Umwelteffekte durch Weiterverwendung von gebrauchten Chemikalien erzielt. Darüber hinaus werden die Stoffflüsse ökologisch und ökonomisch einer Bewertung und gegebenenfalls einer anschließenden Optimierung unterzogen, was ebenfalls einen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung darstellt.**

Diese Ätzchemikalien können in industriellen Prozessen mit oder ohne Aufarbeitung als Rohstoffe wieder eingesetzt werden.

Die Logistik der Rückführung von **Chemikalien-Kleinmengen** gestaltet sich hingegen ungleich aufwendiger. Innovative Lösungen zur Lenkung der Abfallströme können aber auch hier helfen, Kreisläufe zu schließen. So sind beispielsweise Analysesysteme (Küvettentests) zur Bestimmung des chemischen Sauerstoffbedarfs in der Abwasserkontrolle weit verbreitet. Nach Gebrauch müssen diese bislang als Sonderabfall beseitigt

werden. Über eine Vereinbarung mit den zuständigen Behörden zur freiwilligen Rücknahme nach KrW-/AbfG konnte erreicht werden, daß zukünftig die Rückführung der gebrauchten Chemikalien in das Logistiksystem zur Verteilung der Neuware mit aufgenommen werden kann. Voraussetzung hierfür war die Einhaltung aller gesetzlicher Vorschriften. Beachtet werden mußten bei dem Logistikweg die Gefahrgutzulassung der benutzten Behälter und die sichere Kennzeichnung der bestehenden Packungen mit einfachen Kennzeichnungssystemen. Das sonst für die gebrauchten Chemikalien für den Kunden abfallrechtlich vorgeschriebene Nachweisverfahren, Begleitschein- oder Übernahmescheinverfahren und auch die Transportgenehmigungspflicht für Sonderabfälle konnte gänzlich entfallen. Die daraus gewonnenen ökonomischen Vorteile werden dazu genutzt, die Kosten für den Wiedereinsatz zu rechtfertigen. Im Falle der Küvettentests werden nicht nur die komplex zusammengesetzte Verpackung, sondern auch die Testlösung in den Produktionsprozeß zurückgeführt.

Gegenwärtig befinden sich weitere Rücknahmesysteme in der Erprobungsphase. Die Rückführung und nachfolgende Nutzung der gebrauchten Produkte funktioniert jedoch nur, wenn die chemischen Produkte vom Anwender auch nach Gebrauch pfleglich behandelt werden, so daß der

Erfolg dieses Rücknahmesystems von der aktiven Mitarbeit der Kunden abhängt.

Neben diesen stoffspezifischen Lösungen werden in diesem Vorhaben insbesondere die Möglichkeiten der **Entwicklung von neuen Methoden zur Qualitätskontrolle und Dokumentation der zurückgekommenen Chemikalien** untersucht. Voraussetzung hierfür ist beispielsweise die einfache und schnelle Reihen-Analyse und Stofferkennung. Die Chemikalien werden zunächst EDV-technisch erfaßt. Jede eingehende Packung wird mit Hilfe von Barcodes und anhand der Artikelnummer und Stoffbezeichnung vorläufig identifiziert und gewogen. Um die videogestützte Eingabeprozedur zu vereinfachen, werden Tests mit Spracherkennungssystemen durchgeführt, die auf den Etiketten enthaltene Informationen direkt in den Computer eingeben. Die computergestützte Verwaltung des Datenbestandes ist bei der Vielzahl der marktgängigen Chemikalien unumgänglich. Eine hierfür entwickelte Software ist mit einer Datenbank hinterlegt, die sämtliche Artikelnummern und zugehörigen Chemikalienspezifikationen der meisten Hersteller enthält. Da die Artikelnummern den Inhalt der Packungen eindeutig identifizieren, können ungeöffnete Packungen ohne weitere Prüfung ins Lager überstellt werden. Geöffnete oder nicht identifizierbare Packungen hingegen müssen zur Qualitätskontrolle auf ihren



**Schließlich wurden innovative Logistik- und Analyseverfahren entwickelt, die ihrerseits den Ressourcenverbrauch vermindern und die nachhaltige Nutzung von Gebrauchtchemikalien überhaupt erst ermöglichen.**

