

Ein EDV-gestütztes Instrument zur Analyse und effizienten Gestaltung der Stoff- und Energieströme bei kleinen und mittleren Unternehmen im Bereich der Autoreparaturlackierung

Frank Blümel¹, Jean-Philippe Lonjaret¹ und Otto Rentz¹

Abstract

Präsentiert wird ein EDV-gestütztes Instrument zur Analyse und effizienten Gestaltung von betrieblichen Stoff- und Energieströmen bei kleinen und mittleren Unternehmen im Bereich der Autoreparaturlackierung. Durch die transparente Abbildung und Berechnung der Stoff- und Energieströme unterstützt das Instrument die Betriebe zum einen bei der Erfüllung der Anforderungen aus der Umweltgesetzgebung und zum anderen bei der Identifikation von Schwachstellen und Kosten- bzw. Emissionsminderungspotentialen. Mit Hilfe des Instrumentes werden die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen von Stoffsubstitution (z.B. Einsatz wasserbasierender Lacke) und Verfahrensumstellungen (z.B. verbesserte Applikationsverfahren) unter Berücksichtigung aller beeinflussenden Faktoren im Arbeitsablauf ermittelt. Die Ergebnisse, die im Rahmen des Projektes durchgeführten Berechnungen, haben vielfach gezeigt, daß Emissions- und Kostenminderung sinnvoll miteinander verbunden werden können. Zur Verbreitung der erhaltenen Ergebnisse wurden spezielle Handlungs- und Orientierungshilfen zu verschiedenen Themengebieten erarbeitet, die mit Unterstützung der Berufsverbände und der Lackhersteller an die etwa 9700 Autoreparaturlackierbetriebe Deutschlands verteilt werden.

1 Einleitung

Ziel dieses Beitrags ist die Präsentation eines EDV-gestützten Instruments zur Analyse und effizienten Gestaltung der betrieblichen Stoff- und Energieströme bei kleinen und mittleren Unternehmen im Bereich der Autoreparaturlackierung. Das im Rahmen eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Forschungsvorhabens (Rentz et al. 1999) entwickelte Instrument ermöglicht die Er-

¹ Universität Karlsruhe (TH), Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung (DFIU), Hertzstraße 16, D-76187 Karlsruhe, Tel.: 0721 608 4460, Fax: 0721 758909

mittlung der ökonomischen und ökologischen Auswirkungen produktionsintegrierter Emissionsminderungsmaßnahmen in vernetzten Produktionssystemen.

Gerade bei kleinen und mittleren Handwerksunternehmen haben sich in den letzten Jahren die Anforderungen aus dem Umweltschutz, wie z.B. die Verpflichtung zur Bilanzierung betrieblicher Stoff- bzw. Energieströme, erhöht. Das hier vorgestellte Instrument soll durch die transparente Abbildung und Berechnung der Stoff- und Energieströme zum einen die Betriebe bei der Erfüllung der Anforderungen aus dem Umweltschutz unterstützen und zum anderen Schwachstellen und Kosten- bzw. Emissionsminderungspotentiale in den Betrieben aufzeigen. Mit Hilfe dieses Instrumentes werden die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen von Stoffsubstitution (z.B. Einsatz wasserbasierender Lacke) und Verfahrensumstellungen (z.B. verbesserte Applikationsverfahren) unter Berücksichtigung aller beeinflussenden Faktoren im Arbeitsablauf ermittelt. Hierdurch können die Auswirkungen möglicher Emissionsminderungsmaßnahmen schon im Vorfeld einer Investition ermittelt und somit Investitionsentscheidungen für emissionsarme Produkte und Technologien unterstützt werden.

2 Problemstellung

In Deutschland führen derzeit etwa 9.700 Betriebe der insgesamt 56.500 Kfz-Werkstätten Lackiertätigkeiten durch. Bei den Autoreparaturlackierbetrieben handelt es sich zumeist um kleine Handwerksunternehmen, die zu 65 % weniger als drei Mitarbeiter beschäftigen. Im Bereich der Autoreparaturlackierung wird bei den verschiedenen Arbeitsschritten der Karosserieinstandsetzung, der Vorbehandlung der zu lackierenden Fläche (z.B. Oberflächenreinigung, Abdeckung, Schleifen, Spachteln) und der Lackierung (z.B. Lackmischung, Lackauftrag, Werkzeugreinigung) eine Vielzahl unterschiedlicher Schadstoffe in die Umwelt abgegeben (Corley/Toussaint 1993).

Problematisch sind hier insbesondere die durch die Lösemittelanwendung verursachten Emissionen an leichtflüchtigen organischen Verbindungen (VOC), die zum einen für den Menschen direkt gesundheitsschädlich sind und zum anderen in Verbindung mit Stickoxiden und einer starken Sonneneinstrahlung einen Beitrag zum bodennahen Ozon bzw. Sommersmog leisten (Liebscher 1995). Die hierbei emittierte Menge pro Einzelbetrieb ist bei den Autoreparaturlackierbetrieben aufgrund der geringen durchschnittlichen Betriebsgröße im Vergleich zu anderen Branchen relativ gering. Durch die große Anzahl von Autoreparaturlackierbetrieben in

Deutschland besteht jedoch hier ein nicht zu vernachlässigendes Emissionsminderungspotential².

