

Felipe Wolff Fabris / Natascha Kuhl /
André Nogowski

Nachhaltige Lacksysteme

Rohstoffe, Technologien und ökologische
Bewertung moderner Beschichtungen



Dr.-Ing. Felipe Wolff Fabris, SKZ – KFE gGmbH, Europäisches Zentrum für Dispersionstechnologien (EZD),
Selb

Dr. Natascha Kuhl, SKZ – KFE gGmbH, Europäisches Zentrum für Dispersionstechnologien (EZD), Selb

André Nogowski, SKZ – KFE gGmbH, Europäisches Zentrum für Dispersionstechnologien (EZD), Selb

Weitere Informationen:

www.vogel-professional-education.de

ISBN 978-3-8343-3558-6

ISBN (E-Book) 978-3-8343-6338-1

1. Auflage. 2027

Alle Rechte, auch der Übersetzung, vorbehalten.

Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Hiervon sind die in §§ 53, 54 UrhG ausdrücklich genannten Ausnahmefälle nicht berührt.

Lektorat: Dr. Swen Wagner, Gladbeck

Druck: CPI books GmbH

Copyright 2026 by Vogel Communications Group GmbH & Co. KG, Würzburg

Vogel Communications Group GmbH & Co. KG

Max-Planck-Straße 7/9

97082 Würzburg

Tel.: +49 931 418-0

Fragen zur Produktsicherheit:

produktsicherheit@vogel.de

Vorwort

Die Industrie befindet sich in einer Phase des technologischen Umbruchs: von Digitalisierung und KI über Mensch-Maschine-Zusammenarbeit bis hin zu resilienten Lieferketten und Nachhaltigkeit. Während Unternehmen weltweit nach Wegen suchen, ökologischer, ressourceneffizienter und verantwortungsvoller zu produzieren, rückt eine Produktgruppe zunehmend in den Fokus, welche in unserem täglichen Leben oft unbemerkt bleibt, aber dieses doch maßgeblich prägt: Lacksysteme. Sie schützen Oberflächen, steigern die Funktionalität von Bauteilen und verlängern deren Lebensdauer – und sie bieten erhebliche Potenziale, wenn es darum geht, Nachhaltigkeit in der Material- und Oberflächentechnik neu zu gestalten.

Nachhaltige Lacksysteme sind längst keine Zukunftsvision mehr. Sie sind bereits heute verfügbar und zeigen klare Vorteile – von Umweltfreundlichkeit und Gesundheitsschutz über Ressourcenschonung bis hin zu Energieeffizienz. Zugleich verschärfen politische und regulatorische Rahmenbedingungen, etwa der European Green Deal, den Handlungsdruck und schaffen Anreize, Innovationen schneller in die industrielle Praxis zu überführen. Vor diesem Hintergrund stellt sich eine Reihe praxisnaher Fragen: Wie sehen nachhaltige Lösungen konkret aus? Welche Technologien stehen zur Verfügung? Wie lassen sich biobasierte Rohstoffe, innovative Applikationsverfahren oder emissionsarme Formulierungen in industrielle Prozesse integrieren? Und welche Rolle spielt die Entlackung am Ende des Lebenszyklus für eine Kreislaufwirtschaft?

Dieses Fachbuch gibt darauf umfassende Antworten.

„**Nachhaltige Lacksysteme**“ führt seine Leserinnen und Leser entlang der gesamten Wertschöpfungskette moderner Beschichtungsmaterialien – von der Motivation über die Rohstoffauswahl und Herstellung bis hin zu Anwendung, Bewertung und nachhaltigen Entlackungsstrategien. Es zeigt auf, wie flüchtige organische Verbindungen reduziert werden können, welche Potenziale in biobasierten Rohstoffen liegen und welche energieeffizienten Technologien heute bereits industriell einsetzbar sind. Viele aktuelle Erkenntnisse aus unseren Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten am Europäischen Zentrum für Dispersionstechnologien (EZD) sind in dieses Buch eingeflossen.

Die Kapitel sind so strukturiert, dass sie Orientierung bieten und zugleich den Transfer in die Praxis erleichtern:

- **Einleitung:** Warum Lacksysteme eingesetzt werden und wie Marktanforderungen und der Green Deal die Branche prägen.
- **Was bedeutet Nachhaltigkeit?** Die Bewertungsmethoden der ökologischen Nachhaltigkeit als Grundlage für fundierte Entscheidungen.
- **Bestandteile nachhaltiger Lacksysteme:** Bindemittel (Acrylate, Polyurethane, Epoxide etc.), Lösemittelstrategien (Wasser, „Green Solvents“, lösemittelfreie Systeme etc.), Additive (Netz- und Dispergieradditive, Rheologieadditive etc.) sowie Farbpigmente und Füllstoffe (Ruß, biobasierte Pigmente etc.).
- **Energieeffiziente Herstellung:** Verfahren zur Einarbeitung und Dispergierung als zentrale Hebel für Produktqualität, robuste Prozessführung und einen möglichst geringen Energieaufwand.