**Begleitet wird die Forschung durch die Analyse fördernder und hemmender Rahmenbedingungen des Stoffstrommanagements. Durch die Forschung werden übertragbare Ergebnisse eines Stoffstrommanagements auch auf andere Wirtschaftszweige erwartet, die zur nachhaltigen Umweltentlastung beitragen können.**

Inhalt hin überprüft werden. Hierfür wurde ein computergestütztes Verfahren entwickelt, das die **Erkennung fester Stoffe mittels Röntgen-Fluoreszenz-Analyse (RFA)** und mathematischer Aufbereitung der ermittelten Spektren probenahmefrei durch die Verpackung hindurch ermöglicht. Stimmen die so erhaltenen Informationen mit den auf den Etiketten enthaltenen nicht überein, wird die betreffende Packung der endgültigen Entsorgung übergeben.

Auch für gebrauchte Lösemittel besteht ein Rücknahmesystem, das kleinere und mittlere Mengen organischer Lösemittel schon beim Verbraucher erfaßt. Hierfür werden Gebinde unterschiedlicher Größe eingesetzt, die auch für die Originalware benutzt werden. Um die Gebinde mit einem Fassungsvermögen von 10 l bis 200 l mehrfach für den Kreislauf einsetzen zu können, wurde ein neues Verfahren entwickelt, das eine rückstandsfreie Entfernung der verschiedenen Kennzeichnungs- und Transportetiketten ermöglicht und die Gebinde mit hoher Qualität reinigt. Zur **Qualitätskontrolle gebrauchter Lösemittel wurde eine Analysemethode entwickelt, die auf der Nah-Infrarot-Spektroskopie basiert** und mit chemometrischen Auswertmethoden arbeitet (Chemo-NIR). Mit diesem Verfahren läßt sich kontinuierlich auch eine komplexe Zusammensetzung flüssiger Stoffe ermitteln. Nach erfolgter Analyse und Zuordnung werden die organischen Lösemittel in Tanks umgefüllt und die Transportgebände in der Reinigungsanlage für den Wiedereinsatz vorbereitet.

Sind in den Zwischenlagern ausreichende Mengen in geforderter Qualität zusammengestellt, wird der nach ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten optimale Verwertungsweg ausgewählt. Für die meisten Stoffe stehen inzwischen verschiedene Verwertungsverfahren und Verwendungsmöglichkeiten in der chemischen Grundstoffindustrie



zur Verfügung. Trotzdem besteht für Sekundärrohstoffe weiterhin ein hoher Bedarf nach innovativen Lösungen zur integrierten Kreislaufschließung. So kommt der Erschließung neuer Einsatzfelder besondere Bedeutung zu.

Um die fast unüberschaubare Anzahl der Stoffströme zu kanalisieren, wird im Rahmen dieses Forschungsvorhabens eine Datenbank zur Stoffstrom-Steuerung aufgebaut. Sie ist Teil des neu entwickelten computergestützten Stoffstrommanagements, mit dem die Abfallströme von der Erfassung beim Kunden über die Transportdokumentation und die Verwaltung der Lagerbestände bis hin zum Einsatz in den Verwertungs- und Produktionsverfahren begleitet werden. In dieser Datenbank werden sowohl die eingeführten als auch die im Rahmen dieses Vorhabens neu erschlossenen Logistikwege zusammengefaßt. Hieraus lassen sich Rückschlüsse auf Qualitätsanforderungen bei der Zusammenstellung der Gebrauchchemikalien zu größeren Chargen ableiten. Um einen problemlosen Einsatz in der Produktion zu gewährleisten, wurde die in der Chemieindustrie verwendete Standardsoftware SAP so angepaßt, daß Altchemikalien in das SAP-Warenwirtschaftssystem übernommen werden können.