Im Rahmen der Umweltgesetzgebung wird eine Vielzahl unterschiedlicher Anforderungen an die Autoreparaturlackierbetriebe gestellt, die sich aus einer Reihe von Gesetzen, Verordnungen und Richtlinien aus den Bereichen Luftreinhaltung, Abwasser, Abfall, Gefahrstoffe, Gesundheits- und Arbeitsschutz ergeben. In den neueren Umweltgesetzen, wie z.B. das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) (§19: Abfallwirtschaftskonzept, §20: Abfallbilanz), die Gefahrstoffverordnung (Gef. StoffV) (§16 Abs. 3a: Gefahrstoffkataster) und die am 11. März 1999 vom Europäischen Ministerrat verabschiedete EU-Lösemittelrichtlinie (Anhang III: Lösemittelwirtschaftsplan) ist neben der Bestimmung der Verbrauchswerte auch zunehmend eine Verpflichtung der Betriebe zur Bilanzierung des betrieblichen In- und Outputs gegeben (May 1997). Hiermit soll erreicht werden, daß die Betriebe durch die Ermittlung ihrer Stoff- und Energieverbräuche sich über die Auswirkungen des betrieblichen Handelns bewußt werden. Des weiteren können dadurch vorhandene, betriebliche Schwachstellen erkannt und möglichst effiziente Kosten- und Emissionsminderungsmaßnahmen identifiziert werden.

Die Erfüllung dieser Anforderungen in Form der Ermittlung und Aufbereitung betrieblicher Daten sowie der Bilanzierung der betrieblichen Stoffströme ist für Autoreparaturlackierbetriebe zum einen durch die Vielzahl eingesetzter Stoffe, die sich gegenseitig beeinflussen und unterschiedliche Auswirkungen auf Materialeinsatz, Art der Emissionen, Gesundheitsschutz und Wirtschaftlichkeit haben, und zum anderen durch die geringe finanzielle und personelle Ausstattung schwierig. In der Regel werden in den Betrieben nur wenige Daten gründlich erhoben, sinnvoll dokumentiert und analysiert (Lonjaret et al. 1998). Vorhandene Kosten- und Emissionsminderungspotentiale, die durch die Vielzahl primärer (z.B. Einsatz lösemittelarmer Lacke) und prozeßintegrierter (z.B. Einsatz von oversprayarmen Spritzpistolen) Maßnahmen bei den einzelnen Arbeitsschritten gegeben sind, können daher nicht vollständig ausgeschöpft werden (Rentz et al. 1997).

Für die Autoreparaturlackierbranche ist es daher wichtig, über ein Instrument zu verfügen, mit welchem durch eine transparente Abbildung und Berechnung der Stoff- und Energieströme zum einen die Betriebe bei der Erfüllung der Anforderungen aus dem Umweltschutz unterstützt und zum anderen Schwachstellen, Kosten- und Emissionsminderungspotentiale in den Betrieben aufgezeigt werden können. Die Vorgehensweise zur Entwicklung eines solchen Instruments wird im folgenden dargestellt.

² Von den Autoreparaturlackierbetrieben in Deutschland wurden 1992 insgesamt ca. 25.000 t VOC emittiert (CEPE 1994).

3 Methodische Vorgehensweise

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde zunächst für die Ermittlung der Stoff- und Energieströme in der Autoreparaturlackierung ein computergestütztes Modell entwickelt, mit dem der Arbeitsprozeß der Autoreparaturlackierung simuliert wird. Der Arbeitsprozeß setzt sich von der Fahrzeugannahme bis zur Fahrzeugabgabe aus einer Vielzahl von einzelnen, zum Teil sehr unterschiedlichen Arbeitsschritten zusammen (Chor 1997, Anselm 1999). Je nach Lackart (Uni/Metallic 1-Schicht, Uni/Metallic 2-Schicht, Uni/Metallic 3-Schicht), Lackstufe (I: Neuteillackierung, II: Farbtonangleichung, Lackierung kleiner Beschädigungen ohne Spachtelarbeit, III: Reparaturlackierung mit Spachtelauftrag bis zu 50 % der Oberfläche bzw. bei mehr als 50 % (IV)) und wie lackiert wird (am Fahrzeug ohne und mit Vorlackieren, oder nur abgebaute Montageteile), gestaltet sich der Arbeitsprozeß in der Anzahl und der Abfolge der Arbeitsschritte sehr unterschiedlich. Für jeden Arbeitsschritt gibt es wiederum zahlreiche zu berücksichtigende Produkt- und Technologiealternativen.

