

**Energie- und
Stoffstrommanagement
Praxisbeispiel
Kunststofflackierung**



Herausgegeben von der
Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg
1. Auflage
Karlsruhe 2003

IMPRESSUM

Herausgeber	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg 76185 Karlsruhe Postfach 21 07 52 http://www.lfu.baden-wuerttemberg.de
ISSN	0949-0485 (Bd.10, 2003)
Bearbeitung	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg Abteilung 3 – Industrie und Gewerbe Dr. Gabriel Striegel, Dipl.-Ing. Sabine Hellgardt, LCS Life Cycle Simulation GmbH, Winnenden Dr. Matthias Harsch http://www.lcslcs.de
Umschlaglayout	Stephan May Grafik-Design, 76227 Karlsruhe
Titelbild	Jutta Ruloff Dipl.-Designerin, 76275 Ettlingen
Druck	hausinterne Herstellung mit Festtintendrucker
Umwelthinweis	gedruckt auf Recyclingpapier aus 100% Altpapier
Bezug über	Verlagsauslieferung der LfU bei JVA Mannheim – Druckerei Herzogenriedstraße 11, 68169 Mannheim Telefax:(0621) 398-370
Preis	kostenlos

Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit Zustimmung des Herausgebers unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

Zusammenfassung

In einem von der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg geförderten Pilotvorhaben wurde bei der Firma Ritz + Thieme Oberflächentechnik GmbH & Co. KG, Tuningen (im Folgenden kurz Ritz + Thieme) ein betriebliches Energie- und Stoffstrommanagement eingeführt. Ritz + Thieme ist ein mittelständischer Betrieb, der Polyurethan-Kunststoffteile vorbehandelt und lackiert. Typische Arbeitsschritte sind in Bild 1 dargestellt.

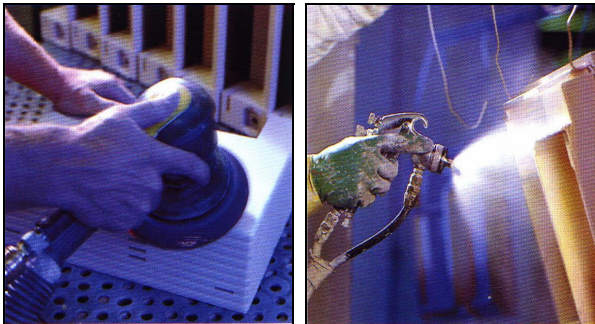


Bild 1: Kunststoffteilelackierung bei Firma Ritz + Thieme (Vorbereitung der Teile durch Schleifen; manuelles Lackieren der Kunststoffteile)

Die 31. Verordnung zum Bundesimmissionschutzgesetz (31. BImSchV VOC-Verordnung) fordert auch von kleinen und mittleren Betrieben, die Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) bei der Lösemittelanwendung bis November 2005 deutlich zu reduzieren. Sie veranlasst Betriebe, nach Möglichkeiten zur Reduzierung der Lösemittlemissionen zu suchen, sie lässt dem Anlagenbetreiber dazu mehrere Alternativen offen, d.h. Anwendung eines Reduzierungsplans (spezifisch oder vereinfacht) oder Emissionsminderung durch Abluftreinigung.

Im Rahmen des Pilotvorhabens wurden für Ritz + Thieme Erfolg versprechende Alternativen zur Einhaltung der neuen Anforderungen der VOC-Verordnung erarbeitet. Die verschiedenen Szenarien wurden anschließend ganzheitlich, d.h. mit dem Ökobilanz-Ansatz und der verursa-

chungsgerechten Kostenrechnung bewertet. Folgende Szenarien wurden für die Bewertung festgelegt:

- IST: Betrieblicher IST-Stand (Jahr 2001)
- IST u. I.: Betrieblicher IST-Stand (Jahr 2001) und Integration einer Abluftreinigungsanlage mit Adsorptionstechnik
- TA BC: Teilautomatisierte Lackieranlage Best Case; Einsatz von Wasserlacken, manuelle Applikationstechnik, optimierter Lacknutzungsgrad
- TA WC: Teilautomatisierte Lackieranlage Worst Case; Einsatz von konventionellen Lacksystemen, manuelle Applikationstechnik, Lacknutzungsgrad wie IST, Abluftreinigungsanlage mit Adsorptionstechnik
- VA BC: Vollautomatisierte Lackieranlage Best Case; Einsatz von Wasserlacken, Applikation mit Roboter, optimierter Lacknutzungsgrad
- VA WC: Vollautomatisierte Lackieranlage Worst Case; Einsatz von konventionellen Lacksystemen, Applikation mit Roboter, Lacknutzungsgrad wie IST, Abluftreinigungsanlage mit Adsorptionstechnik

Wesentliche Ergebnisse des Technologievergleichs sind:

- Mit allen vorgeschlagenen Alternativszenarien lassen sich die Anforderungen der 31. BImSchV deutlich unterschreiten.
- Der Einsatz der Abluftreinigungstechnologie auf Basis der Adsorptionstechnik reduziert die Lösemittlemissionen deutlich. Allerdings erhöhen sich dadurch signifikant der Primärenergiebedarf und damit die klimarelevanten Emission. Zudem wird bei der

Betrachtung des photochemischen Oxidantienbildungspotenzials kein Vorteil gegenüber dem Einsatz von Wasserlacken erreicht (vgl. Bild 2 und Bild 3).

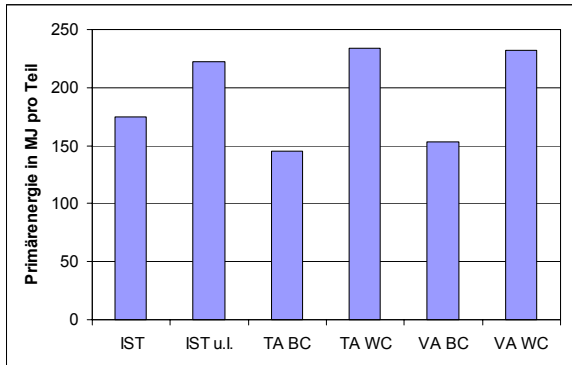


Bild 2: Ökobilanzielle Betrachtung (Sachbilanzebene): Primärenergiebedarf (Produktion 150.000 Teile/a)

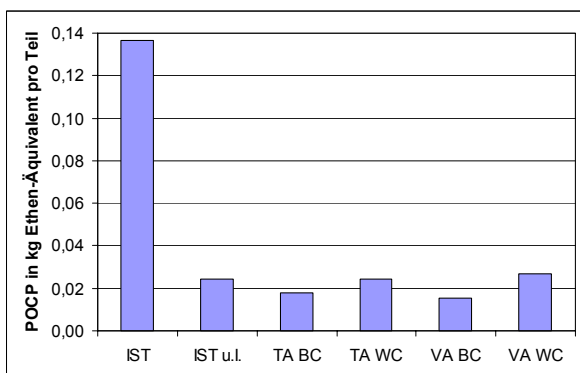


Bild 3: Ökobilanzielle Betrachtung (Wirkungsabschätzung): Photochemisches Oxidantienbildungspotenzial (Produktion 150.000 Teile/a)

- Die ökobilanzielle Betrachtung ergibt in diesem Fall andere Aussagen, als wenn nur die Betriebsbilanz zur Bewertung herangezogen wird. Beispielsweise braucht das Szenario TA BC auf betrieblicher Ebene mehr Strom und Heizöl im Vergleich zum Ist-Stand. Ganzheitlich betrachtet, durch Integration der Materialherstellung (Wasserlacke) schneidet das Szenario jedoch deutlich günstiger ab (vgl. Bild 2).

Aus wirtschaftlicher Sicht lassen sich folgende Aussagen zusammenfassen (vgl. Bild 4):

- Durch die VOC-Verordnung sind für den Referenzbetrieb in jedem Falle Investitionen zur Einhaltung der Ziel-emissionen notwendig. Die alleinige Investition in eine Abluftreinigungsanlage würde die Herstellkosten deutlich erhöhen (vgl. Szenario IST u. I.).
- Die Auswertung der anderen Szenarien zeigt, dass eine Erhöhung der Wirtschaftlichkeit nur erreichbar ist, wenn auf die Abluftreinigung durch Umstellung auf Wasserlacke verzichtet werden kann.

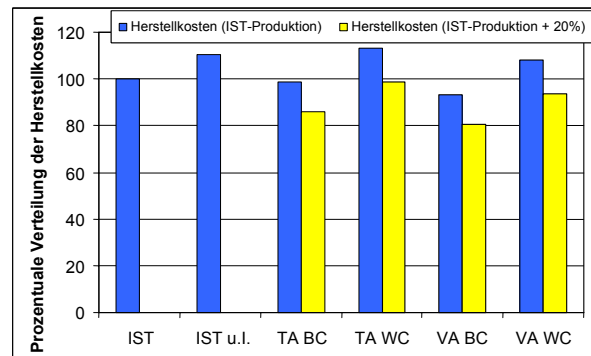


Bild 4: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung: Lackierung der Kunststoffteile (IST-Produktion 150.000 Teile/a; + 20 % = 180.000 Teile/a)

Als Ergebnis der Betriebsanalyse wurde ein Vorschlag für betriebliche Kennzahlen für Lackierbetriebe erarbeitet. Damit kann mit der Anpassung an die betrieblichen Gegebenheiten die Produktion anhand von ökologischen und ökonomischen Kennzahlen überwacht werden.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass Energie- und Stoffstrommanagement für Betriebe von großem Nutzen ist für

- eine betriebliche Optimierung,
- eine ökologische und ökonomische Überwachung mittels Kennzahlen,
- eine ganzheitliche Bewertung von Neuinvestitionen.

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG	3
INHALTSVERZEICHNIS	5
1 EINFÜHRUNG	7
1.1 Ökologische Relevanz der Lackierbranche	7
1.2 Ökonomische Relevanz der Lackierbranche	8
1.3 Zielsetzung und Vorgehensweise	8
2 ENERGIE- UND STOFFSTROMMANAGEMENT	9
2.1 Energie- und Stoffstromanalyse	9
2.2 Ermittlung von betrieblichen Kennzahlen	11
2.3 Ökobilanz	14
2.4 Integration einer verursachungsgerechten Kostenrechnung	16
2.5 Vorbereitung von Neuinvestitionen	17
3 BETRIEBSANALYSE EINER KUNSTSTOFFLACKIERUNG	18
3.1 Betriebsanalyse bei der Firma Ritzi und Thieme	18
3.1.1 Betriebliche Randbedingungen	18
3.1.2 Betriebliche Energie- und Stoffströme (Ökologische Ergebnisse)	19
3.1.3 Ökonomische Ergebnisse	22
3.1.4 Handlungsoptionen zur Einhaltung der 31. BImSchV	23
3.1.5 Fazit der betrieblichen IST-Analyse	26
3.2 Aufstellung Erfolg versprechender Lackierkonzepte	27
3.3 Simulation Erfolg versprechender Lackierkonzepte	28
3.3.1 Randbedingungen	28
3.3.2 Ökologische Ergebnisse	33
3.3.3 Ökonomische Ergebnisse	36

4	LACKIERTECHNIK	36
4.1	Grundlegende Maßnahmen zur Optimierung	37
4.2	Anspruchsvolle Maßnahmen zur Optimierung	38
4.3	Besonderheiten der Kunststoffteilelackierung	40
4.4	Inhalte der 31. BImSchV und Handlungsoptionen	40
5	FAZIT	42
6	AUSBLICK	43
	LITERATUR	44
	GLOSSAR	47
	ANHANG	49
A1	Treibhauseffekt	49
A2	Photochemisches Oxidantienbildungspotenzial	49

1 Einführung

Das UN ECE-Protokoll hat neben der Bekämpfung von Versauerung und Eutrophierung auch die Verminderung von bodennahem Ozon zum Ziel [UN ECE, 1999]. Zentrale Regelung ist die Festlegung von nationalen Emissionsobergrenzen für jeden Staat. Deutschland hat für VOC eine Emissionsreduzierung von 69 % bis zum Jahr 2010 gegenüber 1990 zugesagt [Hackmack, 2002] (vgl. auch Bild 5).

Mit der EG-Lösemittelrichtlinie (1999/13/EG) und der Umsetzung in nationales Recht (31. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz) wird nun das Ziel der Verringerung der VOC-Emissionen angegangen.

Als sehr energie- und emissionsintensive Branche ist die Lackierbranche direkt betroffen. In diesem Bericht werden die Auswirkungen dieser neuen Anforderungen auf die Lackierbranche und mögliche Handlungsoptionen beispielhaft diskutiert.

1.1 Ökologische Relevanz der Lackierbranche

Aufgrund der gesetzlichen Rahmenbedingungen und des eigenverantwortlichen Handelns der Industrie haben sich die NMVOC* Emissionen seit 1988 bereits deutlich reduziert (vgl. Bild 5). Die Lackverarbeitung ist im Vergleich zur Klebstoffverarbeitung und Druckindustrie der Hauptemittent für NMVOC. Die gesteckten Ziele liegen in einer weiteren Halbierung der VOC-Emissionen bis zum Jahre 2010. Durch die Umsetzung der EG-Lösemittelrichtlinie in nationales Recht, (die 31. BImSchV ist am 25. August 2001 in Kraft getreten; dabei wurden in Deutschland einige Verschärfungen

vorgenommen) wird eine deutliche Reduzierung der VOC-Emissionen innerhalb von 6 Jahren bis spätestens 2007 angestrebt.

Die Umsetzung der 31. BImSchV wird in den nächsten Jahren insbesondere für viele klein- und mittelständische Betriebe notwendig sein, für die bislang keine vergleichbar strengen Umweltvorgaben bestanden. Dies sind ca. 99 % der Lackierbetriebe (inklusive Handwerker und Heimwerker) mit ca. 80 % der lackbedingten Lösemittellemissionen [May, 1997]. Die Zahlen machen deutlich, dass eine deutliche Reduzierung der Lösemittellemissionen nur erreicht werden kann, wenn im kleinen und mittelständischen Bereich Maßnahmen durchgeführt werden. Das ist das Ziel der EG-Lösemittelrichtlinie.

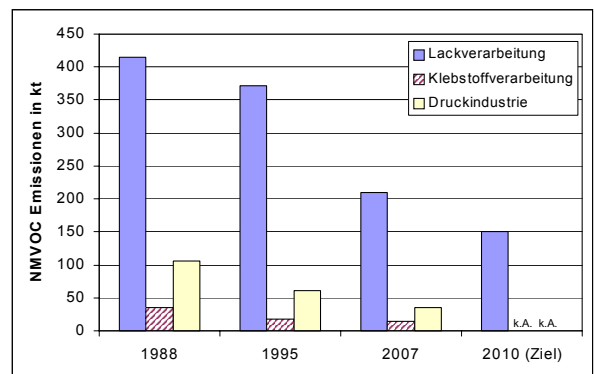


Bild 5: Zukünftige Entwicklung der NMVOC-Emissionen im Bereich Lösemittelverwendung in Deutschland, [VC], (k.A. = keine Angaben vorhanden)

Die Handlungsoptionen für kleine und mittelständische Betriebe werden in diesem Bericht in Kapitel 3.1.4 diskutiert. Weitere Hinweise zur Umsetzung der Lösemittelverordnung gibt es beispielsweise in einer Veröffentlichung des Umweltbundesamtes [Hackmack, 2002].

* NMVOC: VOC-Emission ohne Methan

1.2 Ökonomische Relevanz der Lackierbranche

Die ökonomische Relevanz der Lackierbranche lässt sich anhand einiger Zahlen zusammenfassen:

- Im Jahre 2000 wurden in Deutschland ca. 2,1 Mio. Tonnen Lacke und Farben im Wert von ca. 4,7 Milliarden Euro hergestellt [*Deutsches Lackinstitut, 2001*].
- Die volkswirtschaftliche Bedeutung der Lack- und Farbenherstellung geht weit über den Materialwert hinaus, denn durch Korrosionsschutz werden Produkte langlebig. Viele Milliarden können durch diese Werterhaltung eingespart werden.
- Verluste im Wertschöpfungsprozess Lackieren entstehen durch Lackoverspray und den damit verbundenen Verwertungs- bzw. Entsorgungsprozess, durch Abluftreinigungsmaßnahmen und durch Qualitätsprobleme (Beschichtungsfehler, Haftungsprobleme, usw.). Diese Verluste liegen in der Größenordnung von mehreren Milliarden Euro.

1.3 Zielsetzung und Vorgehensweise

Das primäre Ziel des durchgeführten Projekts bei der Firma Ritzi + Thieme war der Nachweis, dass mit Hilfe eines betrieblichen Energie- und Stoffstrommanagements (ESSM) wesentliche betriebliche Fragestellungen (z.B. Schwachstellenanalysen, Bewertung von Neuinvestitionen, usw.) umfassend und zielführend bearbeitet werden können.

Eine aktuelle und in vielen Fällen existenzentscheidende Fragestellung der Lackierbranche ist die neue 31. BImSchV (vgl. Kapitel 4.4). Die Umsetzung dieser Richtlinie bedeutet für viele klein- und

mittelständische Betriebe der Lackierbranche, dass zum einen die Verwendung der Lösemittel in Form einer Lösemittelbilanz zu dokumentieren ist, und zum anderen, dass die emittierten Lösemittel stufenweise bis Ende November 2007 deutlich zu reduzieren sind.

In enger Zusammenarbeit mit der Firma Ritzi + Thieme war es möglich, beispielhaft und praxisbezogen die Auswirkungen der VOC-Richtlinie für mittelständische Unternehmen darzustellen. Die gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnisse können auf andere Betriebe der Lackierbranche übertragen werden. Somit erhält dieser Bericht den Charakter eines Leitfadens.

Folgende Ziele wurden mit dem durchgeführten Projekt verfolgt:

- Entwicklung einer Vorgehensweise auf Basis des Energie- und Stoffstrommanagements zur Ermittlung wichtiger ökonomischer und ökologischer betrieblicher Kennzahlen (z.B. Kostentreiber, Lösemittelbilanz, usw.) zur betrieblichen Schwachstellenanalyse bzw. Bewertung von Neuinvestitionen.
- Darstellung der Auswirkungen der 31. BImSchV auf einen betroffenen Betrieb der Lackierbranche und der möglichen Handlungsoptionen.
- Ableitung von Handlungsoptionen für die gesamte Lackierbranche aufgrund des untersuchten Beispiels.
- Möglichkeiten der betrieblichen Unterstützung durch ein Energie- und Stoffstrommanagement.

Die methodische Vorgehensweise zur ökologischen und ökonomischen Betriebsanalyse wird in Kapitel 2.1, und die Inhalte der 31. BImSchV werden in Kapitel 4.4 beschrieben. Die Vorgehensweise wird im Anschluss (vgl. Kapitel 3) anhand eines

Referenzbetriebs ausführlich dargestellt. Zuerst wird eine betriebliche IST-Analyse erstellt, welche die Optimierungspotenziale und Notwendigkeiten bzgl. der 31.BImSchV aufzeigt. Daran schließen sich die Aufstellung von Handlungsoptionen und deren Bewertung an.

Im Anschluss daran werden für die Lackierbranche Maßnahmen zur Optimierung von Lackierprozessen zusammengefasst und auf Besonderheiten der Kunststofflackierung eingegangen (Kapitel 4).

2 Energie- und Stoffstrommanagement

Betriebliches Energie- und Stoffstrommanagement (ESSM) ist eine umfassende Betrachtungsweise, die sowohl ökonomische Ziele in Form einer verbesserten Material- oder Energieeffizienz als auch ökologische Zielsetzungen in Form verringerter Umweltauswirkungen im Blick hat. ESSM beschränkt sich in der Regel auf die Stoffflüsse innerhalb der Standortgrenzen. Eine Übersicht zu methodischen Ansätzen des ESSM, Anwendungsbeispielen und Beratern findet sich einer von der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) veröffentlichten Marktstudie [LfU, 2000].

