

Informationsserie des Fonds der Chemischen Industrie

28 Lacke und Farben

Textheft



Autos, Maschinen, Flugzeuge, Schiffe, Brücken und Masten, die Fassaden und die Innenräume von Häusern, Möbel: Die Liste der vom Menschen geschaffenen Produkte, die mit Lacken und Farben beschichtet sind, lässt sich beliebig fortsetzen. In Deutschland werden jährlich mehr als 1,6 Millionen Tonnen Lacke und Farben von Industrie und Handwerk sowie im Do-it-yourself-Bereich verarbeitet. Der Bezug zur Alltagswelt ist also allgegenwärtig. Die vorliegende Informationsserie „Lacke und Farben“ soll wichtige Grundlagen der Chemie der Lacke und Farben vermitteln und anhand typischer Anwendungen die große Spannweite ihrer Einsatzgebiete verdeutlichen. Auf Arbeits-, Gesundheits- und Umweltschutzaspekte wird dabei bewusst im jeweiligen Zusammenhang und nicht in einem gesonderten Kapitel eingegangen.

Bei der Konzeption und Erstellung unserer Informationsmaterialien für den praxisnahen Schulunterricht arbeiten Vertreter der chemischen Industrie mit Hochschullehrern und Lehrern der Chemie zusammen. Auf diese Weise soll erreicht werden, Neugierde für den industriellen Fertigungsprozess von Lacken und Farben zu wecken und Schülerinnen und Schülern im Chemieunterricht diese wichtigen, aus dem Alltag nicht wegzudenkenden Produkte näher zu bringen.

Die Informationsserie „Lacke und Farben“ wird, wie die anderen Informationsserien des Fonds der Chemischen Industrie, Schulen und Bildstellen im Inland kostenlos zur Verfügung gestellt. Die Serie besteht aus einem Textheft und einer CD-ROM. Sollte keine Möglichkeit zum Ausdruck der im Textheft ausgewiesenen Folien bestehen, kann der Foliensatz separat angefordert werden. Die Serie steht auch im Internet unter <http://www.vci.de/fonds> zum Downloaden bereit.

In den folgenden Kapiteln des Textheftes sind die Folien jeweils als Abbildungen in verkleinerter Form dargestellt, so dass eine Zuordnung von Text und Folie gegeben ist. Auf der zugehörigen CD-ROM sind die Folien noch einmal separat gespeichert, ebenso wie die weiteren Abbildungen im Text. Im Textheft blau unterlegte Blöcke weisen auf zusätzliches, nur auf der CD-ROM enthaltenes Material (Arbeitsblätter und Versuche) hin. Vielfach sind diese Hinweise mit methodischen Anregungen für den Unterricht verknüpft.

Die Arbeitsblätter haben ein unterschiedlich hohes Anforderungsniveau. Sie sind jeweils eher für den Unterricht in der Sekundarstufe I oder für den in der Sekundarstufe II geeignet. Eine dritte Gruppe von Arbeitsblättern ist in beiden Schulstufen einsetzbar, enthält jedoch unterschiedliche Aufgabenstellungen. Zur besseren Übersicht sind auf der CD-ROM zwei Ordner mit je einer vollständigen Sammlung der jeweiligen Arbeitsblätter erstellt. In beide Ordner sind auch Versionen mit Lösungsvorschriften aufgenommen. Auf der CD-ROM finden sich außerdem sieben Versuchsbeschreibungen und ein Glossar.

Vorwort > 3

1 Lacke und Farben: Einführung

- 1.1 Methodisch-didaktische Vorbemerkungen für den Chemieunterricht > 6

2 Lacke und Farben: Grundlagen

- 2.1 Die wirtschaftliche Bedeutung der Lackindustrie in Deutschland > 9
- 2.2 Lacke und Farben: eine Übersicht > 11
- 2.2.1 Geschichte der Lacke und Farben > 11
- 2.2.2 Was ist ein Lack? > 13
- Wie kann man Lacke einteilen? > 14
- 2.2.3 Ohne Bindemittel kein Lack > 15
- Chemische Basisinformation: Verfahren zur Synthese von Polymeren und von Lackharzen > 17
- Synthese von Polymerisaten > 17
- Synthese von Polykondensaten > 17
- Synthese von Polyaddukten > 18
- Vom Bindemittel zur Lackschicht > 20
- 2.2.4 Farbmittel und Pigmente > 21
- Exkurs: Farbe und Farbmessung > 24
- Was ist Farbe? > 24
- 2.2.5 Lösemittel > 25
- 2.2.6 Wasserlacke > 27
- 2.2.7 Additive > 28
- 2.2.8 Besondere Lacke: Pulverlacke und strahlenhärtende Lacke > 29
- Pulverlacke > 29
- Strahlenhärtende Lacke > 30
- 2.2.9 Lackherstellung > 31
- 2.2.10 Verarbeitung von Lacken > 34
- Vorbereitung des Untergrundes > 34
- Verfahren des Lackauftrages > 35
- 2.2.11 Prüf- und Messverfahren für Lacke und Farben > 37
- Prüfungen an der Lackschicht > 37
- Verlauf, Farbton, Glanz > 37
- Bewitterungs- und Korrosionsschutzprüfung > 38
- Prüfverfahren für mechanische Beanspruchungen > 38

3 Autolacke

- 3.1 Autolackierung > 40
 - 3.1.1 Vorbehandlung > 40
 - 3.1.2 Elektrotauchlackierung (ETL) > 41
 - 3.1.3 Schweißnahtabdichtung und Unterbodenschutz > 43
 - 3.1.4 Füllerauftrag > 44
 - 3.1.5 Decklackierung: der krönende Abschluss > 44
- 3.2 Automatisierung von Lackierprozessen > 47
- 3.3 Umweltschutz > 47
 - Lösemittelverbrauch und -emissionen > 47
 - Abluftreinigung > 48

4 Lacke und Farben für Bauwerke

- 4.1 Bautenschutz per Beschichtung > 50
- 4.2 Ökonomie und Ökologie > 50
- 4.3 Vielfalt der Beschichtungssysteme > 51
- 4.4 Korrosionsschutz von Stahl > 53
 - 4.4.1 Korrosionsmechanismus > 53
 - 4.4.2 Korrosionsschutzsysteme > 53
- 4.5 Schutz von Stahlbeton > 54
 - 4.5.1 Betonkorrosion > 54
 - 4.5.2 Betonschutzsysteme > 55
- 4.6 Fassadenschutzsysteme > 55
 - 4.6.1 Optik und Schutz > 55
 - 4.6.2 Dispersionsfarben > 56
 - 4.6.3 Siliconharzfarben > 56
 - 4.6.4 Silicatfarben > 57
 - 4.6.5 Dispersionssilicatfarben > 57
- 4.7 Holzbeschichtungen > 58
 - 4.7.1 Der Baustoff Holz > 58
 - 4.7.2 Holzerhaltung > 58

5 Zukunftsperspektiven

- Gezielte Forschungsarbeit bei Bindemitteln > 60
- Perfekte Oberflächen > 60

Verzeichnis der Abbildungen und Folien > 62

Verzeichnis der Tabellen > 63

Literatur > 64

Stichwortverzeichnis > 65

Wer ist der Fonds der Chemischen Industrie? > 68

Impressum > 70

1.1 Methodisch-didaktische Vorbemerkungen für den Chemieunterricht

Im Chemieunterricht werden Lacke und Farben oftmals nur am Rande oder überhaupt nicht erarbeitet. Zwar sind Farbstoffe und Farbige Themen, die in unterschiedlichen Formen in jedem Lehrplan zu finden sind – man denke an Indikatorfarbstoffe. Der anwendungsbezogene Aspekt beschränkt sich aber meist auf Lebensmittel- und Textilfarben. Dabei wird übersehen, dass es sich bei Lacken und Farben um ein hochinteressantes Thema mit einem starken Bezug zur Alltagswelt der Schülerinnen und Schüler handelt. Die Beschäftigung mit diesem Themenkreis bietet die Möglichkeit, eine ganze Reihe gängiger schulchemischer Inhalte zu erarbeiten und zu vertiefen. Nicht zu vergessen ist ein weiterer Aspekt: Schülerinnen und Schüler lernen am Beispiel der Herstellung und der Verarbeitung von Lacken und Farben kennen, wie durch stetige Weiterentwicklungen im Sinne eines nachhaltigen Wirtschaftens Rohstoffe eingespart und unerwünschte Emissionen verringert werden.

Die vorliegende Informationsserie soll zunächst eine Übersicht über wichtige Grundlagen der Chemie der Lacke und Farben vermitteln. Die Informationen hierzu findet man zusammengefasst in Kap. 2. Darüber hinaus sollen anhand einschlägiger Beispiele typische Anwendungen aufgezeigt werden. Hier wurden mit den Themen Fahrzeuglacke und Bautenfarben Bereiche ausgewählt, die sich wesentlich voneinander unterscheiden und damit die Spannweite der Anwendungen und Funktionen moderner Lacke und Farben aufzeigen (Kap. 3 und 4). Ergänzend wurde eine Reihe von Experimenten zur Lackchemie aufgenommen, bei deren Auswahl die einfache Durchführbarkeit im Chemieunterricht im Vordergrund stand.

Bei einer Behandlung des Themas Lacke und Farben steht zweifelsfrei die Chemie im Mittelpunkt. Nur mit chemischen Kenntnissen kann man die Herstellung und die Eigenschaften des wichtigsten Bestandteils von Lacken und Anstrichstoffen, des Bindemittels, sowie die Reaktionen bei der Aushärtung verstehen. Gleiches gilt für die Herstellung und die Verarbeitung von Pigmenten und Zusatzstoffen.

Im Unterricht ergeben sich bei näherem Hinsehen überraschend viele Anknüpfungspunkte zu gängigen Themen des Chemie-Lehrplans. Einige Beispiele können dies verdeutlichen.

- Bindemittel für Lacke und Farben sind im weiteren Sinne Kunststoffe, die durch Polymerisation, Polykondensation oder Polyaddition entstehen.
- Bindemittel so genannter Nitrolacke sind Derivate der Cellulose.
- Als Pigmente werden oftmals Metalloxide wie Titandioxid (Titanweiß) oder Eisenoxide eingesetzt. Ein gängiges schwarzes Pigment ist der Kohlenstoff.

Tabelle 1 zeigt in einer Übersicht den Bezug zwischen wichtigen Aspekten der Chemie der Lacke und Farben und gängigen Themen des Chemieunterrichts in der Schule, gegliedert nach Sekundarstufe I und Sekundarstufe II.

Die Tabelle soll und darf allerdings nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Chemie der Lacke und Farben ein komplexes und auch heute noch forschungsintensives Gebiet ist. Somit besteht im Unterricht die Aufgabe, im Sinne einer didaktischen Reduktion das Wesentliche herauszuarbeiten und sich auf ausgewählte Beispiele zu beschränken.

Es werden deshalb zunächst in einem zentralen Kapitel die Grundlagen dargestellt. Dabei wird exemplarisch vorgegangen und weitgehend auf umfassende tabellarische Übersichten etwa zu Additiven oder auf die Darstellung spezieller Verfahren verzichtet. Die darauf folgenden beiden Schwerpunktthemen Autolacke und Baufarben decken sowohl hinsichtlich des Anwendungsbereichs wie auch aus chemischer Sicht unterschiedliche, sich ergänzende Bereiche ab. Bei der unterrichtlichen Umsetzung ist es deshalb eher anzuraten, bei Zeitmangel beide Kapitel verkürzt zu behandeln, anstatt eines vollständig entfallen zu lassen.

Über den chemischen Grundlagen dürfen zwei wichtige Aspekte des Themas im Unterricht nicht vergessen werden.

- Lacke und Farben schützen in vielen Fällen Oberflächen. Sie dienen damit in hohem Maße der Werterhaltung. Hier bietet sich besonders das Beispiel der Autolacke an. Bis in die 70er Jahre des vergangenen Jahrhunderts waren Korrosionsschäden ausschlaggebend für den Wertverlust eines Autos. Dieser Aspekt hat heute nur noch untergeordnete Bedeutung dank wesentlicher Verbesserungen beim Schutz der Metalloberfläche. Schülerinnen und Schüler haben

Tabelle 1

Bezug der Thematik Lacke zu Inhalten des Chemieunterrichts in den Sekundarstufen I und II

Fachspezifische Inhalte des Themas Lacke	Bezug zu Inhalten der Sekundarstufe I	Bezug zu Inhalten der Sekundarstufe II
Lacke (allgemein)	Allgemeine Chemie: Aggregatzustände, Teilchenmodell, chemische Formeln und Reaktionen, Stoffeigenschaften	Struktur-Eigenschafts-Beziehungen
Bindemittel	Organische Chemie: Kohlenwasserstoffe, Alkohole, Ketone, Ester, Triglyceride Grundlagen der Kunststoffchemie	Fossile Rohstoffe, Erdölchemie, Kohlenwasserstoffe, funktionelle Gruppen, Polymere (Polymerisation, Polyaddition, Polykondensation), Nachwachsende Rohstoffe (Leinöl), chemische/physikalische Trocknung
Lösemittel	Alkohole, Ester, Aromaten, Wasser, Stoffgemische (Emulsion), Umweltschutz (Luftschadstoffe, Adsorption)	Zusätzlich zu Sek. I: Struktur-Eigenschafts-Beziehungen, Tenside (kationisch, anionisch, nichtionisch), Umweltschutz (Luftschadstoffe)
Pigmente	Einfache Beispiele: Metalloxide	Anorgan. und organische Pigmente, Toxizität bestimmter Pigmente Farbigkeit, Farbmessung, Umweltschutz (Luftschadstoffe)
Additive (Lackhilfsmittel)		Initiatoren, Katalysatoren, Emulgatoren
Lackherstellung	Beispiel für einen technischen Prozess	
Lackapplikation	Technische Prozesse (z. B. Tauchlackierung): Lackierung von Werkstoffen (z. B. Metalle, Holz), Korrosion, Korrosionsschutz, Kosmetik (Nagellack)	Korrosion, Korrosionsschutz (vertieft), Elektrotauchlackierung als elektrochemischer Prozess

allerdings zu diesem Aspekt nur noch einen historischen Zugang, etwa über Berichte ihrer Eltern. Eine Aufgabe zur Vorbereitung des Themas kann somit darin bestehen, ältere Menschen zu diesem Thema zu befragen.

- Ein weiterer wesentlicher Gesichtspunkt ist der des Umweltschutzes bzw. der Fortschritte beim Umweltschutz. Die Reduktion des Verbrauchs von Lösemitteln steht hier im Vordergrund. Beispiele: der Einsatz von Pulverlacken, die – vereinfacht gesagt – auf Oberflächen aufgeschmolzen werden, und von so genannten Wasserlacken.

Das hier zusammengestellte Unterrichts- und Informationsmaterial bietet eine Basis, das Thema sowohl in einem anspruchsvollen Unterricht der Sekundarstufe I als auch im Unterricht der Sekundarstufe II zu erarbeiten. Darüber hinaus kann es für den berufskundlichen Unterricht eingesetzt werden. Die Inhalte eignen sich auch für einen fächerübergreifenden Ansatz oder für ein Projekt. Neben den aufgeführten chemischen Aspekten und wirtschaftlichen Gesichtspunkten sind solche aus dem Bereich der Physik sowie der Kunst von besonderem Interesse. Auch die Beschäftigung mit dem Problemkreis Grafitti ist denkbar.

Es soll nicht verschwiegen werden, dass sich Lacke und Farben mit schulischen Mitteln besonders im Chemieunterricht der Sekundarstufe I nur eingeschränkt experimentell erschließen lassen. Greift man auf vorgefertigte Produkte wie Lackharze zurück und mischt daraus lediglich einen gebrauchsfähigen Lack, ist dies wenig eindrucksvoll. Auf der anderen Seite ist die Herstellung eines Lackharzes mit befriedigenden Trocknungseigenschaften aufwendig. Hier wurden einige Experimente aufgenommen, die zumindest sowohl leicht durchzuführen als auch unterrichtsrelevant sind.

Fasst man die Thematik etwas weiter und bezieht auch die Herstellung von Pigmenten mit ein, so bietet sich eine Fülle von Experimenten an; deren Berücksichtigung würde allerdings den Rahmen dieser Informationsserie sprengen. Besonders interessant sind etwa die Herstellung verschiedenfarbiger Eisenoxidpigmente (von Gelb über Rot und Braun bis Schwarz) sowie die Synthese von Farbpigmenten wie Thenards Blau im Haushaltsmikrowellenofen (vgl. Literaturverzeichnis).

Unterschiedliche Zugänge zu einzelnen Gesichtspunkten des hier behandelten Themenbereichs finden sich zwar in der fachdidaktischen Literatur; sie sind aber auf viele Publikationen verstreut. Die im Anhang aufgeführte Literatur vermittelt eine Übersicht und kann Anregungen für einen weiterführenden Unterricht und auch weitere Experimente geben.

Besonders sei in diesem Zusammenhang auch auf das „Themenheft Farben“ der Zeitschrift „Naturwissenschaften im Unterricht (Chemie)“ hingewiesen (vgl. Literaturverzeichnis). Zum Thema Einsatz nachwachsender Rohstoffe bei der Herstellung von Lacken und Farben findet man dort ebenso Anregungen für den Unterricht wie für die Herstellung von Farbpigmenten.

2.1 Die wirtschaftliche Bedeutung der Lackindustrie in Deutschland

Historisch gesehen entwickelte sich die Lackindustrie aus dem Kunsthandwerk. Es blühte auf, als in der Renaissance kunstvoll lackierte Schmuckgegenstände und Möbel nach fernöstlichem Vorbild bei Adel und Bürgertum in Mode kamen. Die älteste heute noch existierende Lackfabrik ist über 250 Jahre alt. Zu einer echten Gründungswelle kam es im Zuge der industriellen Revolution in Europa, als der neue Werkstoff Eisen in großem Umfang Verwendung fand: Er musste gegen Korrosion geschützt werden. Zwischen 1880 und 1920 entstanden viele so genannte Lacksiedereien in den Industriegebieten Deutschlands. Lackfabriken waren zu jener Zeit klassische mittelständische Familienbetriebe.

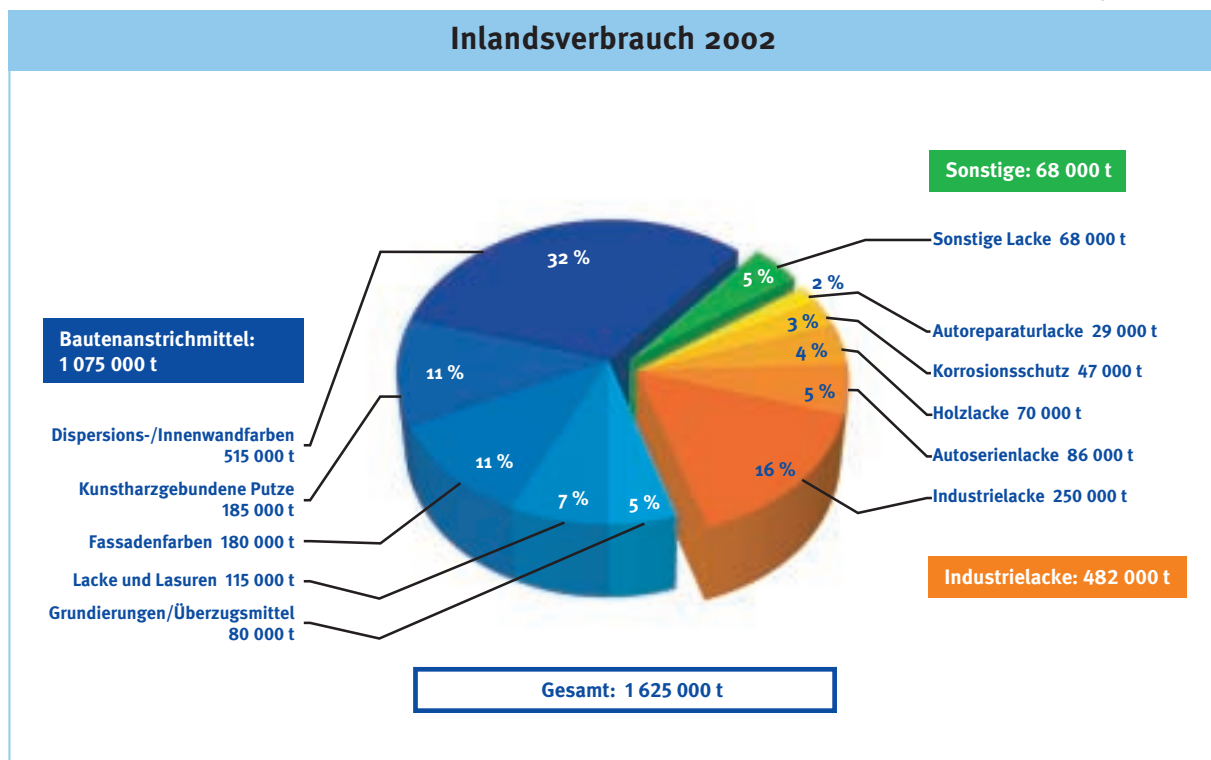
Diese Struktur ist auch heute noch weitgehend erhalten. Erst von den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts an engagierten sich auch große Chemiekonzerne auf dem Feld der

Lackherstellung, zumeist durch die Übernahme von Familienunternehmen. Heute existieren in Deutschland noch 250 Lackfabriken mit etwa 21 000 Beschäftigten. Die größeren Betriebe – mit zumeist internationaler Ausrichtung – beschäftigen bis zu 2 200 Mitarbeiter. Die typische Lackfabrik ist allerdings erheblich kleiner; sie hat zwischen 50 und 70 Angestellte.

Im Jahre 2002 produzierten alle deutschen Lackfabriken 2 Millionen Tonnen Lacke und Farben im Wert von 4,6 Milliarden Euro. 455 000 Tonnen Lacke und Farben im Wert von 1,3 Milliarden Euro wurden exportiert; der Außenhandelsanteil beläuft sich damit wertmäßig auf rund 30 Prozent der gesamten inländischen Produktion. Umgekehrt wurden aus dem Ausland 107 000 Tonnen Lacke und Farben im Wert von 350 Millionen Euro importiert.

In Deutschland selbst wurden somit 1,6 Millionen Tonnen Lacke und Farben verarbeitet. Der Löwenanteil entfällt dabei mit 1,1 Millionen

Abbildung 1 und Folie 1



Tonnen auf die so genannten Bautenanstrichstoffe, das sind Wandfarben für innen und außen, kunstharzgebundene Putze, Lacke für Fenster, Türen oder Heizkörper, Holzlasuren sowie Spezialprodukte am Bau. Bautenlacke und Bautenfarben werden ausschließlich handwerklich aufgetragen, entweder vom Handwerker oder im Do-it-yourself-Verfahren. Für den Korrosionsschutz von Brücken, Masten oder Rohrleitungssystemen werden pro Jahr etwa 47 000 Tonnen Lackmaterial verarbeitet. Für die Reparatur von Automobilen werden in den Kfz-Werkstätten 29 000 Tonnen Autoreparaturlacke benötigt. Weitere handwerkliche Einsatzbereiche von Lacken und Farben sind zum Beispiel die Beschichtung von Schiffen sowie Straßenmarkierungen. Alle anderen Lacke werden industriell – teilweise von Robotern in vollautomatischen Lackierstraßen – aufgetragen. Von besonderer Bedeutung sind hier die Möbellacke mit 70 000 Tonnen im Jahr sowie die Autoserienlacke mit 86 000 Tonnen pro Jahr. In der sonstigen Industrie werden nochmals etwa 250 000 Tonnen Lackmaterialien verarbeitet.

› Methodische Anmerkung 1

Eine Vorstellung von den in Deutschland jährlich hergestellten bzw. verbrauchten Lackmengen erhalten Schülerinnen und Schüler, wenn sie die genannten Mengen in die Ladekapazitäten eines Tankcontainers der Bahn (30 000 l), eines Tankwagens (18 000 l) oder eines Tanksattelaufliers (24 000 l) umrechnen. Hierfür kann näherungsweise eine mittlere Dichte des Lacks von $1,3 \text{ g/cm}^3$ angenommen werden.

Die wirtschaftliche Bedeutung von Lacken und Farben erschließt sich nicht aus den reinen Produktionsmengen bzw. den Umsätzen der Lackfabriken. Lacke und Farben sind eigentlich Halbfertigprodukte, die ihre endgültige Zweckbestimmung erst durch das (handwerkliche oder industrielle) Auftragen auf das zu schützende Objekt erhalten. Sie schützen die Oberflächen von Holz, Kunststoff, Metall oder mineralischen Werkstoffen und verhindern, dass die daraus hergestellten Produkte frühzeitig unbrauchbar werden. Korrosion und Verfall infolge von Feuchtigkeit, Temperaturunterschieden, Luftschadstoffen oder Salzen, UV-Strahlung oder biologischen Schädlingen werden durch eine Beschichtung mit Lacken und Farben sicher vermieden. Dadurch wird die Lebensdauer der produzierten Güter deutlich verlängert. Allerdings setzt dies voraus, dass die beschichteten Objekte sorgfältig gepflegt und die Beschichtung bei Beschädigungen repariert bzw. bei sehr langlebigen Investitionsgütern regelmäßig erneuert wird. In Deutschland entstehen jährlich volkswirtschaftliche Schäden in Höhe von 80 Milliarden Euro, weil solche Instandhaltungsarbeiten an der Lackschicht nicht rechtzeitig ausgeführt werden. Durch den Einsatz von Lacken und Farben wird also dazu beigetragen, dass Ressourcen geschont werden, indem einmal existierende Güter und Produkte eine lange Lebensdauer erzielen und sie ihre Funktionsfähigkeit dauerhaft behalten.