Das im Rahmen des Forschungsvorhabens entwickelte computergestützte Modell berücksichtigt 15 unterschiedliche Lackierprozesse mit jeweils maximal 55 Arbeitsschritten von der Fahrzeugannahme bis zur Fahrzeugabgabe und eine große Anzahl unterschiedlicher Produkte und Technologien pro Arbeitsschritt (Blümel et al. 1998). Hierdurch kann jeder Autoreparaturlackierbetrieb unter Berücksichtigung der individuellen Auftragsstruktur, Arbeitsweise und der eingesetzten Produkte und Technologien relativ einfach abgebildet werden. Die Lackierprozesse sind dabei so praxisnah dargestellt worden, daß jeder Fahrzeuglackierer sich hier relativ schnell zurechtfinden kann. Der Detaillierungsgrad ist so gewählt worden, daß damit zum einen eine relativ genaue Ermittlung der Stoff- und Energieströme möglich ist und zum anderen zwischen den für die anschließende Auswertung benötigten Stoffen und Energien unterschieden werden kann (siehe auch Abbildung 2). Die Lackierprozesse werden dabei durch ca. 200 Parameter zentral gesteuert. Für die übersichtliche Darstellung der verschiedenen Lackierprozesse und die Ermittlung der Stoff- und Energieströme in der Autoreparaturlackierung wurde die kommerzielle Ökobilanzsoftware Umberto[®] ausgewählt.

Mit der Software lassen sich die Stoff- und Energieströme für einzelne Arbeitsschritte und für den Gesamtbetrieb übersichtlich darstellen und ermitteln (Schmidt/Häuslein 1997). Des Weiteren können Materialrückflüsse, wie z.B. die Wiederverwendung von destillierten Reinigungsmitteln und der Einsatz von Lackresten im Füllerbereich, problemlos berücksichtigt werden. Das Verhältnis von Input zu Output bei den einzelnen Arbeitsschritten läßt sich durch Gleichungen und Parameter individuell gestalten (siehe Abbildung 1). Für die Berechnung der Stoffstromnetze verwendet die Software den Petrinetz-Ansatz aus der theoretischen Informatik.

Weiterhin lassen sich mit der Software übersichtliche Bilanzen von In- und Outputströmen für einen festgelegten Zeitraum erstellen. Im Modell wird bei der Bilanz z.B. auf der Inputseite zwischen dem Lackeinsatz für verschiedene Lackschichten

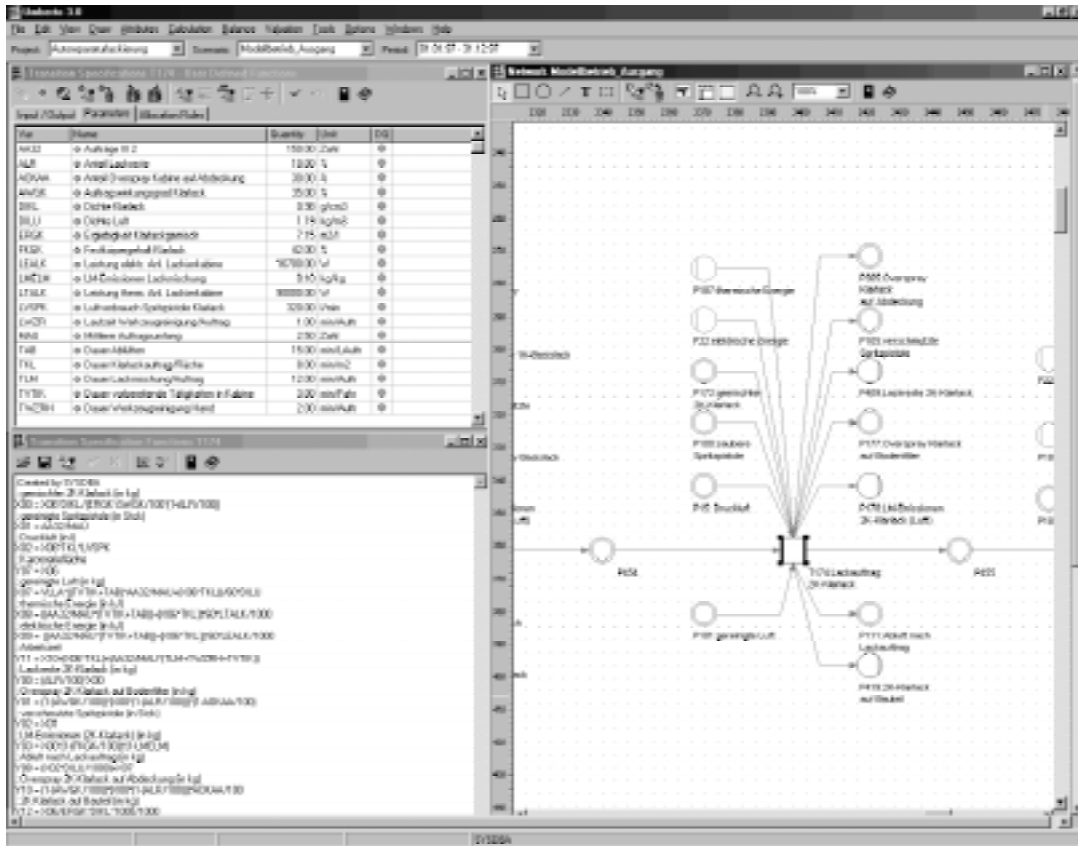


Abbildung 1
Beziehungen zwischen In- und Output bei einzelnen Arbeitsschritten des Modells IMPROVE³