2.1 Energie- und Stoffstromanalyse

Damit Betriebsanalysen zum Erfolg führen, müssen sie systematisch und strukturiert durchgeführt werden. Die Vorgehensweise muss einfach nachvollziehbar und umsetzbar sein, um auch bei klein- und mittelständischen Betrieben Anwendung zu finden.

Zu Beginn einer Betriebsanalyse wird, vergleichbar zum Vorgehen der Ökobilanz (ISO 14040), das Ziel, der Umfang (u.a. Systemgrenzen der Analyse) und die Bezugsgröße der Betriebsbilanz (funktionelle Einheit) festgelegt. Damit kann die Datenaufnahme und -auswertung systematisch durchgeführt werden.

Das Ziel für den betrachteten Referenzbetrieb war es, sämtliche Energie- und Stoffströme der Kunststoffteilelackierung für das Jahr 2001 zu erheben und auf ein gemittelttes Teil umzurechnen. Damit waren Aussagen zu betrieblichen Schwachstellen möglich. Mit Hilfe der Lösemittelbilanz als Teilergebnis der Stoffstromanalyse kann der Handlungsbedarf bzgl. der 31. BImSchV ermittelt werden.

Die Energie- und Stoffstromanalyse geht prozessweise nach den einzelnen betrieblichen Fertigungsschritten vor. Sie ermittelt für jede Prozessstufe den Input bzw. Output (vgl. Bild 6). Parallel dazu kann hier bereits Vorarbeit für die Kostenrechnung geleistet werden, d.h. Aufnahme von Investitionskosten und Personalbedarf für die Prozessstufen.

Im Vergleich zu einer klassischen Betriebsbilanz, wie sie für den betrieblichen Jahresabschluss oder für EMAS* erstellt wird, können mit der detaillierten prozessbezogenen Vorgehensweise systematische Aussagen über betriebliche Stärken und Schwächen gemacht werden.

Tabelle 1 zeigt, wie eine betriebliche Auswertung des Strombedarfs durchgeführt werden kann. Damit werden sofort die elektrischen Hauptverbraucher sicht-

* EMAS steht für die englische Bezeichnung des europäischen Umwelt-Audit-Systems „Eco-Management and Audit Scheme“

bar. Diese Vorgehensweise kann auch angewendet werden, wenn z.B. nur der Jahresverbrauch einer Halle gemessen wird. Durch die Auflistung aller Verbraucher, d.h. der installierten Leistungen aller

Aggregate, kann über eine Abschätzung der Laufzeit, der Produktionstage und der Auslastung die Stromverbrauchsverteilung ermittelt werden.

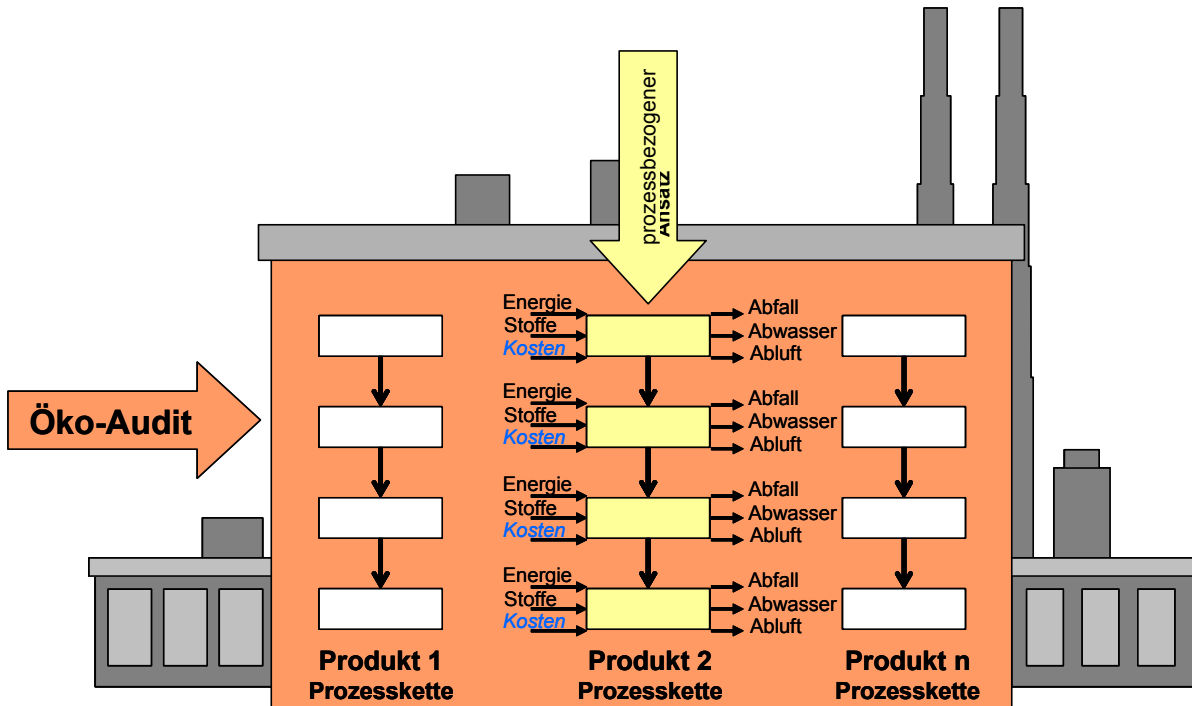


Bild 6: Prozessbezogene Vorgehensweise bei der Betriebsanalyse

Tabelle 1: Beispiel einer betrieblichen Auswertung des Strombedarfs

	Install. Leistung	Anzahl	Auslastung	Laufzeit	Produktion	Verbrauch
	kW	Stk.	%	h/d	d/a	kWh/a
Bereich Grundierung						
Spritzkabine (Absaugventilator)	2,50	1	75	16	250	7.500
Spritzkabine (Umwälzpumpe für Wasserwand)	1,50	1	75	16	250	4.500
Antrieb für Fördertechnik	0,37	1	75	10	250	694
Beleuchtung	0,06	52	100	17	250	13.260
Bereich Lackierung						
Spritzkabinen Typ A (Absaugventilator, 6.000 Nm ³ /h)	2,50	5	75	12	250	28.125
Spritzkabinen Typ A (Umwälzpumpe für Wasserwand)	1,50	5	75	12	250	16.875
Spritzkabinen Typ B (Absaugventilator, 10.000 Nm ³ /h)	3,60	2	75	12	250	16.200
Spritzkabinen Typ B (Umwälzpumpe für Wasserwand)	3,30	2	75	12	250	14.850
Bereich Trocknung						
elektrische Aggregate (Durchlauftrockner)	6,80	1	75	10	250	12.750
elektrische Aggregate (Kammertrockner)	5,50	2	75	10	250	20.625
elektrische Aggregate (Kammertrockner)	0,55	1	75	10	250	1.031
Bereich Lackierhalle						
Hallenzuluftanlage (Ventilatoren, 36.000 Nm ³ /h)	18,50	1	75	18	250	62.438
Hallenzuluftanlage (Ventilatoren, 20.000 Nm ³ /h)	6,60	1	75	8	250	9.900
Beleuchtung	0,06	170	100	17	250	43.350

2.2 Ermittlung von betrieblichen Kennzahlen

Betriebliche Kennzahlen ermöglichen der Unternehmensführung ein effektives Controlling. Neben betriebswirtschaftlichen Steuergrößen (z.B. Umsatz pro Mitarbeiter, usw.) können bestehende Kennzahlensysteme um Umweltkennzahlen erweitert werden.

Hierzu wurde vom VDI ein Leitfaden zum allgemeinen Vorgehen veröffentlicht [VDI 4050].

Bei der Einführung von Kennzahlensystemen ist darauf zu achten, dass die Anzahl der Kennzahlen dem jeweiligen Unternehmen angepasst ist, um einen optimalen Nutzen zwischen Anwendung und

Pflege (Aktualisierung) der Kennzahlen zu erhalten.

Der Nutzen einer umweltorientierten Unternehmensführung mit Hilfe von Kennzahlen lässt sich für Betriebe an drei Zielen messen [VDI 4050]:

1. Kostenminimierung, z.B. Aufdecken und Nutzung von Einsparpotenzialen
2. Risikominimierung, z.B. Schaffung von Rechtssicherheit (→ Aufstellung einer Lösemittelbilanz)

3. Imagegewinn, z.B. gutes Ansehen bei Kunden, Lieferanten, Behörden, usw.

Für Betriebe der Lackierbranche ist in Tabelle 2 ein Vorschlag für betriebliche Kennzahlen zusammengestellt, um Lackierprozesse effizient ökonomisch und ökologisch zu kontrollieren.

Tabelle 2: Ermittlung wichtiger betrieblicher Kennzahlen

Kostenart	Zu ermittelnde Kennzahl	Vorgehensweise
	<ul style="list-style-type: none"> • Durchsatzleistung 	Lackierte Flächen am Produkt, Produktionsleistung
Investition *	<ul style="list-style-type: none"> • Gesamtsumme 	Auflistung und Addition
Material	<ul style="list-style-type: none"> • Materialbedarf • Insbesondere Lackbedarf und Auftragswirkungsgrad • Lösemittelbilanz 	<p>Auflistung und Addition</p> <p>Wiegen der Teile und des Lacks vor und nach dem Auftrag</p> <p>Erfassung der Lösemittel und Emissionspfade</p>
Personal	<ul style="list-style-type: none"> • Personalbedarf und Qualifikation 	Auflistung und Zuordnung zu Anlagen
Energie (Strom, Wärme)	<ul style="list-style-type: none"> • Installierte Leistung • Verbrauch 	Auflistung und Addition
Entsorgung	<ul style="list-style-type: none"> • Abfallaufkommen 	Auflistung und Addition

* Wartung/Instandhaltung wird prozentual von den Investitionen abgeschätzt

Anmerkungen zu den Kennzahlen (vgl. Tabelle 2):

Kennzahl Durchsatzleistung: Lackierte Flächen in m² oder lackierte Teile in Stk. unter Angabe der Teileoberfläche; dient als Bezugsgröße für die Kostenrechnung (z.B. Ermittlung des Teilepreises); hilft zur Bewertung einer Anlagenauslastung.

Kennzahl Gesamtsumme der Investitionen: Notwendig zur Bewertung der Abschreibung von bestehenden bzw.

Neuanlagen, wird durch Auflistung der Preise der Anlagenkomponenten ermittelt.

Kennzahl Lackbedarf: Benötigte Lackmenge pro m² beschichtete Fläche; kann durch Wiegen der eingesetzten Lackmenge ermittelt werden (wird in Tabelle 3 und Bild 7 noch genauer erläutert).

Kennzahl Auftragswirkungsgrad: Prozentualer Anteil der Lackmenge, die durch das Applikationsverfahren auf das zu lackierende Werkstück gelangt; restli-

cher Anteil wird als Lackoverspray bezeichnet; kann durch Wiegen der Teile vor und nach dem Lackieren und aus der eingesetzten Lackmenge ermittelt werden (wird in Tabelle 3 und Bild 7 genauer erläutert).

Kennzahl Lösemittelbilanz: Übersicht zur Menge der eingesetzten, recycelten und emittierten organischen Lösemittel (betriebliche Aufstellung im Rahmen der 31. BImSchV für anzeigepflichtige Betriebe erforderlich); dient zur Aufstellung von Handlungsoptionen zur Einhaltung der gesetzlichen Rahmenbedingungen.

Kennzahl Personal: Darstellung der eingesetzten Mitarbeiter und deren Qualifikation.

Kennzahl Energie: Darstellung der installierten Leistungen (Strom, Wärme, Dampf) und des Verbrauchs (→ Ermittlung eines Verbrauchsfaktors); (Ermittlung vgl. Tabelle 1).

Kennzahl Abfallaufkommen: Darstellung der unterschiedlichen Abfallmengen; Herstellung eines Bezugs zum eingesetzten Lackbedarf.

Mit den dargestellten Kennzahlen können die Herstellkosten (Lackierkosten) und die wesentlichen Umweltschutzaspekte einer Lackiererei überwacht werden.

Zur Verdeutlichung der beiden wichtigen Kennzahlen Lackbedarf und Auftragswirkungsgrad ist in Bild 7 exemplarisch ein typischer „Pfad“ für den Auftrag von Lackmaterial dargestellt. Von der eingekauften Lackmenge bleibt meist nur weniger als die Hälfte (hier 35 % → Auftragswirkungsgrad bzw. nur 17,5 % als Festkörper) auf dem Werkstück haften. Der Rest wird emittiert (VOCs) oder fällt als Lackschlamm an.

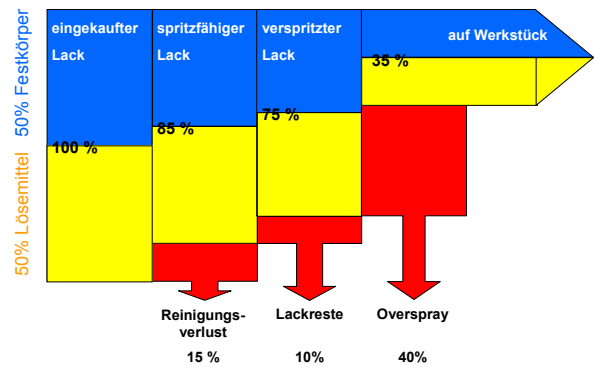


Bild 7: Betriebliche Kennzahl: Lackbedarf; Darstellung des Pfads in der Produktion

Der Lackbedarf und der Auftragswirkungsgrad werden von verschiedenen Faktoren beeinflusst, z.B. Teilegeometrie, Applikationstechnik, Teileaufhängung, Mehrschichtlackierung, Nacharbeit, Fertigkeit des Lackierers, usw.

Die ökonomischen Auswirkungen der Erhöhung des Lackauftragswirkungsgrads werden anhand des Beispiels aus Tabelle 3 deutlich. Für den Vergleich unterschiedlicher Lackauftragswirkungsgrade wird von einem konstanten Lackfestkörperanteil (hier: 50 %) und Lackfestkörperverbrauch (hier: 20 t/a) ausgegangen, d.h. die Produkte werden mit dem gleichen Lack und mit gleicher Schichtdicke, unabhängig von der Applikationstechnik beschichtet. Im Fall 1 (Lackauftragswirkungsgrad [LAWG]: 30 %) werden zur Beschichtung 133 t/a Lackmaterial benötigt, wobei 93 t/a Lackkoagulat mit 50 % Festkörperanteil als Abfall zur Verwertung anfallen. Mit einem Lackpreis von 6,00 €/kg und Verwertungskosten von 0,60 €/kg Lackkoagulat (Entsorgung auf einer Deponie ist nach der TA Siedlungsabfall nicht mehr möglich) entsteht ein jährlicher Wertverlust von ca. 0,6 Mio. €. In Fall 2 ist der Lackauftragswirkungsgrad um 10 %-Punkte erhöht. Dies wirkt sich deutlich auf den Lackverbrauch und den Koagulanfall aus, d.h. Reduzierung um jeweils 33 t/a. Durch diese Maßnahme kann der Wertverlust um ca. 0,4 Mio. €

verringert werden. In Fall 3 und 4 wird der Lackauftragswirkungsgrad nochmals um je 10 %-Punkte gesteigert. Hierdurch sind weitere Kostensenkpotenziale (132.000 €/a bzw. 88.000 €/a) zu erschließen.

Aufgrund der großen Einsparpotenziale kann sich die Umstellung auf eine effizientere Applikationstechnik schnell amortisieren.

Tabelle 3: Beispiel Erhöhung des Lackauftragswirkungsgrads (LAWG)

Bezeichnung	Einheit	Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4
Lackverbrauch	t/a	133	100	80	67
Lackfestkörper	%	50	50	50	50
Lackauftragswirkungsgrad	%	30	40	50	60
Lackfestkörper auf Produkt	t/a	20	20	20	20
Lackkoagulat (50% Festkörper)	t/a	93	60	40	27
Ökonomische Randbedingungen					
Lackpreis	€/kg	6,00	6,00	6,00	6,00
Verwertungskosten	€/kg	0,60	0,60	0,60	0,60
Wertverlust					
Lackeinkauf	€/a	560.000	360.000	240.000	160.000
Lackkoagulatverwertung	€/a	56.000	36.000	24.000	16.000
gesamter Wertverlust	€/a	616.000	396.000	264.000	176.000
<i>Kostendifferenz</i>	<i>€/a pro 10% LAWG Erhöhung</i>		<i>220.000</i>	<i>132.000</i>	<i>88.000</i>

2.3 Ökobilanz

Die Ökobilanz ist eine international standardisierte Vorgehensweise, welche die Energie- und Stoffströme von Produkten über den gesamten Lebenszyklus (d.h. Ressourcenabbau, Herstellung, Nutzungsphase, Recycling, Entsorgung) betrachtet. Die Ökobilanz unterteilt sich in die Schritte

- Festlegung des Zieles und des Untersuchungsrahmens,

- Sachbilanz,
- Wirkungsabschätzung und
- Auswertung (Interpretation) als Verbindung der einzelnen Schritte.

Das Vorgehen der Ökobilanz stellt eine Erweiterung des anfangs definierten Energie- und Stoffstrommanagements dar. Energie- und Stoffströme werden über die Bilanzgrenze Betrieb hinweg zurück- bzw. weiterverfolgt.

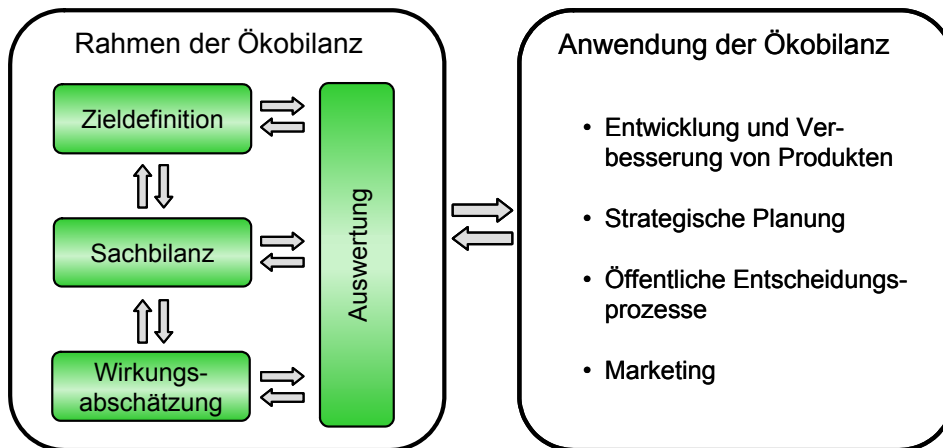


Bild 8: Ökobilanz (ISO 14040 ff.)

Mit Hilfe der ökobilanziellen Betrachtung sind zusätzliche Aussagen über die ökologische Leistungsfähigkeit von Technologien möglich. Dies lässt sich anhand des folgenden Beispiels darstellen.

Es werden eine bestehende Lackieranlage für Kunststoffteile (IST) mit lösemittelbasierten Lacksystemen sowie zwei alternative Szenarien betrachtet. Szenario 1 (IST mit TAR) beschreibt die Integration einer thermischen Abluftreinigungsanlage (Adsorptionstechnik), die die gemäß der neuen 31. BImSchV geforderte Reduzierung der Lösemittellemissionen realisiert. Szenario 2 (SOLL) beschreibt die Umstellung (hier: Neubau) der Lackieranlage auf Wasserlacktechnologie. Dadurch ist die Einhaltung der 31. BImSchV ohne weitere Maßnahmen möglich.