- **Nachhaltige Applikation:** Energieeffiziente Auftragssysteme und umweltfreundliche Lackierung von Bauteilen.
- **Entlackung und Kreislaufwirtschaft:** Chemische, mechanische und laserbasierte Ansätze, die Bauteilrecycling ermöglichen, Materialschleifen schließen und den Ressourcenverbrauch senken.

Damit richtet sich dieses Werk besonders an Fachleute der Lack- und Beschichtungsindustrie, an Entwicklerinnen und Entwickler, Anwenderinnen und Anwender, Technologinnen und Technologen sowie an alle, die nachhaltige Lösungen voranbringen möchten. Ebenso finden Studierende, Forschende und Entscheiderinnen und Entscheider in Unternehmen fundierte Impulse für die Weiterentwicklung hin zu einer ressourcenschonenden Oberflächentechnik.

Unser Ziel ist es, zu informieren, Orientierung zu geben und die Verantwortung für Produkte, Prozesse und Umwelt als gemeinsame Aufgabe zu begreifen. Nachhaltige Lacksysteme sind kein Randthema – sie sind ein zentraler Gestaltungsraum der industriellen Transformation.

Wir wünschen Ihnen eine interessante und erkenntnisreiche Lektüre.

André Nogowski
Dr. Natascha Kuhl
Dr.-Ing. Felipe Wolff Fabris

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Einleitung	11
1.1 Industrie im Wandel der Zeit.....	12
1.2 Bedeutung von Forschung und Entwicklung im Kontext nachhaltiger Lacksysteme.....	13
1.3 Industrielle Anwendbarkeit nachhaltigerer Lacksysteme.....	15
1.4 Zukunftsaussichten.....	18
Quellen.....	19
2 Was bedeutet Nachhaltigkeit und wie wird sie bewertet?	21
2.1 Von Carlowitz zur „Produktnachhaltigkeit“.....	22
2.2 Perspektiven und Bewertungsmethoden der ökologischen Nachhaltigkeit.....	23
2.3 Nachhaltigkeitsstrategien.....	25
2.4 Carbon Footprint.....	26
2.5 Nachweis und Kommunikation von Nachhaltigkeit.....	29
Quellen.....	32
3 Bestandteile von nachhaltigen Farben und Lacken	33
3.1 Bindemittel.....	35
3.1.1 Funktion und Bedeutung.....	35
3.1.2 Nachhaltige Alternativen.....	37
3.1.3 Bewertungskriterien.....	39
3.1.4 Innovationen und Trends.....	41
3.1.5 Zusammenfassung und Ausblick.....	42
3.2 Lösemittel.....	43
3.2.1 Funktion und Bedeutung.....	43
3.2.2 Nachhaltige Alternativen.....	45
3.2.3 Bewertungskriterien.....	48
3.2.4 Innovationen und Trends.....	49
3.2.5 Zusammenfassung und Ausblick.....	50
3.3 Additive.....	51
3.3.1 Funktionen und Typen.....	51
3.3.2 Nachhaltige Additive.....	53
3.3.3 Bewertungskriterien.....	54
3.3.4 Innovationen und Trends.....	56
3.3.5 Zusammenfassung und Ausblick.....	57
3.4 Farbpigmente und Füllstoffe.....	58
3.4.1 Funktion und Typen.....	58
3.4.2 Nachhaltige Pigmente.....	59
3.4.3 Nachhaltige Füllstoffe.....	60
3.4.4 Bewertungskriterien.....	61

3.4.5	Innovationen und Trends	63
3.4.6	Zusammenfassung und Ausblick.....	64
	Quellen.....	64
4	Energieeffiziente Herstellung von Farben und Lacken	71
4.1	Dispergieren	73
4.2	Beanspruchungsmechanismen	75
4.3	Spezifischer Energieeintrag.....	76
4.4	Dispergierbarkeit.....	78
4.5	Dispergieren und sein Einfluss auf die Produkteigenschaften	79
4.6	Dispergierverfahren.....	80
4.6.1	Dissolver	81
4.6.2	Inline-Dispergierer.....	83
4.6.3	Dreiwälzwerk	86
4.7	Rührwerkskugelmühlen	88
	Quellen.....	96
5	Energieeffiziente Applikationssysteme und materialschonende Lackierung	99
5.1	Der Paradigmenwechsel in der industriellen Beschichtungstechnik	100
5.2	Physik und Verfahrenstechnik der Applikation: Maximierung des Auftragswirkungsgrades.....	101
5.2.1	Hochrotationszerstäubung (HRZ): die Dominanz der Zentrifugalkräfte	102
5.2.2	Oversprayfreie Lackapplikation (OFLA)	105
5.3	Pulverlackierung: Effizienz durch Kreislaufführung und Ressourcenschonung	106
5.3.1	Physikalische Grundlagen der Aufladungsmechanismen: Tribo vs. Corona.....	107
5.3.2	Materialrückgewinnung: Fluidodynamik und der geschlossene Kreislauf	108
5.4	Overspray-Management: von der Energievernichtung zur Trockenabscheidung	109
5.5	Energieeffiziente Trocknung und Härtung: Thermodynamik und Strahlungsphysik.....	111
5.6	Ressourceneffizienz durch Rückgewinnung: Ultrafiltration im KTL-Prozess.....	113
5.7	Industrie 4.0: Digitalisierung und Simulation als Enabler	116
5.7.1	Fluiddynamische Modellierung: CFD-Simulation und der digitale Zwilling.....	116
5.7.2	Elektromagnetische Wellenphysik: Terahertz-Schichtdickenmessung.....	117
5.7.3	Künstliche Intelligenz (KI) und Machine Learning in der Prozessüberwachung	118
5.8	Fazit und Synthese: der Weg zur klimaneutralen Lackieranlage.....	119
	Quellen.....	120