(Füller, Basislack, Klarlack, usw.) und den dazugehörigen Zusatzprodukten (Härter und Verdünnung) und auf der Outputseite zwischen den Lösemittlemissionen von verschiedenen Produkten und Verfahren (z.B. Werkzeugreinigung) unterschieden. Abfälle lassen sich je nach entstehenden Fraktionen (z.B. Kunststoff, Pappe, Metallgebände) differenzieren.

Für die ökonomische und ökologische Analyse der Stoff- und Energieströme wird die Mengenbilanz in ein eigens dafür erstelltes Auswertungsprogramm exportiert.

³ IMPROVE steht für „Individual computer aided mass and energy flow model for the vehicle refinishing sector“.

Hier wird eine weitergehende Auswertung der berechneten Stoff- und Energieströme vorgenommen. So lassen sich z.B. die Menge von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen mit den Abfallschlüsselnummern, die Menge wassergefährdender Stoffe nach Wassergefährdungsklassen oder der Lösemittelverbrauch nach Input- und Outputkategorien im Rahmen eines Lösemittelwirtschaftsplans ermitteln und gesondert ausweisen. Des Weiteren lassen sich auch die Kostenanteile bestimmter Produktgruppen und die ökonomische Vorteilhaftigkeit bestimmter Emissionsminderungsmaßnahmen im Vergleich zur Ausgangssituation ermitteln. Hierzu sind die branchenüblichen Preise für ca. 150 Eingangs- und Ausgangsstoffe unter Berücksichtigung der in der Branche üblichen Einkaufsmengen, Verpackungs- und Gebindegrößen ermittelt worden.

Die dem Modell zugrundeliegenden Daten (z.B. flächen-, bauteil- und fahrzeugbezogene Verbrauchswerte, Auftragsstruktur, Arbeitszeiten und Leistungsdaten der Technologien (z.B. thermische und elektrische Leistung des Brenners)) sind in zwei Referenzbetrieben in Baden-Württemberg erhoben und mit verschiedenen Branchenexperten bei Herstellern und Berufsverbänden abgestimmt worden.

4 Ergebnisse

Im Rahmen des Forschungsvorhabens sind Szenarien für verschiedene Maßnahmen der Stoffsubstitution und Verfahrensänderung definiert und deren ökologische und ökonomische Auswirkungen auf die Betriebe berechnet worden.

Zu diesem Zweck wurde in einem ersten Schritt, ausgehend von den Erfahrungen in den Referenzbetrieben und in Zusammenarbeit mit den Branchenexperten ein Modellbetrieb definiert, dessen Arbeitsweise und technologische Ausstattung für ca. 60-70 % der Autoreparaturlackierbetriebe in Deutschland repräsentativ ist. Dieser Betrieb führt mit ca. 6 Mitarbeitern Karosseriebau- und Lackierarbeiten durch und erwirtschaftet einen jährlichen Umsatz von 500.000-1.000.000 DM. In der Ausgangssituation wird u.a. angenommen, daß für alle Lackschichten (Grundierung, Füller, Uni-, Vor-, Basis- und Klarlack) konventionelle, lösemittelhaltige Lackprodukte verwendet werden und daß die Decklacke in einer heizölbefeuerten kombinierten Lackier- und Trockenkabine mit konventionellen Hochdruck-Druckluft-Spritzpistolen aufgetragen und getrocknet werden. Der Overspray wird in der Kabine mit Bodenfiltern abgeschieden.

Die Stoff- und Energieverbräuche sind für diesen Modellbetrieb für 750 Kundenaufträge pro Jahr berechnet worden. Bei angenommenen 2,5 Teilen pro Auftrag (Branchendurchschnitt) sind das 1.875 Fahrzeugteile pro Jahr. Die mengenmäßig relevantesten Stoffströme bilden Luft/Abluft (z.B. in der Lackier- und Trockenkabine) (14,7 Mio m³/a), Wasser/Abwasser (ca. 30.000 Liter/a), Gewerbeabfall (6.588 Liter/a) und die Lösemittlemissionen (1.373 kg/a) (siehe Abbildung 2) verteilen. Der berechnete Energieverbrauch lag bei 81 GJ/a elektrisch und 574 GJ/a thermisch.