2.2 Lacke und Farben: eine Übersicht

Worin unterscheiden sich die beiden Fotografien der Abb. 2? Woran liegt es, dass uns die eine Aufnahme das vertraute Bild einer Straße zeigt, während das andere Bild mit demselben Motiv fahl und unnatürlich wirkt und wenig Orientierung bietet? Auf den ersten Blick ist es die Farbe – genauer: ein Teil der Farbe, der fehlt. Das Blau und das Weiß des Himmels und das Grün der Bäume sind vorhanden – aber viele Objekte sind farblos. Die Oberflächen wirken roh, verwittert und korrodiert und insgesamt unansehnlich. Die Farbe als optischer Reiz vermittelt den Eindruck von ansprechendem Aussehen, von beständigen Oberflächen. Und sie gibt auf Schildern und Markierungen Orientierung.

Etwas genauer betrachtet macht uns die Farbe nicht nur als physikalischer Effekt ein Bild aus dem alltäglichen Leben vertraut. Es sind Lacke und Farben auf den Oberflächen, welche die Objekte sowohl farbig ansprechend gestalten als auch vor Korrosion und Verwitterung schützen. Fast alle Oberflächen sind beschichtet oder lackiert, das Computergehäuse ebenso wie das CD-Cover oder das Skateboard,

Gebäudefassaden ebenso wie Fahrzeuge oder Verkehrsschilder. Es gibt kaum andere Materialien, die uns so vielfältig umgeben und deren Eigenschaften wir so häufig nutzen wie Lacke und Farben.

› Methodische Anmerkung 2

Schülerinnen und Schüler können Beispiele zusammentragen, wo und wie wertvolle Güter durch Anstriche geschützt werden. Wo haben Anstriche nur die Funktion, Oberflächen zu verschönern? Wo wird durch Farbe eine Signalwirkung erreicht?

2.2.1 Geschichte der Lacke und Farben

Die Begriffe Farbe und Lack werden im täglichen Leben unterschiedlich verwendet. Das Wort „Farbe“ leitet sich aus dem althochdeutschen Wort farawa ab und wird sowohl für die Farbempfindung durch das menschliche Auge als auch für Materialien benutzt, die man dazu verwendet, Oberflächen farbig zu gestalten. Dies sind zum Beispiel die Farben, mit denen Künstler ihre Bilder malen (Ölfarben, Wasserfarben), aber auch die Materialien, mit denen Fassaden, Wände und Holzoberflächen

Abbildung 2 und Folie 2



gestrichen werden (Malerfarben, Baufarben). Heute bezeichnet man in der Umgangssprache als Lacke Produkte, mit denen sich glänzende, harte farbige oder klare Schichten auf Metall-, Holz-, Kunststoff- oder Betonoberflächen erzeugen lassen.

Historisch gesehen findet man Wurzeln des Begriffs Lack sowohl im italienischen *lacca* als auch im indischen *lacsha* oder *lak*, was so viel wie „hunderttausend“ bedeutet. Ein natürliches Harz, der Schellack, wird in Indien seit Jahrtausenden aus dem Sekret bestimmter Schildläuse (*Kerria lacca*) gewonnen. Um zu den benötigten Mengen zu gelangen, muss das Sekret sehr vieler Schildläuse von Bäumen und Sträuchern abgesammelt werden.

Die frühesten Zeugnisse der Verwendung von Farben in der Menschheitsgeschichte sind die mehr als 10 000 Jahre alten Höhlenmalereien in Südfrankreich und Spanien. Eine der ältesten technischen Anwendungen ist sicher die Beschichtung von Holz beim Schiffbau zum Abdichten gegen das Eindringen von Wasser.

Einen hohen Stand hatte die Lackentwicklung und -verarbeitung in Indien, China und Japan seit dem 2. vorchristlichen Jahrtausend. Aus der Rinde des Lackbaums Sumach oder Rhus wurde ein Saft gewonnen, der mit Farbstoffen und Mineralpigmenten versetzt wurde, an der Luft härtete und beständige Beschichtungen ergab. Diese Lacke wurden insbesondere dafür eingesetzt, die Oberflächen von Gegenständen aller Art künstlerisch zu gestalten. Mitte des 17. Jahrhunderts wurden solche Lackarbeiten auch nach Europa importiert. Sie regten hier dazu an, Lacke für die Verschönerung von Oberflächen herzustellen und sie handwerklich und künstlerisch zu verarbeiten (Abb. 3). In Frankreich wurden ab 1730 erste Patente zur Herstellung bestimmter Lacke vergeben. Mit der Entwicklung der Industrialisierung im 19. Jahrhundert nahm auch der Bedarf an Lacken zum Schutz und zur Verschönerung von Oberflächen zu. In der Folge entstanden Lackfabriken, die die steigende Nachfrage befriedigten und zudem neue Produkte entwickelten.

Abbildung 3 und Folie 3



Als Rohstoffe für die Herstellung von Lacken wurden ursprünglich natürliche Öle und Harze verwendet. Bekannt sind das Leinöl, das Holzöl und Harze wie Kolophonium, Schellack, Kopal und Dammar. Diese wurden nach überlieferten Rezepturen gemischt oder in unterschiedlichen Verhältnissen miteinander erhitzt („verkocht“). Die Verwendung reiner Harze führt zu harten, glänzenden Oberflächen, die aber spröde sind. Der Zusatz – oder auch die alleinige Verwendung – von Ölen bewirkt die Bildung einer elastischen Lackschicht. Mit der richtigen Mischung aus Harz und Öl konnte so ein Lack mit den gewünschten Eigenschaften hergestellt werden. Zur Anfärbung („Pigmentierung“) dienten Metallverbindungen wie Bleiweiß (basisches Bleicarbonat, $\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$), Zinkweiß (Zinkoxid, ZnO), Kobaltblau (Kobaltaluminat CoAl_2O_4) und Chromgelb (Blei(II)-chromat, PbCrO_4). Ende des 19. Jahrhunderts wurden dann die ersten Kunstharze als Lackbindemittel verwendet und auch unlösliche organische Farbstoffe für die Anfärbung eingesetzt.

Ein starker Anreiz für die Entwicklung moderner Lacke war die beginnende industrielle Produktion von Kraftfahrzeugen ab 1920. Um die Autos im Tempo der Fließbänder lackieren zu können, wurden schnelltrocknende, beständige und hochglänzende Lacke benötigt. Der seither erzielte Fortschritt lässt sich an der Qualität der Lacke wie auch an der Verarbeitungszeit verdeutlichen: Benötigte man Ende des 19. Jahrhunderts noch einige Tage oder Wochen, um ein Auto oder eine Kutsche zu lackieren, so dauert der Prozess heute nur noch wenige Stunden.

Bis zum Ende des Zweiten Weltkriegs erfolgte die Lackentwicklung und -herstellung noch weitgehend empirisch. Etwa ab 1950 setzte eine intensive Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet ein, was in der Folgezeit zu einer umfangreichen Palette neuer

Lackrohstoffe und Lackformulierungen, aber auch von Verarbeitungs- und Trocknungsmethoden führte. Dabei war die treibende Kraft wiederum die Kraftfahrzeugindustrie, die qualitativ hochwertige sowie umweltverträgliche Lacksysteme und Verarbeitungsmethoden suchte.

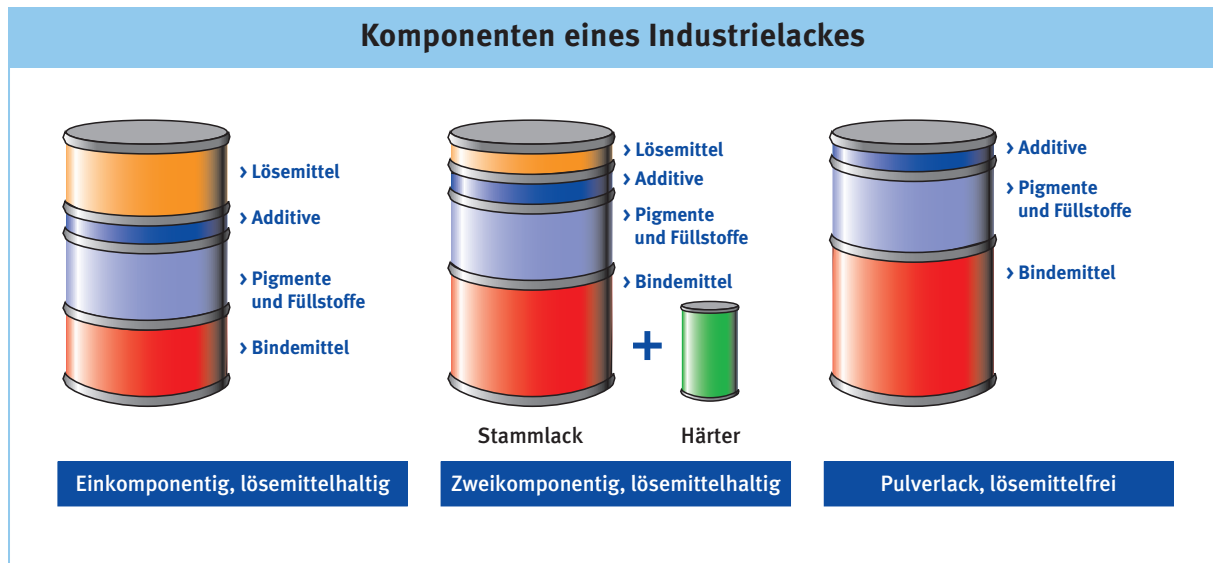
Heute ist die Lackindustrie eine moderne und hochentwickelte Industrie, die in Europa etwa 110 000 Menschen Arbeitsplätze in einer ganzen Reihe von Berufen bietet.

2.2.2 Was ist ein Lack?

Ein Lack oder, allgemeiner ausgedrückt, Beschichtungsstoff ist ein flüssiges, pastenförmiges oder pulverförmiges Produkt, das, auf einen Untergrund aufgetragen, eine Beschichtung mit schützenden, dekorativen und/oder anderen spezifischen Eigenschaften ergibt. Diese technische Definition ist etwas spröde, aber exakt formuliert, wie es für Normen erforderlich ist. Im folgenden werden wichtige Aussagen dieser Definition erläutert. (Hier und im folgenden Text wird vereinfachend nur der Begriff Lack verwendet und auf die Formulierung „Lacke und Beschichtungsstoffe“ verzichtet.)

- Ein Lack muss in der Form, in der er verarbeitet wird, nicht unbedingt flüssig sein. Es gibt auch pastenförmige und pulverförmige Lacke.
- Lacke werden auf Untergründe aufgetragen. Diese können ganz verschiedenartig sein, etwa Metalle, Holz, Kunststoffe, Wände oder Fassaden aus Stein oder Beton.
- Über die Art, wie die Lacke auf den Untergrund aufgetragen werden, sagt die Norm nichts. Aber aus dem Begriff Anstrichstoff lässt sich entnehmen, dass auch das Anstreichen mit dem Pinsel eine Auftragsart ist.

Abbildung 4 und Folie 4



- Lacke ergeben auf dem jeweiligen Untergrund eine Beschichtung mit ganz bestimmten Eigenschaften. Die Beschichtung schützt und verschönert zum Beispiel. Ein Lack ist deshalb auch allgemein ein Beschichtungsmittel.
- Der im Sprachgebrauch häufig verwendete Begriff Farbe wird in der Norm nicht verwendet, weil er im technischen Sprachgebrauch der Sinnesempfindung des Auges vorbehalten ist.

Die obige Definition sagt etwas über die Zustandsform von Lacken und die Anforderungen an die Eigenschaften aus, jedoch nichts darüber, woraus ein Lack besteht und wie aus dem Lack eine Beschichtung wird. Um dies zu verstehen, muss man sich mit den unterschiedlichen Bestandteilen eines Lackes beschäftigen (Abb. 4). Bei der einführenden historischen Betrachtung wurde bereits kurz auf diesen Gesichtspunkt eingegangen.

- Wesentlich ist das so genannte Bindemittel. Es bewirkt, dass beim Trocknen und beim Härten des Lackes ein zusammenhängender Film entsteht. Dabei spielen physikalische wie chemische Vorgänge eine Rolle.

- Bindemittel haben jedoch keine oder nur eine geringe Eigenfarbe. Möchte man einen farbigen Anstrich, muss man dem Bindemittel Farbmittel – meist Pigmente – zusetzen.
- Unverzichtbar sind weiterhin Additive, Zusätze, mit denen sich Eigenschaften von Lacken in weiten Grenzen variieren lassen.
- Lösemittel sind niedrigviskose und flüchtige Stoffe; diese werden zugesetzt, um den Beschichtungsmittel verarbeitungsfähig herzustellen.

Die genannten Bestandteile eines Lackes sowie Methoden der Herstellung und Verarbeitung werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

Wie kann man Lacke einteilen?

Lacke können nach sehr unterschiedlichen Kriterien eingeteilt werden, wobei es keine bevorzugte Klassifizierung gibt. So kann man nach der chemischen Zusammensetzung, der Verarbeitung oder der Funktion vorgehen. Tabelle 2 gibt eine Übersicht über allgemeine Unterscheidungsmerkmale.

Tabelle 2

Lackarten	
Unterscheidungsmerkmal	Lackarten
Lösemittel-Einsatz	Lösemittellack; Wasserlack; Pulverlack
Trocknung; Härtung	lufttrocknender Lack; Einbrennlack; Strahlenhärtender Lack
Lieferform	Einkomponenten-Lack; Zweikomponenten-Lack
Verarbeitungsart	Streichlack; Spritzlack; Tauchlack; Elektrotauchlack; Walzlack
Funktion	Grundierung; Decklack; Basislack; Klarlack
Verwendungszweck	Wandfarben; Bautenlacke; Holzlacke; Metalllacke; Kunststofflacke; Industrielacke; Fahrzeuglacke; Schiffsfarben; Elektroisolerlacke

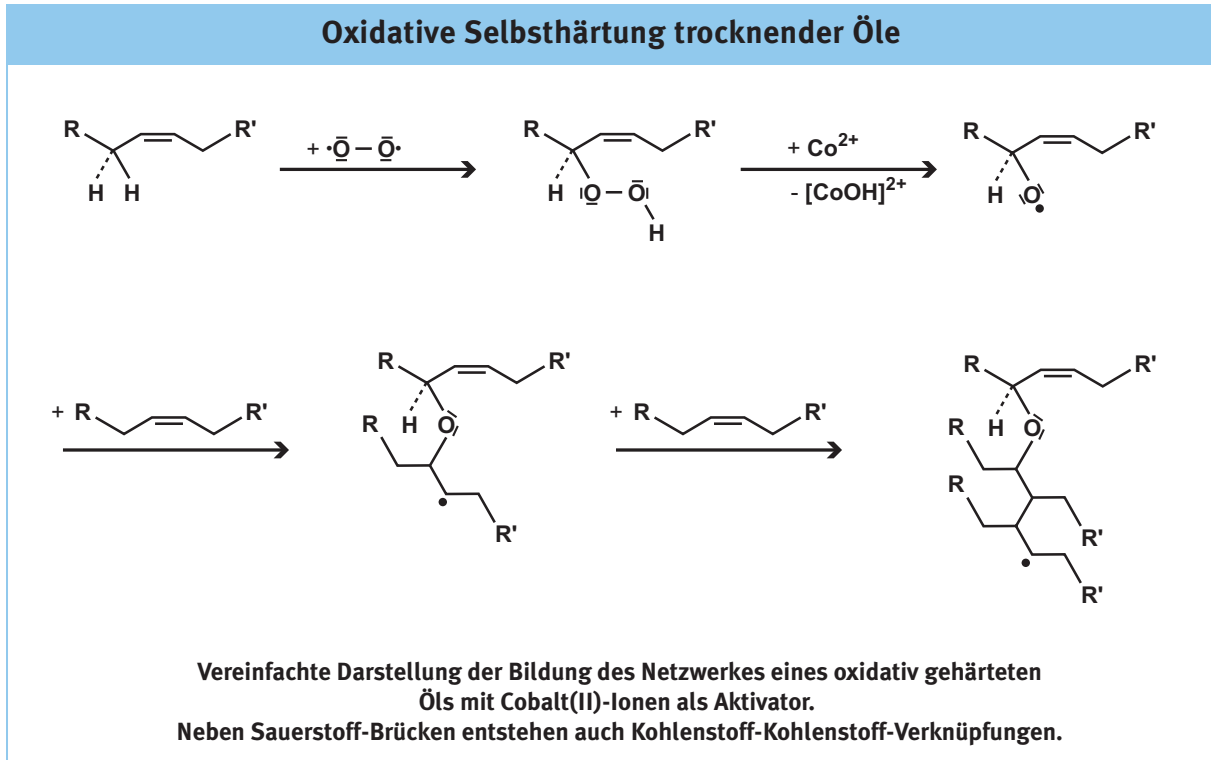
2.2.3 Ohne Bindemittel kein Lack

Bindemittel sind unverzichtbar und damit der wichtigste Bestandteil eines Lackes. Sie bilden nach dem Trocknen den harten und beständigen Lackfilm. Während ein Lack immer ein oder mehrere Bindemittel enthält, können andere Bestandteile je nach Lackart oder Verwendungszweck fehlen. So enthält ein Klarlack keine farbgebenden Pigmente, und ein Pulverlack ist frei von Lösemitteln. Um den chemischen Aufbau und die Anforderungen an die Eigenschaften von Bindemitteln zu verstehen, ist es zweckmäßig, zunächst zu betrachten, was geschieht, wenn sich aus dem flüssigen Lack ein Lackfilm bildet, der trocknet und aushärtet.

Löst man ein Harz, z. B. Schellack, in einem Lösemittel und streicht die Lösung auf einen Untergrund, bildet sich zunächst ein flüssiger Film. Dieser wird nach dem Verdunsten des Lösemittels spontan fest und hart. Das Bindemittel – meist eine Verbindung mit hoher molekularer Masse – verändert sich chemisch nicht, es ist im lösemittelfreien Zustand bei Raumtemperatur ein amorpher, glasartiger Feststoff. Da nur physikalische Vorgänge ablaufen, wird das Verhalten als physikalische Trocknung bezeichnet. Durch Lösemittel kann der Lackfilm wieder verflüssigt werden.

Führt man den gleichen Versuch mit Leinöl durch, welches flüssig und ohne Lösemittelzusatz verstreichbar ist, so bleibt der aufgestrichene Film sehr lange flüssig und klebrig. Erst nach Tagen bildet sich eine feste Schicht, die allmählich hart und klebfrei wird. Sie ist auch in Lösemitteln nicht mehr löslich. Der Film entsteht durch eine chemische Reaktion, die durch UV-Licht oder durch Zugabe von Kobalt-, Blei- oder Mangansalzen beschleunigt werden kann. Dieser Prozess wird verständlich, wenn man die chemische Struktur des Leinöls näher betrachtet: Leinöl besteht aus Glycerinestern verschiedener ungesättigter Fettsäuren mit ein bis drei Doppelbindungen. Bei Einwirkung von Sauerstoff aus der Luft oder anderen geeigneten Stoffen entstehen Radikale, die eine Vernetzung der Fettsäuremoleküle auslösen. Dadurch bildet sich ein polymeres Netzwerk mit hoher Molekülmasse. Man spricht von chemischer Trocknung oder chemischer Aushärtung. Eine vereinfachte Darstellung gibt Abb. 5. Die beschriebenen Vorgänge können innerhalb eines Bindemittels ablaufen, wie beim Leinöl, oder es können verschiedene Bindemittel miteinander reagieren. Man spricht in letzterem Fall von einer Reaktion zwischen Bindemittel und Härter. Abb. 6 zeigt die Vorgänge bei der Trocknung noch einmal schematisch.

Abbildung 5



› Methodische Anmerkung 3

Die Herstellung einer Ölfarbe mit Leinöl ist in **Versuch 1** beschrieben. Der in Abb. 5 dargestellte Mechanismus ist komplex und kann nur im Rahmen eines Leistungskurses erarbeitet werden. Vereinfacht kann eine Polymerisationsreaktion über die Doppelbindungen der Fettsäurereste formuliert werden. Als Ergänzung dient dann **Arbeitsblatt 1** (Oxidative Selbsthärtung trocknender Öle).

Die beiden Grundprinzipien der Bildung eines Lackfilms werden oftmals gleichzeitig genutzt, insbesondere bei Lacken, die ohne Wärme- einwirkung an der Luft trocknen und aushärten. Das Verdunsten des Lösemittels führt zu einer klebfreien Lackschicht, die dann durch die chemische Vernetzung ihre Härte und Beständigkeit erreicht. Natürliche Öle und Harze haben heute als alleinige Lackbindemittel nur noch eine untergeordnete Bedeutung. Sie wurden von den Kunstharzen abgelöst. Kunstharze sind synthetische Polymere.

Abbildung 6

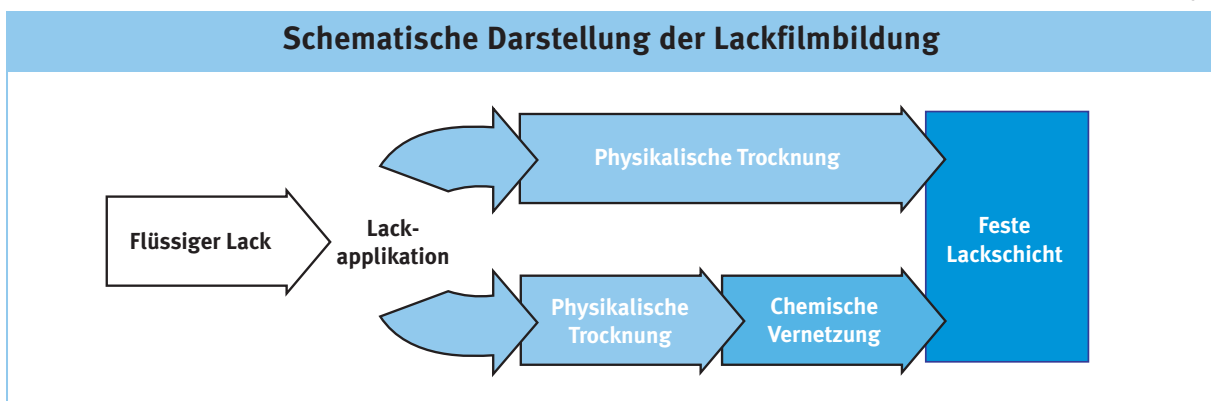
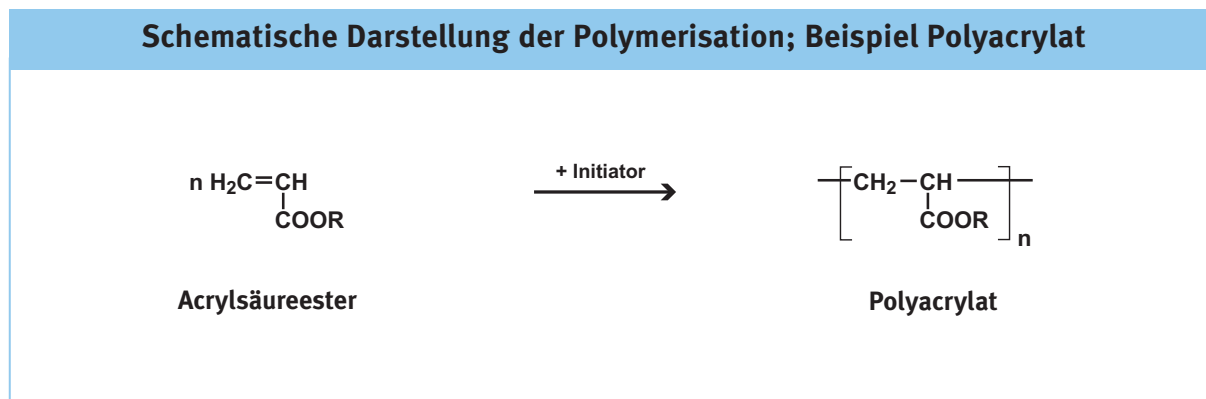


Abbildung 7



Sie werden auf der Basis der gleichen grundlegenden Reaktionen hergestellt, wie die gängigen Kunststoffe.

Chemische Basisinformation: Verfahren zur Synthese von Polymeren und von Lackharzen

Polymere sind Makromoleküle, die aus kleineren Bausteinen, den Monomeren, aufgebaut werden. Sie haben eine hohe Molmasse von 10^3 bis 10^7 Dalton und bilden lange kettenförmige, verzweigte oder auch räumlich vernetzte Moleküle, die knäuelartig, faden- oder stäbchenförmig oder kristallin angeordnet sind.

Polymere werden durch drei chemische Reaktionsprinzipien aufgebaut, das sind:

- Polymerisation,
- Polykondensation,
- Polyaddition.

› Methodische Anmerkung 4

Die in den Abb. 7 bis 11 dargestellten Reaktionen werden allgemein im Zusammenhang mit dem Unterrichtsthema Kunststoffe erarbeitet. Sie werden hier zur Wiederholung nochmals dargestellt. Hierzu gehören ferner die **Arbeitsblätter 2 bis 4**. Für den Unterricht in der Sek. I kann auf vereinfachte Darstellungen zurückgegriffen werden. Wichtig ist es, den Unterschied zwischen einem Kunststoff und

einem Lackharz und die Reaktion des Lackbindemittels zum Lackfilm zu erarbeiten.