6	Entlackung und Kreislaufwirtschaft.....	123
6.1	Umweltvorteile durch Lacksysteme	124
6.2	Herausforderungen bei der Lackentfernung und Wiederbeschichtung	125
6.3	Verwertung und Recycling von Lacksystemen	126
6.4	Bauteilrecycling als Schlüssel der Kreislaufwirtschaft – und warum Lacke den Recyclingprozess nicht stören dürfen	128
6.5	Haftung und chemische Beständigkeit von Lacksystemen – Schlüssel für Funktionalität, Herausforderung für Recycling	129
6.6	Mechanisches Entlacken	130
6.7	Thermisches Entlacken	133
6.8	Chemisches Entlacken.....	139
6.9	Perspektiven	146
	Quellen.....	150
	Abkürzungen.....	153
	Stichwortverzeichnis.....	155
	Das Autorenteam	157
	Dank.....	159

1 Einleitung

In diesem Kapitel werden folgende Fragestellungen behandelt:

Was treibt die Transformation in der Lack- und Beschichtungsindustrie?

Wo werden nachhaltige Lacksysteme eingesetzt?

Wie rechnet sich Nachhaltigkeit im Green Deal?

Was leisten Forschung und Entwicklung?

1.1 Industrie im Wandel der Zeit

Der Wandel hin zu einer nachhaltigeren Gesellschaft ist längst nicht mehr nur ein Ideal, sondern eine Notwendigkeit – politisch, wirtschaftlich und ökologisch. Der im Dezember 2019 von der Europäischen Kommission vorgestellte European Green Deal ist ein umfassender Fahrplan zur Umgestaltung der europäischen Wirtschaft in Richtung Nachhaltigkeit. Ziel ist es, Europa bis zum Jahr 2050 zum ersten klimaneutralen Kontinent zu machen. Der Green Deal umfasst Maßnahmen in Bereichen wie Energie, Mobilität, Landwirtschaft, Industrie und Kreislaufwirtschaft. Für die Industrie bedeutet dies unter anderem:

- Dekarbonisierung der Produktion
- Förderung nachhaltiger Produkte und Prozesse
- Stärkung der Kreislaufwirtschaft
- Verpflichtende Nachhaltigkeitsberichte
- Strengere Chemikalienregulierung (z. B. REACH, CLP)

Die Lackindustrie steht im Zentrum zahlreicher ökologischer und gesellschaftlicher Herausforderungen. Lacke und Beschichtungen enthalten traditionell flüchtige organische Verbindungen (VOC), Schwermetalle und andere umweltbelastende Stoffe. Diese können nicht nur die Umwelt (in Form der Luftqualität) beeinträchtigen, sondern auch gesundheitliche Risiken für Arbeiter und Endverbraucher darstellen. Gleichzeitig sind Beschichtungen essenziell für den Schutz und die Langlebigkeit von Produkten in nahezu allen Industriezweigen – von der Automobil- bis zur Bauindustrie.

Nachhaltige Lacksysteme bieten hier einen entscheidenden Hebel: Sie ermöglichen es, Umweltbelastungen zu reduzieren, Ressourcen effizienter zu nutzen und gleichzeitig die Leistungsfähigkeit industrieller Anwendungen zu erhalten oder sogar zu verbessern. Während traditionelle Lacksysteme über Jahrzehnte hinweg vor allem auf maximale technische Performance und geringe Kosten ausgelegt waren – oft unter Einsatz umwelt- und gesundheitskritischer Substanzen –, hat sich das Anforderungsprofil seit Mitte der 2010er-Jahre noch einmal deutlich verändert. Für die Gesellschaft bedeutet dies einen Beitrag zu Gesundheitsschutz, Ressourcenschonung und Klimaschutz. Für die Industrie eröffnet sich die Chance, durch Innovationen neue Märkte zu erschließen und regulatorischen Anforderungen proaktiv zu begegnen.

Information

„Der **europäische Grüne Deal** ist unsere neue Wachstumsstrategie – für ein Wachstum, das uns mehr bringt, als es uns kostet. Er zeigt, wie wir unsere Art zu leben und zu arbeiten, zu produzieren und zu konsumieren, ändern müssen, um gesünder zu leben und unsere Unternehmen innovationsfähig zu machen.“ (Ursula von der Leyen, Präsidentin der Europäischen Kommission, am 11. Dezember 2019)

Die Bedeutung des European Green Deal für die Lackbranche

Die Lackbranche ist von den Maßnahmen des European Green Deal in besonderem Maße betroffen, da sie sowohl energieintensive Prozesse als auch chemisch komplexe Produkte umfasst. Die Umsetzung des Green Deal bringt tiefgreifende Veränderungen für die Branche mit sich:

- Regulatorische Anforderungen: Die Industrie muss sich auf strengere Vorschriften einstellen, etwa im Hinblick auf VOC-Emissionen, die Verwendung gefährlicher Stoffe

(RoHS, REACH), Ökodesign-Vorgaben und Abfallvermeidung. Auch das Lieferketten-sorgfaltspflichtengesetz verpflichtet Unternehmen, Umwelt- und Sozialstandards entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu gewährleisten.