Die gesamte Arbeitszeit betrug 3.324 h/a, die Prozeßzeit mit Maschinenlaufzeiten und Trocknungszeiten 9.298 h/a. Die bearbeitete Karosseriefläche betrug insgesamt 1.424 m².

LM-Emissionen = 1.373 Kg bei 1.875 Fahrzeugteilen

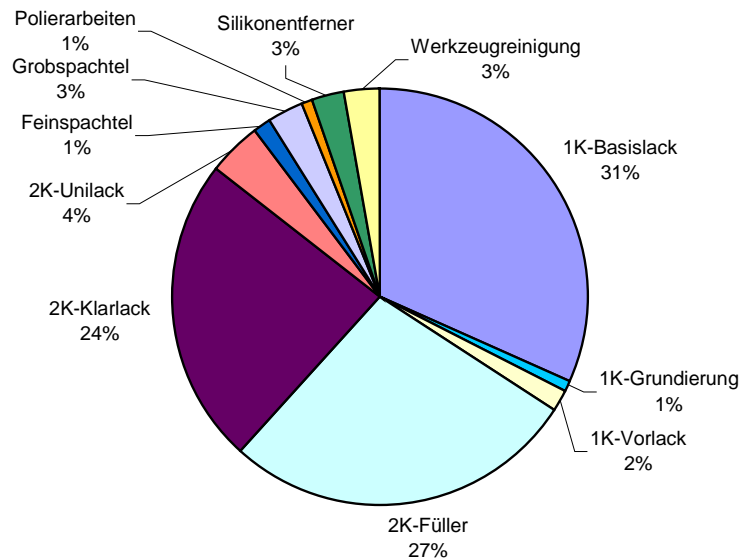


Abbildung 2
Berechnete Verteilung des Aufkommens an Lösemittlemissionen beim Modellbetrieb

Die einzelnen Stoff- und Energieverbräuche wurden anschließend mit den spezifischen Preisen bzw. Gebühren multipliziert, wodurch die jährlichen Kosten für den Modellbetrieb ermittelt werden konnten. Für die Ermittlung der Produktpreise sind zum einen die branchenüblichen Gebindegrößen berücksichtigt und zum anderen Produkte gleicher Qualität in mittlerer Preislage in Zusammenarbeit mit Händlern für Lackierbedarf ausgewählt worden.

Insgesamt ergeben sich hieraus für den Modellbetrieb jährliche direkt zurechenbare Kosten für die Lackierprozesse von ca. 223.000 DM. Dies sind umgerechnet ca. 156 DM/m² bearbeitete Karosseriefläche. Die größten Kostenbereiche sind dabei der Lackeinsatz (Stammlack, Härter, Lackverdünnung) mit 98.555 DM und die Stun-

denlöhne (83.095 DM). Im Vergleich dazu sind Energiekosten (9.257 DM) und Abfallentsorgungsgebühren (3.423 DM) als gering einzustufen.

In einem zweiten Schritt wurden unterschiedliche Szenarien berechnet. Um eine weitgehende Vergleichbarkeit der verschiedenen Lackprodukte zu gewährleisten, wurden für die vorliegende Untersuchung ausschließlich die Lackprodukte eines Herstellers analysiert. Hierbei handelt es sich um den Lackhersteller Spies Hecker GmbH (Köln), der auch der Hauptlacklieferant der beiden Referenzbetriebe ist. Das Produktangebot des Lackherstellers ist jedoch vergleichbar mit dem anderer Autoreparaturlackhersteller, so daß die Ergebnisse der Untersuchung als weitgehend übertragbar angesehen werden können. Heutzutage bietet fast jeder Lackproduzent feststoffreiche und wasserbasierende Lacke für die verschiedenen Lackschichten (Grundierung, Füller, Unilack, Vorlack, Basislack und Klarlack) an.

Es wurde zunächst der Einsatz feststoffreicher Lacke (High-Solid Lacke) für die Bereiche Füller, Uni- und Klarlack sowohl bei konventionellen als auch bei oversprayarmen Auftragsverfahren (Niederdruck-Druckluft-Spritzverfahren bzw. HVLP-Spritzpistolen) untersucht. Für die Bereiche Grundierung, Vor- und Basislack existieren aufgrund der notwendigen Lackeigenschaften keine feststoffreichen Lacke.