Synthese von Polymerisaten

Zur Polymerisation eignen sich Alkene wie Ethen, Chlorethen, Acrylsäureester oder Styrol. Durch Zufuhr von Energie oder Reaktion mit so genannten Kettenstartern wird die Doppelbindung gespalten, es bilden sich Radikale, die mit den Doppelbindungen weiterer Monomere reagieren. Hierbei bilden sich kettenförmige, durch Nebenreaktionen teilweise verzweigte Makromoleküle (Abb. 7). Verwendet man unterschiedliche Monomere zum Aufbau der Polymerketten, so spricht man von Copolymerisation.

Wichtige Monomere für die Herstellung von Lackbindemitteln sind Acrylsäure und Methacrylsäure und ihre Ester. Durch Abwandlung der Estergruppe lassen sich je nach Bedarf Produkte mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften gewinnen. Lacke mit Acrylatbindemitteln sind besonders wetterbeständig. Sie werden z. B. für Decklacke von Kraftfahrzeugen, aber auch für Dispersionsfarben für Wand- und Fassadenanstriche verwendet.

Synthese von Polykondensaten

Bei der Polykondensation werden die Bausteine durch Abspaltung kleiner Moleküle, z. B. von Wasser, zu den Makromolekülen verknüpft.

Dabei kann das Bauprinzip unterschiedlich sein, was hier am Beispiel der Polyester erläutert werden soll.

Eine mögliche Reaktion ist die Veresterung mehrwertiger Carbonsäuren mit mehrwertigen Alkoholen (Abb. 8). Ein typischer Vertreter dieser Polyester ist das aus Terephthalsäure und Ethylenglycol entstehende Polyethylenterephthalat (PET). Polyester entstehen aber auch, wenn Hydroxycarbonsäuren, wie etwa Milchsäure, verestert werden. Bei dieser Reaktion ist nur ein Ausgangsstoff notwendig. Als Monomere für Lackbindemittel werden bifunktionelle Carbonsäuren wie Phthalsäure (1,2-Benzoldicarbonsäure), Bernsteinsäure (1,4-Butandisäure) und Adipinsäure (1,6-Hexandisäure) sowie Di- und Triole wie Glykol (1,2-Ethandiol) und Glycerin (1,2,3-Propantriol) eingesetzt. Wichtige Lackbindemittel, die zu der Gruppe der Polyester gehören, sind die Alkydharze. Zu deren Herstellung führt man die Polykondensationsreaktion eines mehrwertigen Alkohols wie Glycerin mit Phthalsäureanhydrid unter Zusatz einer ungesättigten Fettsäure wie Ölsäure durch (Abb.9). Das entstehende Polykondensat ist ein hochmolekulares Lackharz,

das aber Seitenketten mit Doppelbindungen trägt. Bei der Trocknung des Lackes findet eine Vernetzung analog der von Leinöl statt, und es bildet sich ein fester Film. Diese Bindemittel werden insbesondere für lufttrocknende Malerlacke eingesetzt.

Synthese von Polyaddukten

Bei der Polyaddition werden die Polymerbausteine miteinander verknüpft, ohne dass dabei Wasser oder andere kleine Moleküle abgespalten werden. Auch hier müssen die Monomerebausteine mindestens bifunktionell sein, damit sich ein Polymer bilden kann.

Eine typische Polyaddition ist die Reaktion von Di- oder Polyolen mit di- oder trifunktionalen Isocyanaten. Bei dieser Reaktion bilden sich Urethangruppen, die chemisch sehr stabil sind (Abb. 10). Landläufig sind vor allem Schaumstoffe und Formteile wie Skistiefel aus Polyurethan bekannt. Aber auch in der Lackchemie spielen Polyurethane eine große Rolle, etwa für Korrosionsschutzlacke und für viele Wasserlacke. Die Bildung von Urethanstrukturen aus Bindemitteln mit Hydroxylgruppen und Härtern, die Isocyanatgruppen enthalten, wird

Abbildung 8

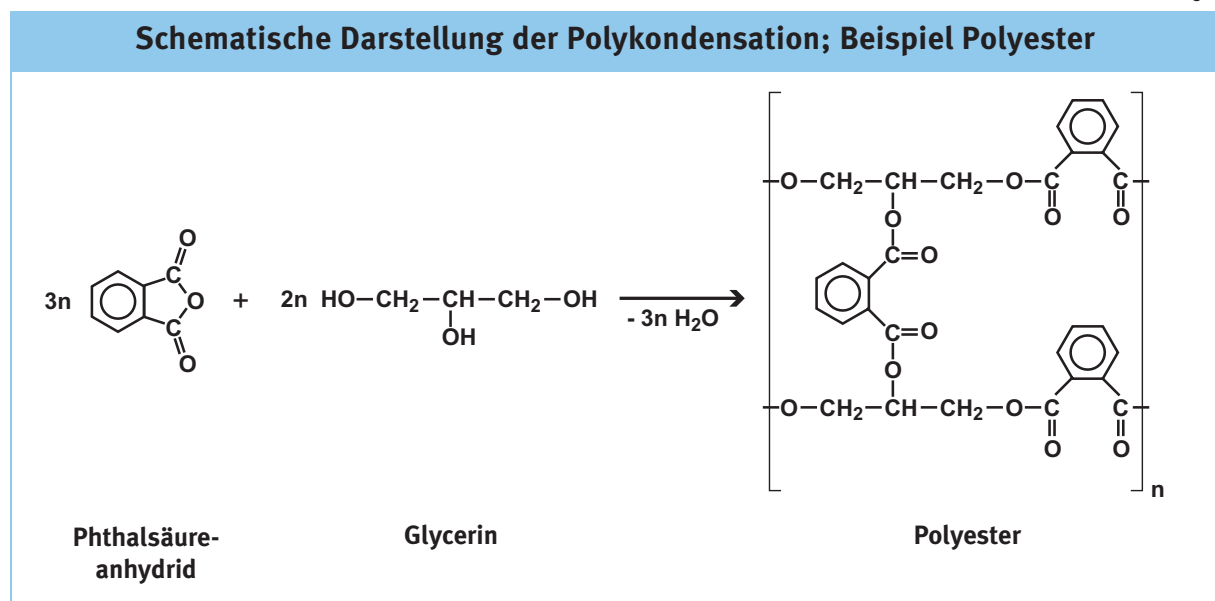
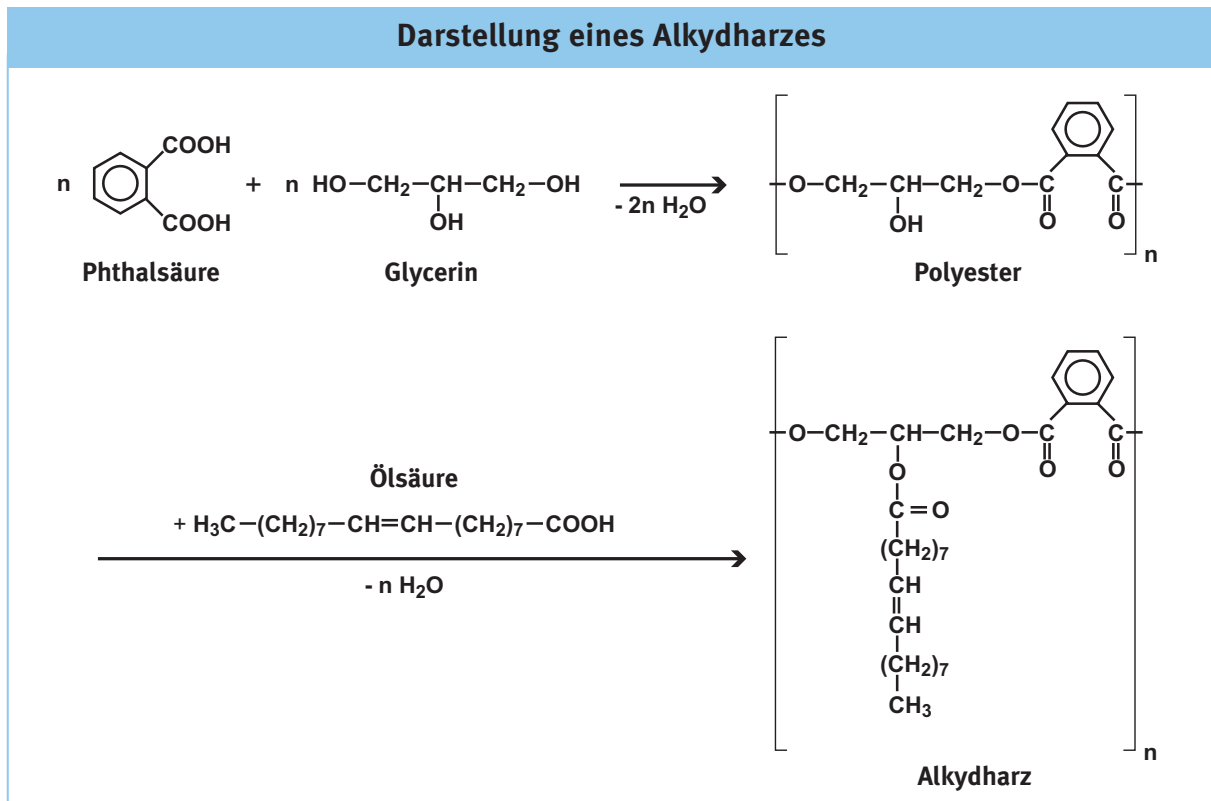


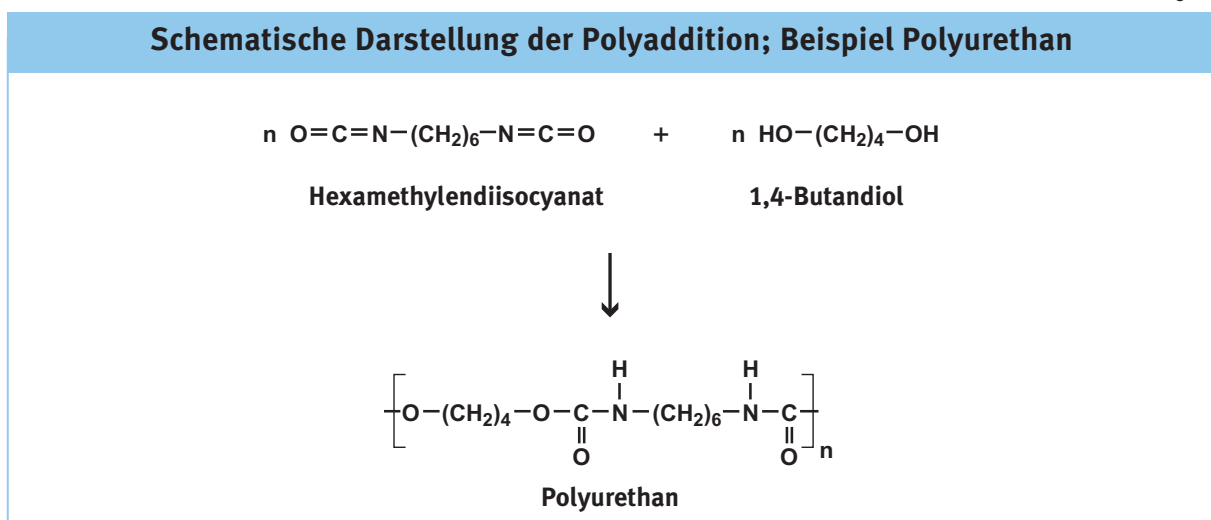
Abbildung 9



häufig auch zur chemischen Vernetzung von Lackfilmen in so genannten 2-Komponenten-Lacken angewandt. Stammlack und Härter werden separat gelagert und erst kurz vor der Verarbeitung gemischt. Die verwendeten Stammlacke enthalten die Bindemittel in Form von Acrylatharzen oder Polyestern. Topzeit nennt man in diesem Zusammenhang die Zeit,

die nach der Vermischung der Einzelkomponenten für die Verarbeitung zur Verfügung steht. Sie liegt normalerweise zwischen 30 Minuten und mehreren Stunden. Polyurethan-Lacke sind hochwertig und werden für Kraftfahrzeuge, für Möbel und als Schutzanstriche für Stahlkonstruktionen verwendet.

Abbildung 10



› Methodische Anmerkung 5

Die Herstellung von Zweikomponenten-Polyurethan-Klarlacken ist in **Versuch 2** beschrieben. Im Rahmen einer kleinen Reihe von Experimenten werden Lacke unterschiedlicher Vernetzungsgrade dargestellt und auf ihre Eigenschaften geprüft. Steht nur wenig Zeit zur Verfügung, sollte nur die stöchiometrische Vernetzung durchgeführt werden. Im Gegensatz zu Polyurethan-Lacken lassen sich Alkydharzlacke mit befriedigendem Ergebnis nur aufwändig im Chemieunterricht darstellen. Deshalb wurde hierzu keine Vorschrift aufgenommen.

Vom Bindemittel zur Lackschicht

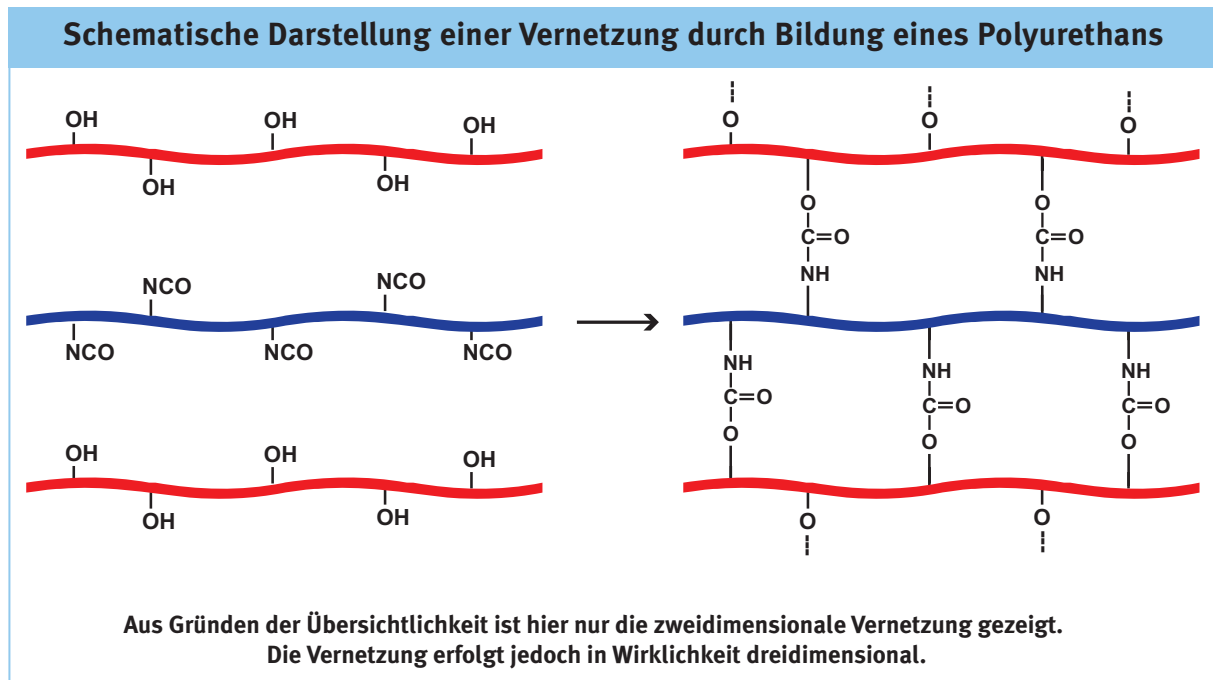
Bisher wurden die Synthese von Kunststoffen und die von Lackbindemitteln nicht differenziert betrachtet. Tatsächlich werden die gleichen Reaktionen und oftmals auch die gleichen Ausgangsstoffe eingesetzt. Worin unterscheiden sich aber die Polymerisationskunststoffe Polyethylen oder Plexiglas von Acrylatharzen? Was ist bei dem Rohstoff für die PET-Flasche oder die Trevira-Faser anders als bei Polyester- oder Alkydharzbindemitteln? Und wo liegen die Unterschiede zwischen einem Polyurethanschaumstoff für die Wärmeisolierung und einer Polyurethandispersion für Lacke? Die folgenden Punkte sind besonders zu beachten.

- Die mittlere Molmasse ist ein Maß für die Zahl von Monomerbausteinen, die durchschnittlich in einem Polymermolekül enthalten sind. Die Molmasse von Lackharzen ist niedrig, sie liegt zwischen 1000 und 15 000, d. h. die Zahl der Monomerbausteine beträgt etwa 5 bis 100. Bei Kunststoffen beträgt sie weit mehr als 100 000, sie reicht bis hin zu einigen Millionen. Hier bilden meist mehr als 1000 Monomerbausteine die Polymerkette.
- Der Grund, Polymere niedriger molarer Masse als Lackbindemittel einzusetzen, liegt in der für die Verarbeitungsprozesse wie Spritzen und Streichen benötigten niedrigen Viskosität: Viele Lackharze sind bereits ohne Verdünnung mit einem Lösemittel zähflüssig. Kunststoffe des täglichen Gebrauchs dagegen sind infolge ihrer weitaus höheren molaren Masse bei normaler Umgebungstemperatur fest.
- Viele Polymere können sich, in Abhängigkeit von der Temperatur, in unterschiedlichen physikalischen Zuständen befinden. Bei hohen Temperaturen verhält sich ein Polymer ähnlich wie eine Flüssigkeit. Die Molekülketten sind beweglich, das Material ist weich und nicht mehr formstabil, es verfließt, wie man es von Teer bei heißem Wetter kennt. Bei niedrigen Temperaturen befinden sich Polymere in einem glasartigen oder teilkristallinen Zustand. Die Beweglichkeit der Polymerketten ist stark eingeschränkt, die Materialien sind hart und formstabil. Bei der so genannten Glasübergangstemperatur tritt der Übergang von einem in den anderen Zustand ein.

Je nach Art des Polymers und seiner Molmasse ist die Glasübergangstemperatur unterschiedlich. Kunststoffe befinden sich bei der Nutzungstemperatur im Glaszustand oder sind teilkristallin. Bei den Lackbindemitteln für lufttrocknende Lacke ist bei der Verarbeitung und Trocknung eine niedrige Glasübergangstemperatur erforderlich, damit die Bindemittel nach dem Verdunsten des Lösemittels noch verfließen und verlaufen können.

Die Unterschiede zwischen Lackbindemitteln und Kunststoffen sind im vernetzten Lackfilm nicht mehr vorhanden. Bei der Aushärtung reagieren die in den Bindemittelkomponenten vorhandenen funktionellen Gruppen miteinander, auch hier durch Polymerisation, Polykondensation oder Polyaddition. Dabei wird die Molmasse sehr stark erhöht. Es kommt zu

Abbildung 11



der beschriebenen Vernetzung der Makromoleküle, wodurch sich harte oder zähelastische Schichten ausbilden. Abb. 11 zeigt einen solchen Vorgang noch einmal am Beispiel der Bildung eines Polyurethans.

In Tabelle 3 sind die wichtigsten Unterschiede zwischen chemisch trocknenden Lackbindemitteln und Kunststoffen noch einmal dargestellt. Die wichtigsten in der Praxis verwendeten Kunstharze und die dazugehörigen Formelschemata sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

2.2.4 Farbmittel und Pigmente

► Methodische Anmerkung 6

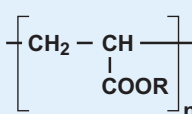
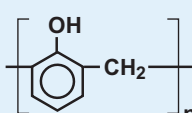
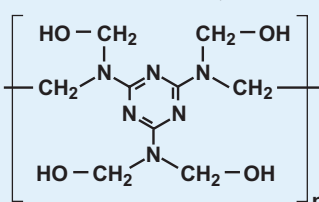
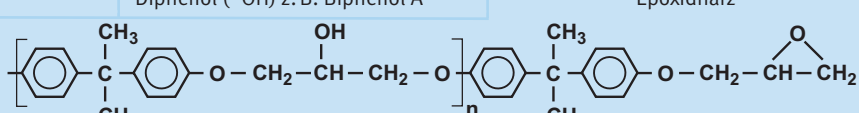
Farbstoffe und Pigmente werden ausführlich in einer eigenen Informationsserie (Nr. 15, Farbstoffe und Pigmente) des Fonds der Chemischen Industrie erläutert. Aus diesem Grund findet sich hier nur eine kurze Darstellung.

Die Farbigkeit von Lacken wird durch Farbmittel erreicht. Hierunter versteht man allgemein farbgebende Substanzen. Bei Lacken und Beschichtungsmitteln sind dies vorwiegend Pigmente.

Tabelle 3

Vergleich Kunststoffe – Lackbindemittel			
Eigenschaften	Kunststoffe	Lackbindemittel	Lackfilm
Molekulare Masse	hoch	niedrig	hoch
Aggregatzustand	fest	fest/zähflüssig	fest
Viskosität	hoch, bei Raumtemperatur nicht messbar	niedrig (in Lösung oder als Dispersion)	nicht messbar
Glasübergangstemperatur	hoch	niedrig	hoch
Vernetzungsgrad	linear bis hoch vernetzt	nicht vernetzt	hoch vernetzt
Werkstoffdicke	variabel	–	0,05 – 1 mm

Tabelle 4

Wichtige Kunstharze für Lacke und Anstrichstoffe			
Bezeichnung	Aufbaureaktion	Monomere (funktionelle Gruppe)	Struktur (Polymer)
Acrylharz	Polymerisation	Acrylsäureester ($>C=C<$) Methacrylsäureester	 Polyacrylat
Alkydharz	Polykondensation	mehrwertige Säuren ($-COOH$) Polyole ($-OH$) Fettsäuren ($-COOH$)	s. Abb. 9
Phenolharz	Polykondensation	Formaldehyd ($>C=O$) Phenol ($-OH$)	 Novolak
Polyesterharz	Polykondensation	mehrwertige Alkohole ($-OH$) mehrwertige Carbonsäuren ($-COOH$)	s. Abb. 8
Melaminharz	Polykondensation	Formaldehyd ($>C=O$) Melamin ($-NH_2$)	Melamin-Formaldehyd-Harz 
Epoxidharz	Polyaddition	Epoxid (CH_2-CH-) Diphenol ($-OH$) z. B. Biphenol A	Epoxidharz 
Polyisocyanat	Polyaddition	Diisocyanat ($-N=C=O$) Polyole ($-OH$) Amine ($-NH_2$)	Polyurethan s. Abb. 10

Pigmentierte Lacke decken die Farbe des Untergrundes völlig ab. Pigmente sind im Unterschied zu den löslichen Farbstoffen in Bindemitteln und Lösemitteln unlöslich. Ihre Wirkung in der Lackschicht erzielen sie als fein verteilte, sehr kleine Partikel in der Größenordnung von 0,01 bis 1 μm .

Das einfallende Licht wird an der Oberfläche der Pigmentteilchen reflektiert oder absorbiert. Weiße Pigmente reflektieren und streuen das Licht vollständig, schwarze Pigmente wie Ruß absorbieren es vollständig.

Bei den Buntpigmenten wird ein bestimmter Spektralbereich des Lichts absorbiert, die nicht absorbierten Anteile des Lichtspektrums, die Komplementärfarben, werden reflektiert und erzeugen den Farbeindruck im Auge des Betrachters.

Bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts wurden hauptsächlich natürliche Mineralfarben für die Lackformulierung verwendet, danach mehr und mehr industriell hergestellte anorganische Pigmente. Etwa um das Jahr 1900 wurde mit der Produktion organischer Pigmente begonnen.

Tabelle 5

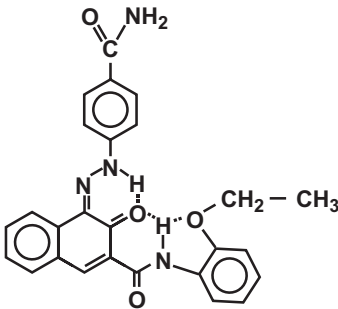
Beispiele für anorganische und organische Pigmente		
Bezeichnung	Farbton	Chemische Zusammensetzung
<i>Anorganische Pigmente</i>		
Titandioxid	weiß	TiO ₂
Eisenoxide	gelb, rot, schwarz	FeO(OH); Fe ₂ O ₃ ; Fe ₃ O ₄
Chrom(III)oxid	grün	Cr ₂ O ₃
Ruß	schwarz	C
<i>Organische Pigmente</i>		
Phthalocyanin-Pigmente	grün, blau	Kupferphthalocyanine
Azopigmente	gelb, rot	Verbindungen mit R-N=N-R'-Struktur
Perylen-Pigmente	rot	Derivate der Perylentetracarbonsäure
Chinacridon-Pigmente	rot	Derivate des Chinacridons
Diketopyrrolopyrrol-Pigmente	orange, rot	Derivate des Ketopyrrolopyrrols

Tabelle 5 gibt eine Übersicht über heute eingesetzte Produkte; die chemischen Strukturen wichtiger organischer Pigmente werden in Abb.12 gezeigt. Die Verwendung von Blei- und Chromat-Pigmenten ist heute aus Arbeits- und

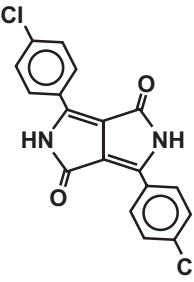
Umweltschutzgründen weitgehend eingeschränkt. Wenn möglich, wird auf diese Stoffe – wie bereits bei Cadmium-Pigmenten geschehen – vollständig verzichtet.