- **Marktveränderungen:** Die Nachfrage nach umweltfreundlichen Produkten steigt. Kunden – sowohl im B2B- als auch im B2C-Bereich – erwarten zunehmend nachhaltige Lösungen. Gleichzeitig fördern öffentliche Ausschreibungen und Förderprogramme gezielt grüne Technologien.
- **Produktentwicklung:** Unternehmen müssen ihre Formulierungen überdenken, alternative Rohstoffe einsetzen (z. B. biobasierte oder recycelte Materialien) und neue Applikationstechnologien entwickeln, etwa UV-härtende oder wasserbasierte Systeme.

Diese Veränderungen bringen eine Reihe von Herausforderungen für die Unternehmen:

- **Kosten und Investitionen:** Die Umstellung auf nachhaltige Systeme erfordert Investitionen in Forschung, Entwicklung und Produktionstechnologie. Kurzfristig kann dies zu höheren Kosten führen (Green Premium).
- **Technologische Komplexität:** Die Entwicklung leistungsfähiger, umweltfreundlicher Lacke ist technisch anspruchsvoll und erfordert interdisziplinäre Zusammenarbeit. Dies könnte auch die Einführung neuer Technologien und Verfahren umfassen.
- **Regulatorische Unsicherheit:** Die Dynamik der Gesetzgebung stellt Unternehmen vor die Herausforderung, flexibel und vorausschauend zu agieren.

Gleichzeitig birgt jede Veränderung auch Chancen:

- **Innovationsvorsprung:** Unternehmen, die frühzeitig in nachhaltige Technologien investieren, können sich Wettbewerbsvorteile sichern.
- **Marktzugang:** Nachhaltige Produkte eröffnen neue Märkte, insbesondere in regulierten Bereichen wie dem öffentlichen Bauwesen oder der Automobilindustrie.
- **Imagegewinn:** Nachhaltigkeit wird zunehmend zum Differenzierungsmerkmal in der Markenkommunikation.

1.2 Bedeutung von Forschung und Entwicklung im Kontext nachhaltiger Lacksysteme

Forschung und Entwicklung (F&E) sind die treibenden Kräfte hinter Innovationen und technologischem Fortschritt und spielen eine zentrale Rolle bei der Bewältigung der o. g. Herausforderungen sowie der Erschließung neuer Chancen. In der Lackindustrie ermöglichen sie die Entwicklung neuer, umweltfreundlicher Materialien und Technologien. Dazu gehören beispielsweise wasserbasierte Lacke, UV-härtende Systeme und biobasierte Rohstoffe. Diese Innovationen tragen dazu bei, die Umweltbelastung zu reduzieren und gleichzeitig die Leistungsfähigkeit und Haltbarkeit der Beschichtungen zu verbessern.

Ein zentraler Aspekt der F&E im Bereich nachhaltiger Lacksysteme ist die Verbesserung der Ressourceneffizienz. Durch die Entwicklung neuer Formulierungen und Applikationstechnologien können Rohstoffe effizienter genutzt und Abfälle minimiert werden. Dies

schont nicht nur die Umwelt, sondern auch die wirtschaftlichen Ressourcen der Unternehmen. Ein Beispiel hierfür sind Pulverlacksysteme, die eine hohe Materialausbeute bieten und lösemittelfrei sind.

Information

Biobasierter Rohstoff bezeichnet einen Rohstoff, der aus Biomasse stammt und als Ausgangsstoff für die Herstellung von Produkten, Materialien oder Energie dient. Biomasse umfasst dabei alle biologisch abbaubaren Teile von Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen. (DIN EN 16575:2014-10)

Auch der Einsatz von biobasierten Rohstoffen ist ein wesentlicher Punkt bei der Entwicklung und dem Einsatz von nachhaltigen Lacksystemen. Bei der Auswahl biobasierter Rohstoffe ist jedoch auch die potenzielle Konkurrenz zur Lebensmittelindustrie zu berücksichtigen: Werden beispielsweise pflanzenbasierte Öle oder Zucker als Lackbestandteile eingesetzt, kann dies zu Zielkonflikten mit der Nahrungsmittelproduktion führen. Umso wichtiger ist es, auf Reststoffe, Nebenprodukte oder sogenannte Second-Generation-Biomasse zurückzugreifen, um ökologische Vorteile zu erzielen, ohne soziale oder wirtschaftliche Nachteile in anderen Bereichen zu verursachen. Gleichzeitig kann der Einsatz von biobasierten Rohstoffen zu größeren Schwankungen im Prozess und Produkt aufgrund Schwankungen in den Ausgangsstoffen führen. Sowohl der Prozess als auch die Rezeptur des Lacksystems muss dahingehend robust und flexibel sein, um mögliche Schwankungen auszugleichen.