Hierbei zeigt sich unter Berücksichtigung aller Faktoren, daß trotz eines erhöhten Energieaufwandes für Trocknung und Druckluft und höherer Lackgebinderpreise insgesamt durch die Verringerung des Lack- und Filtermattenverbrauchs eine jährliche Kosten- und Emissionsminderung für den Betrieb möglich ist:

- Der Einsatz von High-Solid-Lacken im Füller-, Unilack- und Klarlackbereich mit konventionellen Hochdruckpistolen würde eine jährliche Kosteneinsparung von 4.035 DM (ca. 2% der Gesamtkosten) im Vergleich zum Ausgangszustand bringen. Die Lösemittlemissionsreduktion beträgt 17%. Die größte Einsparung geht hierbei vom geringeren Lackeinsatz (-4.741 DM) aus. Die Kostensteigerungen bei der thermischen (707 DM) und elektrischen (178 DM) Energie wirken sich dagegen nicht so stark auf das Gesamtergebnis aus. Durch den Einsatz des Very-High-Solid-Füllers (VHS-Füller), der derzeit als Produktinnovation gilt, lassen sich zwar die Lösemittlemissionen um 28% verringern, dafür müßte der Modellbetrieb aufgrund der deutlich höheren Gebinderpreise (69 DM/kg beim VHS-Füller anstelle von 29 DM/kg beim konv. Füller) jährliche Mehrkosten von 12.390 DM im Kauf nehmen.
- Beim Einsatz von oversprayarmen Spritzpistolen (HVLP-Spritzpistolen) würde eine jährliche Kosteneinsparung von 23.459 DM (10,5% der Gesamtkosten) realisiert. Die Lösemittlemissionen könnten um 32% verringert werden.

Im weiteren sind für den Vor- und Basislackbereich die Auswirkungen beim Einsatz von wasserbasierenden Lacken, die sich durch einen sehr geringen Gehalt an organischen Lösemitteln (ca. 10 %) auszeichnen, ermittelt worden:

- Die Applikation wasserbasierender Vorlack- und Basislacke mit konventionellen Spritzpistolen ermöglicht eine jährliche Lösemittlemissionsreduktion von 28%. Der Einsatz von Wasserlacken führt insgesamt zu einer geringen Kosten-erhöhung von 1.650 DM (0,7% der Gesamtkosten), die sich vor allem durch den erhöhten Trocknungsaufwand und durch die höheren Gebindepreise ergeben. Vorteilhaft wirkt sich der geringere Lackverbrauch durch die höhere Deckkraft bzw. Ergiebigkeit der Lacke aus. Durch Einsatz eines wasserbasierenden Klarlacks, der derzeit als Produktinnovation gilt, würde sich zwar die Lösemittel-emissionsreduktion auf 44% steigern lassen, dafür müßte der Modellbetrieb auf-grund der deutlich höheren Gebindepreise (71 DM/kg anstelle von 52 DM/kg beim konv. Klarlack) jährliche Mehrkosten von 8.670 DM im Kauf nehmen. Hierbei ist außerdem von einem um 28,8 % höheren Verbrauch (+1.497 DM) an thermischer Energie für die Trocknung des wasserbasierenden Klarlacks auszu-gehen.
- Beim Einsatz von oversprayarmen Spritzpistolen (HVLP-Pistolen) würde in Ver-bindung mit wasserbasierenden Vor- und Basislacken eine jährliche Kostenein-sparung von 18.544 DM (8,3% der Gesamtkosten) realisiert. Die Lösemittel-emissionen könnten um 41% verringert werden.

Der kombinierte Einsatz von feststoffreichen und wasserbasierenden Lacken führt zu folgenden Ergebnissen:

- Beim Einsatz von feststoffreichen Lacken im Füller-, Uni- und Klarlackbereich und von wasserbasierenden Lacken im Vorlack- und Basislackbereich wäre in Verbindung mit Hochdruck-Druckluft-Spritzpistolen nicht nur eine jährliche Lö-semittelemissionsreduktion von 45% möglich, sondern auch eine Kostenein-sparung von 2.385 DM (1,1% der Gesamtkosten). Durch den Einsatz der Pro-duktinnovationen, Very-High-Solid-Füller und wasserbasierender Klarlack, er-gibt sich eine maximale Lösemittlemissionsreduktion von 62%. Die sehr hohen Gebindepreise und der erhöhte Trocknungsaufwand führen zu jährlichen Mehr-kosten von 25.159 DM (+11,3% der Gesamtkosten). An diesem Beispiel zeigt sich, daß aus ökologischen Gründen die beiden Lacke empfehlenswert sind, aber aus ökonomischen Gesichtspunkten ohne Notwendigkeit kein Betrieb diese Lacke einsetzen würde.
- Die Applikation von feststoffreichen Lacken im Füller-, Uni- und Klarlackbe-reich und wasserbasierenden Lacken im Vorlack- und Basislackbereich führt zu einer jährlichen Lösemittlemissionsreduktion von 54 % und zu einer Kostenein-sparung von 21.554 DM (9,7% der Gesamtkosten). Bei dieser Kombination, die als Stand der Technik angesehen werden kann, zeigt sich sehr deutlich, daß Emissions- und Kostenminderung sinnvoll miteinander verbunden werden können.