Die drei Varianten werden jetzt auf betrieblicher Ebene (vgl. Bild 10) und aus Sicht der Ökobilanz (vgl. Bild 11) mit den in Bild 9 markierten Systemgrenzen verglichen. Die Systemgrenzen wurden reduziert (Ausklammerung der Nutzung und Entsorgung der lackierten Teile), da im dargestellten Fall keine signifikanten Unterschiede in den Szenarien zu erwarten waren.

Bild 10 zeigt, dass auf betrieblicher Ebene der Energiebedarf der bestehenden Lackieranlage (IST) mit lösemittelbasierten

Lacksystemen ähnlich groß ist wie bei einer neuen Anlage mit Wasserlacken. Die ökologische Gesamtbetrachtung (Bild 11), d.h. Integration der Materialherstellung (Lacksysteme, Lösemittel), zeigt aber, dass die Wasserlacke für die gleiche Beschichtung ökologisch günstiger herzustellen sind. Damit ändert sich die Aussage von betrieblicher Sichtweise zur ökobilanziellen Betrachtung. Die Integration einer Abluftreinigungsanlage (IST mit TAR) führt auch bei dieser Betrachtung zu einem deutlich ungünstigeren Ergebnis.

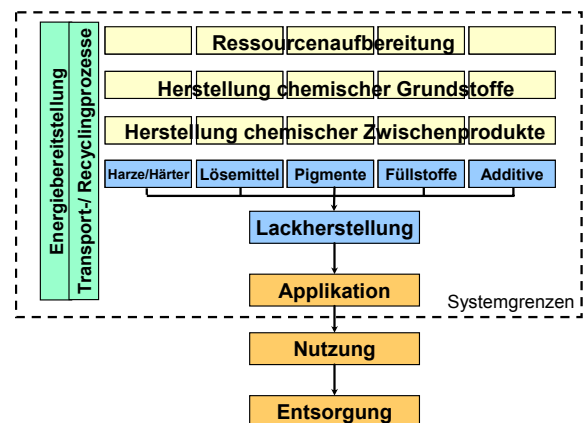


Bild 9: Systemgrenzen der ökologischen Untersuchung von Lackierprozessen

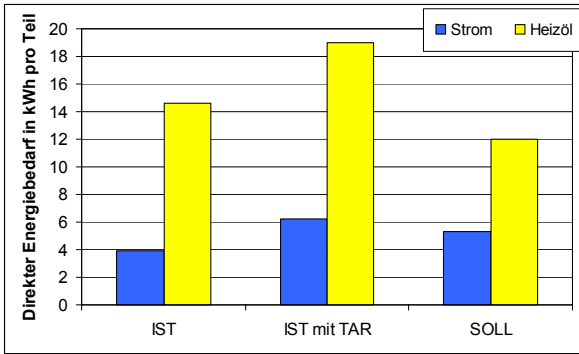


Bild 10: Direkter Energiebedarf einer Lackieranlage

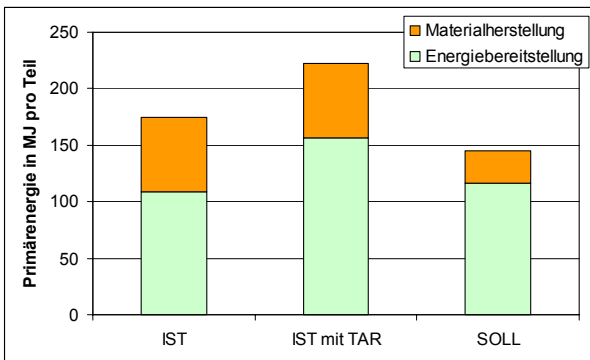


Bild 11: Ökobilanzielle Betrachtung gemäß der Systemgrenzen von Bild 9: Parameter Primärenergiebedarf

2.4 Integration einer verursachungsgerechten Kostenrechnung

Die prozessbezogene Vorgehensweise (vgl. Kapitel 2.1) zur Aufnahme der

Energie- und Stoffströme ermöglicht es, auch die Kostenrechnung in gleicher Weise aufzubauen. Das Vorgehen unterscheidet sich von der betriebswirtschaftlichen Firmenbilanz, bei der Kosten oftmals aggregiert in Kostenstellen (z.B. Gesamtbedarf an Strom) zusammengefasst werden.

Die prozessbezogene Kostenrechnung ermittelt für jeden definierten Produktionsschritt (vgl. Bild 6) die Inputs und Outputs an Energie und Material, den Personalbedarf und die Personalqualifikation sowie den Investitionsbedarf und mögliche Wartungs- bzw. Instandhaltungsaufwendungen (vgl. innere Systemgrenze in Bild 12). Damit sind alle für die Herstellkostenrechnung relevanten Angaben vorhanden. Durch Multiplikation der Prozessinformationen mit den Preisen für Personal, Material, usw., können die Herstellkosten ermittelt werden (vgl. äußere Systemgrenze in Bild 12). Die Kosten sind dadurch direkt dem verursachten Prozessschritt zugeordnet. Somit kann diese Art der Kostenrechnung als verursachungsgerecht bezeichnet werden.

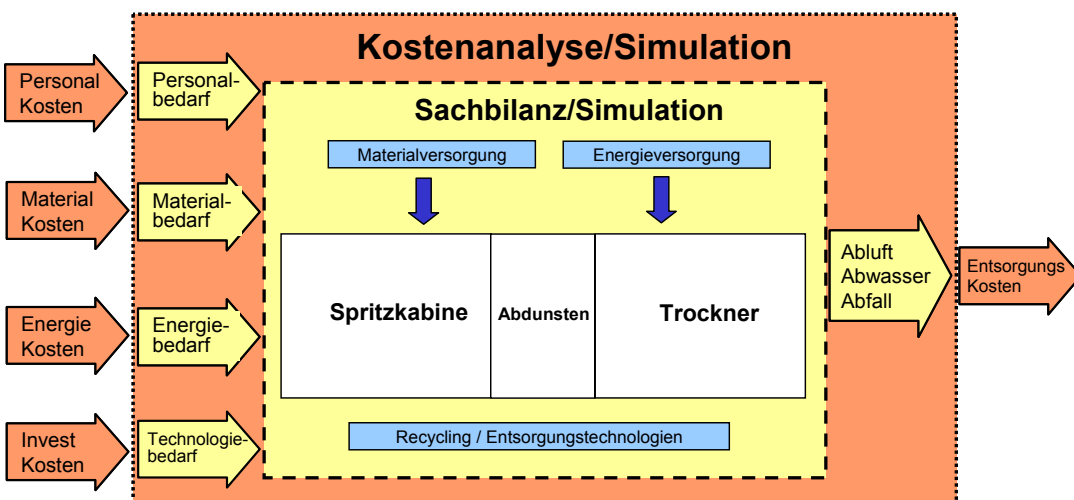


Bild 12: Integration einer verursachungsgerechten Kostenrechnung

2.5 Vorbereitung von Neuinvestitionen

Die Erfahrung zeigt, dass vor allem in klein- und mittelständischen Betrieben die Vorbereitung einer Investitionsentscheidung optimiert werden kann. Mit detaillierteren Untersuchungen in der Vorbereitungsphase einer Investition und einer daraus resultierenden optimierten Anlagenkonzeption können die Gesamtinvestitionskosten und die laufenden Betriebskosten reduziert werden.

Oftmals werden Aufträge nur nach Angebotspreis vergeben und schon im Laufe des Anlagenaufbaus bzw. der ersten Produktionsmonate werden Umbauten

notwendig (vgl. Bild 13, bisheriger Ablauf). Dieser Ablauf kann dadurch optimiert werden, dass zum einen eine systematische Technologieübersicht durchgeführt wird und zum anderen Erfolg versprechende Technologiealternativen vor Auftragsvergabe umfassend nach Stärken und Schwächen untersucht werden. Damit können teurere Betriebskosten und Anlagenumbauten nach Produktionsstart vermieden werden. Der Aufwand vor Auftragsvergabe erhöht sich zwar, stellt aber kostenmäßig die deutlich günstigere Option dar als Anlagenumbauten oder erhöhte Betriebskosten aufgrund einer nicht optimal angepassten Lackieranlage.

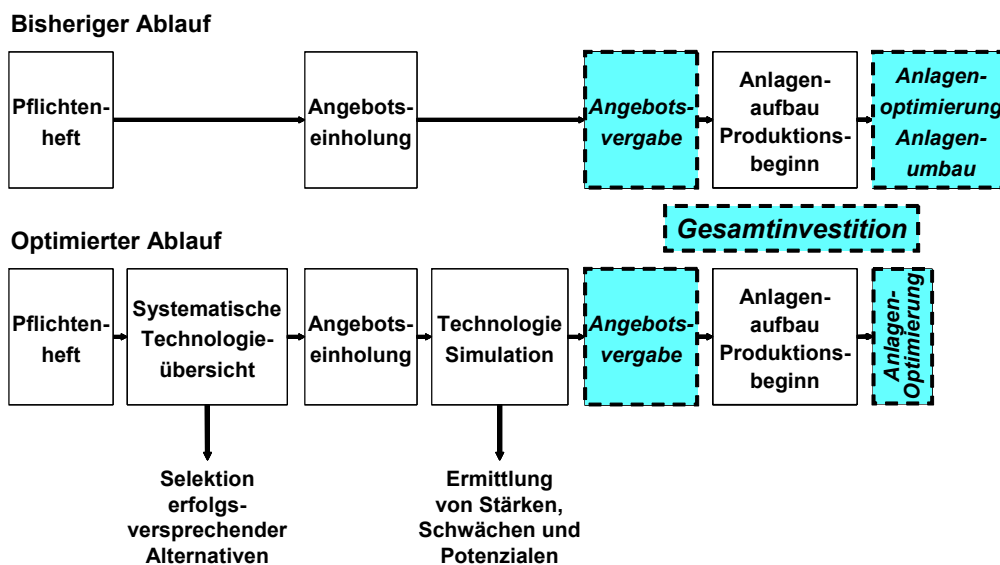


Bild 13: Vergleich von Abläufen zur Vorbereitung von Investitionsentscheidungen

Die Vorgehensweise zur Beurteilung von Technologiealternativen für den Referenzbetrieb (vgl. Kapitel 3) ist in Bild 14 dargestellt. Die aktuelle betriebliche Situation (IST-Stand) wird in gleicher Weise modellhaft betrachtet wie die Technologiealter-

nativen (SOLL-Stand). Dadurch können mit Hilfe der Simulation Stärken und Schwächen in einem IST-SOLL Vergleich der Technologiealternativen ermittelt werden.

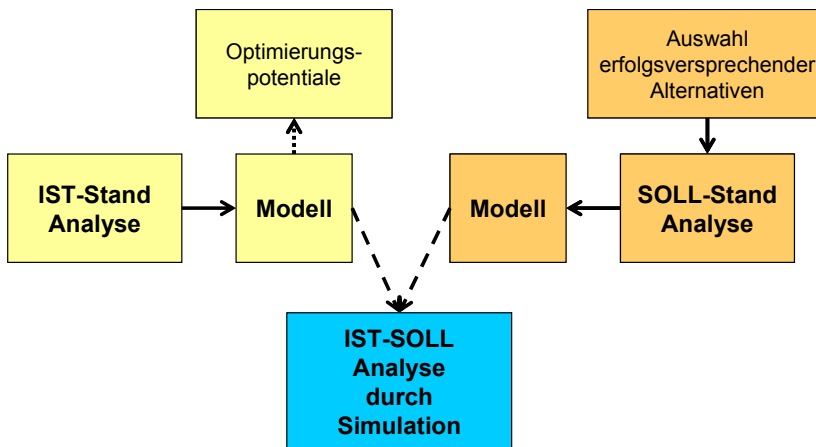


Bild 14: Methodisches Vorgehen für betriebliche IST-SOLL Vergleiche

3 Betriebsanalyse einer Kunststofflackierung

Die Betriebsanalyse wurde bei der Firma Ritzi + Thieme, im Zeitraum Mai bis Oktober 2002 für das Kalenderjahr 2001 durchgeführt. Die Firma lackiert Polyurethan-Kunststoffteile (Verkleidungen, Gehäuse, Funktionsteile, usw.) aus den Branchen Medizin- und Messtechnik, Maschinenbau, Schienen- und Nutzfahrzeuge. Die Kunststoffteile werden bei der Firma Thieme GmbH & Co. KG in Teningen spritzgegossen. Die Produktion bei der Firma Ritzi + Thieme umfasst jährlich ca. 150.000 Teile (Groß- und Kleinteile mit vielen unterschiedlichen Geometrien), die sich aus 350-400 verschiedenen Produkten zusammensetzen. Die Teile werden in kleinen Losgrößen in vielen verschiedenen Farben mit unterschiedlichen Oberflächenqualitäten lackiert.

3.1 Betriebsanalyse bei der Firma Ritzi und Thieme

Die Betriebsanalyse wurde gemäß der Beschreibung zu Bild 6 durchgeführt. Sie umfasst alle Produktionsschritte zur Lackierung der Kunststoffteile von der Anlieferung bis zum Versand nach der Endkontrolle der Teile. Die Datenaufnahme und –auswertung umfasste alle betriebli-

chen Energie- und Stoffströme, den Personalbedarf und die Investitionskosten.

3.1.1 Betriebliche Randbedingungen

Bild 15 zeigt den Produktionsablauf der Polyurethanteile-Lackierung. Die Anlieferung der zu lackierenden Teile erfolgt formfallend, d.h. sie werden nach dem Spritzguss Prozess nicht bearbeitet. Im ersten Prozessschritt bei Ritzi + Thieme werden die Teile manuell entgratet und geschliffen. Anschließend werden die Spritzguß bedingten Lunkerstellen gespachtelt und dann fertiggeschliffen. Jetzt wird der Leit- (nur im Innenbereich der Gehäuse) bzw. Decklack (zwei Mal wegen Struktureffekt) appliziert. Im Anschluss können Siebdruck- bzw. Montagearbeiten durchgeführt werden. Abschließend erfolgt die Endkontrolle mit eventueller Nacharbeit.

Der Produktionsablauf von Bild 15 ist in Bild 16 im Layout des Werks dargestellt. Die einzelnen Produktionsschritte werden in separaten Hallenteilen durchgeführt. Im Bereich der Grundierung werden die Teile über eine Förderkette automatisch transportiert.

Alle Lackierprozesse werden manuell ausgeführt. Die Decklacktrocknung findet

durch Lagerung auf Hordenwagen in der Halle statt.

Für 30 Kunststoffteile, die ca. 60 % des Jahresumsatzes ausmachen, wurde eine Analyse der Abmessungen, der Oberfläche (innen, außen), der Stückzahl, der Geometrie (3D einfach, 3D komplex) und der Lackierflächen (Grundierung, Leit-, Decklack) durchgeführt. Anschließend wurden die Ergebnisse auf das gesamte Teilespektrum hochgerechnet.

Bild 17 zeigt, dass die Stückzahl in den unterschiedlichen Oberflächenkategorien bis auf Großteile (über 2 m² Lackierfläche) fast gleichverteilt ist. Bei der lackierten Oberfläche dominiert die Teilegröße 1-2 m² Lackierfläche. (Bild 18)

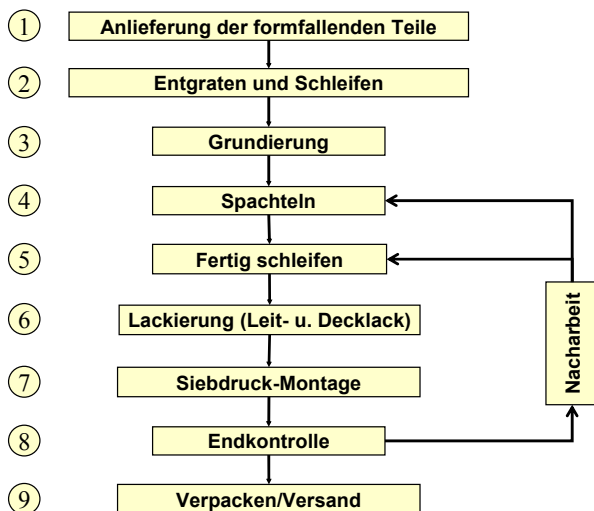


Bild 15: Produktionsablauf der Polyurethan-teile – Lackierung

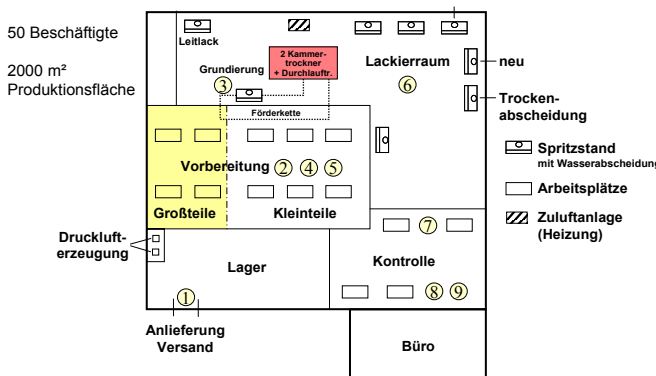


Bild 16: Layout des Werks Tuningen

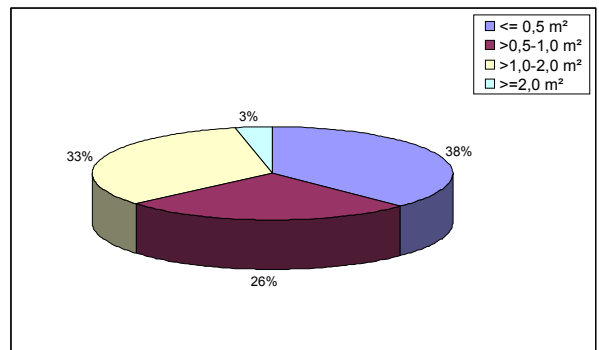


Bild 17: Auswertung des Lackierteile-spektrums: Verteilung der Stückzahl bezogen auf die Oberfläche der zu lackierenden Teile

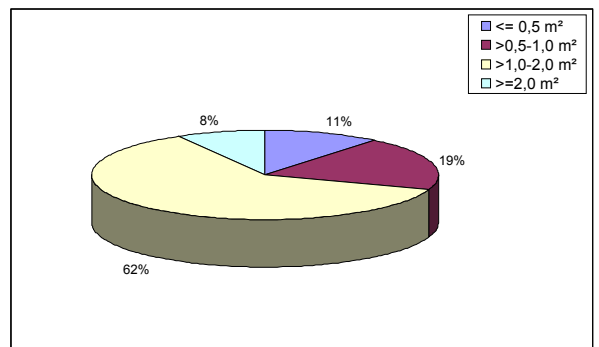


Bild 18: Auswertung des Lackierteilespektrums: Lackierte Oberfläche bezogen auf die Oberfläche der zu lackierenden Teile

3.1.2 Betriebliche Energie- und Stoffströme (Ökologische Ergebnisse)

Die LCS Life Cycle Simulation GmbH hat eine betriebliche Datenaufnahme (Strom-, Heizöl-, Druckluft-, Lack-, Hilfsmittel-, Personalbedarf, usw.) und –auswertung für alle relevanten Prozessschritte der Kunststoffteilelackierung gemäß der beschriebenen Vorgehensweise (vgl. Bild 6 und Bild 15) durchgeführt. Im Folgenden sind dazu die wesentlichen Energie- und Stoffströme für das Produktionsjahr 2001 zusammengestellt.

Die Auswertung zur Verteilung des Strombedarfs des Werks wurde, wie in Tabelle 1 dargestellt, durchgeführt. Der gesamte Strombedarf des Werks lag bei ca. 500.000 kWh/a. Die Hauptverbraucher waren der Lackierbereich, das Entgraten der Kleinteile (KT) und die Druckluffterzu-

gung (vgl. Bild 19). Der Anteil des Strombedarfs (Summe aller dargestellten Bereiche) für die Beleuchtung macht ca. 26 % aus.