Bei der Lackherstellung ermöglichen prozessbegleitende Methoden wie Inline- oder Online-Messsysteme eine kontinuierliche Überwachung der Produktion. Dadurch können Rohstoffe zielgerichtet und sparsam eingesetzt werden, wodurch Abfall reduziert wird und Ressourcen geschont werden. Durch kontinuierliche Messungen (z. B. Viskosität, Flüssigfarbmessung, pH-Wert, Partikelgröße) kann die Qualität des Lacks während der Produktion überwacht und gesteuert werden. Das verhindert Ausschuss und Nacharbeit, was wiederum Zeit, Energie und Material spart. Die Implementierung solcher Methoden bei der Lackproduktion spielt deshalb aktuell eine große Rolle bei etlichen F&E-Projekten.

Nachhaltigkeit in der Lackindustrie wird nicht nur durch neue Rezepturen und Prozessoptimierung vorangetrieben, sondern auch durch innovative Recyclingkonzepte. Bei der Herstellung, Anwendung und Entsorgung von Lacksystemen fallen verschiedene Abfallstoffe an – darunter überschüssiger Lack, Reinigungsmittel, Lösemittelreste und Verpackungsmaterialien. Durch gezieltes Recycling können diese Stoffe wiederverwertet oder in den Produktionskreislauf zurückgeführt werden, anstatt sie als (Sonder-)Müll zu entsorgen.

Die Forschung zu umweltfreundlichen Beschichtungsmaterialien ist ein dynamisches Feld, das ständig neue Trends und Entwicklungen hervorbringt. Dazu gehören beispielsweise die Nutzung von Nanotechnologie zur Verbesserung der Materialeigenschaften und die Entwicklung von selbstheilenden Beschichtungen. Potenzielle Durchbrüche in der F&E können die Branche nachhaltig verändern. Ein Beispiel hierfür ist die Entwicklung von Lacken, die CO₂ aus der Atmosphäre binden und somit aktiv zum Klimaschutz beitragen [1-1]. Solche Technologien könnten einen erheblichen Einfluss auf die Umweltbilanz der Industrie haben und neue Marktchancen eröffnen.

Öffentliche Förderprogramme und Unterstützung durch Regierungen sind entscheidend für die Durchführung und Umsetzung von solchen risikoreichen F&E-Projekten. Der European Green Deal umfasst zahlreiche Maßnahmen zur Förderung nachhaltiger Technologien

und Innovationen. Unternehmen in der Lackbranche können von diesen Programmen profitieren und ihre F&E-Aktivitäten gezielt ausbauen.

Die Herausforderungen der industriellen Transformation erfordern interdisziplinäre Kooperationen zwischen Industrie, Forschungseinrichtungen und öffentlichen Behörden. Diese Zusammenarbeit ermöglicht den Austausch von Wissen und Erfahrungen und fördert die Entwicklung innovativer Lösungen. Netzwerke wie VILF e. V. [1-2], Smart Paint Factory Alliance e. V. [1-3] oder go2green [1-4] spielen eine wichtige Rolle bei der Vernetzung relevanter Akteure, der Förderung solcher Kooperationen und der Verbreitung von Best Practices.

1.3 Industrielle Anwendbarkeit nachhaltigerer Lacksysteme

Information

Ein **Lacksystem** ist eine komplexe Formulierung aus Bindemitteln, Pigmenten, Füllstoffen, Nano-Additiven, Dispergieradditiven, Lösemitteln oder Wasser, UV-Initiatoren, Koaleszenzmitteln, Neutralisationsmitteln, Rheologieadditiven, Konservierungsmitteln etc., die gemeinsam die gewünschten Schutz-, Haftungs- und Oberflächeneigenschaften erzeugen.

Hauptsächliche Industrien für die Lackapplikation

Automobilindustrie

Die Automobilindustrie zählt zu den größten Abnehmern von Lacken und Beschichtungen. Traditionell wurden lösemittelhaltige Systeme verwendet, die jedoch erhebliche Mengen an VOC freisetzen. Im Zuge der Nachhaltigkeitsziele setzen Hersteller zunehmend auf wasserbasierte Lacke und Pulverlacksysteme. Diese Lack- und Beschichtungssysteme zeichnen sich durch einen sehr geringen VOC-Gehalt aus, ermöglichen aufgrund hoher Transfereffizienzen eine nahezu verlustfreie Applikation und tragen somit zu einer gesteigerten Material- und Prozesseffizienz bei.

Pulverlacke zeichnen sich durch ihre Wiederverwendbarkeit aus: Überschüssiges Pulver kann zurückgewonnen und erneut verwendet werden. Dies reduziert nicht nur den Materialverbrauch, sondern auch die Abfallmenge. Zudem ermöglichen moderne Applikationstechniken wie elektrostatische Sprühverfahren eine gleichmäßige Beschichtung bei minimalem Overspray.