Zusätzlich zu den Lackproduktalternativen und Applikationstechniksubstitutionen wurden weitere Alternativen zur Emission- und Kostenreduktion untersucht, wie z.B. der Einsatz einer Wärmerückgewinnungsanlage oder einer Destillationsanlage zur Lösemittelrückgewinnung:

- Beim Einsatz einer Wärmerückgewinnungsanlage mit einem branchen- und anlagenüblichen Wärmerückgewinnungswirkungsgrad von $\eta=46\%$ für die kombinierte Lackier- und Trockenkabine konnte für den Modellbetrieb eine jährliche Einsparung (nach Einführung der Ökosteuer) von 2.870 DM bei Heizölbefuerung (1,3 % der Prozeßkosten) und 3.165 DM bei Erdgasbefuerung (1,4 % der Prozeßkosten) ermittelt werden.
- Der Einsatz einer Destillationsanlage zur Aufbereitung des Reinigungslösemittels mit einem Wiedergewinnungsfaktor von 80 % führt für den Modellbetrieb zu einer jährlichen Kosteneinsparung von 969 DM (0,4 % der Prozeßkosten).
- Weitere Möglichkeiten zur Abfall- bzw. Kostenminderung (z.B. Möglichkeiten zur Verringerung der Leckagen bei Druckluftgeräten, der Einsatz von Schleifscheiben mit Löchern zur besseren Schleifstaubabsaugung oder der Einsatz von wiederverwendbaren Lacksieben und Mehrfachnutzung der Mischbehälter) wurden ebenfalls untersucht, die damit potentiell erreichbaren Emissions- und Kostenminderungen sind jedoch vernachlässigbar gering einzustufen.

Alle bisher dargestellten Berechnungen wurden nicht nur für den Modellbetrieb durchgeführt, sondern auch für die beiden ausgewählten Referenzbetriebe in Baden-Württemberg. In diesem Fall wurde das Modell an die speziellen Bedingungen der Referenzbetriebe angepaßt und der Einfluß der verschiedenen Emissionsminderungsmaßnahmen auf Emissions- und Kostenminderung speziell bei diesen Betrieben untersucht. Es ergaben sich vergleichbare Ergebnisse, die hier nicht weiter ausgeführt werden.

5 Umsetzung der Ergebnisse

Eine detaillierte Betriebsanalyse ist mit dem computergestützten Modell durch die zahlreichen Anpassungsmöglichkeiten für jeden interessierten Betrieb denkbar, wenn auch sehr zeitaufwendig. Von der Installation der Software in den Autoreparaturlackierbetrieben ist jedoch abzusehen, da die Erfahrungen in den handwerklichen Betrieben mit der Anwendung einer solchen Software noch gering sind.

Aus diesem Grund wurden für die Beratung der Lackierbetriebe spezielle Handlungs- und Orientierungshilfen zu verschiedenen Themengebieten erarbeitet, deren Aussagen und Ergebnisse auf den mit dem Modell gemachten Berechnungen beruhen. Diese Hilfen sollen die Autoreparaturlackierbetriebe in die Lage versetzen, eigenständig oder mit Unterstützung der Betriebsberater von Berufsverbänden und Herstellern, in kurzer Zeit die notwendigen Stoff- und Energiebilanzen (z.B. Löse-

mittelbilanzen) zu erstellen und mögliche Kosten- und Emissionsminderungspotentiale zu identifizieren und zu nutzen. Themengebiete der Orientierungshilfen sind z.B.:

- lösemittelarme Lacke (High-Solid-Lacke, wasserbasierende Lacke),
- HVLP-Spritzverfahren,
- energiesparende Maßnahmen (Wärmerückgewinnung, Druckluftverbrauchs-minderung)
- abfallvolumenreduzierende Maßnahmen (Destillation, Papier- und Dosenpresse).

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden somit zwei unterschiedliche Instrumente erarbeitet, mit denen sich die betrieblichen Stoff- und Energieströme bei Autoreparaturlackierbetrieben effizienter gestalten lassen. Während das computergestützte Stoff- und Energieflußmodell IMPROVE vorrangig für eine ausführliche Analyse der Lackierprozesse durch die Betriebsberater von Berufsverbänden und Herstellern im Rahmen eines Beratungsangebotes genutzt werden kann, stellen die Handlungs- und Orientierungshilfen eine Möglichkeit dar, die Betriebe in kurzer Zeit bei der Erfüllung der Anforderungen aus der Umweltgesetzgebung zu unterstützen und die mit dem Einsatz von Emissionsminderungsmaßnahmen zu erzielenden Vorteile aufzuzeigen.

6 Ausblick

Ausgehend von den bisherigen Arbeiten im Rahmen des Forschungsprojektes sind in Zukunft weitere Handlungs- und Orientierungshilfen mit verschiedenen Themenschwerpunkten zu erarbeiten, wie die Wärmerückgewinnung für separate Lackier- und Trockenkabinen, die Trocknungsverfahren beim Wasserlackeinsatz, die Prozeßoptimierung bei Lackier- und Trockenkabinen, die Mehrwegsysteme bei Behältern oder die Auftragung einer flüssigen Abdeckfolie.