Bild 21 splittet die Stromverteilung im Bereich der Lackierung auf. Hier haben die Spritzstände (Ventilatoren und Pumpen) und die Zuluftanlage (Ventilatoren) der Halle den größten Energiebedarf.

Der Heizölbedarf des Werks lag bei ca. 180.000 l/a und konnte nicht den Produktionsbereichen zugeordnet werden. Mit Hilfe einer thermodynamischen Simulationsrechnung konnte der Energiebedarf der Zuluftanlage (Hallenheizung) mit einem Softwaretool von LCS bestimmt werden (vgl. Bild 21). Die Verteilung des Energiebedarfs zwischen Büros (Warmwasser, Heizung) und Trockner konnte aus den Betriebsbedingungen des Trockners (Produktionszeiten, Temperaturniveau, Abluft, usw.) von LCS abgeschätzt werden.

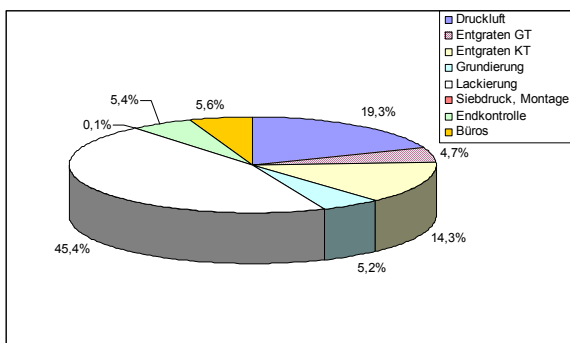


Bild 19: Auswertung Strombedarf 2001 (GT = Großteile, KT = Kleinteile)

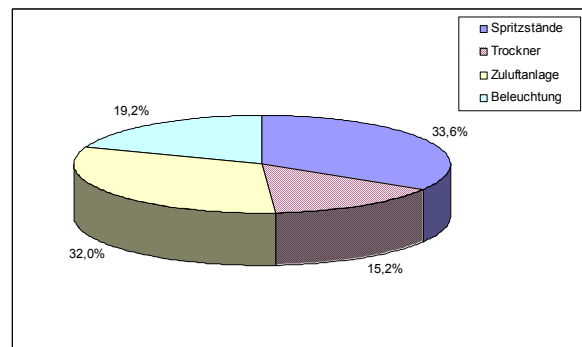


Bild 20: Auswertung Strombedarf 2001 (Bereich Lackierung)

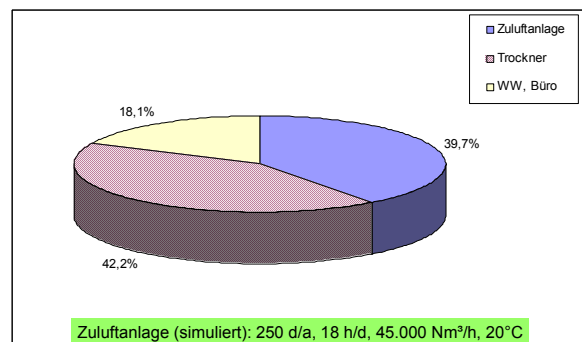


Bild 21: Auswertung Heizölbedarf 2001 (WW = Warmwasser)

In Tabelle 4 sind die wesentlichen Stoffströme der Kunststoffteilelackierung zusammengefasst. Der Lack- und Lösemittelverbrauch sowie das Abfallaufkommen sind Messwerte (erfasst über Rechnungen) für das Jahr 2001. Die Nacharbeit, die Spülverluste, der Auftragswirkungsgrad und die Schichtdicke sind mit Erfahrungswerten für Kunststofflackierprozesse abgeschätzt [Harsch, 2000]. Daraus ergibt sich dann die lackierte Fläche.

Tabelle 4: Lackverbrauch, Lösemittelverbrauch, Abfallaufkommen und Lösemittlemissionen

Lackverbrauch		Grundlack	Leitlack	Decklack
Lackierte Fläche (berechnet)	m ² /a	140.000	18.500	150.000
Dichte Lack [g/cm ³]	g/cm ³	1,60	1,40	1,20
Lackfestkörper (Einkauf)	%	65	45	65
Lösemittelanteil	%	35	55	35
Schichtdicke *	µm	25	50	50
Auftragswirkungsgrad *	%	35	50	30
Verbrauch	kg/a	24.600	5.800	46.200
Spülverluste *	%	10	10	20
Nacharbeit *	%	0	0	10
Gesamtverbrauch	kg/a	27.100	6.300	60.900
Lösemittelverbrauch zur Lackverdünnung				
Lackverdünnung	%	35	-	12
Lackverdünnung	kg/a	8.600	-	5.500
Gesamtverbrauch	kg/a	14.100		
Lösemittlemissionen (VOC) der Prozesse Lackapplikation, Trocknung und Koagulierung				
Prozesse	kg/a	18.100	3.500	26.800
gesamt	kg/a	48.400		
Abfallaufkommen (Lackkoagulat)				
Oversprayfestkörper	kg/a	12.000	1.554	30.600
Wasseranteil (geschätzt)	%	18,3	18,3	18,3
Koagulat	kg/a	14.700	1.900	37.400
gesamt	kg/a	54.000		

* mit Erfahrungswerten abgeschätzt

Die Lösemittlemissionen der Firma Ritzi + Thieme betragen im Jahr 2001 48,4 t. Die Lösemittelbilanz gemäß 31. BImSchV

ist in Bild 22 zu sehen. Sie wurde mit dem LCS Softwaretool „Lösemittelbilanz“ erstellt [LCS, 2002].

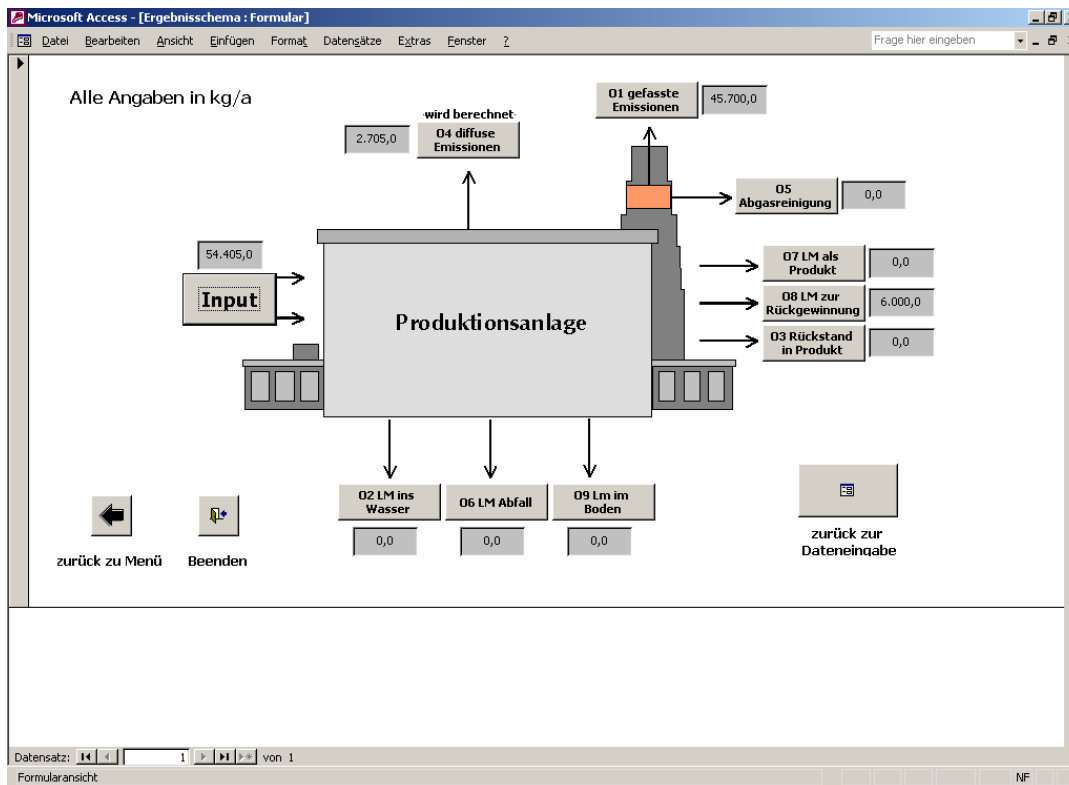


Bild 22: Lösemittelbilanz für die Firma Ritzi + Thieme im Jahr 2001, erstellt mit LCS Software *Lösemittelbilanz [LCS, 2002]*

Neben der ökologischen Betriebsbilanz wurde auch eine ökobilanzielle Betrachtung mit den Systemgrenzen von Bild 9 (Ressource bis lackiertes Teil) durchgeführt. Die Festlegungen und Grundlagen sind dazu in Tabelle 9 zusammengestellt. Sowohl für den Parameter Primärenergie als auch für das Treibhauspotenzial (GWP) dominiert der Einfluss der Energiebereitstellung mit 60-70 % am Gesamtergebnis. Bei der Wirkungskategorie POCP (bodennahes Ozon) ist der Anteil der Lösemittelermissionen im Betrieb mit über 90% sehr hoch. Aus diesem Grund setzt die 31. BImSch mit ihren Forderungen hier an.

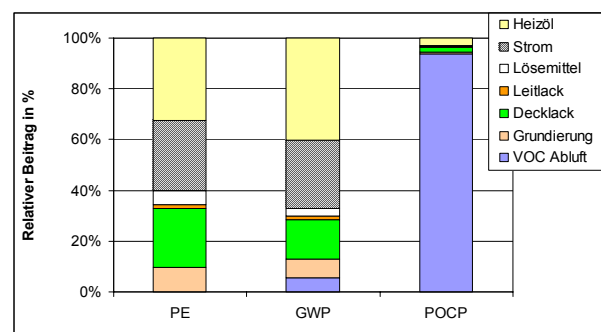


Bild 23: Ökologische Analyse, PE = Primärenergiebedarf; GWP = Treibhauspotenzial; POCP = Photochemisches Oxidantienbildungspotenzial Abschätzung der Lacksysteme gemäß Angaben aus technischen Datenblättern

3.1.3 Ökonomische Ergebnisse

Die betriebswirtschaftliche Bilanz (Herstellkosten der Kunststoffteilelackierung) der Firma Ritzi + Thieme für das Jahr 2001 ist in Bild 24 zusammengestellt. Diese wurde gemäß der beschriebenen verursachungsgerechten Kostenrechnung erstellt (vgl. Bild 12 in Kapitel 2.4). Aufgrund der aufwendigen manuellen Vorbereitungsprozesse zum Lackieren (Entgra-

ten, Schleifen, Spachteln) und dem manuellen Lackauftrag machen die Lohnkosten zwei Drittel der Herstellkosten aus. Die Materialkosten belaufen sich auf ca. 26 % der Herstellkosten. Investitions-, Energie- und Entsorgungskosten spielen nur eine untergeordnete Rolle.

Neben der Kostenübersicht wurde zusätzlich jede Kostenkategorie nach ihrer Wertschöpfung mit den angegebenen Annahmen abgeschätzt (vgl. Bild 25), d.h. ca. 30 % des Materialeinsatzes (entspricht dem Materialnutzungsgrad der Lackierung) sind wertschöpfend. Aufgrund der Vielzahl der manuellen Prozesse wurde die Wertschöpfung beim Personal auch mit 30% abgeschätzt. Das Ergebnis zeigt, dass ca. zwei Drittel der Herstellkosten als nicht wertschöpfend einzustufen sind. Dieses Ergebnis deckt sich auch mit Erfahrungen aus anderen Analysen von Lackierprozessen [Vüllers, 2002].

Durch detaillierte Prozessanalysen mit anschließender Aufstellung von Optimierungsmaßnahmen bzw. Alternativen, kann noch erhebliches Verbesserungspotenzial erschlossen werden.

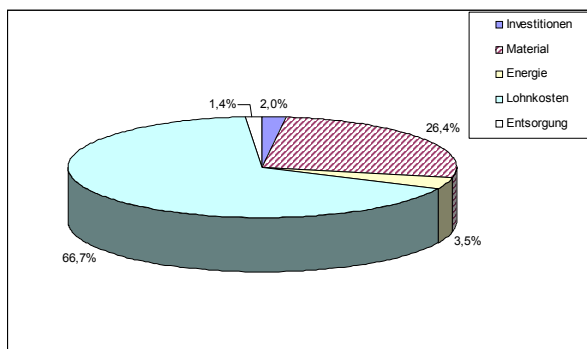


Bild 24: Kostenübersicht der Kunststoffteillackierung bei der Firma Ritzi + Thieme im Jahre 2001

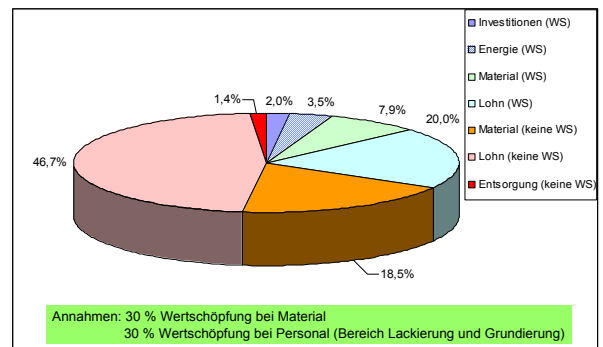


Bild 25: Abschätzung: wertschöpfende Prozesse bei der Kunststoffteillackierung (WS = Wertschöpfung)

3.1.4 Handlungsoptionen zur Einhaltung der 31. BImSchV

Bisher ist die Lackierung bei der Firma Ritzi + Thieme nicht immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftig, da der Grenzwert von 25 kg/h Lösemittelverbrauch (TA-Luft) nicht überschritten wird. Die Firma Ritzi + Thieme ist seit in Kraft treten der 31. BImSchV anzeigepflichtig, da sie den Schwellenwert für Lösemittelverbrauch von 5 t/a (Bereich 8 der Verordnung: Beschichten von sonstigen Metall- oder Kunststoffoberflächen) überschreitet. Daher müssen in Zukunft von der Firma Ritzi + Thieme Maßnahmen zur Verminderung der Lösemittlemissionen getroffen werden. In der 31. BImSchV gibt es zwei Möglichkeiten, die Minderung der Lösemittlemissionen zu erreichen [Hackmack, 2002]:

1. Einhaltung von Emissionsgrenzwerten für Abgase und für diffuse Emissionen oder Einhaltung von Gesamtemissionsgrenzwerten,
2. Anwendung und Einhaltung eines Reduzierungsplans

Möglichkeit 1 bedeutet den Einbau von Abluftreinigungssystemen für gasförmige Emissionen (z.B. Adsorptionsanlagen, Biofilter, Anlagen zur thermischen Nachverbrennung, usw.).

Möglichkeit 2 bietet zwei Alternativen, um die 31. BImSchV einzuhalten [*Hackmack, 2002*]:

- I. Vereinfachter Nachweis („vereinfachter Reduzierungsplan“): Anwendung, wenn nur Einsatzstoffe mit einem sehr niedrigen und definierten Lösemittelgehalt eingesetzt werden (kann nur bei nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen angewendet werden!). Für Bereich 8 (Kunststoffbeschichtung) gilt: Schwellenwertbereich: 5-15 t/a; ausschließlich Einsatz von Beschichtungsstoffen mit einem VOC-Wert ≤ 250 g/l sowie Reinigungsmittel mit einem Lösemittelgehalt von < 20 %.
- II. Spezifischer Reduzierungsplan (für Bereich 8 (Kunststoffbeschichtung) anwendbar): Im Mittelpunkt des spezifischen Reduzierungsplans steht die Zielemission, d.h. die maximal zulässige Emissionsfracht einer Anlage bzw. eines Betriebs. Zur Erreichung der Zielemission sieht die Verordnung abgestufte Anforderungen vor.

Die Anwendung des spezifischen Reduzierungsplans wird anhand der Lösemittelbilanz der Firma Ritzi + Thieme veranschaulicht. Anhand des Lackverbrauchs (hier: 108,7 t/a) und des mittleren Lösemittelgehalts der Lacksysteme lassen sich die jährlichen Mengen für Lösemittelverbrauch (hier: 48,4 t/a) und Feststoffverbrauch (hier: 60,3 t/a) bestimmen. Gemäß Anhang IV der 31. BImSchV ist nun die Bezugsemission (hier: 90,5 t/a) als

Multiplikation des Feststoffverbrauchs mit einem branchenspezifischen Multiplikationsfaktor (hier: 1,5 für Kunststoffbeschichtung) zu ermitteln. Die Zielemission (hier: 22,6 t/a) ergibt sich dann durch Bezugsemission multipliziert mit dem branchenspezifischen Prozentsatz (hier: $(20 + 5)$ % für Kunststoffbeschichtung mit Schwellenwert > 15 t/a). Damit ist für Firma Ritzi + Thieme ab dem 1. November 2005 eine maximal zulässige Gesamtemission an Lösemitteln von jährlich 33,9 t bzw. ab 1. November 2007 von 22,6 t zu erfüllen.

Prinzipiell lässt sich die Zielemission durch schrittweise Erhöhung des Festkörpergehalts der Lacksysteme erreichen. Phase 1 in Tabelle 5 zeigt, dass die Reduzierung des Lösemittelgehalts der Lacksysteme von 44,5 auf 36 % (Erhöhung des Festkörpergehalts von 55,5 auf 64 %) die Einhaltung der 31. BImSchV bis November 2007 ermöglicht. Ein mittlerer Lösemittelgehalt von 27,3 % (vgl. Phase 2 in Tabelle 5) würde die Einhaltung der Verordnung ab November 2007 gewährleisten. Allerdings stoßen solche hohen Festkörpermengen an technische Grenzen, d.h. die Applikation dieser festkörperreichen Lacksysteme wird schwierig und die zu erzielenden Qualitäten schlecht. Deshalb sind für die praxisgerechte Umsetzung eines Reduzierungsplans weitere Handlungsalternativen notwendig.