Information

Unter **Overspray** wird der überschüssige Lacknebel verstanden, der entsteht, wenn ein gewisser Anteil der aufzubringenden Beschichtung das Substrat nicht erreicht. Dabei wird Aerosol in die Lackierkabinenatmosphäre freigesetzt, dessen Material für die gezielte Auftragung verloren ist. Der Anteil kann aktuell etwa 40 bis 50 % erreichen.

Ein weiterer Vorteil nachhaltiger Lacksysteme in der Automobilindustrie ist die Reduktion des Energieverbrauchs. Niedrigtemperaturhärtende Pulverlacke (Einbrenntemperatur: ca. 100 bis 120 °C) senken den Energiebedarf in der Aushärtungsphase erheblich, was einen wichtigen Beitrag zur CO₂-Reduktion in der Produktion darstellt [1-5].

Bauindustrie

In der Bauindustrie dienen Lacksysteme nicht nur der Ästhetik, sondern vor allem dem Schutz von Oberflächen gegen Witterungseinflüsse, UV-Strahlung und mechanische Belastungen. Nachhaltige Lacksysteme in diesem Bereich zeichnen sich durch eine lange Lebensdauer, geringe Emissionen und hohe Widerstandsfähigkeit aus.

Ein Beispiel sind photokatalytische Beschichtungen, die durch UV-Licht aktiviert werden und organische Schadstoffe auf der Oberfläche abbauen [1-6]. Diese Selbstreinigungseffekte reduzieren den Wartungsaufwand und verlängern die Lebensdauer von Fassaden. Auch biobasierte Bindemittel aus nachwachsenden Rohstoffen finden zunehmend Anwendung und tragen zur Reduktion fossiler Ressourcen bei.

Maschinenbau

Im Maschinenbau sind Korrosionsschutzlacke essenziell, um die Lebensdauer von Metallbauteilen zu verlängern. Besonders innovativ sind UV-härtende Lacksysteme, die ohne Lösemittel auskommen und in Sekundenbruchteilen aushärten [1-7]. Diese Systeme ermöglichen eine schnelle Verarbeitung, reduzieren den Energieverbrauch und bieten gleichzeitig eine hervorragende Haftung – selbst auf öligen oder leicht korrodierten Oberflächen.

Ein weiterer Vorteil ist die hohe Prozesssicherheit: UV-härtende Systeme lassen sich präzise steuern und ermöglichen eine gleichbleibend hohe Qualität. Dies ist insbesondere in der Serienfertigung von Vorteil, wo Effizienz und Reproduzierbarkeit entscheidend sind.

Elektronikindustrie

Die Elektronikindustrie stellt besonders hohe Anforderungen an Lacksysteme: Diese müssen nicht nur schützen, sondern auch funktionale Eigenschaften bieten. Nanotechnologiebasierte Beschichtungen eröffnen hier neue Möglichkeiten. Sie verbessern die elektrische Leitfähigkeit, bieten Schutz vor Feuchtigkeit, Staub und chemischen Einflüssen und können sogar antimikrobielle Eigenschaften aufweisen.

Ein Beispiel sind dünne, transparente Schutzlacke, die auf Leiterplatten aufgetragen werden und gleichzeitig die Wärmeableitung verbessern [1-8]. Solche Systeme tragen zur Miniaturisierung elektronischer Bauteile bei und ermöglichen neue Designansätze in der Mikroelektronik.

Verpackungsindustrie

Auch die Verpackungsindustrie entwickelt sich in Richtung Nachhaltigkeit weiter. Lacksysteme für Metall-, Papier- und Kunststoffverpackungen müssen nicht nur Schutz bieten, sondern auch mit modernen Anforderungen an Recyclingfähigkeit, Lebensmittelsicherheit und Umweltverträglichkeit vereinbar sein. Wasserbasierte Systeme sowie BPA-freie Innenlackierungen (BPA = Bisphenol A) setzen hier zunehmend Maßstäbe – ebenso wie kompostierbare oder biologisch abbaubare Varianten [1-9].

Konsumgüterindustrie

In der Konsumgüterindustrie, beispielsweise bei Möbeln, Haushaltsgeräten oder Spielwaren, spielen gesundheitliche Aspekte eine zentrale Rolle. Hier kommen zunehmend VOC-freie, formaldehydfreie und biozidfreie Lacksysteme zum Einsatz [1-10]. Biobasierte oder nachwachsende Rohstoffe helfen zudem, die Umweltbelastung entlang des

Produktlebenszyklus zu reduzieren, während geeignete Beschichtungen die Recyclingfähigkeit der Produkte verbessern.

Luft- und Raumfahrt

In der Luft- und Raumfahrtindustrie stehen extreme Anforderungen an Gewicht, Witterungsbeständigkeit und Wartungsfreiheit im Vordergrund. Nachhaltige Lacksysteme helfen hier, das Gewicht von Flugzeugen zu reduzieren und die Lebensdauer beschichteter Komponenten zu verlängern. Gleichzeitig gewinnen umweltfreundlichere Applikationsverfahren sowie der Ersatz von kritischen Lösemitteln an Bedeutung [1-11].