Abbildung 12 und Folie 5

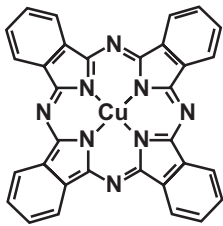
Strukturen wichtiger organischer Farbpigmente



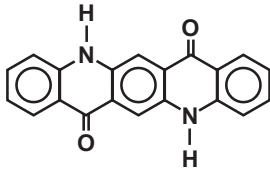
Azo-Pigmente
(Beispiel: C.I. Pigment Red 170, rot)



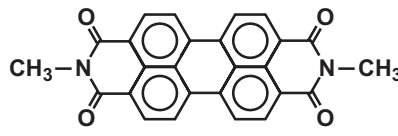
Diketopyrrolopyrrol-Pigmente
(Beispiel: C.I. Pigment Red 254, rot)



Phthalocyanin-Pigmente
(Beispiel: C.I. Pigment Blue 15, blau)



Chinacridon-Pigmente
(Beispiel: C.I. Pigment Violet 19, rotviolett)



Perylen-Pigmente
(Beispiel: C.I. Pigment Red 179, rot)

› Methodische Anmerkung 7

Ein einfaches Experiment ist die Herstellung eines Buntlackes aus Klarlack (**Versuch 3**). Aufwendiger, aber auch informativer, ist in diesem Zusammenhang **Versuch 4**, in dem das Aufhell- und Deckvermögen von zwei Weißpigmenten (Bariumsulfat und Titandioxid) verglichen wird. **Arbeitsblatt 5** dient zur Ergebnissicherung der physikalischen Grundlagen des Abschnittes.

Eine besondere Gruppe von Farbmitteln, die mehr und mehr an Bedeutung gewinnt, ist die der Effektpigmente. Diese enthalten keine spezifischen Chromophore (chemische Strukturen, die die Farbigekeit der Pigmente bewirken). Ihre Farbwirkung beruht auf physikalischen Effekten wie Reflektion und Interferenz. In den bekannten Metallicfarbtönen für Kraftfahrzeuge werden seit langem so genannte Aluminiumflakes eingesetzt, das sind sehr dünne, kleine Aluminiumplättchen. Diese wirken in der Lackschicht wie kleine Spiegel, die das einfallende Licht reflektieren. Der Grad der Reflektion ist winkelabhängig; dies führt zu der bekannten optischen Wirkung (Flopeffekt) von Metalliclackierungen. Vielfarbeneffekte sind aus der Natur von Perlen, Vogelfedern oder Schmetterlingsflügeln bekannt. Der Effekt beruht auf einer Wechselwirkung von Reflektion und Interferenz an aufeinander folgenden dünnen Schichten des Pigmentteilchens mit unterschiedlicher Brechzahl. Interferenz- oder Perlglanzpigmente bestehen z. B. aus Glimmerplättchen mit niedriger Brechzahl, auf die dünne transparente Metalloxidschichten mit höherer Brechzahl aufgetragen werden. Die Dicke der Schicht und die Art des Metalloxids bestimmen den winkelabhängigen Farbeffekt.

Farbige Lacke enthalten im Allgemeinen mehrere Pigmente, damit der gewünschte Farbton erreicht wird.

Exkurs: Farbe und Farbmessung

Der erste, nicht selten auch schon der entscheidende Eindruck beim Kauf eines Fahrzeugs, Möbels, Gerätes etc. ist der optische Eindruck, in erster Linie hier der Farbton sowie der makellose Glanz. Ein Viertel aller Pkw-Käufer ist – wie man aus der Branche hört – bereit, allein aufgrund eines besonders schönen und glänzenden Farbtons, z. B. eines Effektfarbtons, spontan die Automarke zu wechseln. Neben aller technologischen Lackentwicklung ist also die Coloristik enorm wichtig! Darunter versteht man die Beschäftigung mit allem, was sich auf die Farbgebung der Lackierung auswirkt: von der Pigmentprüfung und der Standardisierung zur Lackchargenfreigabe, über das Mischen, Rezeptieren und Korrigieren von Farbtönen bis hin zur Qualitätssicherung. Der Nuanceur ist dabei für das Mischen und vor allem für das Freigeben bzw. Korrigieren von Farbtönen und Mischformeln zuständig. Aber auch der Lackierer in der Werkstatt muss in der Lage sein, mit Hilfe eines Mischsystems Farbtonabweichungen der Lackierung (Veränderungen durch Wetter- und Chemikalieneinflüsse, Farbtonvarianten ab Werk) auszugleichen bzw. durch Korrekturen nachzustellen.

Was ist Farbe?

Farbe wird in der Coloristik verstanden als Sinneseindruck, als eine beim Betrachten der Lackschicht entstandene Farbempfindung, hervorgerufen durch einfallendes Licht. Die Aufgabe der Farbmessung besteht darin, zwischen den Farben Maßbeziehungen herzustellen, und zwar derart, dass die messtechnischen Ergebnisse von der Größenordnung her und von der Relation zueinander dem Eindruck unseres Auges entsprechen. Dabei spielt auch das zur Beleuchtung des Prüflings verwendete Licht bzw. die Lichtart eine Rolle. Gelbstichiges Glühlampenlicht, dem der Blau- und der UV-Anteil des Tageslichts weitgehend fehlt, ergibt andere Eindrücke und Ergebnisse als die

verschiedenen künstlichen Normlichtarten („weißeres, kälteres“ Licht).

Voraussetzung für die messtechnische Beschreibung von Farbtönen sind farbmetrisch definierte Standards. Dazu sind verschiedene Farbsysteme entwickelt worden, mit denen sich der Farbton, die Helligkeit und die Sättigung bestimmen lassen. PC-gesteuerte Analyseverfahren messen z. B. die Reflektion der Wellenlängen und liefern mit hoher Genauigkeit absolute Farbdaten.

2.2.5 Lösemittel

Lacklösemittel – landläufig Verdünner genannt – haben die Funktion, die Lackviskosität so zu erniedrigen, dass eine einwandfreie Verarbeitung durch Streichen, Spritzen, Tauchen oder Walzen möglich ist und die Bildung eines glatten, glänzenden Lackfilms unterstützt wird. Bei der Trocknung und Aushärtung verdunsten oder verdampfen sie. Verdünnungen sind meist Gemische unterschiedlicher organischer Lösemittel. (Wasserlacke werden in Kap. 2.2.6 behandelt.) Die Lösemittel müssen so gewählt werden, dass sie nicht mit anderen Inhaltsstoffen des Lackes reagieren. So sind für 2-Komponenten-Polyurethanlacke wasserhaltige Lösemittel oder solche mit Hydroxyl- oder Aminogruppen nicht geeignet, da sie mit den Isocyanaten reagieren würden.

Die Auswahl des richtigen Lösemittels ist abhängig von der chemischen Struktur der Bindemittel.

- Für Bindemittel mit polaren Gruppen, wie Hydroxy-, Carboxyl- oder Estergruppen, sind nach dem Prinzip „Gleiches löst Gleiches“ Lösemittel mit polaren Gruppen geeignet. Ein Beispiel hierfür ist die bekannte „Nitroverdünnung“. Wie der Name sagt, dient sie zur Verdünnung nitrocellulosehaltiger Lacke. Da Nitrocellulose nur in polaren Lösemitteln löslich ist, enthält das Lösemittelgemisch

Ester, Ketone und Alkohole mit einem sehr breiten Siedebereich.

- Für unpolare Bindemittel, wie Öle, fettsäure- und ölhaltige Alkydharze, werden Lösemittel wie Benzine oder aromatische Kohlenwasserstoffe verwendet.

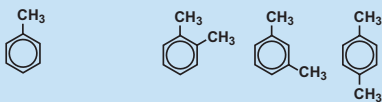
Typische Lacklösemittel sind in Abb. 13 zusammengestellt.

Neben der chemischen Natur des Lösemittels ist das Siede- und Verdunstungsverhalten für die Verwendung in einer Lackformulierung wichtig.

- Nach der Verarbeitung soll das Lösemittel relativ schnell aus dem Film entweichen, damit die Filmverfestigung in kurzer Zeit möglich ist. Bei lufttrocknenden Lacken werden daher Lösemittel mit niedriger Siedetemperatur und schneller Verdunstung eingesetzt.
- Bei Industrielacken, die durch Wärmeeinwirkung in Trockenöfen aushärten, werden die Lösemittel abhängig von der Trocknungstemperatur gewählt. Die Lösemittel müssen einerseits während einer kurzen Zeit von 20 bis 40 Minuten restlos entweichen. Andererseits darf die Verdampfung nicht so schnell erfolgen, dass dabei Oberflächenstörungen, wie z. B. Blasen, entstehen. Der unerwünschte Effekt wird vermieden, indem man Gemische aus Lösemitteln mit unterschiedlichem Verdunstungsverhalten verwendet.

Lösemittel werden in einem Lack nur für die Verarbeitung und zur Steuerung der Filmbildung benötigt. Schon aus dem Blickwinkel des Rohstoffeinsatzes ist es deshalb zweckmäßig, den Lösemittelgehalt so gering wie möglich zu halten. Aber auch Gründe des Umwelt- und des Arbeitsschutzes (Geruchsbelästigung, Brandgefahr, mögliche gesundheitliche Beeinträchtigungen) sprechen für eine weitgehende Reduktion von organischen Lösemitteln in Lacken.

Abbildung 13 und Folie 6

Lacklösemittel			
Chemische Struktur	Typische Lösemittel	Strukturformel	Siedebereich
Aliphatische Kohlenwasserstoffe	Benzine		60–200 °C
Aromatische Kohlenwasserstoffe	Toluol, Xylole		110–200 °C
Ester	Ethylacetat, Butylacetat	$\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ $\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}_3$	60–200 °C
Ketone	Aceton, Methylethylketon	$\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{CH}_3$ $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{CH}_3$	60–150 °C
Glykolether	Butylglycol, Butylglycolacetat	$\text{HO}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}_3$ $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_3-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{CH}_3$	150–200 °C
Alkohole	Ethanol, 1-Butanol	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{OH}$ $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_3-\text{OH}$	80–160 °C
Wasser		H_2O	100 °C

› Methodische Anmerkung 8

Die Gefahren, die durch den unsachgemäßen Umgang mit Lösemitteln entstehen können, verdeutlicht **Arbeitsblatt 6** anhand von zwei Artikeln aus einer überregionalen Tageszeitung. Im Unterricht kann in diesem Zusammenhang auf Aspekte der Arbeitssicherheit im gewerblichen und im privaten Bereich eingegangen werden.

Es werden deshalb mit verschiedenen Ansätzen erhebliche Anstrengungen unternommen, den Einsatz von Lösemitteln zu verringern.

- Die Entwicklung von niedrigviskosen Bindemitteln, die nur geringe Lösemittelmengen zur Verdünnung benötigen. Solche Lacke nennt man feststoffreiche Lacke oder High-Solid-Lacke.
- Bei der Verarbeitung wird versucht, mit effizienten Verfahren die Menge an Lack, die verbraucht wird, so gering wie möglich zu halten.
- Bei der industriellen Verarbeitung werden die Lösemittel aus der Abluft zurückgewonnen. Sie können erneut eingesetzt oder als Brennstoff zur Wärmegewinnung verwendet werden.
- Für die Lackentwicklung und die Lackfertigung werden zunehmend solche Lösemittel verwendet, deren Gesundheitschädlichkeit möglichst gering ist (vgl. Wasserlacke).
- Eine besonderer Trick ist der Einsatz von so genannten reaktiven Verdünnern. Darunter versteht man hochsiedende lösemittelartige Stoffe, die im Gegensatz zu den bisher besprochenen Lösemitteln reaktive Gruppen enthalten, die bei der Trocknung mit in den Lackfilm eingebaut werden. Sie erniedrigen

die Viskosität des Lackes, ohne bei der Trocknung zu verdunsten. Verdüner mit reaktiven Doppelbindungen werden z. B. bei Lacken eingesetzt, die durch UV-Strahlung härten.

Die genannten Anstrengungen waren in der Vergangenheit durchaus erfolgreich, wie das folgende Beispiel zeigt: Für die Lackierung eines Pkw wurden 1980 noch etwa 15 kg Lösemittel benötigt. Heute sind es weniger als 3 kg. (Siehe auch Kapitel 3.3 Autolackierung).

2.2.6 Wasserlacke

Will man den Verbrauch an organischen Lösemitteln verringern, so kann man auf den Gedanken kommen, diese durch Wasser zu ersetzen. Auf den ersten Blick erscheint die Idee nicht umsetzbar: Die üblicherweise verwendeten Bindemittel lösen sich nicht in Wasser. Würde man auf wasserlösliche Bindemittel ausweichen – Beispiele sind natürliche Polymere wie Stärke oder synthetische Polymere wie Polyvinylalkohol –, wäre das Problem auch nicht gelöst. Denn der Lackfilm bliebe wasserlöslich. Ein Beispiel hierfür sind Wasserfarben, bei denen als Bindemittel Gummiarabicum verwendet wird. Diese Farben sind bekanntlich mit Wasser wieder von einer Oberfläche zu entfernen.

› Methodische Anmerkung 9

Bei der Erarbeitung des Themas Wasserlack ist der Einsatz des **Arbeitsblattes 7** (Versionen für Sekundarstufe I bzw. II) hilfreich. Die Filmbildung bei Wasserlacken und lösemittelbasierten Lacken kann unter dem Mikroskop beobachtet werden (**Versuch 5**).

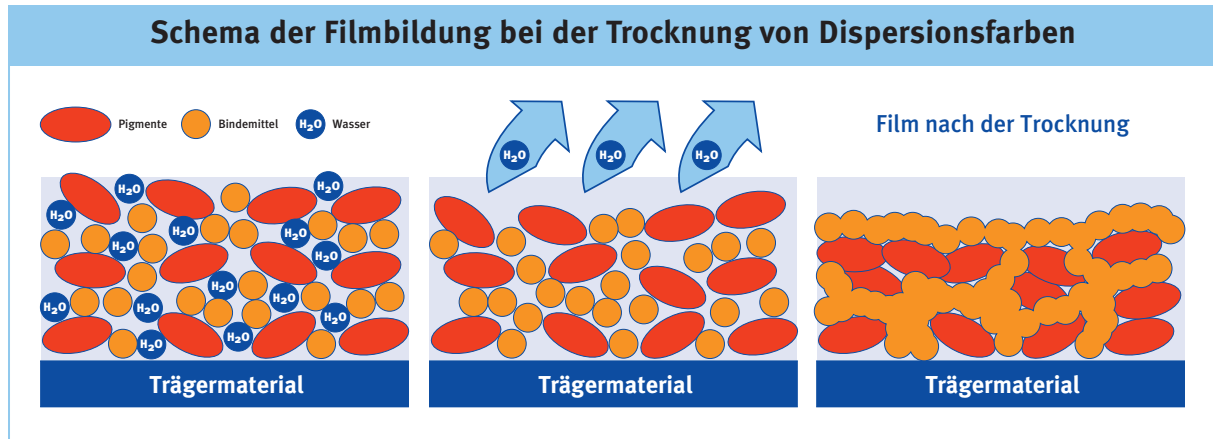
Um die Vorteile der Lackbindemittel und von Wasser als Lösemittel trotzdem nutzen zu können, bedient man sich eines Tricks. Lackbindemittel werden in Wasser in feinen Tröpfchen oder Teilchen mit einer Größe von 100 bis

10 000 Nanometer verteilt, und die entstandene Emulsion oder Dispersion wird durch den Zusatz von Tensiden (Emulgatoren) stabilisiert.

Der Name Dispersionsfarbe für Wand- und Fassadenfarben weist bereits auf die Herstellungsverfahren bzw. die Eigenschaften hin. Zur Herstellung von Bindemitteldispersionen gibt es zwei Wege.

- Bei der Emulsionspolymerisation werden Gemische wasserunlöslicher Monomere sowie Initiatoren durch starkes Rühren in Wasser fein verteilt. Durch den Zusatz geeigneter Tenside (Emulgatoren) entsteht eine stabile Emulsion. Die Polymerisation läuft in den feinen Tröpfchen ab. Am Ende der Reaktion enthalten diese Tröpfchen Polymere. Die molare Masse der Polymere ist so hoch, dass beim Verdunsten des Wassers ohne weitere chemische Vernetzung feste und harte Filme entstehen. Die Emulsionen werden deshalb insbesondere für die an der Luft trocknenden Dispersionsfarben verwendet; diese sind bereits seit langem auf dem Markt. Inzwischen sind Dispersionen aber auch Bestandteil vieler wasserverdünnter Industrielacke.
- Polykondensations- und Polyadditionsharze werden in Form so genannter Sekundärdispersionen zu wasserträglichen Lackbindemitteln. Zuerst stellt man beispielsweise in einem organischen Lösemittel das Bindemittel her. Das Lösemittel wird ganz oder teilweise abdestilliert. Nach Zugabe von Emulgatoren wird die Schmelze bzw. die konzentrierte Lösung durch intensives Rühren in Wasser fein und stabil dispergiert. Acrylatharze, Polyester, Epoxidharze und Polyurethanharze werden auf diesem Weg zu wasserträglichen Bindemitteln, die ohne oder mit nur geringen Lösemittelanteilen in wasserverdünnten Lacken eingesetzt werden. Die molaren Massen der für

Abbildung 14



Sekundärdispersionen verwendeten Harze sind so niedrig, dass noch eine chemische Vernetzung bei der Filmbildung erforderlich ist, um feste, harte und beständige Oberflächen zu erreichen.

Die Trocknung und Filmbildung verläuft bei Wasserlacken anders als bei lösemittelverdünnbaren Lacken.

- Bei Lösemittellacken ist der aufgetragene Film eine homogene Lösung des Bindemittels. Durch Verdunsten des Lösemittels wird diese Lösung immer konzentrierter und hochviskoser, bis schließlich das gesamte Lösemittel verdunstet ist und der Film durch die Härtingsreaktion fest und beständig wird.
- Beim Verdunsten des Wassers aus Wasserlacken wird der Abstand zwischen den feinteiligen Bindemitteltröpfchen immer kleiner, bis die Teilchen schließlich zusammenfließen und einen homogenen, zusammenhängenden Film bilden, der nach dem vollständigen Verdunsten des Wassers glatt und klar wird. Allerdings geht dieser Prozess wegen der hohen Verdampfungsenergie von Wasser relativ langsam vonstatten. Behindert wird die Trocknung besonders durch eine hohe Luftfeuchtigkeit: Die umgebende Luft nimmt dann kein weiteres Wasser mehr auf.

Es ist deshalb erforderlich, durch Luftzirkulation und eine geeignete Temperatursteuerung die Luftfeuchtigkeit niedrig zu halten. Den Trocknungsprozess zeigt die Abb. 14.

› Methodische Anmerkung 10

Mit einem einfachen Modellversuch ist dieses Verhalten sichtbar zu machen: Wenn man einen Tropfen einer Sonnenschutzmilch auf einer Glasplatte zu einem dünnen Film verteilt, so ist dieser Film zunächst milchig trüb. Nach einiger Zeit, wenn das enthaltene Wasser verdunstet ist, wird der Film klar und durchsichtig.

Die Menge an wasserverdünnbaren Lacken, die industriell oder handwerklich verarbeitet werden, nimmt seit Jahren ständig zu. Es ist inzwischen sogar möglich, Kraftfahrzeuge vollständig mit Wasserlacken zu lackieren.

2.2.7 Additive

Additive bzw. Lackhilfsmittel sind Stoffe, die die Eigenschaften der flüssigen Lacke und der Lackschichten verbessern oder nachteilige Effekte verhindern, wie das Absetzen von Pigmenten im flüssigen Lack oder die Bildung von Runzeln auf der Oberfläche bei der Trocknung. Additive sind meist schon in geringen Konzentrationen (< 1%) wirksam.

› Methodische Anmerkung 11

Das Zusammenspiel von Bindemitteln, Farbpigmenten und Additiven in einem Lack verdeutlicht **Versuch 6**. Das Experiment ist einfach und kann arbeitsteilig von Schülergruppen durchgeführt werden.

Wichtige Additive sind:

- Trockenstoffe fördern die Aushärtung des Lackfilms. Eingesetzt werden wasserunlösliche Metallsalze organischer Säuren, welche die oxidative Trocknung von ölhaltigen Bindemitteln beschleunigen. Beispiele sind die Kobalt- bzw. Mangansalze der Oktansäure.
- Initiatoren unterstützen die Filmvernetzung durch Polymerisation. Verwendet werden hauptsächlich Peroxide, z. B. Benzoylperoxid.
- Katalysatoren aktivieren Polykondensations- oder Polyadditionsreaktionen. So wird beispielsweise p-Toluolsulfonsäure verwendet, um die Reaktion von Polyestern mit Melaminharzen zu beschleunigen.
- Antioxidantien verhindern die Hautbildung durch vorzeitige Antrocknung und Trocknung der flüssigen Lacke. Eingesetzt werden vorwiegend Ketoxime, wie z. B. Butanonoxim.
- Lichtschutzmittel verhindern die schnelle Zerstörung von Lackoberflächen durch UV-Strahlung. Eingesetzt werden u. a. Benzophenon- und Benzotriazolderivate.
- Konservierungsmittel verhindern, dass flüssige Lacke und Lackfilme von Bakterien, Pilzen und Algen befallen werden. Besonders bei Dispersionsfarben geht es darum, Fäulnisprozesse zu vermeiden. Die Palette dieser Additive ist sehr breit. Verwendet werden Produkte mit möglichst geringer Gesundheitsschädlichkeit.

- Oberflächenaktive Substanzen können ebenfalls als Additive wirken. Die Emulgatoren bei der Herstellung von wasserverdünnbaren Bindemitteln sind schon beschrieben worden. Bei der Einarbeitung von Farbmitteln in Bindemittel werden oberflächenaktive Substanzen zugegeben, um die Pigmentoberflächen zu benetzen. Eingesetzt werden z. B. Fettsäuresalze wie Natriumstearat.
- Verlaufsmittel unterstützen die Bildung von glatten, glänzenden Oberflächen. Eingesetzt werden Lösemittel mit hoher Siedetemperatur oder Siliconöle.
- Rheologie-Additive beeinflussen das Viskositätsverhalten des flüssigen Lackes bei der Lagerung, Verarbeitung und Trocknung. Sie verhindern das Absetzen der Pigmente durch eine verdickende Wirkung sowie das Abfließen bei der Verarbeitung. Rheologie-Additive sind besonders wichtig bei Wasserlacken, bei denen man die Verdunstung bei der Trocknung nur wenig beeinflussen kann. Eingesetzt werden Verdicker, wie schwach vernetzte Polyacrylsäure, aber auch anorganische Stoffe, wie feinteilige kolloidale Kieselsäure, und Schichtsilikate, wie Bentonit. Im Zusammenhang mit der Verhinderung der Bildung von Bodensatz spricht man auch von Antiabsetzmitteln.

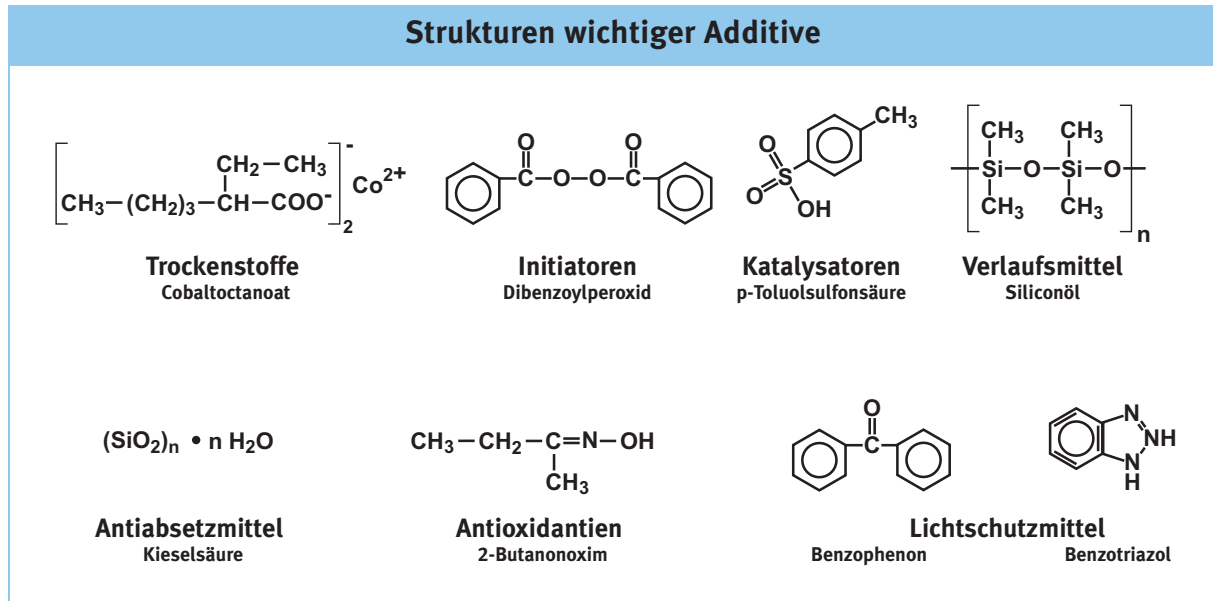
In Abb. 15 sind Beispiele für Additive aufgeführt.