Tabelle 5: IST-Stand bei der Firma Ritzi + Thieme im Jahr 2001, Berechnung von zulässigen Gesamtemissionen an Lösemitteln

	Ritzi + Thieme IST-Stand	Phase 1	Phase 2
Branche	Kunststoff- beschichtung	Kunststoff- beschichtung	Kunststoff- beschichtung
Schwellenwert LM in t/a	> 15	> 15	> 15
Lack-Typ	lösemittelbasiert	lösemittelbasiert	lösemittelbasiert
Lackverbrauch in t/a	108,7	94,2	82,9
LM-Gehalt in %	44,5	36,0	27,3
LM Emissionen in t/a (VOC)	48,4	33,9	22,6
Feststoffverbrauch in t/a	60,3	60,3	60,3
Multiplikationsfaktor	1,5	1,5	1,5
Bezugsemission in t/a	90,5	90,5	90,5
Grenzwert für diffuse Emissionen in % (+5%)	25,0	25,0	25,0
Zielemission t/a	22,6	22,6	22,6
Maximal zulässige Gesamtemissionen (VOC)			
ab 01.11.2005 (Altanlagen)	33,9	33,9	33,9
ab 01.11.2007 (Altanlagen)	22,6	22,6	22,6

Die Einhaltung der 31. BImSchV kann unter Anwendung des spezifischen Reduzierungsplans von der Firma Ritzi + Thieme wie folgt stufenweise durchgeführt werden (vgl. Tabelle 6):

November 2005 bis November 2007:

- **Szenario 1:** Erhöhung des mittleren Festkörpergehalts der eingesetzten Lacksysteme von 55,5 auf 64 %, oder
- **Szenario 2:** Beibehaltung der bisherigen Lacksysteme und Einführung von

Wasserlacksystemen (Produktionsanteil: 40 %; Lösemittelgehalt: 10 %)

Ab November 2007:

- **Szenario 3:** Erhöhung des mittleren Festkörpergehalts der eingesetzten Lacksysteme von 55,5 auf 64 % und Einführung von Wasserlacksystemen (Produktionsanteil: 52 %; Lösemittelgehalt: 10 %)

Tabelle 6: Handlungsoptionen für Ritzi + Thieme zur Einhaltung der EG-Lösemittelrichtlinie

	IST-Stand	Szenario 1	Szenario 2 Aufsplittung		Szenario 3 Aufsplittung	
	LM Lack.	LM Lack Fk erhöht	Wasser- lack	LM Lack.	Wasser- lack	LM Lack. Fk erhöht
Lackmaterial gesamt in kg/a	108.700	94.263	48.263	65.220	62.742	45.246
			113.483		107.988	
Lösemittelgehalt in %	44,5	36,0	10,0	44,5	10,0	36,0
Festkörpergehalt in %	55,5	64,0	50,0	55,5	50,0	64,0
Lösemittelverbrauch in kg/a	48.372	33.935	4.826	29.023	6.274	16.289
			33.849		22.563	
Festkörperverbrauch in kg/a	60.329	60.329	24.131	36.197	31.371	28.958
			60.329		60.329	
Aufsplittung in %	-	-	40	60	52	48

LM Lack = konventioneller lösemittelbasierter Lack

LM-Lack Fk erhöht = konventioneller lösemittelbasierter Lack mit erhöhtem Festkörper

3.1.5 Fazit der betrieblichen IST-Analyse

Die dargestellten technischen und ökonomischen Ergebnisse ermöglichen folgende zusammenfassende Aussagen:

- Die bei Firma Ritzi + Thieme emittierten Lösemittelmengen überschreiten den Schwellenwert der 31. BImSchV. Damit sind bis spätestens November 2005 Maßnahmen zur Reduzierung der Lösemittlemissionen zu ergreifen. Handlungsoptionen für Firma Ritzi + Thieme sind aufgezeigt.
- Die Darstellung der Verteilung der Stromverbraucher und des Heizölbedarfs ermöglicht der Firma Ritzi + Thieme, weitere betriebliche Optimierungspotenziale zu erschließen (z.B. Überprüfung der Druckluftanlage, Reduzierung/Abschaltung der Absaugventilatoren der Spritzstände, wenn keine Lackapplikation erfolgt, usw.).
- Die Abschätzung des Lackauftragswirkungsgrads und die Darstellung der Lackverluste durch Overspray haben gezeigt, dass hier nach weiteren Optimierungsmaßnahmen zu suchen ist (z.B. Applikationstechnik, Prozessautomatisierung).
- Aufgrund der vielen manuellen Tätigkeiten machen die Personalkosten zwei Drittel der Herstellkosten aus. Hier sollten weitere Möglichkeiten der Prozessoptimierung bzw. –automatisierung ausgenutzt werden (z.B. Reduzierung von Vorbehandlungsschritten).
- Die Lacktrocknung auf Hordenwagen in der Halle benötigt viel Platz und Zeit. Hier sollten Maßnahmen zur schnellen Trocknung eingeführt werden.
- Die Nacharbeit im Decklackbereich wurde mit 10 % abgeschätzt. Hier

sollten nochmals die genauen Ursachen untersucht und anschließend Maßnahmen zur Reduzierung ergriffen werden.

Zusammenfassend hat die in Kapitel 2.1 beschriebene und hier angewandte Vorgehensweise gezeigt, dass Betriebe umfassend analysiert und Optimierungspotenziale dargestellt werden können. Aus dieser betrieblichen Analyse können einige erzielten Ergebnisse als Kennzahlen für das weitere Controlling technisch wie auch ökonomisch genutzt werden.

3.2 Aufstellung Erfolg versprechender Lackierkonzepte

Nach Abschluss der Betriebsanalyse wurden in Abstimmung mit Firma Ritzi + Thieme Erfolg versprechende Lackierkonzepte aufgestellt. Das allgemeine Anforderungsprofil der Firma Ritzi + Thieme für die neue Lackiertechnik sieht wie folgt aus:

- Neue Lackieranlage soll eine 20 %ige Produktionssteigerung ermöglichen.
- Die Wirtschaftlichkeit soll bei gleicher oder besserer Qualität erhöht werden.
- Die gesetzlichen Rahmenbedingungen (z.B. 31. BImSchV) sind mit der neuen Anlage zu erfüllen.
- Produktionskontrolle über ein Kennzahlensystem sollte bei der neuen Anlage eingeführt werden.

Eine Lackieranlage setzt sich aus verschiedenen Prozessstufen zusammen, bei denen unterschiedliche Materialien zum Einsatz kommen können (vgl. Bild 26). Im Folgenden werden einige mit Firma Ritzi + Thieme abgestimmten Alternativen beschrieben. Informationen zu den Alternativen sind im Anhang des Berichts zusammengestellt.

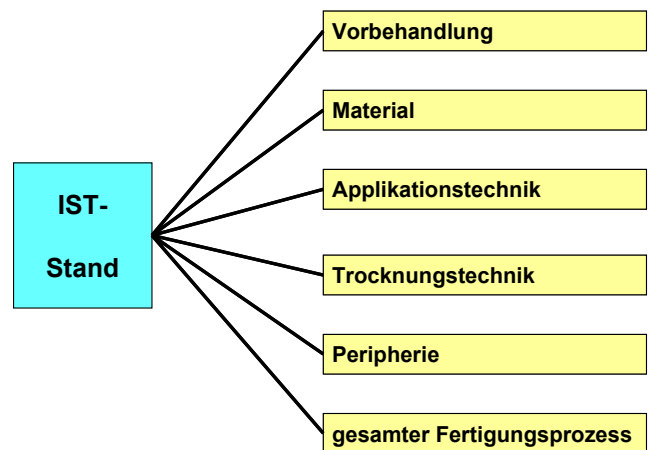


Bild 26: Möglichkeiten der Integration neuer Technologien im Bereich Lackiertechnik

Bereich Vorbehandlung:

Optimierungsansatz: Reduzierung der manuellen Vorbehandlung (Schleifen, Entgraten).

Erfolg versprechende Alternative: Plasmaanlage (wurde bereits vor diesem Projekt von Firma Ritzi + Thieme untersucht und wird im nächsten Jahr eingeführt).

Vorteile der Plasmabehandlung: Haftungsverbesserung der Lacksysteme, bessere Reproduzierbarkeit des Vorbehandlungsprozesses.

Bereich Material:

Optimierungsansatz: Reduzierung der Lösemittlemissionen.

Erfolg versprechende Alternative: Einführung von wasserbasierten Lacksystemen (nach Rücksprache von Ritzi + Thieme mit Lackherstellern möglich).

Vorteile von Wasserlacken: niedrigere Lösemittlemissionen, vergleichbare Qualitäten wie mit konventionellen Lacksystemen erzielbar.

Nachteile von Wasserlacken: die Vorbehandlung der Oberfläche muss besser sein, um Haftungsprobleme zu vermeiden; Handhabung und Anwendung muss sorg-

fältiger und unter definierten Bedingungen durchgeführt werden; Anlagentechnik ist gegen Korrosion zu schützen.

Bereich Applikationstechnik:

Optimierungsansatz: Verbesserung des Lacknutzungsgrades (d.h. Erhöhung des Lackauftragswirkungswirkungsgrads → Einsparung von Lackmaterial).

Erfolg versprechende Alternative: Einführung der Roboterapplikation.

Vorteile Roboterapplikation: Applikation wird immer gleich durchgeführt und kann somit zur Erhöhung des Auftragswirkungswirkungsgrads und der Produktionsleistung führen.

Nachteile Roboterapplikation: höhere Investitionskosten; Mindest-Losgrößen erforderlich, um wirtschaftlich beschichten zu können.

Erfolg versprechende Alternative für Bereich Grundierung: Einführung der Lack-in-Lack Spritzkabine.

Vorteile Lack-in-Lack Spritzkabine: Lackoverspray wird durch Lackmaterial, das in der Kabine (Wände, Boden) umgepumpt wird aufgefangen und kann wieder verwendet werden, d.h. es entstehen keine Lackverluste.

Nachteile Lack-in-Lack Spritzkabine: es kann nur ein Farbton pro Spritzkabine verarbeitet werden bzw. Spritzkabine muss bei Farbwechsel aufwendig gereinigt werden.

Bereich Trocknungstechnik:

Optimierungsansatz: Verkürzung der Trocknungszeit und Energieeinsparung durch forcierte Umlufttrocknung.

Erfolg versprechende Alternative: Trocknung mit trockener Luft.

Vorteile bei Trocknung mit trockener Luft: Reduzierung der Trocknungszeit bei Wasserlacken bzw. konventionellen Lacksys-

temen; geringerer Energiebedarf als bei thermischer Trocknung durch Umluftführung (z.B. 80°C für Kunststoffteile).

Eventueller Nachteil bei Trocknung mit trockener Luft: es ist zu prüfen ob Hohlräume bei komplexen Geometrien genügend getrocknet werden.

Erfolg versprechende Alternative: Mikrowellentrocknung von Wasserlacken auf Kunststoffen; erste Erfolg versprechende Versuche liegen vor [Harsch, 2002], eine marktreife Technologie (Lacksysteme und Anlagentechnik) muss aber noch entwickelt werden → Technologie wird deshalb im Folgenden nicht weiter betrachtet.

Erfolg versprechende Alternative: UV-Trocknung; nach Rücksprache von Firma Ritzi + Thieme mit Lackherstellern gibt es hierfür noch keine geeigneten UV-Lacksysteme → Technologie wird deshalb im Folgenden nicht weiter betrachtet.

3.3 Simulation Erfolg versprechender Lackierkonzepte

Für die vorgeschlagenen Erfolg versprechenden Alternativen wurde eine prozessbezogene Datenaufnahme durchgeführt. Die Vorgehensweise zur Simulation der Lackierkonzepte und zum Technologievergleich ist in Kapitel 2.5 (vgl. Bild 14) beschrieben. Im Folgenden sind dazu die Randbedingungen zusammengestellt.

3.3.1 Randbedingungen

Der Produktionsablauf für die neuen Erfolg versprechenden Lackierkonzepte wurde von der Firma Ritzi + Thieme umgestellt (vgl. Bild 27). Der Prozessschritt Schäumen und Entgraten wurde nach vorne verlagert und soll in Zukunft bereits bei Firma Thieme durchgeführt werden. Die Vorbehandlungsmaßnahmen (Vorbereitung zur Haftung) sollen durch eine

Plasmaanlage ausgeführt werden. Die restlichen Prozessschritte bleiben erhalten (vgl. auch Bild 15).

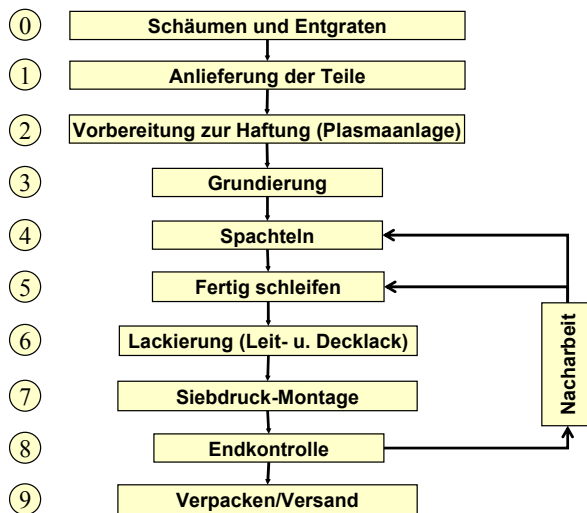


Bild 27: Neuer Produktionsablauf der Polyurethanteile-Lackierung

In Abstimmung mit der Firma Ritzi + Thieme wurden die Erfolg versprechenden Alternativen für zwei Konzeptvorschläge ökologisch und ökonomisch simuliert. Der Produktionsablauf ist mit den Nummern aus Bild 27 dargestellt. Die Vorschläge sind auf das Werk in Tuningen angepasst und beinhalten:

Konzeptvorschlag: Teilautomatisierung mit Handapplikation (TA) (vgl. Bild 28)

- Plasmaanlage zur Vorbehandlung.
- Eine Spritzkabine mit Handapplikation für Grundierung; Spritzkabine und Trockner über Kettenförderer verbunden.
- Zwei Spritzkabinen mit Handapplikation für Decklackierung (inkl. Leitlack); Spritzkabinen und Trockner über Kettenförderer verbunden.

Konzeptvorschlag: Vollautomatisierung mit Roboterapplikation (VA) (vgl. Bild 29)

- Plasmaanlage zur Vorbehandlung.
- Drei Spritzkabinen (auf vier erweiterbar) mit Roboterapplikation für Grundierung und Decklackierung (inkl. Leitlack); Spritzkabinen und Trockner über Power&Free-Förderer verbunden.

Die Randbedingungen der Produktion und die Materialkennwerte der konventionellen und wasserbasierten Lacksysteme sind in Tabelle 7 zusammengestellt. Für den Leitlack steht nach Angaben des Lackherstellers zur Zeit kein wasserbasiertes System zur Verfügung. Die Preise für die Wasserlacksysteme werden ca. 20 % höher angesetzt.

Um die Aussagefähigkeit des Technologievergleichs zum betrieblichen IST-Stand zu erhöhen, werden für die beiden Konzeptvorschläge jeweils ein bester Fall (BC = best case) und ein schlechtester Fall (WC = worst case) simuliert (vgl. Bild 30). Die Randbedingungen für die Szenarien sind in Tabelle 8 zusammengestellt. Zusätzlich wird für den IST-Stand ein Szenario simuliert, bei dem nur eine zusätzliche Abluftreinigungsanlage (Adsorptionstechnik) mitbetrachtet wird.

Bei der Simulation wird der Prozessschritt Entgraten wegen der Vergleichbarkeit (Personalbedarf) zum IST-Stand berücksichtigt.

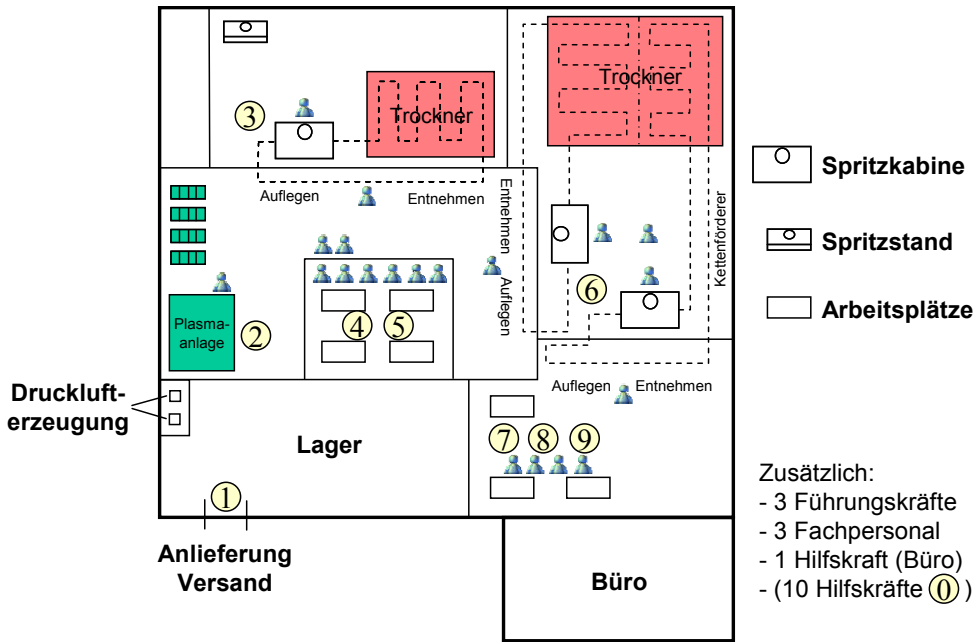


Bild 28: Konzeptvorschlag: Teilautomatisierung mit Handapplikation (TA)

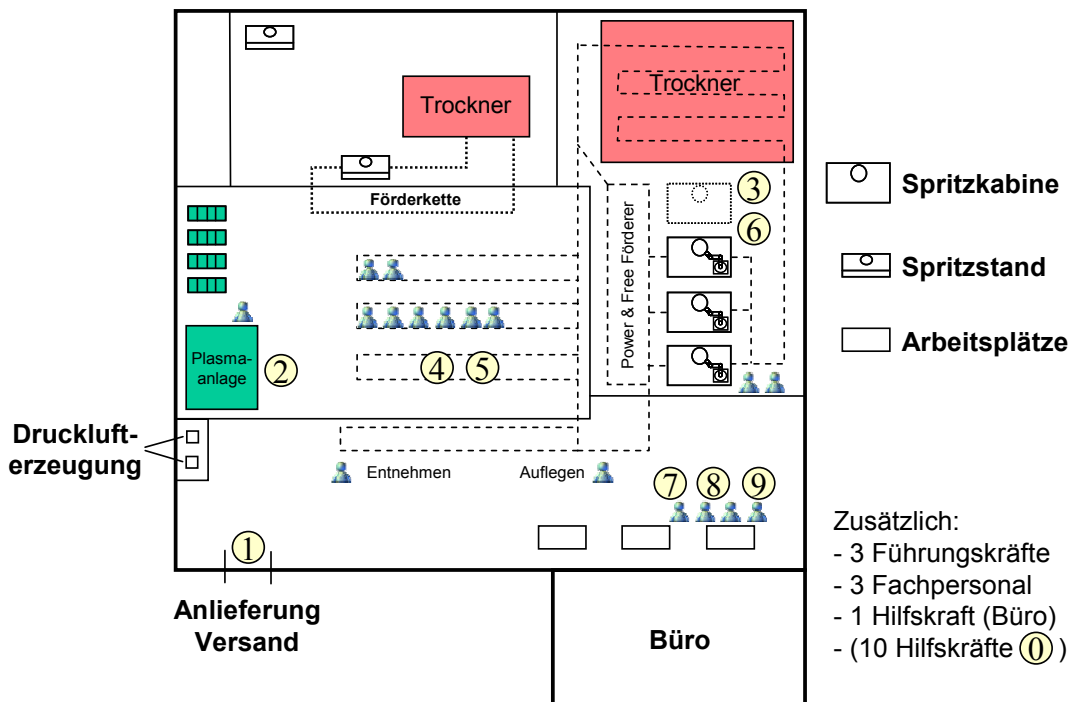


Bild 29: Konzeptvorschlag: Vollautomatisierung mit Roboterapplikation (VA)


Tabelle 7: Randbedingungen Produktion und Lacksysteme für die Konzeptvorschläge

Lackierte Teile	Stk./a	150.000		
Kapazitätssteigerung	%	20	möglich	
		Grundlack	Leitlack	Decklack
Lackierte Fläche	m ² /a	140.000	18.500	150.000
konventionelle Lacksysteme				
Dichte Lack	g/cm ³	1,60	1,40	1,20
Lackfestkörper	%	50	45	60
Lösemittelanteil	%	50	55	40
Schichtdicke	µm	25	50	50
Preis	€/kg	3,62	21,00	6,52
wasserbasierte Lacksysteme				
Dichte Lack	g/cm ³	1,60	-	1,20
Lackfestkörper	%	50	-	50
Lösemittelanteil	%	10	-	10
Schichtdicke	µm	25	-	50
Preis	€/kg	4,40	-	7,50

- Einsatz von konventionellen Lacksystemen und Abluftreinigung
- geringere Materialnutzungsgrade (wie IST-Stand)
- Umlufttrocknung bei 80°C

 **worst case
(WC)**

Herstellkostenfenster, Umweltauswirkungen

 **best case
(BC)**

- Einsatz von Wasserlacken
- höhere Materialnutzungsgrade
- Trocknung mit trockener Luft
- Lack-in-Lack Technologie bei Grundierung

Bild 30: Ansatz zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeitsgrenzen und Umweltauswirkungen

Tabelle 8: Randbedingungen der Konzeptvorschläge und der Szenarien für den Technologievergleich

Parameter	Einheit	Szenarien					
		IST	IST (u. I.)*	TA BC	TA WC	VA BC	VA WC
Vorbehandlung		Schleifen/ manuell	Schleifen/ manuell	Plasma	Plasma	Plasma	Plasma
Förder- technik		manuell	manuell	Kette	Kette	Power & Free	Power & Free
Spritzkabine GL		Spritzstand	Spritzstand	Lack-in- Lack	Standard	Lack-in- Lack	Standard
Applikation GL		manuell	manuell	manuell	manuell	Roboter	Roboter
Lacksystem GL		konv. LM	konv. LM	Wasser	konv. LM	Wasser	konv. LM
AWG GL	%	35	35	100	35	100	40
Spülverluste GL	%	10	10	10	5	10	5
grundierte Teile	%	100	100	50	100	50	100
Spritzkabine DL/LL		Spritzstand	Spritzstand	Standard	Standard	Standard	Standard
Applikation DL/LL		manuell	manuell	manuell	manuell	Roboter	Roboter
Lacksystem DL/LL		konv. LM	konv. LM	Wasser	konv. LM	Wasser	konv. LM
AWG DL/LL	%	30 (LL 50)	30 (LL 50)	35 (LL 50)	30 (LL 50)	50 (LL 60)	35 (LL 50)
Spülverluste DL/LL	%	20	20	15	20	10	15
Nacharbeit DL	%	10	10	5	10	5	10
Trocknung		Umluft/ Raum	Umluft/ Raum	trockene Luft	konv. Umluft	trockene Luft	konv. Umluft
Abluftrein- igung *		nein	ja	nein	ja	nein	ja
Personal- bedarf (2 S)	An- zahl	65	65	57	57	47	47

u. I. = umweltrelevante Investition → Integration einer Abluftreinigungsanlage

GL = Grundlack; DL = Decklack; LL = Leitlack; AWG = Auftragswirkungsgrad

* Abluftreinigung wird als Anlage auf Basis der Adsorptionstechnik betrachtet

3.3.2 Ökologische Ergebnisse

Die ökobilanzielle Betrachtung wurde bis auf die kritische Begleitung gemäß der

ISO 14040 ff. durchgeführt. Wichtige Festlegungen und Grundlagen sind in Tabelle 9 zusammengefasst.