Um die ökonomische und ökologische Effizienz der Rückführungssy-

steme bewerten und eventuell optimieren zu können, führt die Technische Universität Berlin am Beispiel eines definierten Stoffstroms eine Stoffstromanalyse durch. Bestandteile der Methode sind die geeignete Definition des Bilanzrahmens, die Erfassung der Stoff-, Energie- und Kostenströme sowie deren bilanzierende Bewertung. Auf dieser Basis soll eine Stärken-Schwächen-Analyse erfolgen, die gegebenenfalls Optimierungspotentiale aufzeigt. Das Neckar Institut für Kultur, Umwelt und Sozialforschung (NIKUS) wiederum analysiert die beteiligten Akteure und die sozioökonomischen Rahmenbedingungen, die sich fördernd oder hemmend auf eine **breite Einsetzbarkeit des Stoffstrommanagements** auswirken können. Auf diese Fragestellung hin wird von NIKUS die Gesetzgebung untersucht, um gegebenenfalls Verbesserungsvorschläge zu unterbreiten. Ein Kennzahlensystem bewertet dabei die makroökonomischen Auswirkungen, wie den Anteil rückgeführter Mengen am gesamten Warenfluß. Darüber hinaus werden in Interviews die Akteure hinsichtlich der Akzeptanz des gesamten Systems befragt. Über Erfolg oder Mißerfolg entscheidet nicht nur die Qualität, sondern zumindest ebenso die Kundenorientierung des gesamten Ablaufs. Auch die Frage der Übertragbarkeit des Stoffstrommanagements auf die Chemieindustrie und andere Wirtschaftszweige wird von TU-Berlin/NIKUS untersucht.

Merck KGaA  
Zentrale Reststoffwirtschaft (USF/ZRW)  
Postfach 64271 Darmstadt  
Frankfurter Straße 250  
64293 Darmstadt  
Dr.-Ing. Ross  
Telefon +49 (0) 6151 / 72 25 89  
Telefax +49 (0) 6151 / 72 68 01  
E-Mail Erwin-Georg.Ross@Merck.de

Technische Universität Darmstadt  
Fachbereich 21 - Materialwissenschaft  
Petersenstraße 20  
64287 Darmstadt  
Dr. Hoffmann  
Telefon +49 (0) 6151 / 16 63 82  
Telefax +49 (0) 6151 / 16 63 78  
E-Mail dg7j@hrzpub.th-darmstadt.de

Technische Universität Berlin  
Institut für Technischen Umweltschutz  
Straße des 17. Juni 135  
10623 Berlin  
Prof. Dr.-Ing. Fleischer  
Telefon +49 (0) 30 / 31 42 16 96  
Telefax +49 (0) 30 / 31 42 41 06  
E-Mail lca@itu301.ut.TU-Berlin.de

Neckar Institut für Kultur, Umwelt und  
Sozialforschung NIKUS  
Schmeilweg 5a  
69118 Heidelberg  
Dr. Teichert  
Telefon +49 (0) 6221 / 91 22 29  
Telefax +49 (0) 6221 / 16 72 57

#### Herausgeber



Bundesministerium für  
Bildung und Forschung  
Referat 423 – integrierter Umweltschutz  
in der Wirtschaft; Umwelttechnik  
Heinemannstraße 2 · 53175 Bonn  
Telefon +49 (0) 228 / 57 34 81  
www.bmbf.de



Deutsches Zentrum für Luft- und  
Raumfahrt e. V.  
Projekträger Umweltforschung und  
-technik des BMBF  
Südstraße 125 · 53175 Bonn  
Telefon +49 (0) 228 / 382 12 01  
email: umwelttechnik@dlr.de  
www.dlr.de/PT

#### Bezug

BMBF - Referat Öffentlichkeitsarbeit  
Telefax +49 (0) 228 / 57 39 17  
email: information@bmbf.bund400.de  
www.bmbf.de

#### Redaktion

Prognos GmbH  
Dovestraße 2 – 4 · 10587 Berlin

#### Gestaltung

Hayn/Willemeit Media GmbH  
Mommssenstraße 47 · 10629 Berlin

#### Druck

Druckhaus Berlin-Mitte GmbH  
Schützenstraße 18 · 10108 Berlin

#### Stand 4/99

gedruckt auf chlorfrei wiederaufbereitetem Papier  
Fotos mit freundlicher Genehmigung der Unternehmen