2.2.8 Besondere Lacke: Pulverlacke und strahlenhärtende Lacke

Pulverlacke

In den vorangegangenen Kapiteln standen Lacke im Vordergrund, die mit Hilfe eines Lösemittels – sei es Wasser, sei es ein organisches Lösemittel – verarbeitet werden. Eine Lackart, bei der die Verwendung von Lösemitteln vollständig vermieden wird, sind die

Abbildung 15 und Folie 7



Pulverlacke. Bei den Pulverlacken werden feste thermoplastische Bindemittel und Härter mit Pigmenten und Additiven gemischt und geschmolzen. Die Schmelze wird abgekühlt, gebrochen und fein gemahlen. Das entstehende farbige Pulver ist der fertige Pulverlack. Zur Verarbeitung wird der Lack in Sprühaggregaten elektrostatisch aufgeladen und in einem elektrischen Feld auf Metalloberflächen oder auf andere leitfähige Oberflächen gesprüht.

Das Pulver haftet infolge der elektrostatischen Ladung auf der Oberfläche. Anschließend wird die Lackschicht in Trockenöfen aufgeschmolzen, wobei durch weitere chemische Vernetzung der Bindemittelkomponenten ein gut haftender, harter und widerstandsfähiger Film entsteht.

Pulverlacke haben folgende Vorteile:

- Sie sind lösemittelfrei und deshalb sehr umweltverträglich.
- Bei der Verarbeitung von Lacken im Spritzverfahren gelangt nur ein Teil des flüssigen oder pulverförmigen Lackes auf das Lackiergut. Der Rest des versprühten

Materials fliegt durch den Sprühdruk als Overspray vorbei. Bei der Pulverlackierung kann dieser Overspray – da es sich ja um ein festes Pulver handelt – einfach gesammelt und in den Lackierprozess zurückgeführt werden (Abb. 16).

Wegen ihrer Umweltverträglichkeit werden Pulverlacke zunehmend in der Industrielackierung verwendet, insbesondere für Metalloberflächen. Die Qualität ist so gut, dass sie inzwischen auch als Klarlacke für die Pkw-Lackierung eingesetzt werden. Nachteilig ist, dass sie nur bei höheren Temperaturen über 120°C aushärten. Damit sind sie für Untergründe wie Holz oder Kunststoff noch nicht geeignet. Es wird aber daran gearbeitet, Pulverlacke mit Härtungstemperaturen von unter 100°C zu entwickeln.

Strahlenhärtende Lacke

Strahlenhärtende Lacke reagieren – wie der Name bereits nahelegt – bei Bestrahlung durch UV-Licht zu einem festen Film. Die verwendeten Bindemittel enthalten als vernetzungsfähige funktionale Gruppen Doppelbindungen. Als Additive werden Photoinitiatoren zugesetzt, die bei Einwirkung von UV-Strahlen

Radikale bilden. Diese Radikale starten als Initiatoren die Polymerisation der Doppelbindungen, der flüssige Lackfilm wird vernetzt. Die Härtung durch UV-Strahlen verläuft sehr schnell. In wenigen Sekunden ist der Film hart und beständig. Wegen der schnellen Reaktion dürfen UV-Lacke keine Lösemittel enthalten.

Die verwendeten Bindemittel haben ein so niedriges Molekulargewicht, dass sie in einer Mischung mit reaktiven Verdünnern bei Raumtemperatur flüssig und so niedrigviskos sind, dass sie einwandfrei verarbeitet werden können.

2.2.9 Lackherstellung

Die Lackherstellung ist ein mechanischer Prozess. Die einzelnen Komponenten eines Lackrezeptes, die Bindemittel, Pigmente, Lösemittel und Additive werden homogen miteinander vermischt und dispergiert. Dabei laufen keine chemischen Reaktionen ab. Abb. 17 zeigt die Arbeitsgänge schematisch.

› Methodische Anmerkung 12

Die im Folgenden beschriebene Lackherstellung kann in ihren einzelnen Stufen mit dem **Arbeitsblatt 8** erarbeitet werden.

Die erste Stufe ist das Ansetzen. Dabei werden die Bindemittel und die Pigmente einer Lackrezeptur und ein Teil der Lösemittel und der Additive in einer vorgegebenen Reihenfolge zusammengegeben und wie bei einem Kuchenteig intensiv zu einer homogenen zähen Masse vermischt. Dazu verwendet man Behälter von 1 bis 5 m³ Volumen mit sehr starken Rührwellen und kreissägenähnlichen Rührblättern. Unter der Einwirkung dieser Rührer werden auch die Pigmentteilchen sehr fein verteilt. Bei Lacken und Dispersionsfarben, die nur leicht dispergierbare Pigmente enthalten, reicht diese Verteilung aus. Bei den meisten Pigmenten und für hochwertige Lacke allerdings genügt dies nicht, denn Pigmente bestehen aus sehr kleinen Kristallen (Primärkörner), die sich oftmals zu größeren Aggregaten zusammenballen.

Abbildung 16 und Folie 8

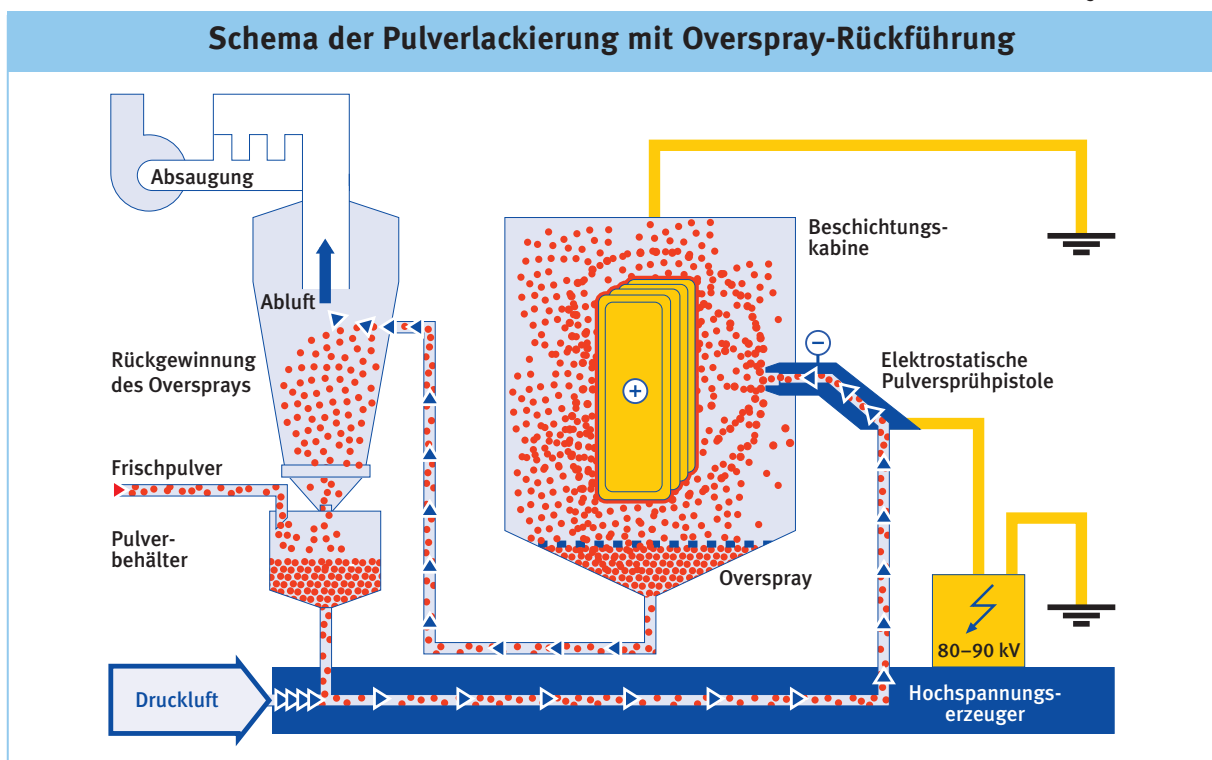
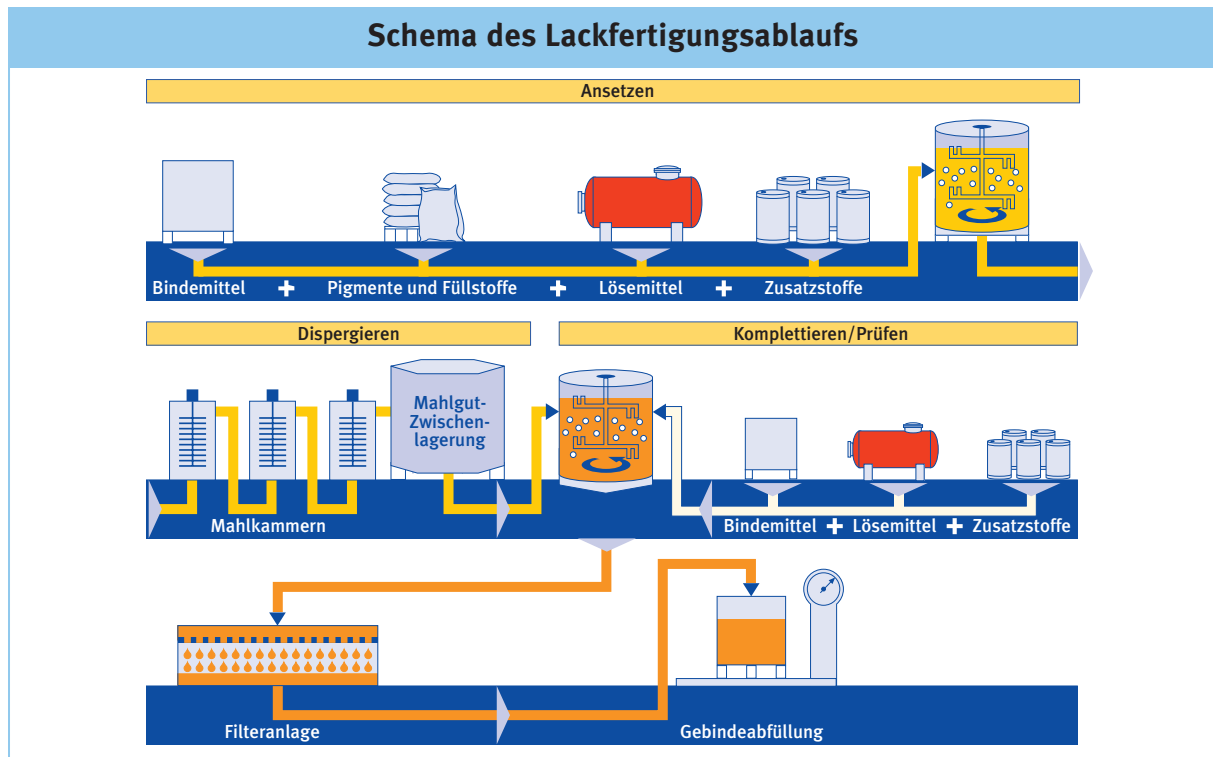


Abbildung 17 und Folie 9



Diese Aggregate müssen bei der Lackherstellung wieder zerstört und jedes Pigmentteilchen muss mit Bindemittel umhüllt werden. Erst so wird seine Farbwirkung voll ausgenutzt und ein ausreichender Schutz gegen Witterungseinflüsse gegeben.

Die Dispergierung der Pigmente geschieht heute in Rührwerkskugelmöhlen. Das sind geschlossene rohrförmige Behälter mit einem kreisrunden oder quadratischen Querschnitt, in denen eine mit Scheiben ausgerüstete Rührwelle läuft (Abb. 18). Außerdem ist dieser Mahlpf zu etwa 80 % mit feinen Perlen von 1 bis 3 mm Durchmesser aus sehr hartem Material, wie Keramik oder Zirkoniumoxid, gefüllt. Der vordispergierte Lack, man nennt ihn Mahlgut, wird von unten in die Mahlkammer eingepumpt und nach oben gedrückt. Dabei wirken durch die rotierenden Rührscheiben und die Mahlperlen hohe Scher- und Schlagkräfte auf die Pigmentaggregate ein. Sie werden wieder zu Primärkörnern zerteilt und mit Bindemittel und Netzmittel umhüllt.

Das Mahlgut verlässt die Mahlkammer am oberen Ende durch ein Sieb, das die Mahlperlen zurückhält. Meist reicht ein einmaliger Durchgang durch die Mahlkammer nicht aus. In diesen Fällen werden mehrere Rührwerksmöhlen hintereinander geschaltet. Nach der Pigmentdispergierung erfolgt die Komplettierung des Mahlgutes in Behältern mit Rührwerken. Es werden die restlichen Komponenten des Lackes unter Rühren zugegeben, und alles wird gut vermischt. Gleichzeitig wird durch Lösemittelzugabe die Viskosität des Lackes eingestellt.

Es folgt die Prüfung des Materials auf seine Eigenschaften. Für jeden Lack gibt es eine Reihe von garantierten Eigenschaften (Spezifikation), die nachweislich erfüllt werden müssen. Teilweise sind Korrekturzusätze erforderlich, um die Spezifikation voll zu erfüllen. Bei Decklacken muss weiterhin der Farbton der Rezeptur eingestellt werden. Das geschieht durch Zugabe kleiner Mengen von Tönpasten verschiedener Pigmente und den

Vergleich mit einer Farbtonvorlage. Dieses Nuancieren bedeutet einen hohen Aufwand.

Der in Farbton und Viskosität eingestellte Lack wird filtriert und abgefüllt. Bei der Filtration werden feste Verunreinigungen zurückgehalten, damit es bei der Verarbeitung des Lackes nicht zu Oberflächenstörungen durch Schmutzpartikel kommt. Das Abfüllen des Lackes erfolgt je nach Lackart und Anwendungszweck in Dosen, Eimer, Fässer, Container oder Tankwagen.

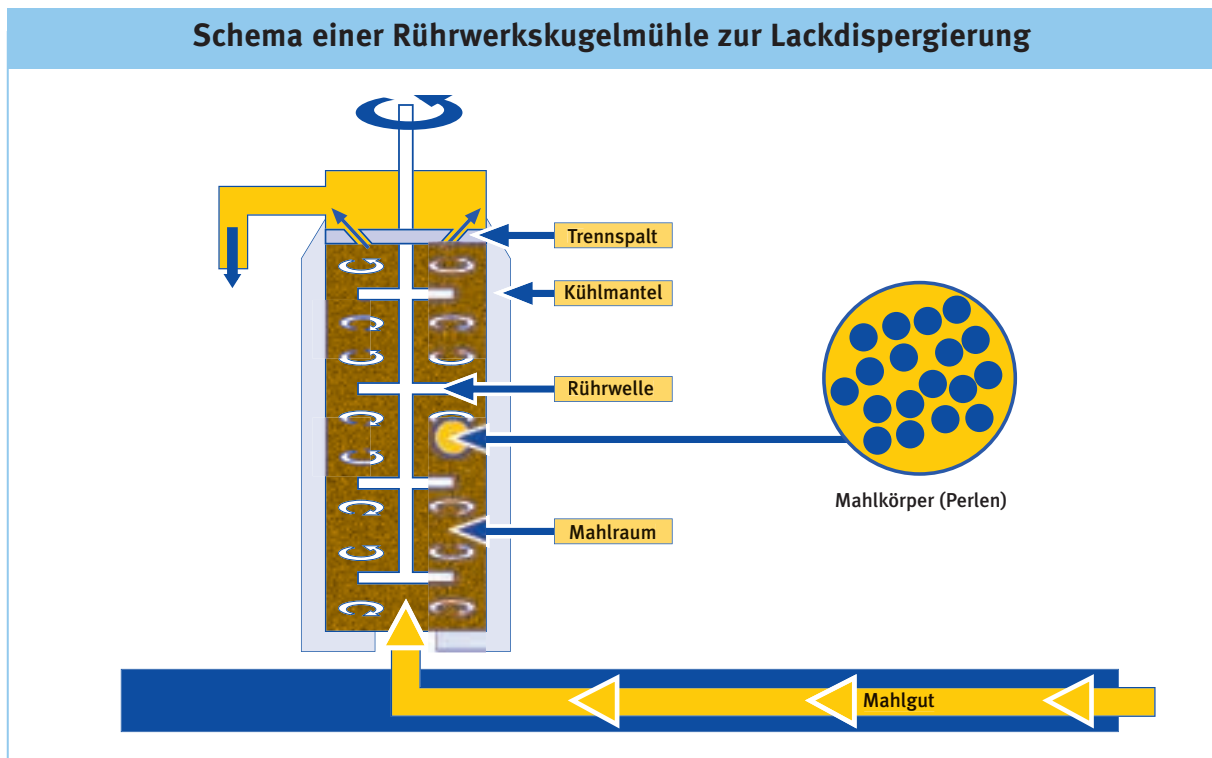
Die beschriebene Art der Lackfertigung nennt man Grundauffertigung, weil die Komponenten der Lackrezeptur als Rohstoffe eingesetzt werden und der fertige Lack nur mit kleinen Mengen an Tönpasten und Korrekturmitteln versetzt wird.

Ein anderes Fertigungssystem ist die Herstellung des gewünschten Lackes aus Mischlacken. Diese werden wie normale Lacke hergestellt, enthalten aber nur ein Pigment,

das den Farbton bestimmt. Mischlacke sind einerseits Lacke mit allen geforderten Eigenschaften, andererseits sind sie Halbfabrikate. Aus einer Mischlackpalette von 10 bis 20 Basisfarben kann dann bei Bedarf ein bestimmter Farbton gemischt werden. Das Konzept erlaubt es, gewünschte Farbtöne viel schneller zu liefern als bei einer Grundauffertigung, weil die Mischlacke auf Vorrat gehalten werden können.

Für Autoreparaturlacke, Malerlacke und Dispersionsfarben sind solche Mischlacksysteme heute schon beim Verarbeiter bzw. beim Händler installiert. Der Lackhersteller erarbeitet die Rezepturen für verschiedene Farbtöne – für die Autoreparaturlackierung sind das bis zu 20 000 verschiedene Mischrezepturen. Der Lackierer bzw. der Händler wiegt die für einen gewünschten Farbton im Rezept vorgegebenen Mengen an Mischlacken bei Bedarf ab und mischt sie zusammen.

Abbildung 18 und Folie 10



› Methodische Anmerkung 13

Mischlacksysteme werden von größeren Firmen des Farbenhandels betrieben. Eine solche Anlage könnte das Ziel einer Exkursion sein (eventuell in Verbindung mit einer Lackiererei).

Die Lackherstellung war noch vor 50 Jahren eine schwere und die Gesundheit beeinträchtigende manuelle Arbeit. Die Rohstoffe wurden von Hand transportiert, gehoben und geschöpft. Die Behälter waren offen, beim Einrühren der Pigmente staubte es, aus den offenen Behältern verdunstete das Lösemittel in die Fertigungshalle; dies verursachte erhebliche Geruchsbelästigungen und Gesundheitsgefährdungen.

Die heute gültigen gewerbehygienischen und sicherheitstechnischen Auflagen und der technische Fortschritt bei Behältern und Aggregaten haben die Lackfertigung völlig verändert. Abb. 19 verdeutlicht dies. Die Herstellung und die Lagerung erfolgen in geschlossenen Behältern. Die Rohstoffe werden in Tanks, Silos und Großverpackungen gelagert und über Rohrleitungen in die Behälter gefördert. Die Dosierung erfolgt automatisch und wird durch Rechner gesteuert.

2.2.10 Verarbeitung von Lacken

› Methodische Anmerkung 14

Die wichtigsten Methoden der Lackverarbeitung sind mit Beispielen auf **Arbeitsblatt 9** zusammengestellt. Die Thematik ist besonders im berufskundlichen Unterricht von Interesse, im Chemieunterricht kann sie verkürzt behandelt werden.

Vorbereitung des Untergrundes

Lacke werden auf unterschiedlichen Untergründen verarbeitet. Das sind

- mineralische Werkstoffe wie Beton, Stein und Putze,
- Holz und Holzwerkstoffe wie Spanplatten, Holzfaserplatten,
- Metalle wie Eisen, Stahl, Aluminium,
- Kunststoffe für Verkleidungen, Gehäuse, Anbauteile, Schilder, Autoteile.

Diese Werkstoffe werden für die unterschiedlichsten Zwecke innen und außen verwendet und sind dabei entsprechend unterschiedlichen Belastungen ausgesetzt.

Abbildung 19 und Folie 11

Lackfertigung früher und heute



- Eine Bautenfarbe im Außenbereich muss gegen Feuchtigkeit, Temperaturwechsel, UV-Strahlung und den Befall mit Pilzen und Algen beständig sein.
- Ein Hausgerätelack darf sich nicht verändern, wenn er mit Wasch- und Putzmitteln behandelt wird und mit Lebensmitteln in Kontakt kommt.
- Ein Autolack soll mehr als 10 Jahre vor Korrosion schützen, steinschlag- und wetterbeständig sein und möglichst wenig verkratzen.
- Ein Holzlack soll seinen Farbton im Lauf der Zeit nicht ändern und nicht infolge klimatischer Einflüsse reißen bzw. abblättern.

Eine Lackrezeptur muss deshalb für den jeweiligen Untergrund und die jeweilige Beanspruchung eingestellt und angepasst werden. Das gilt für die Auswahl der Bindemittel, für die Härtingsreaktion und für die verwendeten Pigmente.

Gute Haftung zwischen Werkstoffoberfläche und Lackschicht ist die Voraussetzung für jede gute Lackierung auf allen Untergründen. Sie beruht auf physikalischen und chemischen Wechselwirkungen zwischen der Lackschicht und dem Untergrund. Die Haftfestigkeit ist die Kraft, die erforderlich ist, um die Lackschicht vom Untergrund abzureißen. Sie wird sowohl von der Lackzusammensetzung als auch von der Art des Untergrundes beeinflusst.

Um eine optimale Haftung und Beständigkeit zu erreichen, wird eine Reihe von mechanischen und chemischen Vorbehandlungsverfahren angewandt.

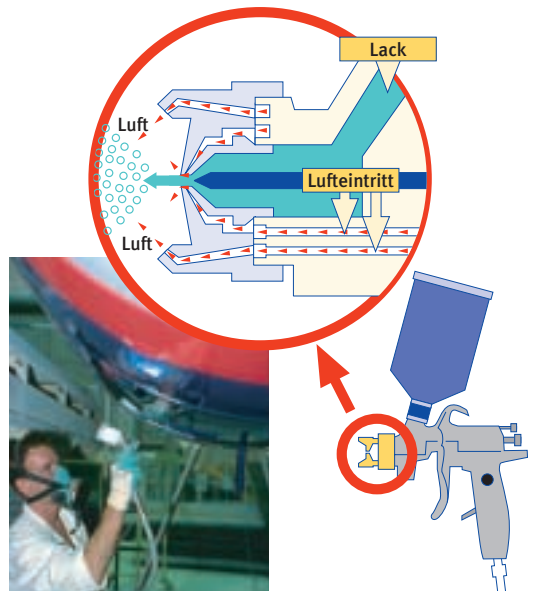
Verfahren des Lackauftrages

Das älteste und bekannteste Verfahren der Lackverarbeitung ist das Streichen mit Pinsel oder Bürste. Dabei wird der Anstrichstoff mit

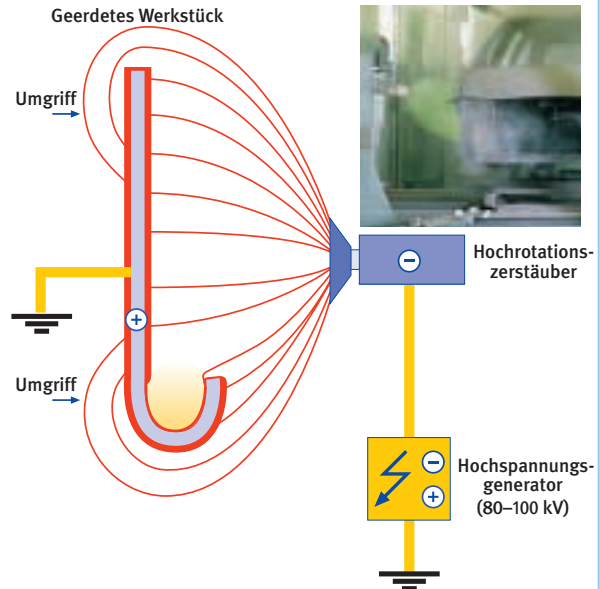
Büscheln von Natur- oder Kunststoffborsten auf der Oberfläche verteilt. Das Streichen hat den Vorteil, praktisch an jedem Ort und auf jeder Oberfläche mit geringem Aufwand möglich zu sein. Das Lackmaterial wird weitgehend ausgenutzt, und es entsteht praktisch kein Abfall. Das Malen oder Anstreichen ist das für die handwerkliche Verarbeitung von Lacken und Dispersionsfarben am meisten genutzte Verfahren. Das Rollen von Farben und Lacken ist eine Weiterentwicklung des Streichens und besonders geeignet für größere, ebene Flächen, wie Wände und Fassaden.

Für die industrielle Lackierung sind Verfahren entwickelt worden, mit denen die Lackverarbeitung schnell und automatisiert durchgeführt werden kann. Das bedeutendste Verfahren ist das Spritzen (Abb. 20). Dabei wird der Lack beim Austritt aus einer Düse durch Druckluft pneumatisch in feine Tröpfchen zerstäubt und mit dem Luftstrahl auf die zu lackierende Oberfläche gelenkt. Mit dem Verfahren sind sehr gleichmäßige, glatte Lackschichten zu erreichen. Die Geräte für die Spritzlackierung nennt man Spritzpistolen, weil sie in ihrer Form einer Pistole ähneln und die Regulierung des Luftstroms und der Lackmenge durch einen mit dem Zeigefinger bedienbaren Abzugshebel erfolgt. Spritzpistolen werden manuell verwendet, z. B. bei der Autoreparaturlackierung und im handwerklichen Bereich. Für die serienmäßige Lackierung von Industrieteilen und Kraftfahrzeugen sind automatische Sprühanlagen und Farbsprühroboter entwickelt worden, bei denen die Spritzlackierung vollautomatisch und ohne manuelle Tätigkeit erfolgt (siehe auch Kap. 3 Autolackierung). Bei der Spritzlackierung gelangt nur ein Teil des versprühten Lackes auf die Oberfläche des Lackiergutes. Je nach Form des Objektes werden bis zu 50 % als Overspray vorbeigesprüht und fallen als Abfall an. Das ist im Sinne des Umweltschutzes, aber auch im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit der Lackierung nachteilig.