Tabelle 9: Festlegungen und Grundlagen zur ökobilanziellen Betrachtung

Ziel	➤ Vergleich Erfolg versprechender Lackierkonzepte zum IST-Stand
Funktionelle Einheit	➤ Gemitteltes lackiertes Polyurethan-Kunststoffteil
Systemgrenzen	➤ Ressourcen bis Fabrikatorausgang bei Firma Ritzi + Thieme, vgl. Bild 9 ➤ Infrastruktur und Anlagentechnik sind nicht bilanziert.
Untersuchte Technologien	• Vgl. Szenarienbeschreibung in Tabelle 8
Datengrundlage/Software	➤ ökologische Bilanzierungssoftware GaBi 3 [<i>GaBi 3</i>] ➤ Datengrundlage Lacksysteme: GaBi 3 und LCS Datenbank für Lackgrundstoffe, technische Merkblätter der Lacklieferanten zur Abschätzung der Rezeptur ➤ IST-Stand: Ritzi + Thieme Betriebsinformationen von 2001 ➤ Prozesse der Konzeptvorschläge: Ritzi + Thieme, Anlagenhersteller, LCS
Bilanzparameter Ökonomie	➤ Herstellkosten
Bilanzparameter Ökologie	➤ Sachbilanzebene: Lösemittlemissionen, Primärenergiebedarf ➤ Wirkungsabschätzung: Treibhauspotenzial, photochemisches Oxidantienbildungspotenzial (POCP), vgl. Beschreibung im Anhang
Sensitivitätsbetrachtung	➤ über Szenarienbetrachtung und über Variation der Produktionsleistung durchgeführt

Die ökologische Auswertung beginnt auf der betrieblichen Ebene mit dem Strom- und Heizölbedarf für die Anlagen. Die festgelegten Szenarien werden dabei für eine Jahresproduktion von 150.000 Teilen (heutiger Stand) bzw. 180.000 Teilen (Kapazitätserweiterung um 20 % der Neuanlage) mit dem IST-Stand verglichen. Folgende Aussagen können zu Bild 31 und Bild 32 gemacht werden:

- Der Strombedarf ist beim IST-Stand aufgrund der geringen Automatisierung am kleinsten.

- Die Integration einer thermischen Abluftreinigung (hier: Adsorptionstechnik) erhöht signifikant den Strom- und Heizölbedarf (vgl. Szenarien IST u. I., TA WC, VA WC).
- Die teilautomatisierten Konzepte benötigen weniger Strom und Heizöl als die vollautomatisierten Konzepte.

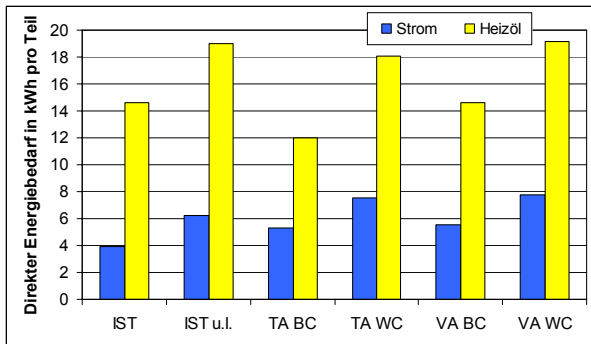


Bild 31: Sachbilanz: Direkter Energiebedarf (150.000 Teile/a)

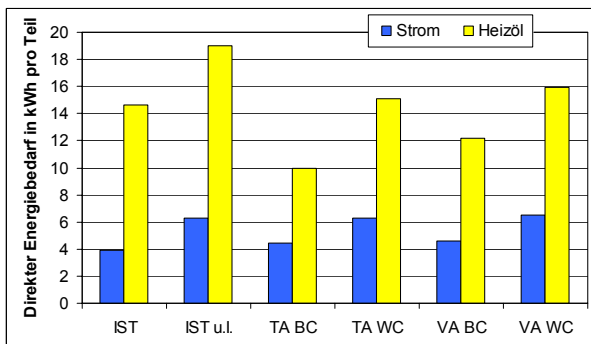


Bild 32: Sachbilanz: Direkter Energiebedarf (180.000 Teile/a)

Bild 33 zeigt die emittierten Lösemittel des IST-Stands und die simulierten Werte der Szenarien. Mit allen Szenarien werden die Zielemissionen für 2007 deutlich unterschritten. Die Abluftreinigungstechnologie reduziert zwar deutlich die Lösemittelmengen, dennoch werden im Vergleich zu den Szenarien ohne Abluftreinigung erhebliche Lösemittelmengen emittiert. Wichtiger als die Emissionsfracht ist das ökologische Schädigungspotenzial, das mit der Wirkungskategorie photochemisches Oxidantienbildungspotenzial (POCP; Sommersmog oder bodennahes Ozon) beurteilt wird. Im Vergleich zu den konventionellen Lacksystemen haben die typischen Lösemittel der Wasserlackssysteme ein deutlich geringeren POCP-Wert (ca. die Hälfte) [May, 1997; Harsch, 1998, CML, 2001]. Dadurch ändert sich auch das Ergebnis bei der Betrachtung der Emissionsfrachten (vgl. Bild 33) zu der Bewertung des Schädigungspotenzials durch POCP in Bild 34. Hier haben die

Szenarien (TA BC, VA BC), bei denen Wasserlacke eingesetzt werden, die geringsten POCP-Werte. Zusätzlich lässt Bild 34 erkennen, dass der Beitrag der gesamten Materialherstellung und der Energiebereitstellung im Vergleich zu den Emissionen bei der Lackapplikation eine untergeordnete Rolle spielen.

Bild 35 und Bild 36 zeigen den Primärenergiebedarf, d.h. alle innerhalb der Systemgrenzen (Ressource bis Fabriktausgang bei der Firma Ritzi + Thieme) verbrauchten energetischen Ressourcen, für den IST-Stand und für die Szenarien. Folgende Aussagen können abgeleitet werden:

- Die Integration einer thermischen Abluftreinigung (hier: Adsorptionstechnik) erhöht signifikant den Primärenergiebedarf (vgl. Aussage beim direkten Energiebedarf).
- Mit den Szenarien TA BC bzw. VA BC kann der Primärenergiebedarf pro Teil reduziert werden. Im Vergleich zum IST-Stand würde dies ca. 100 t Erdöl-äquivalente pro Jahr (Produktion: 150.000 Teile) bzw. ca. 170 t Erdöl-äquivalente pro Jahr (Produktion: 180.000 Teile) an Differenz bedeuten.
- Eine Teil- bzw. Vollautomatisierung mit konventionellen Lacksystemen (Szenarien TA WC und VA WC) und Abluftreinigung erzielt keine oder nur geringere ökologische Vorteile (Annahme: Szenario IST u. l. wird für die Zukunft die Vergleichsbasis).
- Die Unterschiede zwischen den BC und WC Szenarien beider Automatisierungskonzepte sind groß. Dies liegt zum einen am Einsatz der Abluftreinigung und zum anderen am günstigeren Ökoprofil der Wasserlackssysteme (d.h. die Lackherstellung ist aus ganzheitlicher Sichtweise ökologisch

günstiger) im Vergleich zu den konventionellen Lacksystemen. Die gemittelte Differenz ergibt einen Unterschied von ca. 280 t Erdöläquivalente pro Jahr.

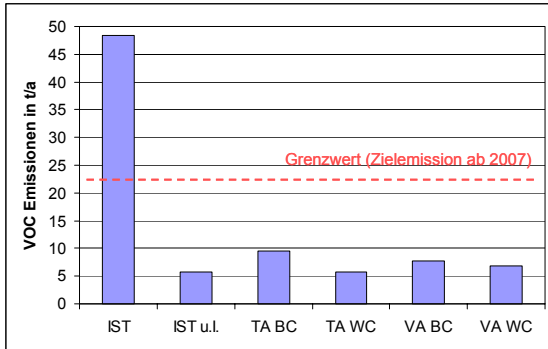


Bild 33: Sachbilanz: VOC Emissionen

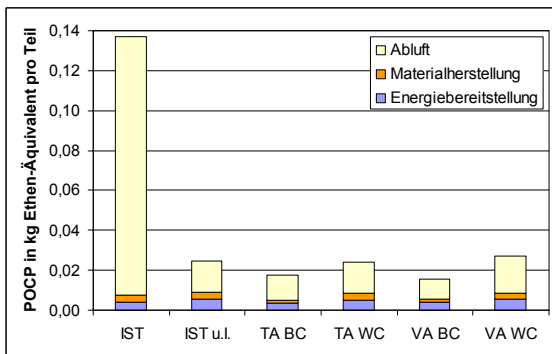


Bild 34: Wirkungsabschätzung: POCP der Lösemittellemissionen (150.000 Teile/a)

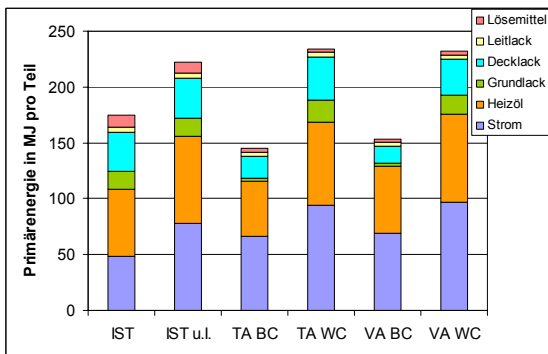


Bild 35: Sachbilanz: Primärenergiebedarf (150.000 Teile/a)

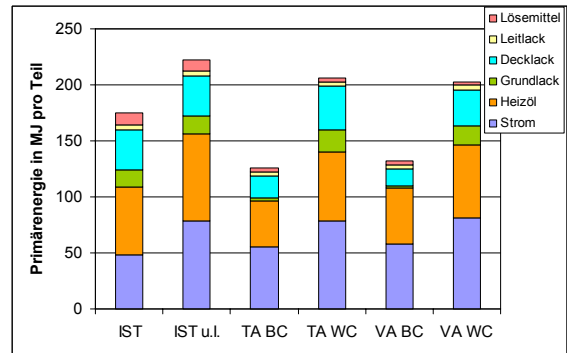


Bild 36: Sachbilanz: Primärenergiebedarf (180.000 Teile/a)

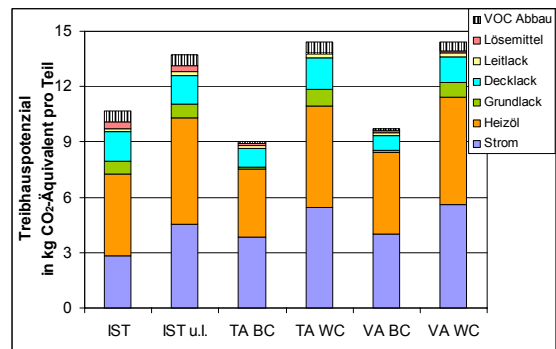


Bild 37: Wirkungsabschätzung: Treibhauspotenzial (150.000 Teile/a)

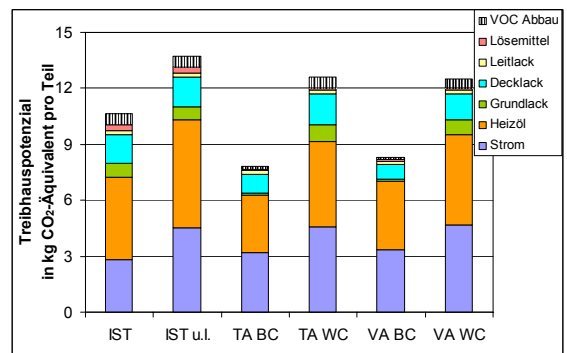


Bild 38: Wirkungsabschätzung: Treibhauspotenzial (180.000 Teile/a)

Für die Betrachtung der Wirkungskategorie Treibhauspotenzial (vgl. Bild 37 und Bild 38) gelten vergleichbare Aussagen wie für den Primärenergiebedarf. Im Vergleich zum IST-Stand könnten durch die BC Szenarien ca. 200 t CO₂-Emissionen pro Jahr (Produktion: 150.000 Teile) bzw. ca. 400 t CO₂-Emissionen pro Jahr (Produktion: 180.000 Teile) eingespart werden.

3.3.3 Ökonomische Ergebnisse

Die ökonomischen Ergebnisse wurden anhand der in Kapitel 2.4 beschriebenen Methodik der verursachungsgerechten Kostenrechnung ermittelt. Die Basis dazu bildet die prozessbezogene Vorgehensweise zur Ermittlung der Energie- und Stoffströme der betrachteten Szenarien.

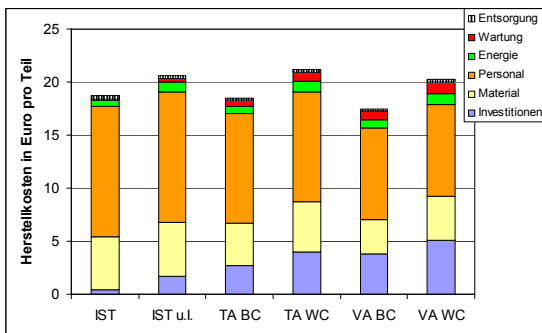


Bild 39: Herstellkosten pro Kunststoffteil (Abschätzung für 150.000 Teile/a)

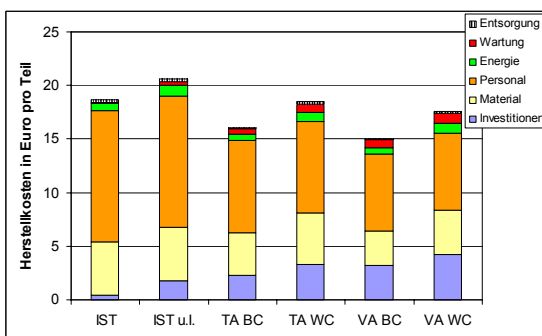


Bild 40: Herstellkosten pro Kunststoffteil (Abschätzung für 180.000 Teile/a)

Folgende Aussagen gelten für Bild 39 und Bild 40:

- Die Umsetzung der 31. BImSchV erfordert Investitionen zur Reduzierung der Lösemittlemissionen. Die Investitions- und Betriebskosten einer thermischen Abluftreinigung (Szenario IST u.I.) erhöhen die Herstellkosten, wenn keine weiteren Maßnahmen getroffen werden.
- Die Umstellung auf Wasserlacke, Plasmavorbehandlung, Recycling der Grundierung, Trocknung mit trockener Luft, Teil- bzw. Vollautomatisierung bringt unter den festgelegten Randbedingungen (Szenarien TA BC und VA BC) wirtschaftliche Vorteile, die zusätzlich stark von der jährlichen Stückzahl abhängen.
- Eine Teil- bzw. Vollautomatisierung mit konventionellen Lacksystemen (Szenarien TA WC und VA WC) und Abluftreinigung erzielen deutlich geringere bzw. keine wirtschaftlichen Vorteile.
- Eine abschließende Bewertung Erfolg versprechender Alternativen sollte anhand von abgestimmten Angeboten stattfinden.

4 Lackiertechnik

Unter den Begriff Lackiertechnik fallen viele unterschiedliche Prozesse und Materialien. Im Folgenden wird hierzu ein kurzer Überblick gegeben, wobei auf Optimierungsmaßnahmen für Lackierbetriebe etwas ausführlicher eingegangen wird. Weitergehende Informationen finden sich in der angegebenen Literatur.

Bild 41 gibt einen Überblick zu Materialien, Applikationstechnik, Trocknungs- (Vernet-

zung), peripheren Prozessen und Prozesssubstitutionen in der Lackiertechnik. Bei den Materialien untergliedern sich die Flüssiglacke in konventionelle lösemittelhaltige Systeme und wasserbasierte Systeme. Je nach Teilegeometrie und Lackschichtaufbau kommen unterschiedliche Applikationstechniken (gießen, walzen, spritzen) für die Lacke zum Einsatz. Dementsprechend ist auch der Vernetzungs- bzw. Trocknungsprozess für

die unterschiedlichen Lacksysteme zu gestalten. Beispielsweise kann die Mikrowellentrocknung von Wasserlacken auf Kunststoffsubstraten eine interessante Alternative zur konventionellen Umluft-

trocknung darstellen [Harsch, 2002]. Die peripheren Prozesse stellen sicher, dass die Lackierung sicher und mit konstanter Qualität ablaufen kann.

Vorbehandlung	Entfetten, Reinigen, Maßnahmen zur Haftungsverbesserung
Materialien	Flüssiglacke, Pulverlacke (ein-, mehrschichtig)
Applikation	gießen, walzen, spritzen (mit/ohne Elektrostatik)
Vernetzen/Trocknen	Konvektions-, Strahlentrocknung (IR, UV, ES, Mikrowellen)
Peripherie	Overspraybehandlung, Energiebereitstellung Abluft-, Abwasserreinigung, Fördertechnik, Logistik
Produktionsverlagerung/ Prozesssubstitutionen	Bandbeschichtung (Coil Coating), Folienbeschichtung

Bild 41: Übersicht zu Lackierverfahren [Harsch, 2002 (b)]

Zusätzlich gehören in diesen Kontext die Bandbeschichtung, die eine Verlagerung der Beschichtung vom Endprodukt zu den Halbzeugen bewirkt, bzw. die Folienbeschichtung, die eine Substitution von Lackierprozessen zum Zweck hat.