Das computergestützte Stoff- und Energieflußmodell IMPROVE soll für eine realitätsnähere Abbildung der Lackierprozesse in der Autoreparaturlackierung im Rahmen eines weiteren, ebenfalls von der DBU unterstützten Folgeprojektes weiterentwickelt werden. Hier sind u.a. folgende Inhalte vorgesehen:

- Berücksichtigung der individuellen Produktpaletten der verschiedenen Lackhersteller zur Beratung der Betriebe,
- Berücksichtigung der speziellen Produkte für die Kunststofflackierung (Lacke, Reinigungsmittel,...),
- Erarbeiten zusätzlicher betriebsrelevanter Prozesse (z.B. Abwasserbehandlungsanlage, Papier- bzw. Dosenpresse),
- Differenzierung der einzelnen Teilprozesse beim Lackier- und Trocknungsprozeß zur besseren Abbildung der Verbräuche und zur Ermittlung der Vorteilhaft-

tigkeit bei einer effizienteren Steuerung der Kabinen (z.B. Ökotronic, ICI Fast Aquadry),

- Verbesserung der innerbetrieblichen Lackierkostenermittlung unter Einbeziehung der Gemeinkosten im Betrieb.

Die Weiterentwicklung von IMPROVE und die Erstellung weiterer Handlungs- und Orientierungshilfen wird wie bisher in enger Zusammenarbeit mit den Branchenvertretern der Berufsverbände und der Hersteller vorgenommen. Die Lackindustrie und die zwei Berufsverbände haben sich grundsätzlich bereit erklärt, diese im Rahmen des Forschungsprojektes entwickelten Instrumente für die Betriebsberatung einzusetzen. Nach Abschluß des Folgeprojektes ist daher davon auszugehen, daß in den darauf folgenden Monaten eine Vielzahl der 9.700 Autoreparaturlackierbetriebe in Deutschland mit dem computergestützten Stoff- und Energieflußmodell IMPROVE und den Handlungs- und Orientierungshilfen beraten werden

Danksagung

Der Deutschen Bundesstiftung Umwelt danken wir für die finanzielle Förderung dieser Arbeit von Dez. 1997 bis Mai 1999, insbesondere Herrn Dr. Große Ophoff für die fachliche Betreuung. Den Teilnehmern des Projektarbeitskreises danken wir ebenfalls für die vielen interessanten Diskussionen und hilfreichen Anregungen, sowie allen, die diese Arbeit durch ihren Beitrag unterstützt haben.

Literaturverzeichnis

- Anselm, D. (1999): Die Kfz-Reparaturlackierung, Grundlagen und Praxis, Würzburg
- Blümel, F., Lonjaret, J.-P., Rentz, O. (1998): Stoffstrommanagement für die Autoreparaturlackierung, in: Tagungsband zur „Großen Naßlacktagung 1998“ am 29./30. Oktober in Bad Nauheim
- CEPE (1994): Reduktion der Lösemittlemissionen im Autoreparaturgewerbe, Brussel
- Chor, K. (1997): Lehrbuch für Fahrzeuglackierer, 6. Auflage, München
- Corley, M., Toussaint, D. (1993): Vermeidung von Abfällen durch abfallarme Produktionsverfahren - Autoreparaturlackierung, 2. Auflage, Studie im Auftrag der ABAG-Abfallberatungsagentur, Fellbach
- Liebscher, H. (1995): Umweltschutz-Verpflichtung nur für andere?, in: Fahrzeug und Karosserie, Heft 10, S. 20-29
- Lonjaret, J.-P., Blümel, F., Rentz, O. (1998): Stoffstrommanagement für kleine und mittlere Unternehmen im Bereich der Autoreparaturlackierung, in: UmweltWirtschaftsForum, 6, Heft 2, S. 90-91
- May, T. (1997): Umweltmanagement im Lackierbetrieb, Hannover

- Rentz, O., Blümel, F., Hein, J. et al. (1997): Analyse der Auswirkungen regionaler Diffusionsprozesse von Emissionsminderungstechnologien auf kleine und mittlere Betriebe - dargestellt am Beispiel der Sektoren Chemischreinigung und Automobilreparaturlackierung in der Region Oberrhein, Forschungsendbericht, Karlsruhe
- Rentz, O., Blümel, F., Lonjaret, J.-P. (1999): Stoffstrommanagement für kleine und mittlere Unternehmen aus dem Bereich der Autoreparaturlackierung, Forschungsendbericht, Karlsruhe
- Schmidt, M., Häuslein, A. (Hrsg.) (1997): Ökobilanzierung mit Computerunterstützung. Produktökobilanzen und betriebliche Bilanzen mit dem Programm Umberto, Heidelberg
- Schmidt, M., Schorb, A. (Hrsg.) (1995): Stoffstromanalysen in Ökobilanzen und Öko-Audits, Heidelberg