Schematische Darstellung von Lacksprühgeräten (pneumatisch und elektrostatisch)



Schema einer Druckluft-Handspritzpistole



Schema einer elektrostatischen Spritzpistole

Mit der Einführung der elektrostatischen Applikation konnte der Overspray deutlich reduziert werden. Bei diesem Verfahren wird zwischen dem Sprühkopf und der zu lackierenden Oberfläche, die elektrisch leitfähig sein muss, ein elektrostatisches Feld mit sehr hoher Spannung von etwa 100 000 Volt angelegt. Die Lacktröpfchen erhalten am Sprühkopf eine negative Ladung und fliegen in dem bestehenden elektrischen Feld auf die geerdete, positiv geladene Oberfläche des Lackiergutes. Die Menge an Overspray ist bei diesem Verfahren deutlich geringer. Mehr als 80 % des eingesetzten Lackes gelangen auf die Oberfläche und bilden die Lackschicht aus. Ein weiterer Vorteil dieses Verfahrens ist der so genannte Umgriff. Die Feldlinien des elektrischen Feldes erfassen auch Bereiche des Lackierobjektes, die nicht direkt vom Sprühstrahl erreicht werden können. Entlang dieser Feldlinien gelangen die Lackteilchen auf die Objekt Oberfläche (Abb. 20).

Beim Spritzverfahren ist eine Reihe von Aspekten des Gesundheitsschutzes und des Umweltschutzes zu beachten.

- Lackierer haben beim manuellen Spritzen Masken zu tragen, die vor dem Einatmen der versprühten feinen Lacktröpfchen (Aerosole) schützen.
- Die Spritzlackierung muss in Kabinen mit ausreichender Belüftung erfolgen.
- Freigesetzte Lösemitteldämpfe müssen aus der Umluft der Spritzkabinen ebenfalls wieder entfernt werden. Das geschieht durch Adsorption in speziellen Filtern aus Aktivkohle oder durch Verbrennung und Nutzung der dabei entstehenden Wärme.
- Der Overspray muss aufgefangen werden. Das geschieht bei flüssigen Lacken durch einen ständig fließenden Wasservorhang hinter den zu lackierenden Teilen oder, bei sehr großen Lackierkabinen, z. B. bei der

Pkw-Lackierung, durch Auswaschen der Umluft. Aus dem umlaufenden Wasser wird der Lackabfall koaguliert und entsorgt.

Bei Wasserlacken gibt es für bestimmte Produkte die Möglichkeit des Recycling. Der Lack wird durch Ultrafiltration aufkonzentriert und dem Lackvorrat wieder zugeführt.

Neben dem Spritzen ist das Tauchen ein wichtiges Lackierverfahren. Die zu lackierenden Gegenstände werden dabei in ein Lackbad getaucht. Nach dem Austauchen und dem Abtropfen wird die verbleibende Lackschicht in Trockenöfen getrocknet. Bei diesem Verfahren entsteht kein Lackabfall, und bei der Verwendung von Wassertauchlacken auch nur eine geringe Lösemittel-emission. Ein wesentlicher Nachteil ist die ungleichmäßige Dicke der Lackschicht. Durch den Einfluss der Schwerkraft beim Austauchen und beim Abtropfen wird der Lackfilm von oben nach unten immer dicker, und es kommt zu „Läufern“ und zur Tropfenbildung an Überlappungen. Ein moderner Tauchlackierprozess, die Elektrotauchlackierung, vermeidet diesen Nachteil. Das Verfahren wird im Kapitel „Autolackierung“ genauer beschrieben.

Ein weiteres wichtiges Lackierverfahren für die industrielle Lackierung ist der Auftrag mit Walzen. Das Lackiergut, z. B. ein Regalbrett oder eine Holztür, bewegt sich dabei unter einer Walze, der Lack wird von der Walze auf die Oberfläche übertragen. Lackiert werden große ebene Flächen aus Holz, Metall oder Kunststoff. Auch Kunststofffolien lassen sich mit diesem Verfahren beschichten.

Eine spezielle Variante der Walzlackierung ist der Coil-Coating-Prozess (Bandbeschichtung). Dabei werden Metallbänder – die bis zu 2 m breit sein können – direkt nach dem Walzen im Hüttenwerk beschichtet und dann auf Rollen (Coils) gewickelt. Es ist möglich, nach der Zwischentrocknung auch mehrere

Schichten übereinander aufzutragen, z. B. eine Korrosionsschutzgrundierung und einen Decklack. Solche Stahl- oder Aluminiumbleche können für die Fertigung von Geräten verwendet werden. Eine Lackierung nach der Montage ist nicht mehr erforderlich. Auch das Coil-Coating-Verfahren ist voll automatisiert, sehr rationell und umweltverträglich.

2.2.11 Prüf- und Messverfahren für Lacke und Farben

Bei der Darstellung der Lackherstellung wurde schon erwähnt, dass Lacke und Farben eine Reihe von Anforderungen (Spezifikationen) erfüllen müssen. Solche Spezifikationen können je nach Verarbeitungsart und Anwendungszweck des Lackes sehr verschieden sein. Ob die geforderten Eigenschaften auch erreicht werden, stellt man durch Prüfung des Lacks fest. Man unterscheidet dabei Prüfungen am flüssigen, nicht verarbeiteten Lack und die Bewertung des verarbeiteten, ausgehärteten Lacks. Am flüssigen Lack werden normalerweise nur wenige Prüfungen, wie z. B. die Messung der Viskosität, durchgeführt.

Prüfungen an der Lackschicht

Prüfungen, die etwas darüber aussagen, wie sich eine Lackschicht bei der Beanspruchung im täglichen Leben verhält, werden an speziellen Prüftafeln aus Metall, Holz oder Kunststoff durchgeführt. Die Ergebnisse sollen zeigen, ob der Lack die Anforderungen und Beanspruchungen unter Gebrauchsbedingungen erfüllt. Die Prüfmethode müssen die Beanspruchungen sehr gut und reproduzierbar simulieren.

Verlauf, Farbton, Glanz

Das Aussehen, der optische Eindruck einer Lackoberfläche, ist ein wichtiges Qualitätsmerkmal. Verlauf, Farbton und Glanz sind die Eigenschaften, die hier zusammenwirken. Die Prüfung erfolgt zunächst mit dem Auge im

Vergleich zu einer Mustervorlage. Die Bewertung wird unterstützt durch Messgeräte. Das ist besonders wichtig bei Autolacken. Bei diesen werden Farbtongenauigkeit, hoher Glanz und eine möglichst glatte Oberfläche gefordert.

Neben der Prüfung der optischen Eigenschaften ist die Prüfung der Beständigkeit der Lackschicht gegen Einwirkungen im täglichen Gebrauch wichtig, um zu beurteilen, ob sich ein Lack für eine bestimmte Anwendung eignet.

Bewitterungs- und Korrosionsschutzprüfung

Die Belastung von Lackschichten durch Einwirkungen aus der Atmosphäre ist besonders stark bei Lacken, die im Außenbereich eingesetzt werden, wie bei Fassadenfarben, Holzanstrichen, Fahrzeuglacken und Korrosionsschutzanstrichen für Brücken und Stahlkonstruktionen. Auf die Lackschicht wirken eine Reihe von Belastungen und Schadstoffen ein, wie sie in Abb. 21 dargestellt sind. Als Schäden können auftreten: Glanzverlust, Farbtonveränderungen, Anätzungen, Risse und Abplatzen vom Untergrund. Feuchtigkeit und Schadgase diffundieren durch die Lackschicht und führen bei Metallen zu Korrosion.

Gegen solche Schäden sollen die Lackschichten über eine sehr lange Zeit beständig sein. Bei Korrosionsschutzlacken für Brücken und Stahlkonstruktionen werden Beständigkeiten von mehr als 20 Jahren erwartet.

Natürlich kann eine Prüfung auf Beständigkeit nicht über solch lange Zeiten laufen. Bei Fahrzeuglacken legt man die Prüfbleche deshalb z. B. in Florida zum Test aus. Hier ist die UV-Strahlung der Sonne so stark, dass sich nach zwei Jahren Schäden an der Oberfläche zeigen, die in Europa erst nach 5 bis 10 Jahren auftreten.

Für die Korrosion von Metallen unter Lackschichten sind insbesondere Streusalz und Feuchtigkeit entscheidend. Deshalb prüft man die korrosionsschützende Wirkung von Lacken in Klimakammern, in denen die Prüftafeln bei hoher Luftfeuchtigkeit und höheren Temperaturen mit Salzlösungen besprüht werden.

Prüfverfahren für mechanische Beanspruchungen

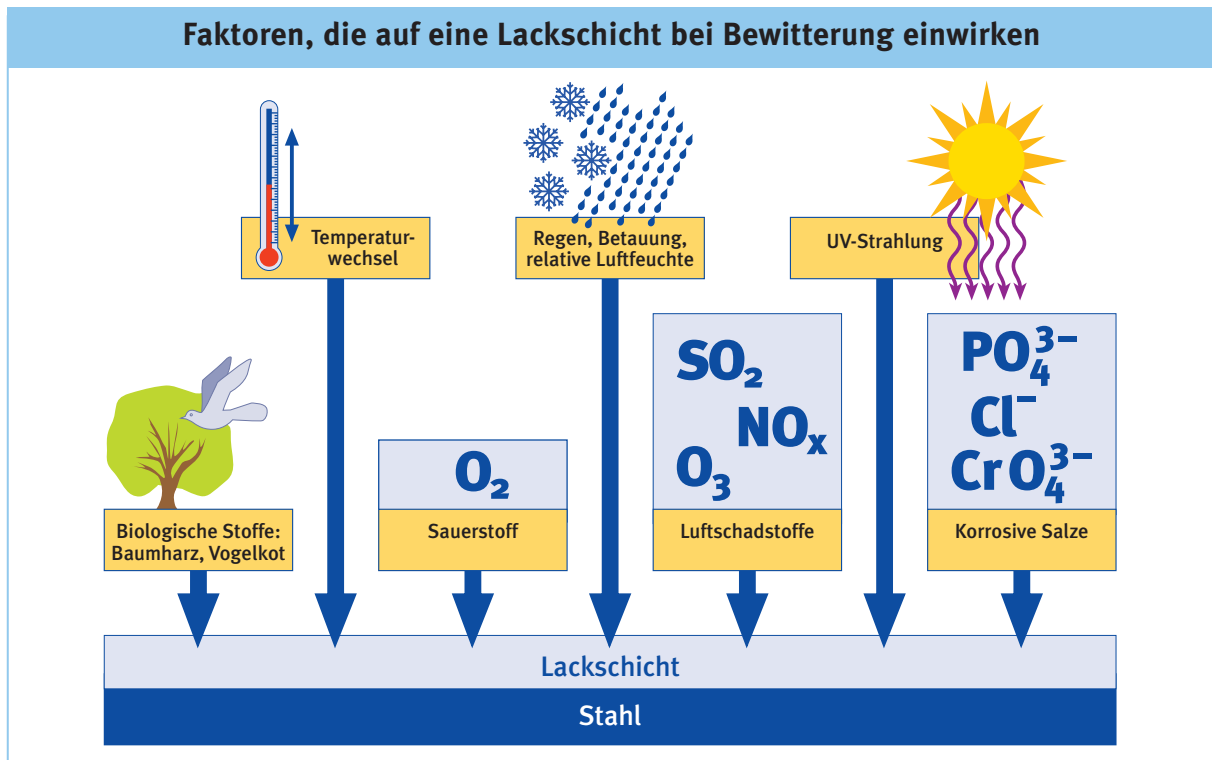
Lackschichten sind im Gebrauch praktisch immer mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt.

Mit einer Reihe von Prüfmethoden können solche Beanspruchungen simuliert werden. Die Beständigkeit von Autolacken gegen das Verkratzen in Waschstraßen wird beispielsweise in Miniatur-Waschanlagen mit rotierenden Waschbürsten geprüft. Zur Verschärfung des Tests wird definierter feiner Sand in das Waschwasser gegeben.

Zur Prüfung der Steinschlagbeständigkeit werden in einer Apparatur Steine oder Stahlschrott mit hoher Geschwindigkeit gegen die Lackoberfläche geschleudert.

Bei der Härteprüfung misst man z. B. die Kraft, die erforderlich ist, um die Spitze einer kleinen Pyramide aus einem harten Material in die Oberfläche einer Lackschicht zu drücken. Bei der Elastizitätsprüfung wird gemessen, wie stark man ein mit Lack beschichtetes Blech verbiegen kann, bevor der Lackfilm reißt.

Abbildung 21 und Folie 13



3.1 Autolackierung

› Methodische Anmerkung 15

Das Kapitel Autolacke baut auf den vorher erarbeiteten Grundlagen auf, stellt jedoch nicht nur eine Anwendung, sondern auch eine Erweiterung dar. Zum Verständnis der Inhalte ist ein Grundwissen der Schülerinnen und Schüler über Korrosion und über einfache elektrochemische Vorgänge hilfreich, welches mit dem **Arbeitsblatt 10** erarbeitet werden kann.

Am Beispiel der Lackierung von Kraftfahrzeugen und speziell von Personenkraftwagen lässt sich besonders gut zeigen, welche sehr unterschiedlichen Anforderungen in der Verarbeitung von Lacken und von Lacken selbst erfüllt werden müssen.

- Möglichst geringer Zeitaufwand für den gesamten Lackierprozess durch weitgehende Automatisierung
- Hohe Ausnutzung der eingesetzten Lacke
- Geringe Umweltbelastungen infolge von Lösemittlemissionen
- Hervorragender Langzeitschutz gegen Korrosion, Witterungs- und chemische Einflüsse (vom Vogelkot bis hin zu saurem Regen), Steinschlag, Kratzbeanspruchungen in Waschanlagen etc.
- Exzellente Oberflächenoptik: Glanz, Brillanz sowie Gleichmäßigkeit über die ganze Fläche und auch Lieferkonstanz beim Farbton und bei der Ausbildung besonderer Effekte wie Metallic oder Perlmutter
- Extremer Anspruch an die Fehlerlosigkeit der Lackierung (keine Staubeinschlüsse etc.)

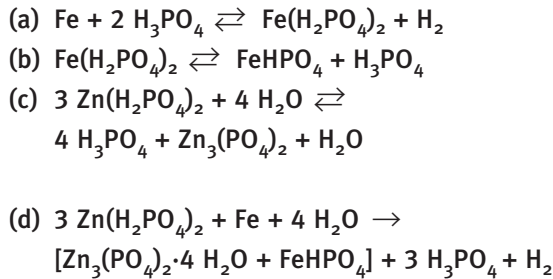
Die Autolackierung stellt somit hohe Anforderungen an den Lackierprozess und an das Lackierergebnis. Dies führt zu laufenden Weiterentwicklungen und Innovationen, die über die Kraftfahrzeugindustrie hinaus Bedeutung haben: Viele Problemlösungen können auch für andere Anwendungen übernommen werden.

Die genannte Vielzahl von Anforderungen an die Lackierung von Kraftfahrzeugen kann nicht von einer oder zwei Lackschichten erfüllt werden, vielmehr werden mindestens drei, meist und zunehmend aber vier bis fünf oder mehr aufeinander abgestimmte, sehr hochwertige Lacke schichtweise aufgetragen, die jeweils spezielle Anforderungen erfüllen (Abb. 22; siehe auch Abb. 24, S. 45). Ein Auto besitzt eine Oberfläche von etwa 80 bis 100 m², die zu lackieren ist. In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Schritte der Autolackierung näher dargestellt. Besondere technische Aspekte wie Automatisierung und Klimatisierung und Gesichtspunkte des Umweltschutzes schließen sich an.

3.1.1 Vorbehandlung

Bleche und Profile, aus denen Karosserieteile hergestellt werden, sind ab Werk aus Gründen des Korrosionsschutzes eingefettet. Wegen der Verwendung weiterer Hilfsmittel (z. B. Bohremulsionen) und infolge von Verunreinigungen durch den Produktionsprozess können Rohkarossen somit nicht ohne Vorbehandlung lackiert werden. Im ersten Arbeitsgang wird deshalb zunächst eine gründliche Reinigung und Entfettung durchgeführt. Nach dem Abspülen von Reinigerresten erfolgt als Grundlage für den Korrosionsschutz und für die Haftfestigkeit des Lackaufbaus die Zinkphosphatierung. Innerhalb von ca. 2 Min. wird bei 50 bis 60 °C in einer sauren Zinkphosphatlösung eine etwa 1,5 µm dicke Schicht aus Zinkphosphat/Eisenhydrogenphosphat gebildet.

Die folgenden Reaktionsgleichungen zeigen diesen Vorgang.



Nach erneutem Spülen wird die Phosphat-schicht nun meist zusätzlich passiviert oder verdichtet, z. B. durch Nachbehandlung mit einer Chromatlösung. Dabei werden vor allem verbliebene rostanfällige Lücken zwischen den Phosphatkristallen beseitigt. Chromate werden zunehmend durch umweltverträglichere Substanzen wie Titan- und Zirkonium-Verbindungen ersetzt. Vor dem folgenden Arbeitsschritt wird die Karosserie wiederum abgespült, getrocknet und auf Raumtemperatur gekühlt.

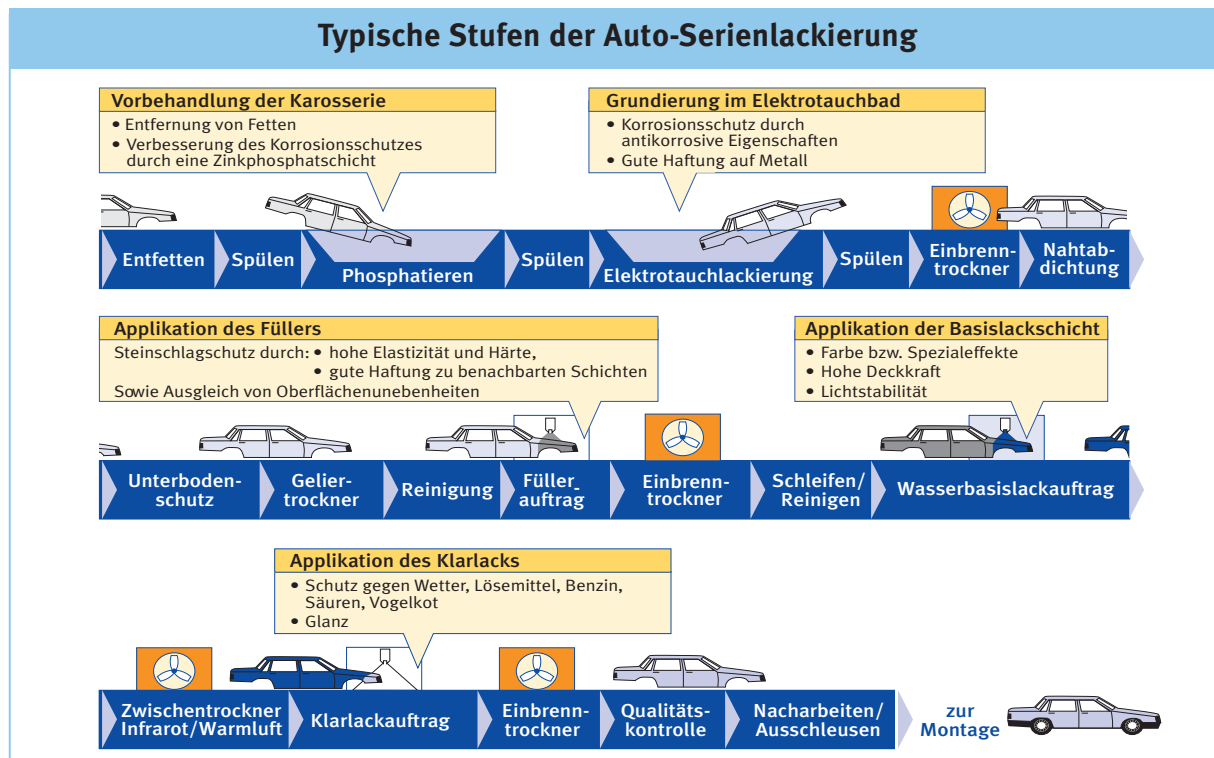
3.1.2 Elektrottauchlackierung (ETL)

Die kathodische Elektrottauchlackierung stellt sicher die größte Innovation in der Lackier-technik der letzten 40 Jahren dar. Ihr Einsatz hat wesentlich dazu beigetragen, dass seit etwa 15 Jahren die Autos auf unseren Straßen kaum noch korrosionsanfällig sind. Heute werden weltweit praktisch alle Kraftfahrzeug-karosserien nach diesem Verfahren grundiert.

Methodische Anmerkung 16

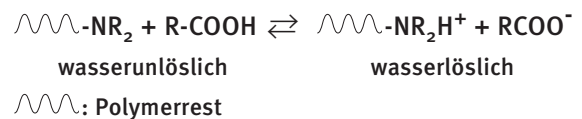
Die Elektrottauchlackierung kann im Unterricht der Sekundarstufe I nur sehr vereinfacht erar-beitert werden, wobei das Grundprinzip in Analogie zum Galvanisieren dargestellt werden kann (**Versuch 7**). Im Unterricht der Sekundarstufe II ist eine tiefer gehende Be-schäftigung mit den ablaufenden Reaktionen möglich. Wichtig ist, dass sich auf der Karosserie eine nicht leitende Lackschicht aus-bildet. **Arbeitsblatt 11** ermöglicht die Wieder-holung und eine Vertiefung der Thematik.

Abbildung 22 und Folie 14



Elektrotauchlacke sind Wasserlacke. Die verwendeten polymeren Bindemittel besitzen salzartige ionische Gruppen, weshalb Lacke, die solche Bindemittel enthalten, elektrisch leitfähig sind. Wird in einem Gefäß, das einen Elektrotauchlack enthält, zwischen zwei Elektroden eine Gleichspannung angelegt, kann – abhängig von der Art des Bindemittels – eine Reaktion beobachtet werden: Im Falle anionischer, also negativ geladener Polymermoleküle wandern diese zur Anode und bilden dort eine Schicht. Im Fall positiv geladener Polymermoleküle beobachtet man eine Abscheidung an der Kathode. Taucht man also eine Karosserie in einen Elektrotauchlack und schaltet sie je nach Bindemittel als Abscheideelektrode, kann man einen Lacküberzug herstellen. Die Gegenelektroden bestehen aus hochwertigem Edelstahl. Bis auf wenige Ausnahmen wird heute in der Pkw-Lackierung nur noch kathodisch tauchgrundiert (Abb. 23). Für die hohen Anforderungen der Automobilindustrie kommt die früher benutzte anodische Tauchlackierung nicht mehr in Frage. Daher wird sie hier auch nicht weiter berücksichtigt.

Bindemittel für das kathodische Elektrotauchlackieren (KTL-Verfahren) enthalten basische Gruppen (Aminogruppen). Durch Reaktion mit Säuren entstehen bei der Herstellung Salze, die wasserlöslich sind. Im Wesentlichen werden Ameisensäure oder Essigsäure, z.T. auch Propionsäure oder Milchsäure eingesetzt.



Nach der Diffusion der geladenen Lackteilchen zur Kathode (Minuspol) werden sie dort neutralisiert und koagulieren. Dies erfolgt, da oberhalb der Zersetzungsspannung von Wasser gearbeitet wird und die durch Wasserelektrolyse an der Kathode gebildeten Hydroxidionen die Ammoniumgruppen deprotonieren (Freisetzung eines Amins aus seinem Salz durch Reaktion mit einer starken Base).

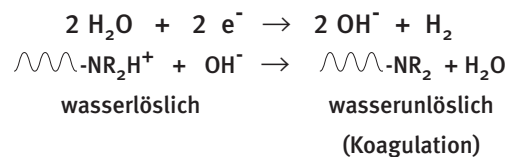
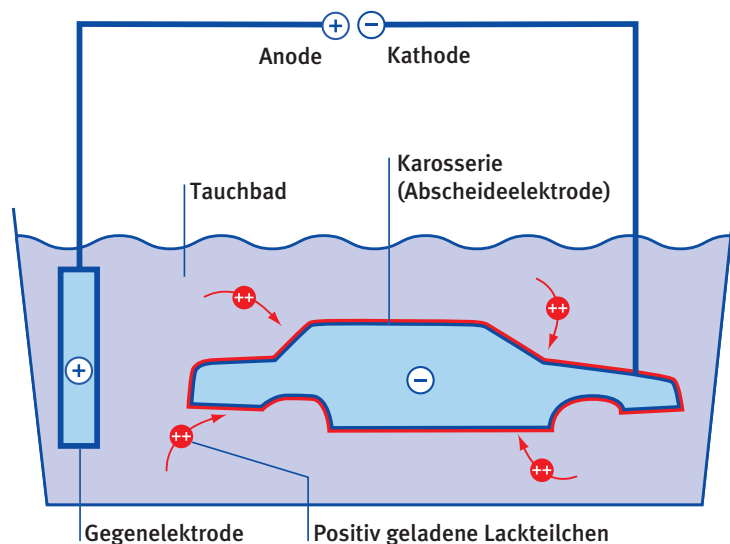


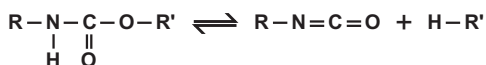
Abbildung 23 und Folie 15

Schematische Darstellung einer Anlage zur kathodischen Elektrotauchlackierung (KTL)



Während der Koagulierung steigt der elektrische Widerstand, was mit fortschreitender Dauer des Beschichtungsvorganges zu einer Verschiebung der Feldlinien auch in Hohlräume und Faradaysche Käfige führt. Dies bewirkt einen guten Umgriff mit nahezu gleichmäßiger Rundum- und Innenbeschichtung, selbst bei komplizierten Werkstücken (vgl. Abb. 20, S. 36). Der zunehmende Widerstand der sich aufbauenden Schicht hat auch zur Folge, dass die Stromdichte (und somit die Stromstärke) nach anfänglich sehr hohen Werten rasch abnimmt.