Weiterführende Literatur zur Lackiertechnik findet sich u.a. bei [Ondratschek, 2001; May, 1997, Obst, 2002; Pietschmann, 2002].

Das ökonomische und ökologische Potenzial der Lackierverfahren liegt in Zukunft darin, dass produktionsintegrierte Maßnahmen, ergänzt durch neue Materialien und Technologien, ergriffen werden. Hierzu werden im Folgenden grundlegende und anspruchsvolle Maßnahmen vorgestellt [VDI (Harsch), 2002]. Es ist zu beachten, dass je nach Anwendungsfall bestimmte Maßnahmen mehr oder weniger sinnvoll für einen Betrieb sein können. Um die Maßnahmen richtig beurteilen zu

können, sollte vorab eine betriebliche IST-Analyse von wesentlichen ökonomischen und ökologischen Kennzahlen durchgeführt werden.

4.1 Grundlegende Maßnahmen zur Optimierung

Diese Maßnahmen können von den Betrieben ohne größere planerische und organisatorische Aufwendungen mit geringen Investitionen umgesetzt werden. Eine Auswahl ist im Folgenden dazu stichwortartig zusammengestellt

[VDI (Harsch), 2002]:

- Wartung und Reinigung der Anlagentechnik
→ optimaler Anlagenbetrieb reduziert Ausschussraten und Stillstandzeiten
- Vermeidung bzw. Reduzierung von Partikelemissionen im Lackierbereich

- Reduzierung von Ausschuss- und Nacharbeitsraten
- Geringe zu lackierende Produktanzahl
 - Überprüfung, ob Outsourcing der Lackieraufgaben bei einem Lohnlackierer nicht wirtschaftlicher sind
- Personalqualifikation und Weiterbildung
 - neue effizientere Technologien erfordern auch entsprechende fachliche Schulungen, um richtig eingesetzt zu werden
- Optimierung der Teileaufhängung beim Lackieren
 - Reduzierung von Lackverlusten; Erhöhung der Produktivität
- Optimierung des Farbwechsels
 - Reduzierung von Lackverlusten
- Applikationstechnik mit hohem Auftragswirkungsgrad (wenn möglich Beschichten ohne Lackzerstäubung, z.B. Tauchlackieren)
 - Reduzierung von Lackverlusten
- Reduzierung der Lackschichtdicken
 - Reduzierung des Materialeinsatzes
- Reduzierung von Temperaturen (Vorbehandlung, Lacktrocknung)
 - Energieeinsparung
- Effektivere Nutzung von Lösemittel-emissionen (z.B. direkte Nutzung in der Kraft-Wärmekopplung durch Beimischung in einem Gasmotor oder Gas-Dieselmotor)
 - Energieeinsparung

4.2 Anspruchsvolle Maßnahmen zur Optimierung

Durch Prozessautomatisierungen und computergestützte Prozesstechnik wandelt sich der Lackierprozess selbst in der klein- und mittelständischen Industrie

immer mehr zur Hochtechnologie. Daher sind für diese Entwicklung teilweise erhebliche Investitionen notwendig, die aber auch die Wirtschaftlichkeit von Unternehmen für die Zukunft sichern können und zusätzlich die Umwelt entlasten. Die nachfolgend zusammengestellten Maßnahmen haben auch strategischen Charakter und sollten von den Unternehmen entsprechend ganzheitlich, d.h. Untersuchung der Stärken, Schwächen und Entwicklungspotenziale zum betrieblichen IST-Stand, vorbereitet werden, wenn sie zum gewünschten Erfolg führen sollen [VDI (Harsch), 2002].

- **Umstellung auf Wasserlacktechnologie (Spezialfall Pulver-Slurry):** Wasserlacke haben heutzutage in vielen Anwendungsfällen ein hohes Qualitätsniveau erreicht. Die Umstellung von konventionellen lösemittelbasierten Lacken erfordert aber Investitionen in die Anlagentechnik (z.B. rostfreier Stahl im Anlagenbau, Luftkonditionierung in der Spritzkabine, usw.)

Ökonomisches Potenzial:

 - keine Abluftreinigungstechnologien notwendig
 - Einsatz von Lackrecycling in vielen Fällen möglich

Ökologisches Potenzial:

 - Reduzierung von Lösemittel-emissionen
 - Reduzierung der Abfallmenge bei Einsatz von Lackrecycling
- **Umstellung auf Pulverlack:** Pulverlacke haben heutzutage in vielen Anwendungsfällen ein hohes Qualitätsniveau erreicht. Die Umstellung von konventionellen lösemittelbasierten Lacken erfordert aber Investitionen in die Anlagentechnik (z.B. neue Spritzkabinen, neue Applikationstechnik, usw.)

Ökonomisches Potenzial:

 - keine Abluftreinigungstechnologien

- notwendig
- hoher Materialnutzungsgrad, da Lackrecycling Stand der Technik ist
- Ökologisches Potenzial:*
- keine Lösemittlemissionen
 - geringes Abfallaufkommen
- **Reduzierung von Lackschichten:**
Durch die Zusammenfassung von Funktionen (z.B. Haftvermittlung, Farbgebung, UV Schutz, Kratzschutz, usw.) können Lackschichten eingespart werden.
- Ökonomisches Potenzial:*
- Reduzierung des Lackbedarfs
- Ökologisches Potenzial:*
- Reduzierung von Lösemittel emissionen
 - Reduzierung des Abfallaufkommens
- **Neue Vernetzungs-Reaktionsmechanismen von Lacken:**
z.B. UV, Mikrowellen, usw.
- Ökonomisches Potenzial:*
- Reduzierung von Trocknungszeiten
→ geringere Anlagengrößen (geringere Investitionen)
- Ökologisches Potenzial:*
- Reduzierung des Energiebedarfs (Reduzierung von Emissionen)
- **Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen in Lacksystemen:**
Im Bereich der Alkydharze werden bereits bei den Bindemitteln teilweise nachwachsende Rohstoffe verwendet.
- Ökonomisches Potenzial:*
- Einsatz kostengünstiger Rohstoffe (Beispiele Sojaöle und Tallöle für Alkydharze)
- Ökologisches Potenzial:*
- Reduzierung des Bedarfs an fossilen Ressourcen
- **Betreibermodelle für Lackieranlagen:**
Lackierprozess wird von der Produktherstellung losgelöst und steht eventuell auch weiteren Produk-
- ten zur Verfügung.
- Ökonomisches Potenzial:*
- Reduzierung der Lackierkosten
- Ökologisches Potenzial:*
- Reduzierung von Emissionen und Abfällen
- **Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung als Energieversorgung:**
Bei der Lackierung werden thermische und elektrische Energie benötigt. Sie ist damit ein potenzieller Anwendungsfall für die Kraft-Wärme-Kopplung.
- Ökonomisches Potenzial:*
- Reduzierung der Energiekosten
- Ökologisches Potenzial:*
- Reduzierung von Emissionen durch effiziente Energiebereitstellung
- **Bandbeschichtung (Coil Coating):**
Durch die Bandbeschichtung ist ein sehr effizienter Auftrag von Lackmaterial möglich. Die anschließende Verarbeitung zu Produkten erfordert aber neue Fertigungstechnologien.
- Ökonomisches Potenzial:*
- Reduzierung der Lackier- und Fertigungskosten
- Ökologisches Potenzial:*
- Reduzierung von Emissionen und Abfällen aus Lackierprozessen
- **Folienbeschichtung:**
Folienbeschichtung von Metallen oder Kunststoffen anstatt von Lackierprozessen
- Ökonomisches Potenzial:*
- Reduzierung der Lackier- und Fertigungskosten
- Ökologisches Potenzial:*
- Reduzierung von Emissionen und Abfällen aus Lackierprozessen

4.3 Besonderheiten der Kunststoffteilelackierung

Die Lackierung von Kunststoffen ist durch die Substrateigenschaften (Nichtleiter, wenig temperaturbeständig, usw.) stark in den technisch und chemisch denkbaren Prozessen eingeschränkt. Dies wirkt sich insbesondere auch auf den Lackierauftragswirkungsgrad aus.

Bild 42 zeigt die Lackierwirkungsgrade in verschiedenen Branchen. Zum einen sind große Unterschiede zwischen den Branchen erkennbar und zum anderen sind die Wirkungsgrade deutlich von 100 % entfernt. Gründe dafür sind z.B.: Produkte werden nicht elektrostatisch beschichtet (Holz und Kunststoffprodukte), Produktgeometrien, usw.

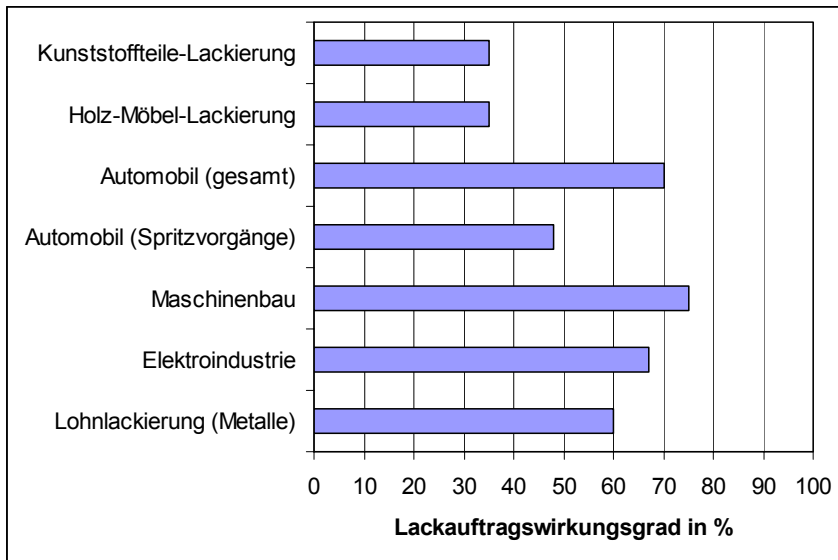


Bild 42: Lackauftragswirkungsgrade in verschiedenen Branchen [Vesper, 2000]

Dennoch gibt es auch bei der Kunststoffteilelackierung eine Vielzahl an Optimierungsmöglichkeiten, beginnend nach oder während des Spritzgießens bis zu Off-line-, On-line- und In-line- Lackierkonzepten für Kunststoffteile [DFO, 2002; 2000].

4.4 Inhalte der 31. BImSchV und Handlungsoptionen

Im Dezember 1999 wurde von über 30 ECE-Mitgliedsstaaten ein UN ECE-Protokoll unterzeichnet, das neben der Bekämpfung von Versauerung und Eutrophierung auch die Verminderung von bodennahem Ozon zum Ziel hat [UN ECE, 1999]. Zentrale Regelung ist die Festlegung von nationalen Emissionsobergrenzen für jeden Staat. Deutschland hat für VOC eine Emissionsreduzierung von 69 % bis zum

Jahr 2010 gegenüber 1990 zugesagt [Hackmack, 2002].

Am 25. August 2001 ist die „Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen bei der Verwendung organischer Lösemittel – 31. BImSchV“ in Kraft getreten, was die Umsetzung der europäischen Richtlinie (EG/13/99) bedeutet.

In der 31. BImSchV gibt es zwei Möglichkeiten, die Minderung der Lösemittlemissionen zu erreichen (vgl. Bild 43) [Hackmack, 2002]:

1. Anwendung und Einhaltung eines Reduzierungsplans,
2. Einhaltung von Emissionsgrenzwerten für Abgase und für diffuse Emissionen oder Einhaltung von Gesamtemissionsgrenzwerten.

Möglichkeit 1 bietet zwei Alternativen, um die 31. BImSchV einzuhalten [Hackmack, 2002]:

- I. Vereinfachter Nachweis („vereinfachter Reduzierungsplan“): Anwendung, wenn nur Einsatzstoffe mit einem sehr niedrigen und definierten Lösemittelgehalt eingesetzt werden (kann nur bei nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen angewendet werden!). Für Bereich 8 (Kunststoffbeschichtung) gilt: Schwellenwertbereich: 5-15 t/a; ausschließlich Einsatz von Beschichtungsstoffen mit einem VOC-Wert ≤ 250 g/l sowie Reinigungsmittel mit einem Lösemittelgehalt von < 20 %.

- II. Spezifischer Reduzierungsplan (für Bereich 8 (Kunststoffbeschichtung) anwendbar): Im Mittelpunkt des spezifischen Reduzierungsplans steht die Zielemission, d.h. die maximal zulässige Emissionsfracht einer Anlage bzw. eines Betriebs. Zur Erreichung der Zielemission sieht die Verordnung abgestufte Anforderungen vor.

Möglichkeit 2 bedeutet den Einbau von Abluftreinigungssystemen für gasförmige Emissionen (z.B. Adsorptionsanlagen, Biofilter, Anlagen zur thermischen Nachverbrennung, usw.).

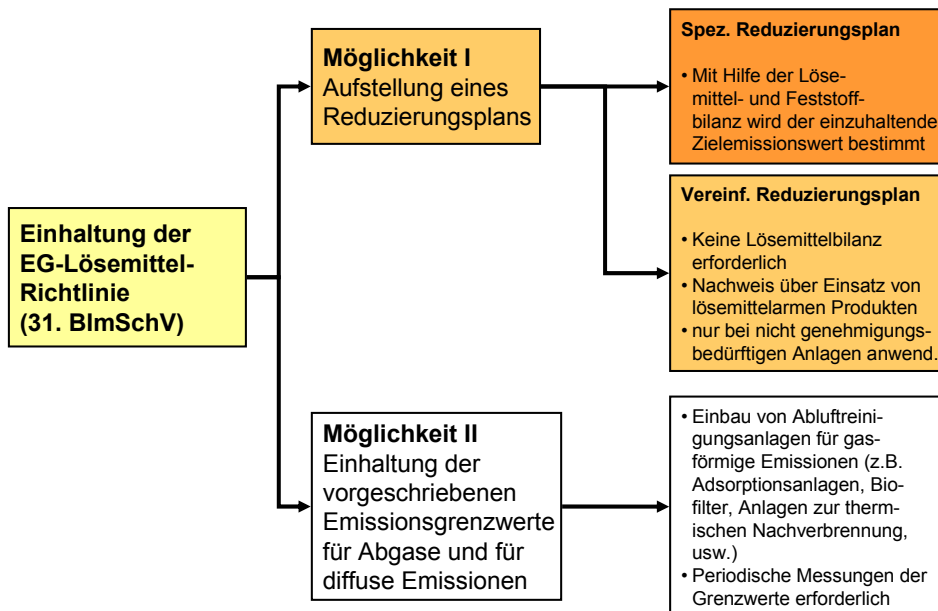


Bild 43: Möglichkeiten zur Einhaltung der EG-Lösemittelrichtlinie

Die Anwendung des spezifischen Reduzierungsplans wird anhand der Lösemittelbilanz eines Beispielbetriebs aus der Kunststofflackierung veranschaulicht (siehe Tabelle 5, Kapitel 3.1.4). Aus ökologischer und ökonomischer Sichtweise wird den Unternehmen emp-

fohlen alle möglichen Handlungsoptionen zur Reduzierung der Lösemittlemissionen rechtzeitig und ganzheitlich zu bewerten, bevor in additive Umweltschutzmaßnahmen, d.h. Abluftreinigung, investiert wird.

5 Fazit

Mit Hilfe der Methode des Energie- und Stoffstrommanagements wurde bei einem Referenzbetrieb der Kunststofflackierbranche eine Betriebsanalyse durchgeführt. Dabei konnten wertvolle ökonomische und ökologische Optimierungspotenziale aufgezeigt werden. Des Weiteren wurden betriebliche Kennzahlen zum Controlling der Produktion entwickelt.

Aufgrund der Anforderungen der 31. BImSchV muss der Betrieb in Zukunft seine Lösemittlemissionen deutlich reduzieren. Dies führte zur Aufstellung von Erfolg versprechenden Lackierkonzepten anhand der betrieblichen Erfordernisse.

Für die Erfolg versprechenden Lackierkonzepte wurden Szenarien, d.h. unterschiedliche Randbedingungen, festgelegt. Die Datenaufnahme und –auswertung für die Szenarien erfolgte in gleicher Weise wie für den betrieblichen IST-Stand. Anschließend fand ein Technologievergleich auf Basis einer ökobilanziellen Betrachtung und einer Wirtschaftlichkeitsanalyse statt. Aus technischer und ökologischer Sicht können folgende Aussagen zusammengefasst werden:

- Durch die Integration einer Abluftreinigung oder durch Umstellung auf Wasserlacke können die Grenzwerte der 31. BImSchV deutlich unterschritten werden.
- Die thermische Abluftreinigung reduziert deutlich die Lösemittlemissionen mit der Konsequenz, dass der Primärenergiebedarf und das Treibhauspotenzial signifikant erhöht werden. Das POCP-Niveau (Sommersmog) der Szenarien mit konventionellen Lacksystemen und Abluftreinigung liegt über dem der Szenarien mit Einsatz von Wasserlacken.

- Der Einsatz von Wasserlacken in Kombination mit Recycling und Trocknung mit trockener Luft hat signifikante ökologische Vorteile bei den untersuchten ökologischen Parametern.
- Eine Teil- bzw. Vollautomatisierung mit konventionellen Lacksystemen und Abluftreinigung erzielt keine oder nur geringere ökologische Vorteile.

Aus ökonomischer Sicht gelten folgende Aussagen:

- Die Umsetzung der 31. BImSchV erfordert Investitionen zur Reduzierung der Lösemittlemissionen. Die Investitions- und Betriebskosten einer thermischen Abluftreinigung (wenn keine Umstellung auf lösemittelarme bzw. –freie Lacksysteme erfolgt) erhöhen die Herstellkosten, wenn keine weiteren Maßnahmen getroffen werden.
- Die Umstellung auf Wasserlacke, Plasmavorbehandlung, Recycling der Grundierung, Trocknung mit trockener Luft, Teil- bzw. Vollautomatisierung bringt unter den festgelegten Randbedingungen wirtschaftliche Vorteile, deren Höhe stark von der jährlichen Stückzahl abhängt.
- Eine Teil- bzw. Vollautomatisierung mit konventionellen Lacksystemen und Abluftreinigung erzielt deutlich geringere bzw. keine wirtschaftlichen Vorteile.

Der Nutzen des Vorhabens für den Referenzbetrieb liegt in einer neutralen und umfassenden Bewertung der betrieblichen IST-Situation und von möglichen Lackierkonzepten zur Einhaltung der 31. BImSchV.

Die Ergebnisse sind nochmals zu verifizieren, wenn von Seiten der Anlagenhersteller verbindliche Konzepte und Kosten vorhanden sind.

Mit der durchgeführten Studie lassen sich folgende Ergebnisse für die Kunststofflackierbranche bzw. Lackierbranche verallgemeinern:

- Die Vorgehensweise des Energie- und Stoffstrommanagements ermöglicht Unternehmen eine umfassende Analyse ihrer betrieblichen IST-Situation und eine Bewertung von Alternativen zur Einhaltung der 31. BImSchV.
- Der Vorschlag zum Controlling mit betrieblichen Kennzahlen unterstützt Unternehmen darin, ihre Lackierprozesse ökonomisch und ökologisch effizient zu steuern.
- Aufgrund der niedrigen Schwellen-

6 Ausblick

Die Umstellung auf die richtige Lackiertechnologie wird für viele Betriebe aufgrund der aktuellen Wirtschaftslage Existenz entscheidend sein. Dabei ist der Einsatz von Erfolg versprechenden Alternativen zur IST-Situation immer anhand der betrieblichen Erfordernisse zu prüfen. Pauschalaussagen über den Einsatz von bestimmten Technologien sind nicht anwendbar. Die notwendige Unterstützung bei Investitionsentscheidungen ist aber mit vertretbarem Umfang, gemessen am Nutzen für die Unternehmen, machbar.