Schiffbau

Im Schiffbau stehen Beschichtungen vor besonderen Herausforderungen: Sie müssen extremen Umweltbedingungen standhalten, Korrosion verhindern und gleichzeitig hydrodynamische Eigenschaften verbessern. Moderne silikonbasierte Antifouling-Beschichtungen bieten hier eine nachhaltige Lösung [1-12]. Sie verhindern die Ansiedlung von Meeresorganismen am Schiffsrumpf, ohne biozide Wirkstoffe freizusetzen, wie es bei traditionellen Systemen der Fall war.

Die Vorteile sind vielfältig: Ein sauberer Schiffsrumpf reduziert den Wasserwiderstand, was den Treibstoffverbrauch und damit die CO₂-Emissionen senkt. Gleichzeitig verlängert sich das Wartungsintervall, was Ressourcen spart und die Betriebskosten senkt. Diese Systeme tragen somit nicht nur zur ökologischen, sondern auch zur ökonomischen Nachhaltigkeit bei.

Kosten-Nutzen-Analyse: Green Premium

Die Umstellung auf nachhaltige Lacksysteme ist mit Investitionen verbunden – in neue Rohstoffe, Technologien und Produktionsprozesse. Diese Mehrkosten werden als „Green Premium“ bezeichnet. Doch eine differenzierte Kosten-Nutzen-Analyse zeigt, dass nachhaltige Systeme langfristig wirtschaftliche Vorteile bieten können:

- Reduzierter Materialverbrauch durch höhere Ausbeute und Wiederverwendbarkeit
- Geringere Entsorgungskosten durch VOC-freie und recyclingfähige Systeme
- Energieeinsparungen durch niedrigere Härtungstemperaturen oder UV-Technologie
- Weniger Produktionsunterbrechungen durch höhere Prozesssicherheit
- Imagegewinn und Marktzugang durch Erfüllung von Umweltstandards und Kundenanforderungen

Zudem fördern viele Staaten und Institutionen die Umstellung auf nachhaltige Technologien durch Subventionen, Steuererleichterungen und Förderprogramme, was die Investitionskosten weiter senken kann.

Kundenerwartungen und Marktanforderungen

Die Nachfrage nach nachhaltigen Produkten wächst kontinuierlich – sowohl im B2B- als auch im B2C-Bereich. Kunden erwarten heute nicht nur funktionale und langlebige Produkte, sondern auch eine transparente Darstellung der ökologischen Auswirkungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette (Bild 1.1). In der Lackbranche bedeutet das, dass Unternehmen nachvollziehbare Lieferketten sicherstellen müssen, etwa durch die Einhaltung des

Lieferkettensorgfaltspflichtengesetzes. Ebenso gewinnen Umweltzertifikate wie der Blaue Engel, das EU Ecolabel oder Cradle-to-Cradle zunehmend an Bedeutung, da sie als glaubwürdige Nachweise für umweltfreundliche Produktgestaltung dienen.

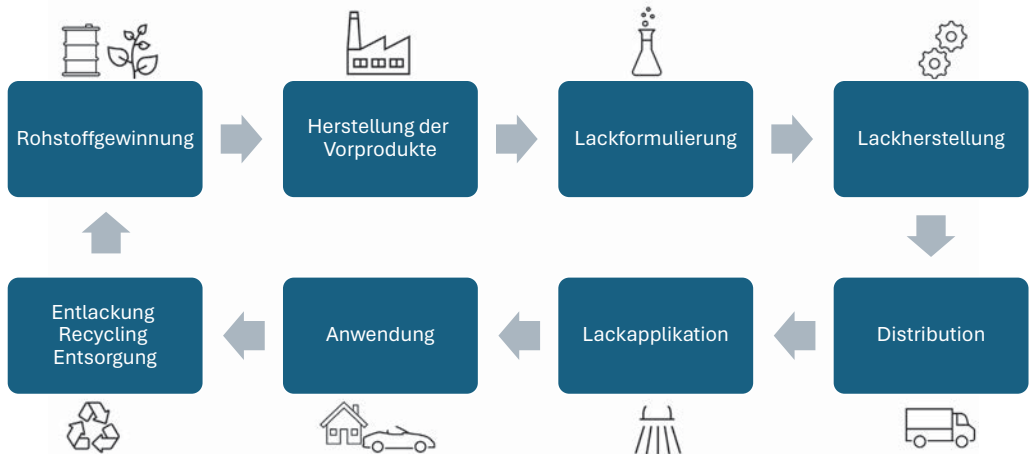


Bild 1.1 Nachhaltige Lacksysteme erfordern eine ganzheitliche Betrachtung der gesamten Wertschöpfungskette (Quelle: EZD – Das Dispergier-Zentrum)

Ein weiterer zentraler Aspekt ist die transparente Kommunikation über Inhaltsstoffe, Emissionen und die Recyclingfähigkeit der Produkte. Unternehmen, die diese Informationen offenlegen und aktiv in ihre Markenkommunikation integrieren, können sich positiv vom Wettbewerb abheben. Gleichzeitig steigt der regulatorische Druck: Gesetzliche Vorgaben und öffentliche Ausschreibungen setzen zunehmend nachhaltige Kriterien voraus, was die Branche zu einem Umdenken zwingt.