Die Schichtdicke des abgeschiedenen Films lässt sich über die Strommenge, die während der Abscheidung fließt, sehr genau steuern und erreicht nach 1 bis 2, maximal 3 Minuten ihren Endwert. Nach dem Herausnehmen aus dem Tauchbad wird nichtkoaguliertes Lackmaterial in einem mehrstufigen Spülprozess abgewaschen. Durch das anschließende Einbrennen (Schmelzen und Vernetzen bei 150 bis 190 °C) erhält der Lackfilm schließlich seine endgültigen Eigenschaften. Die Chemie der Vernetzung ist meist eine Addition von Polyisocyanaten an z. B. Polyester oder Polyepoxide mit freien Alkoholgruppen. Damit diese Komponenten nicht schon im flüssigen Bad miteinander reagieren, bedient man sich eines Tricks, der am Beispiel der Isocyanatgruppen erläutert werden soll. Bei der Herstellung des Härter-Anteils im Bindemittel bringt man die Isocyanate mit Aktiv-H-Verbindungen wie Phenol, Malonsäureester o. ä. zur Reaktion. Die so entstehenden N-substituierten Carbaminsäureester sind bei Raumtemperatur stabil. Bei höheren Temperaturen werden die „verkappten“ Isocyanate in Umkehrung der Bildungsreaktion wieder gespalten und können mit Hydroxylgruppen zu Polyurethanen reagieren.



„Verkapptes“ Isocyanat

Je nach Fördertechnik und Badgröße können so ca. 50 Karossen pro Stunde grundiert werden. Große KTL-Bäder können bis zu 500 m³ Tauchlack enthalten. Der Prozess läuft vollautomatisch. Es entsteht kein Abfall, und die benötigten Lösemittelmengen im Lackbad sind sehr gering. Die typischen Parameter für die kathodische Elektrotauchlackierung sind noch einmal in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Table 6

Parameter für die kathodische Elektrotauchlackierung in der Autolackierung	
Angelegte Gleichspannung	350 bis 500 V
Schichtdicke nach dem Einbrennen	18 bis 25 µm (teilweise bis 30 µm)
Abscheidezeit	2 bis 3 Min.
pH-Wert des Bades	5,6 bis 6,6
Badtemperatur	ca. 28 °C
Badgrößen	200 bis 500 m ³

3.1.3 Schweißnahtabdichtung und Unterbodenschutz

Vor dem Auftragen der nächsten Lackschicht müssen Fugen und Falzverbindungen abgedichtet und die für die Tauchlackierung erforderlichen Löcher (Ablaufen von flüssigem Badmaterial) verschlossen werden. Dies geschieht teils von Hand, teils mit Robotern mit unterschiedlichen PVC- oder Polyurethan-Materialien unter Einsatz von Spezialspritzpistolen. Auch der anschließend aufgetragene Unterbodenschutz (100 bis 1000 µm) basiert meist auf PVC-Materialien oder Polyurethanen. Er wird im Allgemeinen von Robotern appliziert. Teilweise wird, ebenfalls mit einem scharf begrenzten Spritzstrahl, zusätzlicher Steinschlagschutz (bis 300 µm) auf besonders gefährdete Bereiche aufgebracht. Die PVC-Materialien werden auf ca. 130 °C erhitzt und bilden zähelastische Massen. Dies erscheint zunächst erstaunlich, da PVC ein harter und chemisch inerte Kunststoff ist. Mischt man allerdings PVC-Pulver mit einem Weichmacher

(z. B. Dioctylphthalat), erhält man eine verarbeitbare Paste. Wird diese erwärmt, diffundiert der Weichmacher in das PVC, und es entsteht ein verformbares, zähelastisches Stück Weich-PVC.

› Methodische Anmerkung 17

Die Herstellung von Weich-PVC aus PVC-Pulver ist ein einfaches Schulexperiment und wiederholt in der chemiedidaktischen Literatur beschrieben worden (siehe Literaturverzeichnis). Die Durchführung des Versuchs bietet sich in diesem Zusammenhang an.

Vor dem nun folgenden Auftrag des so genannten Füllers wird die Karosse noch mit Staubbindetüchern, durch Abblasen mit Luft oder auch mit rotierenden Walzen, die mit Federn des Emu-Vogels bestückt sind, gereinigt. Die Federn haben bei günstigen elektrostatischen Eigenschaften eine sehr große Oberfläche. Der Reinigungsschritt ist notwendig, da man jetzt beim Lackaufbau in Schichtbereiche kommt, bei denen kleinste Unebenheiten oder Verschmutzungen sich auf die spätere Oberfläche auswirken.

3.1.4 Füllerauftrag

Füller haben, wie schon der Name sagt, die Aufgabe, kleinere Unebenheiten der Oberfläche auszugleichen. Aus diesem Grund enthalten sie anorganische Füllstoffe wie Kaolin, Kreide oder Talkum. Zudem verbessern sie Haftfestigkeit und Korrosionsschutz, speziell auf blankem Blech, d. h. an verletzten Grundierungen oder an Durchschliffstellen. Durch ihre speziellen mechanischen Eigenschaften, wie Elastizität, und ihren hohen Gehalt an Füllstoffen wirken sie Schäden durch Steinschlag (Abplatzen des Lackes) entgegen. Auch bei den Füllern kommen unterschiedliche Systeme zum Einsatz. Größtenteils werden Wasserfüller – entsprechend den Wasserlacken – eingesetzt; aber auch Füller, die in

organischen Lösemitteln gelöst bzw. suspendiert sind, werden verwendet. Seit einigen Jahren werden in den USA Pulverfüller, also Pulverlacke als Füller, mit gutem Erfolg eingesetzt. Alle Füllersysteme werden mit Automaten und Robotern fast ausnahmslos elektrostatisch verarbeitet. Schlecht zugängliche Stellen müssen allerdings oft manuell nachgearbeitet werden. Über eine kurze Abdunstzone – Lösemittel- bzw. Wasserpartikel werden abgegeben, eingeschlossene Luftbläschen entweichen – erreichen die Karossen den Füllertrockner (bis zu 175 °C). Vor der Decklackapplikation ist eine erneute Reinigung unbedingt erforderlich; sie wird durch Abblasen mit ionisierter Luft (gegen elektrostatische Staubanziehung) und durch die „Emu-Zone“ abgeschlossen.

3.1.5 Decklackierung: der krönende Abschluss

Die oberste Lackschicht bestimmt mit ihrer optischen Qualität in hohem Ausmaß das attraktive Äußere, wirkt also zunächst mit dem „glänzenden“ Erscheinungsbild. Sie soll dieses aber auch über viele Jahre bewahren, bei zunehmenden Ansprüchen der Kunden an die Dauer der Haltbarkeit. Die Qualitätsanforderungen sind aber immer schwerer zu erfüllen.

- Chemische Einflüsse auf die Lackierung, wie saurer Regen, Industrieschmutz oder unterschiedliche Kraftstoffe (umschichtiges Tanken von Diesel und Biodiesel) nehmen zu.
- Die UV-Belastung steigt, wenn auch regional unterschiedlich.
- Es wird vermehrt Splitt statt Salz als Streumaterial im Winter eingesetzt.

Den erhöhten Anforderungen wird man vor allem durch veränderte Bindemittel, durch verbesserte Lichtschutzadditive und durch neue oder modifizierte Pigmente gerecht.

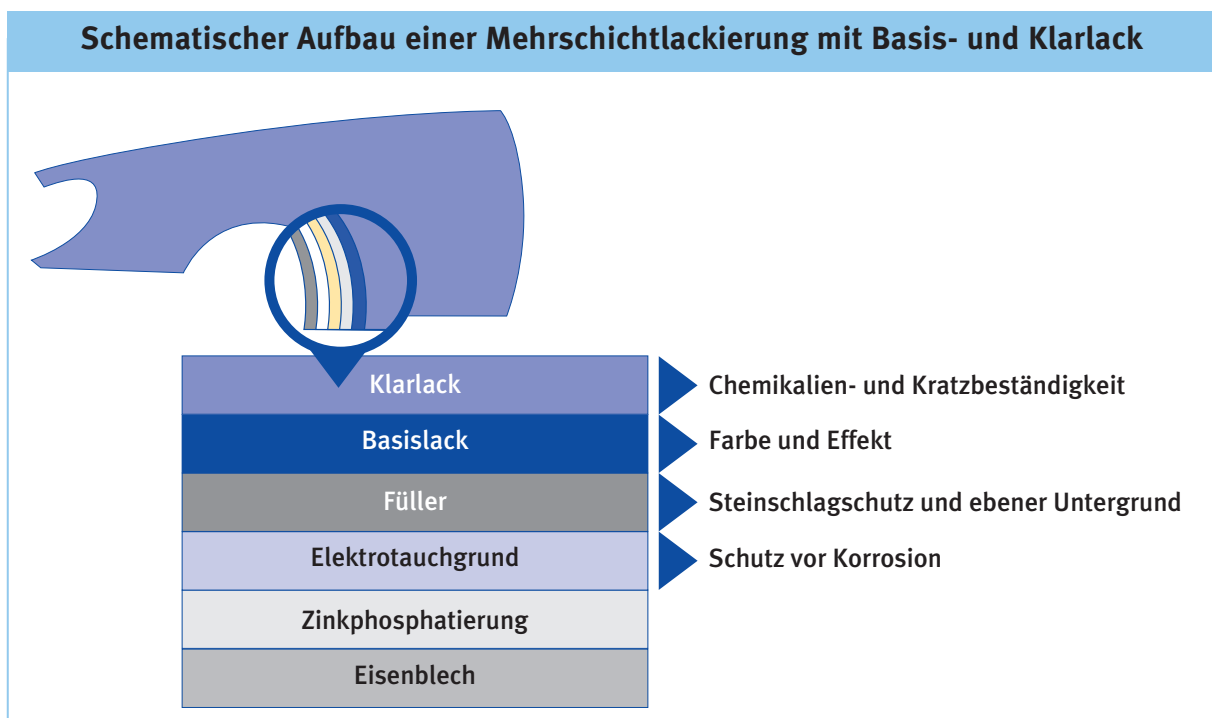
- Auf der Basis der klassischen Lacke (Alkyd-, Polyester- oder Acrylat-Einbrennsysteme) werden Produkte entwickelt, die in höherem Maße chemisch vernetzen. Dadurch entstehen beim Aushärten noch perfektere, chemisch widerstandsfähigere Molekülnetze als bei bisher verwendeten Systemen. Die besten Oberflächen erhält man heute mit 2K-Polyurethanlacken.
- Bei den Pigmenten werden bereits jetzt weitestgehend extrem licht- und wetterstabile Typen eingesetzt. Auch hier findet noch eine ständige Weiterentwicklung statt, besonders im Rot-, im Gelb- und im Effektbereich (Metallic und Perlmutter).

Die erforderliche Trockenschichtdicke (Einschicht-Decklackierung) von 35 bis 50 µm – je nach Deckvermögen der enthaltenen Pigmente – wird in 1 bis 2 Spritzgängen aufgebracht, evtl. mit kurzer Zwischenzeit zum Ablüften. Anschließend wird im Decklacktrockner bei 130 bis 160 °C eingebrannt.

Der geschilderte Vorgang der Ein-Schicht-Decklackierung ist heute nur noch bei Unifarbtönen üblich, und selbst hier wird aus Gründen der Haltbarkeit und der optischen Oberflächenqualität zunehmend auf die Zwei- bzw. Mehrschichtdecklackierung umgestellt. Dabei wird erst ein farbgebender Basislack aufgebracht. Dieser wird anschließend mit einem transparenten, farblosen Klarlack überzogen. Abb. 24 veranschaulicht dies anhand „offen gelegter“ Lackschichten.

Auch Unifarbtöne wirken so attraktiver, gewinnen optisch an „Tiefe“. Metalliclackierungen werden fast ausschließlich nach diesem Prinzip gefertigt, da hier ein einschichtiger Aufbau hinsichtlich Wetterbeständigkeit und Ausbesserbarkeit nachteilig ist. Mittlerweile werden wegen der genannten Vorteile mehr als 60% aller Autoserienlackierungen nach diesem Prinzip durchgeführt.

Abbildung 24 und Folie 16



Perlmutterfarbene Basislacke, die als wesentliche Pigmente Metalloxid-belegte Glimmer oder andere spezielle Effektpigmente enthalten, sind im Allgemeinen nicht deckend und benötigen daher eine zusätzliche Basislackschicht als Untergrund (Dreischicht-Decklackierung). Meist ist dies ein weißer, manchmal zur Hervorhebung der Interferenz-Effekte solcher Pigmente auch ein dunkler Basislack. Basislacke, wässrig oder auf Lösemittelbasis, werden nicht eingebrannt, sondern nach nur kurzer physikalischer Antrocknung klarlackiert (Nass-in-nass-Verfahren). Bei konventionellen Basislacken reicht eine anschließende kurze Umlufttrocknung; Wasserbasislacke werden meist in einer kombinierten Infrarot-/Warmblaszone getrocknet (Blechtemperatur ca. 50 °C).

Als Klarlacke werden herkömmliche Ein- und Zweikomponentenlacke eingesetzt, daneben aber auch zunehmend wässrige Systeme. Weiterhin wurden Pulver-Klarlacke entwickelt, die ökologisch einen großen Sprung nach vorn

versprechen und in Zukunft in einem interessanten Wettbewerb mit den Wasserlacken stehen werden.

Neue Entwicklungen – etwa farbliche Effekte, erzielt durch die Einfärbung von Basislacken oder Klarlacken mit löslichen Farbstoffen, oder (stärker schmutzabweisende) fluorhaltige Klarlacke – sollen hier nur kurz erwähnt werden.

Um einen grundlegenden Einblick in die Zusammensetzung eines Autolacks zu vermitteln, sind in Tabelle 7 zwei typische Rezepturen detailliert dargestellt. Dabei handelt es sich um einen hellblauen, lösemittelbasierten 2K-Decklack und einen wässrigen Metallic-Basislack. Die Rezepturen sind vereinfacht.

Der Autokäufer erwartet, dass Farbton und Metalliceffekt der lackierten Oberfläche rundherum identisch sind. Das war früher, in offenen Lackierhallen und bei wechselnden Bedingungen, nicht zu verwirklichen.

Tabelle 7

Rezepturen: 2K-PUR-Decklack und Metallic-Wasserbasislack*

Herstellung von 2K-PUR-Decklack (Angaben in Gew.-%)	Effektlacke: Metallic-Wasserbasislack (Angaben in Gew.-%)
1. Arbeitsschritt	1. Arbeitsschritt
Homogenisieren von	Homogenisieren von
Polyacrylat mit OH-Gruppen (40%ig in Lösemittelgemisch)	Effektpigment (Al in 65%iger Paste)
33,2	4,0
Dispergierhilfsmittel	Butylglykol/n-Butanol 1:1
2,5	8,0
Blaupigment, organisch, Kupferphthalocyanin	Netzmittel zur Benetzung der Al-Plättchen
4,0	1,1
Weisspigment (TiO ₂)	2. Arbeitsschritt
2,8	Zugabe von
2. Arbeitsschritt	Schaumverhinderer
Mit 2,4 % Lösemittel verdünnen und in Perlmühle dispergieren, anschließend komplettieren mit	0,1
Polyacrylat mit OH-Gruppen, 40%ig	Polyurethan-Emulsion als Bindemittel
43,0	33,0
Gemisch bestimmter arom./aliphat. Lösemittel	Polyacrylat-Verdicker (10%ig in demin. Wasser)
8,0	7,0
Butylacetat (als polares Lösemittel)	Amin (10%ig in demin. Wasser)
4,0	ca. 0,2
Siloxanpolyester als Verlaufsadditiv (Steuerung der Oberflächenspannung)	Bis pH = 7,6–7,8
0,1	Demin. Wasser
<i>Stöchiometrische Vernetzung 1:1 mit Polyisocyanat-Härter (aliphatisch): -NCO : OH = 1:1</i>	ca. 50,0
	<i>Hier findet keine Vernetzung statt. Die Trocknung erfolgt physikalisch.</i>
	* Die angegebenen Rezepturen sind Beispiele und können je nach Hersteller auch deutlich abweichen.

Zu einer perfekten Prozessautomatisierung gehört heute zwingend eine teure und aufwändige Klimatisierung. Nur bei genauem Einhalten der Klimagrenzen (selbst an heißen Sommertagen) können Autos gefertigt werden, die einander „wie ein Ei dem anderen“ gleichen.

Technische Rahmenbedingungen für die Metallic-Lackierung

Spritzen

Spritzkabinentemperatur	23 ± 3 °C
Rel. Luftfeuchte	60 ± 5 %
2 Spritzgänge mit 1 Minute	
Zwischenabdunstzeit	
Anschließend 5 Minuten Ablüften	

Trocknen

Infrarot-Bestrahlung	1 bis 1,5 Minuten
Warmluft	2 bis 3 Minuten, von 50 auf 80 °C ansteigend

› Methodische Anmerkung 18

Der Aufbau einer Mehrschichtlackierung ist Inhalt von **Arbeitsblatt 12**. Hier findet sich auch eine interessante kriminalistische Frage, die sich auf diesen Themenbereich bezieht.

3.2 Automatisierung von Lackierprozessen

Die Anforderungen an die funktionelle und die optische Qualität der Beschichtungen nehmen, wie erwähnt, ständig weiter zu, ebenso die Umwelt- und die Arbeitsschutzaufgaben. Vor diesem Hintergrund gibt es eine Reihe sowohl wirtschaftlicher als auch ökologischer Argumente für eine immer weiter gehende Automatisierung des Lackiervorgangs.

- Verbesserung der Beschichtungsqualität, der Qualitätskonstanz und der Lackierprozesssicherheit. Dies führt zu einer höheren „First-Run-o.k.-Quote“: Es ist keine Nachbesserung nach dem Lackieren notwendig.

- Einsparung von Lackmaterial
- Verringerung der Umweltbelastung
- Senkung des Energiebedarfs
- Verbesserung der Bedingungen am Arbeitsplatz und des Arbeitsumfeldes
- Rationalisierung und Durchsatzsteigerung

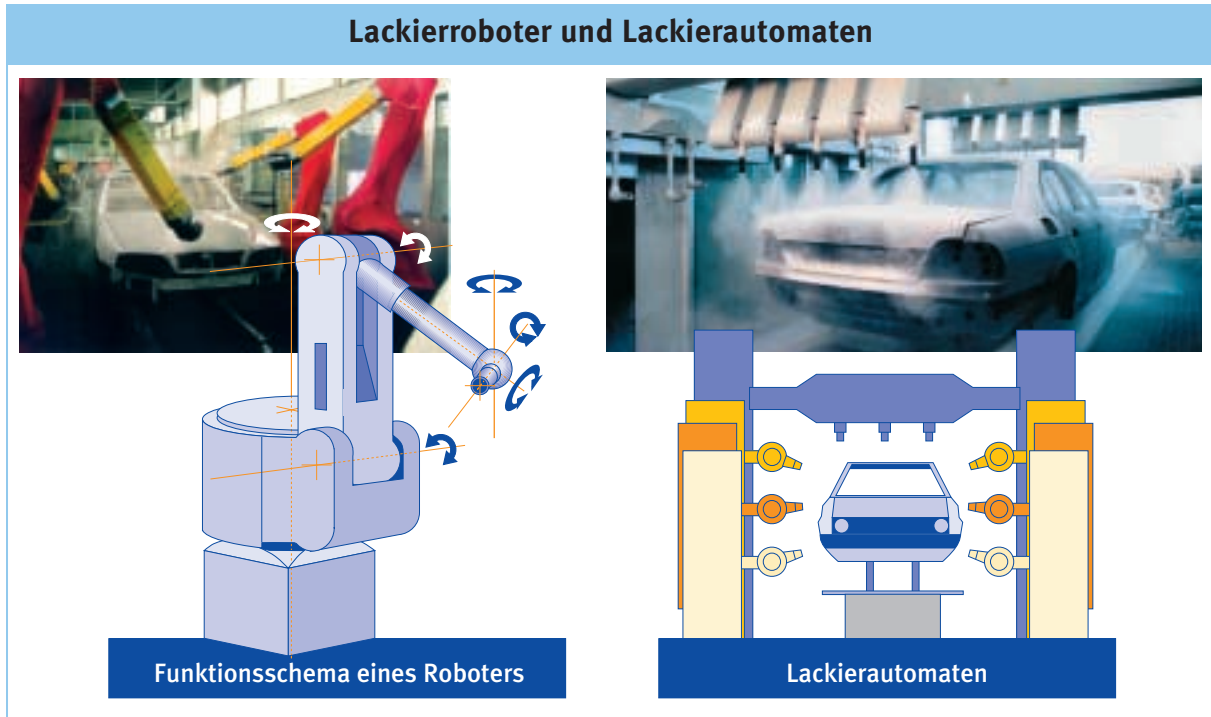
Je nach Form und Größe des zu lackierenden Werkstücks steht heute eine Vielzahl von Lackier-Bewegungseinrichtungen zur Verfügung, von einfachen Lackierautomaten bis zu frei programmierbaren Lackierrobotern. Abb. 25 zeigt neben einem Lackierroboter schematisch im Querschnitt eine Autolackierstraße mit seitlich fest positionierten Automaten, die aber auch „mitfahrend“ konstruiert sein können, sowie mit drei horizontal angebrachten Sprühorganen, die für eine höhere Gleichmäßigkeit der Lackierung charakteristische Schaukelbewegungen durchführen.

3.3 Umweltschutz

Lösemittelverbrauch und -emissionen

In der Vergangenheit kam es bei Forschung, Entwicklung und Anwendung hauptsächlich darauf an, die Qualität und die Farbtonvielfalt von (Auto-)Lacken zu steigern. Heute stehen weltweit Anstrengungen im Vordergrund, den Einsatz organischer Lösemittel zu verringern. Der Ersatz der traditionellen Lösemittellacke durch moderne, umweltschonende Materialien ist ein zentrales Arbeitsgebiet der Lack- und Rohstoffindustrie.

Diese Entwicklung ist auch eine Folge von Gesetzesinitiativen. In der EU wird zur Zeit der Lösemittelverbrauch in der industriellen, aber auch in der handwerklichen Lackierung stufenweise begrenzt.



Zur Reduzierung der leicht flüchtigen Emissionen werden verschiedene Wege beschritten:

- Verwendung von High Solids, also festkörperreichen Lacken,
- Einsatz von wasserverdünnbaren Materialien,
- Entwicklung von Lacken, die unter UV-Bestrahlung vernetzen,
- Verwendung von Pulverlacken,
- Verbesserung von Anwendung und Handhabung der Lackmaterialien (Auftragwirkungsgrad, Lack-Kreislauf).

Bisher sind bereits, wie Abb. 26 zeigt, bei der Autolackierung eindrucksvolle Erfolge zur Verringerung des Lösemittelseinsatzes erzielt worden. Ausgehend von der konventionellen Technologie (noch vor 10 bis 20 Jahren durchaus verbreitet) ist schon heute eine Verringerung um etwa 72 % erreicht. Die Umstellung des letzten großen Lösemittel-Emittenten, des

Klarlacks, ist noch nicht abgeschlossen. Sie wird nochmals fast eine Halbierung der eingesetzten Lösemittelmenge ermöglichen. Mit Pulverlacken würde man sogar Emissionen von unter 20 g/m² Karosserieoberfläche erreichen.

Abluftreinigung

› Methodische Anmerkung 19

Schulversuche zur Abluftreinigung, speziell zur Adsorption organischer Lösemitteldämpfe mit Aktivkohle bzw. Kieselgel, können hier zur Vertiefung und Erweiterung durchgeführt werden (vgl. Literaturverzeichnis).

Dort, wo die Verwendung von Lösemitteln unumgänglich ist, ist es das Ziel, die Emissionen so weit wie möglich herabzusetzen. Dazu werden die folgenden Verfahren angewandt.