Des Weiteren können für bestimmte betriebliche Vorgänge Softwaretools die Arbeit vereinfachen bzw. erleichtern. Lösungsansätze sind hierfür in vielen Fällen vorhanden und sollten noch für die

werte der jährlich eingesetzten Lösemittelmengen, die zur Anzeigepflicht der Anlagenbetreiber führen, entsteht bei vielen, vor allem kleinen Betrieben Handlungsbedarf.

- Zur Einhaltung der Zielemissionen gibt es verschiedene Handlungsoptionen, z.B. Einsatz von Wasser- oder Pulverlacken oder festkörperreichen Lacksystemen, die vor einer Investitionsentscheidung sorgfältig geprüft werden sollten.
- Aus ökologischer und ökonomischer Sichtweise wird den Unternehmen empfohlen, alle möglichen Handlungsoptionen zur Reduzierung der Lösemittlemissionen rechtzeitig und ganzheitlich zu bewerten, bevor kurzfristig in additive Umweltschutzmaßnahmen, d.h. Abluftreinigung, investiert wird.

betrieblichen Belange, vor allem der kleinen Betriebe, weiterentwickelt werden (z.B. [GaBi 3, 1998; LCS, 2002 (a)(b); LfU, 2000]).

Mit einer Aufklärung über ökologische und ökonomische Vorteile und Nachteile von vorsorgenden bzw. nachsorgenden Maßnahmen zum Umweltschutz kann ein wichtiger Beitrag für unsere Umwelt und zur Standortsicherung von Betrieben geleistet werden.

Literatur

- CML:** Impact Assessment, Version 2.5; Centre of Environmental Science, Leiden University, The Netherlands, 2001
- DFO:** Tagungsband zur DFO Tagung Kunststofflackierung, Deutsche Forschungsgesellschaft für Oberflächenbehandlung e.V., Düsseldorf, Saarbrücken, Oktober 2000
- DFO:** Tagungsband zur DFO Tagung Kunststofflackierung, Deutsche Forschungsgesellschaft für Oberflächenbehandlung e.V., Düsseldorf, Dresden, November 2002
- Deutsches Lackinstitut:** Zahlen und Fakten zu Lacken und Farben im Internet unter www.lacke-und-farben.de, Internetabruf vom 20.09.2001
- GaBi 3:** GaBi 3: Software und Datenbank zur Ganzheitlichen Bilanzierung, IKP Universität Stuttgart und PE Product Engineering Dettingen/Teck, 1998.
- Hackmack, U.; Mahrwald, B.:** Die Lösemittelverordnung – Einführung und Vorschläge zur Umsetzung in die Praxis, Eigenforschungsvorhaben des Umweltbundesamtes, Forschungsbericht 500 44 301, FG III 2.4, Berlin, 2002
- Hansemann, W.; Baums, M. (Hrsg: Verband der Lackindustrie e.V.):** Holz lösemittelarm lackieren – Praxisratgeber zur Umsetzung der europäischen VOC-Richtlinie in der Holz- und Möbelindustrie, Frankfurt, 1999
- Harsch, M. et. al.:** Schwachstellenanalyse und Optimierung ausgeführter Lackieranlagen, Forschungsbericht, Institut für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde (IKP), Universität Stuttgart, 1997
- Harsch, M.:** Modellierung und Optimierung verfahrenstechnischer Prozesse in der Lackiertechnik - Beitrag zur Ganzheitlichen Bilanzierung -. Dissertation, Institut für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde (IKP), Universität Stuttgart, Aachen: Shaker Verlag, 1998
- Harsch, M. et. al.:** Entwicklung einer Methodik zur Entscheidungsvorbereitung bei der Verfahrensauswahl für Pulver- und Flüssiglacke, Forschungsbericht, Institut für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde (IKP), Universität Stuttgart, 1999
- Harsch, M.:** Kunststofflackierprozesse ganzheitlich simulieren. DFO-Tagung Kunststofflackierung, Saarbrücken, 25.-26. Oktober 2000
- Harsch, M., Bräutigam, V.; Schüller, P.:** Mikrowellentrocknung von Wasserlacken ganzheitlich simuliert, Metalloberfläche, München: Hanser Verlag, März 2002
- Harsch, M.:** Ökologische und ökonomische Potenziale neuer Lackierverfahren, Manuskript zur VDI-Tagung Fortschritte in der Luftreinhaltetechnik – produktionsintegrierte Emissionsminderung und Abgasreinigung, Fulda, November 2002 (b)

- HIMTECH GmbH (Hrsg.):** Möglichkeiten zur Kosten- und Abfallreduktion beim Lackieren, Leitfaden für kleine und Mittlere Betriebe, Wiesbaden: HIMTECH GmbH, 1996
- DIN EN ISO 14040:** Umweltmanagement - Ökobilanz- Prinzipien und allgemeine Anforderungen, 1997
- DIN EN ISO 14041:** Umweltmanagement - Ökobilanz - Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz, 1998
- DIN EN ISO 14042:** Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle impact assessment, 1998
- DIN EN ISO 14043:** Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle interpretation, 1998
- Landesanstalt für Umweltschutz (LfU):** Betriebliche Energie- und Stoffstrommanagementsysteme – Methoden, Praxiserfahrungen, Software, Band 3 der Reihe „Industrie und Gewerbe“, Karlsruhe, 2000
- Landesanstalt für Umweltschutz (LfU):** Energie- und Stoffstromoptimierung in der betrieblichen Praxis der Lohnlackierung, Band 6 der Reihe „Industrie und Gewerbe“, Karlsruhe, 2002
- LCS:** Softwaretool *Lösemittelbilanz*, Version 1.0, MS Access Datenbank zur Erstellung einer betrieblichen Lösemittelbilanz gemäß 31. BImSchV, LCS Life Cycle Simulation GmbH, 2002 (a)
- LCS:** Softwaretool $L_a C_{ko} S_t$, Version 1.0, Berechnung von Lackierkosten anhand wesentlicher betrieblicher Kennzahlen, LCS Life Cycle Simulation GmbH, 2002 (b)
- Loske, R.:** Klimapolitik - Im Spannungsfeld von Kurzzeitinteressen und Langzeiterfordernissen. Marburg: Metropolis-Verlag, 1996
- May, T.:** Umweltmanagement im Lackierbetrieb, Hannover: Vincentz Verlag, 1997
- Obst, M.:** Lackierereien planen und optimieren, Hannover: Vincentz Verlag, 2002
- Ondratschek, D.:** besser lackieren!, Jahrbuch 2001, Hannover: Vincentz Verlag, 2001
- Pietschmann, J.:** Industrielle Pulverbeschichtung – Grundlagen, Anwendungen, Verfahren, JOT-Fachbuch, Braunschweig: Vieweg Verlag, 2002
- Umweltbundesamt:** Technische Arbeitspapiere zur Vermeidung und Verwertung von Sonderabfällen, Berlin: Umweltbundesamt, Texte 75/96, 1996
- Umweltbundesamt:** Zahlenmaterial aus Internetabruf, 2001
- UN ECE:** Protokoll zum Genfer Übereinkommen über grenzüberschreitende Luftverunreinigungen von 1979 zur Bekämpfung von Versauerung, Eutrophierung und Bodenozon, 1999
- VDI 4050:** Betriebliche Kennzahlen für das Umweltmanagement, Leitfaden zu Aufbau, Einführung und Nutzung, Verein Deutscher Ingenieure (VDI), Düsseldorf, 2001
- VDI-Kompetenzfeld** „Betrieblicher Umweltschutz und Umweltmanagement – Integrierte Umwelttechnik“;
Harsch, M.: Sauber Lackieren, Umweltmagazin, Springer VDI Verlag, Dezember 2002

VDI-Kompetenzfeld „Betrieblicher Umweltschutz und Umweltmanagement – Integrierte Umwelttechnik“;
Neukirchen, B.; Rommel, W.; Wiedemeier, J.; Wolferz, R.; Wolff, H.: Integrierte Umwelttechnik – am Beispiel der Gießereitechnik, Umwelt 1/2, Springer VDI Verlag, 2001, S. 28ff.

Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI): Zahlen und Fakten

Vesper, H.: Neue Lackierkonzepte einführen: Mit einem ganzheitlichen Ansatz nicht nur Lösemittel sparen. Veranstaltung: VOC Richtlinie als Chance

für Lackierbetriebe, 7. November 2000, Veranstalter: Vincentz Verlag, Hannover

Vüllers, M.: Die richtige Prozesslogistik senkt die Beschichtungskosten, in Lehrgang Lackierkosten senken, DFO Service GmbH (Düsseldorf) und Vincentz Verlag (Hannover), Kassel, November 2002

Glossar

31. BImSchV

Bundesimmissionsschutzverordnung, Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen bei der Verwendung organischer Lösemittel.

Abfall

Jeder Output eines Produktsystems, der entsorgt werden muss.

Allokation

Methode zur Verteilung bzw. Zuweisung der Stoff- und Energieflüsse, z. B. auf die Haupt- und Nebenprodukte eines Produktionsprozesses.

Anthropogen

Durch den Menschen verursacht.

Auswertung

Bestandteil einer Ökobilanz, bei dem die Ergebnisse der Sachbilanz und/oder der Wirkungsabschätzung mit dem festgelegten Ziel und Untersuchungsrahmen zusammgeführt werden, um daraus Schlussfolgerungen zu ziehen und Empfehlungen zu geben.

CO₂-Äquivalent

Bezeichnung für die Wirkung einer für den Treibhauseffekt relevanten (Gas-) Emission, mit der Wirkung von 1 kg CO₂. Andere Gase als CO₂ (z. B. CH₄, CO) werden auf CO₂ umgerechnet (Äquivalenzfaktoren).

DIN

Das Deutsche Institut für Normung erarbeitet die in Deutschland gültigen DIN-Normen.

Emissionen

Von einer Anlage ausgehende Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Wärme usw. Umwelteinwirkungen.

Erdöläquivalent

Einheit kg, entspricht dem Energiegehalt von einem kg Erdöl, Umrechnung: 42,7 MJ (unterer Heizwert) entsprechen 1 kg Erdöläquivalent.

Festkörpergehalt (Fk)

ist der nichtflüchtige Anteil eines flüssigen Lackmaterials (angegeben in Gewichts-%), der nach dem Trocknen bei erhöhter Temperatur als Rückstand verbleibt.

Funktionelle Einheit

Quantifizierter Nutzen eines Produktsystems als Vergleichseinheit in einer Ökobilanz. Auf die Funktionelle Einheit werden alle Daten einer Ökobilanz bezogen.

GWP

Global Warming Potenzial, in kg CO₂-Äquivalent, Begriff für das Treibhauspotenzial.

Heizwert, unterer (H_U)

beschreibt den Energieinhalt eines Energieträgers, der mit der heute zur Verfügung stehenden Technik nutzbar gemacht werden kann.

Input

Stoff oder Energie, der/die einem Prozess zugeführt wird.

Lack

ist nach /DIN 55945/ ein Sammelbegriff für eine Vielzahl von Beschichtungsstoffen auf der Basis organischer Bindemittel. Ein Beschichtungsstoff ist der Oberbegriff für flüssige bis pastenförmige oder auch pulverförmige Stoffe.

Lackoverspray

wird die Lackmenge bezeichnet, die von der jeweiligen Applikationstechnologie (z.B. Sprühpistole) nicht auf das Produkt gelangt und definiert aus der Spritzkabine abgesaugt werden muss, um Qualitätseinbußen auf dem Produkt zu vermeiden.

LCA

Life Cycle Assessment; im deutschen Sprachraum Lebensweganalyse oder Lebenswegbewertung oder allgemein Ökobilanz.

MJ

Energieeinheit Mega-Joule (10⁶ Joule) (1 kWh = 3,6 MJ)

NMVOC

flüchtige organische Stoffe ohne den Anteil an Methan, non Methane Volatile Organic Compound

Output

Stoff oder Energie, der/die von einem Prozess abgegeben wird.

POCP

Photochemical Oxidants Creation Potenzial in kg C₂H₄- Äquivalent, Sommersmog, Ozonbildungspotenzial, Beitrag der Emissionen zur Ozonbildung.

Primärenergie

auch als Rohenergie bezeichnet, ist der Energieinhalt der Energieträger in ihrer Ursprungsform. Die durch die Gewinnung, Umwandlung und Bereitstellung der Nutzenergie notwendigen Aufwände werden in Ökobilanzen auf die dafür notwendige Menge an Primärenergieträgern zurückgerechnet.

Recycling

Rückfluss von wiederverwertbaren Produkten und Stoffen in die Produktion derselben, ähnlicher oder anderer Produkte.

Ressource

In der Natur für die Nutzung verfügbarer Stoff oder Organismus wie z.B. Bodenschätze.

Rohstoff

Substanz, die in einem Umwandlungs- oder Produktionsprozess zur Herstellung eines Produktes eingesetzt wird.

Sachbilanz

Bestandteil einer Ökobilanz, der die Zusammenstellung und mengenmäßige Erfassung der Stoff- und Energieflüsse umfasst.

Systemgrenze

Schnittstelle zwischen einem Produktsystem und seiner Umwelt oder anderen Produktsystemen.

TAR

Thermische Abluftreinigung

Treibhauseffekt

Der Treibhauseffekt der Atmosphäre ist im Prinzip ein natürliches, für das Klima der Erde entscheidendes Phänomen. Durch anthropogen verursachte Emissionen kommt es zu einer nicht kontrollierbaren Verstärkung des Effektes und damit zu einer Veränderung des globalen Klimas.

Treibhausgase

Gase mit starken Absorptionsbanden im Infrarot (IR) - Licht – Bereich, Beispiele sind Wasserdampf und Kohlendioxid.

VOC

Flüchtige Kohlenwasserstoffe (volatile organic compound).

Wirkungsabschätzung

Teil der Ökobilanz. Die Ergebnisse aus der Sachbilanz werden in ihrer Wirkung auf die Umwelt beurteilt.

Anhang

A1 Treibhauseffekt

Die von der Sonne auf die Erdoberfläche abgestrahlte Energie wird zum Teil reflektiert, zum Teil absorbiert. Der absorbierte Anteil führt zur Erwärmung von Boden, Wasser und Luft. Relativ kurzwellige Strahlung trifft auf den Boden auf und wird, zu längeren Strahlen hin verschoben, als Wärmestrahlung in die Atmosphäre abgestrahlt. Bestimmte Spurengase tragen nun dazu bei, die bodennahe Atmosphäre aufzuheizen, indem sie die einfallende Sonnenstrahlung nahezu ungehindert durchlassen, aber einen großen Teil der von der Erde wieder ausgesandten Infrarotstrahlung absorbieren und so die Wärme nicht wieder in den Weltraum abgestrahlt werden kann. Beispiele für solche natürlichen, klimarelevanten Spurengase sind Wasserdampf (H_2O), Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Lachgas (N_2O), und Ozon (O_3). Durch die zunehmende Konzentration klimarelevanter, anthropogen erzeugter Spurengase in der Atmosphäre entsteht damit ein zusätzlicher Treibhauseffekt, der zu einer Erwärmung der Erdatmosphäre führt.

Der Temperaturanstieg durch eine gegebene Menge eines Treibhausgases ist nicht genau bekannt. Den verschiedenen Gasen kann aber ein Treibhauspotenzial zugeordnet werden. Entscheidende Größen sind dabei die Absorptionseigenschaften der Gase und die Lebenszeit der Moleküle in der Atmosphäre.

Das Treibhauspotenzial wird für ein Kilogramm eines Gases bezogen auf ein Kilogramm CO_2 angegeben. Da die Lebenszeit der Gase in die Berechnung mit eingeht, machen absolute Werte nicht viel Sinn. Deshalb muss der betrachtete Zeithorizont immer mit angegeben werden.

Die Ermittlung des Treibhauspotenzials erfolgt über die Summation der einzelnen Beiträge klimarelevanter Gase zum Treibhauseffekt. Die Summation erfolgt über die Einzelbeiträge GWP_i der Stoffe multipliziert mit der Emissionsmenge $m_{\text{Emission } i}$ in kg CO_2 -Äquivalent:

$$GWP_{\text{gesamt}} = \sum_i GWP_i \cdot m_{\text{Emission } i}$$

A2 Photochemisches Oxidantienbildungspotenzial

Das Ozon, das in der Stratosphäre eine wichtige Schutzfunktion wahrnimmt, wirkt in der Troposphäre als schädliches Spurengas. Ozon gilt als Zellgift für alle Organismen (Toxizität). Schon geringe Konzentrationen führen beim Menschen zu Gesundheitsschäden. Deshalb ist die Bildung von Ozon, als Folge von Emissionen in die Luft, eine wichtige indirekte Schadwirkung solcher Emissionen. Der genaue chemische Vorgang, der zur Ozonbildung in der Atmosphäre führt, ist relativ komplex.

Die photochemische Oxidantienbildung in der Troposphäre, auch „Sommer-Smog“ genannt, steht stark in dem Verdacht, zu Wald-, Vegetations- und Materialschäden zu führen. Höhere Konzentrationen von Ozon sind humantoxisch. Kinder, Asthmatiker und Sportler sind vom Sommer-Smog besonders betroffen. Zur genauen Quantifizierung der Ozonbildung durch verschiedene Stoffe definiert man ein sogenanntes „photochemisches oxidantienbildendes Potenzial“, kurz POCP. Um die verschiedenen Photooxidantien gegeneinander in Bezug zu setzen, werden sie als Ethen-Äquivalente angegeben. Genaue POCP-Werte lassen sich aber eigentlich nur für eine gegebene Belastungssituation angeben, da die tatsächliche Ozonbildung unter anderem von der NO_x -Konzentration, der Witterung (Wind, Luftfeuchtigkeit) und der Lichtintensität abhängt.

Die Summation erfolgt über die Einzelbeiträge $POCP_i$ der Stoffe multipliziert mit der Emissionsmenge $m_{\text{Emission } i}$ in $\text{kg Ethen-Äquivalent}$:

$$POCP_{\text{gesamt}} = \sum_i POCP_i \cdot m_{\text{Emission } i}$$

Veröffentlichungen der Reihe Industrie und Gewerbe (ISSN 0949-0485)

Titel	Band	Jahr der Herausgabe	Preis
Regelwerke und beste verfügbare Techniken zur Luftreinhaltung sowie Einsatz von Abfällen in der Zementindustrie 10 Seiten, Anhang	1	1999	.-
Entwicklung der Emissionen krebserzeugender Schadstoffe in Baden-Württemberg auf der Basis der Emissionserklärungen für das Jahr 1996	2	2000	.-
Betriebliche Energie- und Stoffstrommanagementsysteme Methoden, Praxiserfahrungen, Software – eine Marktanalyse 62 Seiten	3	2000	9,-- €
Blockheizkraftwerke Technik, Ökologie, Ökonomie 38 Seiten	4	2001	6,-- €
Holzhackschnitzel-Heizanlagen 78 Seiten	5	2001	9,-- €
Energie- und Stoffstromoptimierung in der betrieblichen Praxis der Lohnlackierung 89 Seiten	6	2002	8,-- €
Mitverbrennung von Abfällen in Zement- und Kohlekraftwerken in Baden-Württemberg (Kurzfassung)	7	2003	.-
Stoffströme in Druckereien optimieren 36 Seiten	8	2003	8,-- €
Mit der Pinch-Technologie Prozesse und Anlagen optimieren	9	2004	