Parallel dazu zeigt sich ein wachsender Trend zur Individualisierung. Kunden wünschen sich maßgeschneiderte Lösungen, die nicht nur funktional, sondern auch ökologisch optimiert sind. Dies erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen Herstellern, Anwendern und Forschungseinrichtungen, um innovative, nachhaltige Lacksysteme zu entwickeln, die den steigenden Anforderungen gerecht werden.

1.4 Zukunftsaussichten

Die industrielle Anwendbarkeit nachhaltigerer Lacksysteme ist nicht nur technologisch möglich, sondern wirtschaftlich sinnvoll und gesellschaftlich notwendig. In nahezu allen Branchen – von der Automobil- über die Bau- bis zur Elektronikindustrie – bieten nachhaltige Beschichtungssysteme konkrete Vorteile: Sie reduzieren Umweltbelastungen, verbessern die Ressourceneffizienz und erfüllen steigende Marktanforderungen.

Ein ganzheitlicher Ansatz ist für die Entwicklung und Anwendung nachhaltiger Lacksysteme von zentraler Bedeutung, weil Nachhaltigkeit weit über die bloße Auswahl umweltfreundlicher Rohstoffe hinausgeht. Es geht darum, den gesamten Lebenszyklus eines Lacksystems zu betrachten – von der Rohstoffgewinnung über die Produktion und Anwendung

bis hin zur Entsorgung oder Wiederverwertung. Nur wenn alle diese Phasen in die Bewertung einbezogen werden, lassen sich ökologische, ökonomische und soziale Auswirkungen realistisch einschätzen und optimieren.

F&E, unterstützt durch politische Rahmenbedingungen wie den European Green Deal, treibt diese Transformation voran. Unternehmen, die frühzeitig auf nachhaltige Lackssysteme setzen, sichern sich nicht nur regulatorische Konformität, sondern auch Innovationsvorsprung und Marktzugang. Nachhaltige Lackssysteme sind damit kein Nischenthema mehr – sondern ein zentraler Baustein einer zukunftsorientierten, resilienten Industrie.

Quellen

- 1-1 Shen Y, Jiang L, Shen P, Peng L, Poon C, Wang F: Development of photocatalytic carbonation coating for concrete: Enhancement of air quality and sequestration of CO₂. In: *Cement and Concrete Composites* 145 (2024), 105308. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2023.105308>
- 1-2 VILF e. V.: Verband der Ingenieure des Lack- und Farbenfaches. <https://vilf.de/>
- 1-3 Smart Paint Factory Alliance e. V.: Homepage. <https://smartpaintfactory.com/>
- 1-4 Netzwerk go2green: Nachhaltige Farben und Lacke. <https://go2green.net/>
- 1-5 Pietschmann J: Umwelt- und Energieaspekte. In: *Industrielle Pulverbeschichtung. JOT-Fachbuch*, Wiesbaden: Springer Vieweg 2023, S. 465-478. https://doi.org/10.1007/978-3-658-40812-1_10
- 1-6 Dell'Edera M, Lo Porto C, De Pasquale I, Petronella F, Curri ML, Agostiano A, Comparrilli R: Photocatalytic TiO₂-based coatings for environmental applications. In: *Catalysis Today*, 380 (2021), S. 62-83. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2021.04.023>
- 1-7 Deflorian F, Fedel M: UV-curable organic polymer coatings for corrosion protection of steel. In: *Handbook of Smart Coatings for Materials Protection* (2014), S. 530-559. <https://doi.org/10.1533/9780857096883.3.530>
- 1-8 Ohayon-Lavi A, Shachar-Michaely G, Koronio E, Keller Y, Yalon E, Ziskind G, Regev O: Graphene-based conformal coating for heat dissipation on printed circuit boards. In: *Applied Thermal Engineering* 229 (2023), 120562. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.120562>
- 1-9 Jahangiri F, Mohanty AK, Misra M: Sustainable biodegradable coatings for food packaging: challenges and opportunities. In: *Green Chemistry* 26 (2024), S. 4934-4974. <https://doi.org/10.1039/D3GC02647G>
- 1-10 Knospe P, Shams Uldeen M, Reichmann R, Seithümmner J, Abdulkarim A, Rubbert LV, Knospe F, Dornbusch M: Next-generation urea resins: formaldehyde-free coating materials based on higher aldehydes and amides. In: *Journal of Coatings Technology and Research* 22 (2025), S. 999-1017. <https://doi.org/10.1007/s11998-024-01027-x>
- 1-11 Bouali AC, Serdechnova M, Blawert C, Tedim J, Ferreira MGS, Zheludkevich ML: Layered double hydroxides (LDHs) as functional materials for the corrosion protection of aluminum alloys: A review. In: *Applied Materials Today* 21 (2020), 100857. <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2020.100857>
- 1-12 Jeong J, Shin M, Kang SM, Seo M: Sediment-resistant marine antifouling amphiphilic random copolymer coating. In: *NPG Asia Materials* 17 (2025), S. 17-24. <https://doi.org/10.1038/s41427-025-00606-7>