- Physikalische oder chemische Absorption, z. B. durch Auswaschen mit einer geeigneten Flüssigkeit. Hierdurch wird eine Anreicherung erreicht, gefolgt von einer Regenerierung der

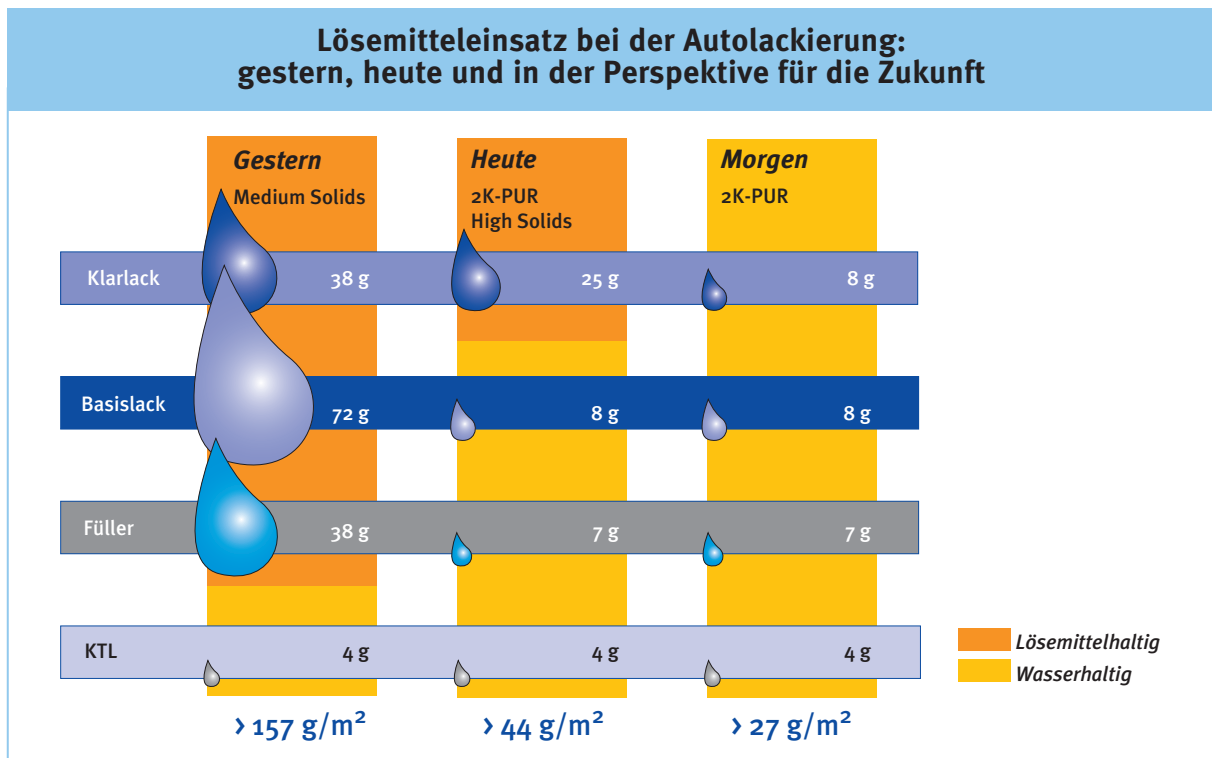
Flüssigkeit, z. B. durch Destillation. Der Prozess ist aus Kostengründen beschränkt auf spezielle Anwendungsfälle, wie z. B. das Entfernen von Aminen oder von nur geringen Mengen von Lösemitteln aus Abluftströmen.

- Adsorption an porösen Oberflächen, wie z. B. an Aktivkohle oder Molekularsieben, ist eine weit verbreitete und sehr wirtschaftliche Methode gerade für großvolumige Abluftströme mit geringen Lösemittel-Anteilen. Die im Zyklus stattfindende Desorption der Lösemittel bietet die Möglichkeit der Lösemittel-Rückgewinnung.
- Oxidationsprozesse: Thermische (und verwandte) Nachverbrennungsmethoden. Je nach Höhe des Lösemittelgehaltes in der Abluft lassen sich die Lösemitteldämpfe bei verschiedenen Temperaturen gezielt verbrennen, teils unter Einsatz von Katalysatoren, wobei der Lösemittelgehalt die Kosten stark beeinflusst. Mit steigendem Gehalt überwiegt der positive Effekt der Energiegewinnung aus

der Lösemittelverbrennung. Diese Verbrennung bei hohen Temperaturen ist in der Regel dort sinnvoll, wo die entstehende Prozesswärme auch genutzt werden kann.

- Biotechnologische Prozesse: Biofilter gewinnen zunehmend bei solchen Lackherstellern oder -verarbeitern an Bedeutung, bei denen die Abluft nicht gleichmäßig stark mit Lösemitteln beladen ist. Biofilter sind natürliche Filtersubstrate (wie Torf oder Rindenmulch), welche dicht mit Mikroorganismen besiedelt sind, die die Lösemittel biologisch abbauen.

Abbildung 26 und Folie 18



4.1 Bautenschutz per Beschichtung

Das Abstellhäuschen aus Holz im Garten, die Garage, die Eisenbahnbrücke, der Sendemast für den Mobilfunk und das Bürogebäude aus Beton haben eines gemeinsam: die Beschichtung zum Schutz vor den Unbilden der Witterung.

Bautenfarben und -lacke verhindern den schnellen Verfall, halten Konstruktionen funktionsfähig und bieten obendrein auch noch etwas für das Auge. Durch ihre Farbigkeit verändern sie das Aussehen eines Bauwerks, sorgen – je nach gestalterischer Absicht – für visuelle Vielfalt oder für Einpassung und bereichern so die Qualität der gebauten Umwelt.

Bautenfarben sind nahezu allgegenwärtig und dennoch Spezialisten. Für jedes Baumaterial, jeden Untergrund, jede Art der späteren Belastung bieten die Hersteller von Baufarben optimierte und abgestimmte, meist in Systemen zusammengefasste Beschichtungsstoffe. Für Holz stehen andere Lacke zur Auswahl als für die Beschichtung von Kunststoffen oder von verzinktem Stahl. Beton will besonders geschützt sein, ebenso Stahl, Aluminium, Stein oder Putz (siehe dazu Tabelle 8). Besondere klimatische Belastungen bedingen besonders abgestimmte Bautenfarben – auch das

Vorhandensein aggressiver chemischer Stoffe, die Dauerbelastung durch Wasser, die Einwirkung von Tausalz oder von abrasiven Medien und schließlich die stetige Einwirkung von Luftschadstoffen gilt es zu beachten bei der so genannten Formulierung, also der Zusammenstellung der Beschichtungsstoffe.

› Methodische Anmerkung 20

Schülerinnen und Schülern kann die Aufgabe gestellt werden, sich anhand des Angebots eines Baumarktes über Lacke und Farben für den Bautenschutz zu informieren. Sowohl die Umwelteinflüsse, die Bauwerke bzw. Baustoffe schädigenden, als auch die möglichen technischen Maßnahmen sind zum großen Teil den Schülerinnen und Schülern der Sek. I bereits bekannt. Das **Arbeitsblatt 13** kann daher zum thematischen Einstieg und zur Wiederholung dienen.

4.2 Ökonomie und Ökologie

Beschichtungen sollen stets den Untergrund, das Substrat, bestmöglich erhalten; sie dienen als Schutzschicht. Diese lässt sich bei Bedarf stellenweise reparieren oder ganz erneuern; dieses wirtschaftliche Verfahren verlängert die Lebensdauer von Bauwerken erheblich. Ohne regelmäßige Überholungsarbeiten hätten

Tabelle 8

Eigenschaften wichtiger Baustoffe

Baustoff	Stoffbasis	Witterungsbeständigkeit
Holz	Zellulose, Lignin u. a.	biologischer Abbau
Natursandsteine	Sand und Kalkstein als Bindemittel	Angriff durch sauren Regen
Leichter Mauerziegel	gebrannter Ton	wetterbeständig
Kalkzementputz	Kalk, Zement, Feinsand, Wasser	Angriff durch sauren Regen
Stahl	Eisen	Korrosion
Beton	Zement, Sand, Kies, Wasser	wetterbeständig
Stahlbeton	Beton und Bewehrungsstahl	Korrosion der Bewehrung
Glas	silicatisch	weitgehend stabil

z. B. die großen historischen Stahlbauwerke wie der Eiffelturm in Paris oder die Golden Gate Bridge in San Francisco schon seit geraumer Zeit ihre Standsicherheit eingebüßt.

Die konsequente Forschung in den vergangenen Jahrzehnten hat immer bessere Beschichtungssysteme hervorgebracht, die auch der Architektur neue Freiheiten brachten. Früher war der so genannte konstruktive Bautenschutz entscheidend für die Standzeit eines Bauwerks; er erlegte den Baumeistern überlieferte feste Regeln der Materialverwendung und der Konstruktion auf:

- Große Dachüberstände waren in Gebieten mit häufigen und ergiebigen Niederschlägen unabdingbar. Sie schützten beispielsweise im Schwarzwald die Holzwände der Bauernhäuser vor Nässe und auch vor der Sonne.
- Bei Fachwerkbauten ragen die Etagen nach oben immer weiter hinaus (Abb. 27). Damit werden die jeweils unteren Stockwerke vor ablaufendem Regenwasser bewahrt.

Beschichtungen, die dem Wetter trotzen können machen diese einst unabdingbaren Grundregeln zwar nicht vollständig unnötig, doch weniger bedeutungsvoll.

4.3 Vielfalt der Beschichtungssysteme

Wie bereits erwähnt, stehen hinter den Begriffen Bautenfarbe und Bautenlack große Produktfamilien. Bindemittel, Pigmente und Additive sind auf die spezifischen Untergründe, Beanspruchungen und die Anforderungen an das Aussehen abgestimmt. Ein Lack für Holz ist nicht mit einem Beschichtungsstoff für Stahl zu vergleichen (siehe Tabelle 9). Gemeinsam aber ist den Bautenfarben, dass sie in mehreren Schichten aufgetragen werden, die von der Grund- bis zur Deckbeschichtung reichen. Als weitere Gemeinsamkeit ist die Applikationsform zu nennen: Sämtliche Bautenfarben werden flüssig aufgetragen, meist manuell (Streichen, Walzen) oder mit maschineller Unterstützung (Spritzapplikation). Die zunächst flüssige Schicht wandelt sich durch Trocknung und/oder chemische Reaktion in eine feste, fest haftende und dadurch schützende Beschichtung um.

Die wesentlichen Anwendungen – Korrosions-, Beton-, Holz- und Fassadenschutz – werden nachfolgend im Einzelnen betrachtet.

Abbildung 27 und Folie 19

Typische Fachwerkhäuser und moderne Fassaden



Tabelle 9

Bindemittel für Beschichtungsstoffe des Bautenschutz-Bereichs

Art des Beschichtungsstoffs	Bindemittelbasis	Bindemittelleigenschaften	Haupteinsatzgebiet
Physikalisch trocknende Beschichtungsstoffe			
<i>Lösemittelhaltige Beschichtungsstoffe</i> Filmbildung erfolgt durch Verdunsten des Lösemittels; der Vorgang ist reversibel	– Vinylchlorid-Copolymere (PVC) – Acrylharze (AY) – Bitumen (schwarz)	– einkomponentig – gute Wasserbeständigkeit – mittlere bis hohe Thermoplastizität	Korrosionsschutz Betonschutz
<i>Wasserverdünnbare Beschichtungsstoffe</i> Filmbildung erfolgt durch Verdunsten des Wassers und Koaleszenz (Verfließen) des Bindemittels; nicht reversibel	– Reinacrylatdispersionen – Styrolacrylatdispersionen	– einkomponentig – gute bis hohe Wetterbeständigkeit – mittlere bis hohe Erweichungstemperatur	Fassadenfarben Holzschutz Betonschutz
Oxidativ härtende Beschichtungsstoffe			
Filmbildung erfolgt durch Verdunsten des Lösemittels und Vernetzung des Bindemittels mit Luftsauerstoff	– Alkydharze (AK) – Urethanalkydhharze	– einkomponentig – leichte Verarbeitbarkeit – gute Benetzungseigenschaften – gute Wetterbeständigkeit – begrenzte Beständigkeit bei Wasserbelastung und bei Verzinkung – verseifbar im alkalischen Medium	Korrosionsschutz Holzschutz
Reaktionsbeschichtungsstoffe			
<i>Zweikomponenten-Epoxidharz-Beschichtungsstoffe</i> Filmbildung erfolgt durch Verdunsten des Lösemittels und Reaktion der Stamm- mit der Härterkomponente	Stammkomponente – Epoxidharze (EP) – Epoxidharz-Kombinationen Härterkomponente – Polyamine – Polyaminoamide	– zweikomponentig – hohe chemische und mechanische Beständigkeit – hohe Haftfestigkeit und Nasshaftfestigkeit auf Stahl – geeignet als Grund- und Zwischenbeschichtungsstoff – begrenzte Wetterbeständigkeit	Korrosionsschutz Betonschutz
<i>Zweikomponenten-Polyurethan-Beschichtungsstoffe</i> Filmbildung erfolgt durch Verdunsten des Lösemittels und Reaktion der Stamm- mit der Härterkomponente	Stammkomponente (Polyole) – Acrylharze – Polyesterharze – Epoxidharze – Polyetherharze Härterkomponente – aromatische oder aliphatische Polyisocyanate	– zweikomponentig – höchste Wetterbeständigkeit (aliphatische Typen) – gute chemische und mechanische Beständigkeit – geeignet als Deckbeschichtungsstoff	Korrosionsschutz Betonschutz
Sonderqualitäten			
<i>Dispersionssilicatfarben</i>	Kombination aus Wasserglas und Acrylharzdispersion	– einkomponentig – hohe Wetterbeständigkeit – hohe Wasserdampfdurchlässigkeit	Fassadenfarben
<i>Siliconharzfarben</i>	Kombination aus Siliconharzemulsion und Acrylharzdispersion	– einkomponentig – höchste Wetterbeständigkeit – hohe Wasserdampfdurchlässigkeit – schmutzabweisend	Fassadenfarben

4.4 Korrosionsschutz von Stahl

4.4.1 Korrosionsmechanismus

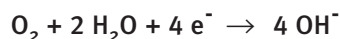
Bei Stahl handelt es sich um einen Baustoff, der hochwertig und fast universell einsetzbar ist. Zudem macht er bestimmte Baukonstruktionen erst möglich. Heute werden weit spannende Brücken, stützenfreie Industriehallen, Türme, Masten, Wasserbauten wie Schleusen und auch chemische Anlagen aus unlegiertem bis niedrig legiertem Stahl errichtet. Doch Stahl dieser Klasse weist eine problematische Eigenschaft auf: Bei gleichzeitiger Anwesenheit von Luftsauerstoff und Feuchtigkeit korrodiert er. Dabei wandelt sich das durch den Verhüttungsprozess gewonnene energiereiche Eisenmetall wiederum in seine natürliche und energiearme Oxidform, den Rost.

Bei diesem Vorgang bilden sich auf der Eisenoberfläche viele kleine Lokalelemente aus. Die bereits oxidierten Stellen werden dabei zu kathodischen Zonen, während das Eisen anodische Zonen bildet. Zwischen Anode und Kathode werden Elektronen ausgetauscht, was schließlich zur Oxidation des Eisens führt.

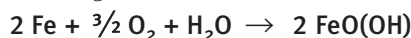
Anodische Teilreaktion (Oxidation)



Kathodische Teilreaktion (Reduktion)



In der Summe lässt sich der Korrosionsprozess wie folgt darstellen.



Weil die braunrote Schicht des Eisenoxidhydrates porös ist, kann die Korrosion darunter fortschreiten. Das Stahlbauteil verliert allmählich an Substanz. Im schlimmsten Fall kann die Standsicherheit oder die Tragfähigkeit gefährdet sein. Die atmosphärische Korrosion von Stahl beginnt oberhalb einer relativen Luftfeuchte von 60 Prozent. Wie schnell sie fortschreitet, das hängt vom Angebot an Sauerstoff, von der Feuchtigkeit und von so genannten Korrosionsstimulatoren (z. B. Sulfat- oder Chloridionen) ab (siehe Tabelle 10). Unterbindet man den Zutritt dieser Stoffe, dann kann die Oxidation und damit die Korrosion verhindert werden.

› Methodische Anmerkung 21

Die Grundprinzipien der Korrosion können in der Sekundarstufe II anhand des **Arbeitsblattes 10** erarbeitet werden.

4.4.2 Korrosionsschutzsysteme

Korrosionsschutzsysteme bestehen aus mehreren aufeinander abgestimmten Teilbeschichtungen, die zusammen eine Barriere gegen Sauerstoff und Feuchtigkeit bilden. Außerdem enthalten die Grundbeschichtungen zur Korrosionsverhütung meist aktive Pigmente. Die bedeutendsten sind Zinkphosphat- und

Tabelle 10

Korrosionsklima und (durchschnittliche) Korrosionsgeschwindigkeit des Stahls

Korrosionsklima	Dickenabnahme des Stahls/a	Korrosionsgeschwindigkeit
Trockene Innenräume	< 1 µm/a	minimal
„Normales“ Außenklima	10–50 µm/a	mittel
Aggressives Industrieklima und Meeresklima	80–200 µm/a	hoch
Meerwasser	200–500 µm/a	sehr hoch

Zinkstaubpigmente. Die Schutzmechanismen sind unterschiedlich: Zinkphosphate erschweren die anodische Teilreaktion (Bildung von unlöslichem Eisenphosphat), Zinkstaub als unedleres Metall „opfert“ sich für das Eisen und wird dabei selbst oxidiert.

Auf die Grundbeschichtung, deren Bindemittel vornehmlich aus Alkyd- oder Epoxidharzen bestehen, folgt die Zwischenbeschichtung zur Verbesserung der Barrierefunktion. Die Deckbeschichtung sorgt zum einen für Wetterbeständigkeit, zum anderen für die optische Qualität, also für Farbigkeit und Glanz. Alkydharze und hochwertige Polyurethan-Bindemittel auf Basis von Acrylharzen und aliphatischen Polyisocyanathärtern stellen heute die wichtigsten Bindemittel dar.

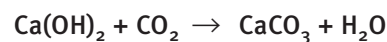
Die Dicke des Beschichtungsaufbaus orientiert sich an dem so genannten Korrosionsklima: je aggressiver, desto dickere Schichten sind notwendig. So beträgt die Gesamtschichtdicke eines Systems, das dem Meeresklima zu trotzen hat, zwischen 240 µm und 320 µm, während das innen liegende Tragwerk einer Stahlhalle nur eine Beschichtung von 100 µm Gesamtschichtdicke aufweisen muss. Tabelle 11 nennt den typischen Aufbau eines Korrosionsschutzsystems für den Langzeitschutz von Stahlbrücken.

4.5 Schutz von Stahlbeton

4.5.1 Betonkorrosion

Eigentlich ist Stahlbeton ein Baustoff mit vielen Pluspunkten: Er ist frei formbar, preiswert, lässt sich rationell verarbeiten und ist zudem druck- und zugfest. Dafür sorgen die im Beton eingebundenen Bewehrungsstähle, die so genannte Armierung. Normalerweise schützt der mit einem pH-Wert von 12 hoch alkalische Beton die Stahlstäbe dauerhaft vor Korrosion. Gibt es

viele Kapillaren, Fehlstellen oder Risse in der Oberfläche des Betons, so dringen Kohlendioxid, Schadstoffe und Wasser in das Gefüge ein. Das Kohlendioxid reagiert dann mit dem Calciumhydroxid im Beton, es entsteht Calciumcarbonat. Bei dieser Carbonatisierung genannten Reaktion, die Millimeter um Millimeter in die Tiefe vordringt, verliert der Beton seine Alkalität, wird neutral und kann die Armierung nun nicht mehr schützen.



Je dünner die Betonschicht über dem Stahl, desto schneller nimmt der Beton ernsthaften Schaden: Die rostende Bewehrung vergrößert ihr Volumen, sprengt die darüber liegende Betonschicht ab und ist so schutzlos der Korrosion ausgesetzt, was schließlich zur Verringerung bzw. zum Verlust der Zugfestigkeit des Betons mit schlimmen Folgen führen kann. Umgekehrt verhindern intakte, dickere Betonschichten über der Stahlarmierung auch längerfristig eine durchgehende Carbonatisierung.

› Methodische Anmerkung 22

Zum besseren Verständnis dieses Themas sollten einige wichtige Grundlagen der Baustoffchemie behandelt werden.

- Der Unterschied zwischen Gips, Kalk und Zement
- Zement als hydraulischer Mörtel
- Begriffe Zement, Beton, Stahlbeton
- Gleiche Ausdehnungskoeffizienten von Bewehrungsstahl und Beton als Voraussetzung für die Beständigkeit von Stahlbeton

4.5.2 Betonschutzsysteme

Beschichtungssysteme müssen den Beton langfristig vor dem Eindringen von Schadstoffen, Kohlendioxid und Wasser bewahren, also

Tabelle 11

Standard-Beschichtungssystem für den Langzeitkorrosionsschutz von Stahlbrücken

Beschichtungsart	Stoff-Typ	Übliche Schichtdicke
Grundbeschichtung	Epoxid-Zinkstaub	80 µm
Zwischenbeschichtung	Epoxid-Eisenglimmer	80 µm
Deckbeschichtung	Polyurethan (im Vollton oder im Eisenglimmerfarbton)	80 µm

einen dichten Film an der Oberfläche bilden, der zusätzlich rissüberbrückend wirkt. Im Hochbau kommen vor allem einkomponentige Beschichtungsstoffe auf Basis gelöster Acrylharze oder Acrylatdispersionen zum Einsatz. In Tabelle 12 werden Systemtypen mit Bindemitteln und Eigenschaften gezeigt.

Bereits geschädigter Beton lässt sich mit entsprechenden Instandsetzungssystemen, die auch Korrosionsschutzbeschichtungen für die Armierungsstähle sowie Reprofilierungsmörtel für die abgeplatzten Partien umfassen, sanieren – sofern keine statischen Probleme erkennbar sind. Neuer Beton lässt sich durch die Applikation einer Barrierebeschichtung vorbeugend schützen und farblich gestalten.

4.6 Fassadenschutzsysteme

4.6.1 Optik und Schutz

Die Fassade dient – rein funktional betrachtet – als Schutz gegen Wettereinwirkungen und soll

die Mauer vor allem vor eindringendem Wasser schützen, das über die Kapillaren tief in das Baumaterial einwandern und damit die bauphysikalischen Eigenschaften (Wärmedämmung) verschlechtern könnte. Fassadenbeschichtungen reduzieren die Aufnahme des Regenwassers, erlauben aber gleichzeitig die Rücktrocknung des Mauerwerks durch hohe Wasserdampfdiffusionsfähigkeit. Nach wie vor dominieren in unseren Breiten Fassaden mit mineralischen oder synthetisch gebundenen Putzen. Die meisten dieser Putze werden mit entsprechenden Erst- und Renovierungsbeschichtungen versehen – die wichtigsten Typen werden nachfolgend sowie in Tabelle 13 vorgestellt. Fassadenbeschichtungen übernehmen dank der Vielfalt an produzierbaren Farbnuancen neben der funktionalen auch die visuelle Optimierung von Gebäuden, Straßenzügen oder ganzen Ortschaften. Die Kombination von Putz und Fassadenfarbe gilt auch heute noch als wirtschaftlichstes und variationsfähigstes Verfahren – gerade in Kombination mit energetisch vorteilhaften Wärmedämmverbundsystemen.

Tabelle 12

Oberflächenschutzsysteme für den Betonschutz

Beschichtungstyp	starr/lösemittelhaltig	starr/wässrig	rissüberbrückend/wässrig
Bindemittelbasis	Acrylharzlösung	Acrylharzdispersion	Acrylharz- u. a. Dispersionen
Schichtdickenbereich	100 µm	100 µm	300 µm
Wetterbeständigkeit	hoch	sehr hoch	mittel
CO ₂ -Dichtigkeit	extrem hoch	extrem hoch	hoch

Tabelle 13

Richtrezeptur für seidenmatte Fassadenfarbe auf Basis eines Acrylatdispersionsbindemittels

Rezepturbestandteil	Gew.-%	Funktion
Wasser	20 %	Verdünnungsmittel
Additive	5 %	z. B. Entschäumer, Konservierungsmittel, Verarbeitungshilfsmittel
Calcite, Talkum, Al-Silicate	15 %	Kostensenkung, Regulierung der Schichtdicke
Titandioxid (Weißpigment)	15 %	Farbgebung, Deckvermögen
Acrylatdispersion (60 % in Wasser)	45 %	Bindemittel (Wasser als Verdünnungsmittel)

4.6.2 Dispersionsfarben

Mengenmäßig stellen Dispersionsfarben den größten Anteil an den Fassadenfarben. Dieser Beschichtungstyp basiert auf der feinen Verteilung von polymeren Bindemittelteilchen und Pigmenten in Wasser. Weitere Bestandteile sind Füllstoffe sowie Additive. Zusammen bilden diese Komponenten ein ternäres Stoffgemisch, das sich durch die physikalische Verdunstung des Wassers und durch das Verschmelzen der Bindemittelteilchen in einen Film umwandelt (siehe auch Kapitel 2.2.6). Dispersionsfarben unterscheiden sich vor allem durch das Bindemittel (Reinacrylat, Styrolacrylat, PVAC-Copolymere) sowie durch das Verhältnis zwischen Pigmenten und Füllstoffen und flüssigen Bestandteilen.

4.6.3 Siliconharzfarben

Dieser Beschichtungstyp basiert auf einer Mischung aus Polymerdispersionen und Siliconharzemulsionen. Verglichen mit der Dispersionsfarbe ist der Anteil an Polymerdispersion aber deutlich geringer, weil ein offenes poriges Strukturbild zur Erhöhung der Wasserdampfdiffusionsfähigkeit gewünscht ist. So bilden Siliconharzfarben zwar keinen geschlossenen Film, aber dennoch einen Wetterschutz, weil die Siliconharzemulsion hydrophobe Eigenschaften einbringt und somit die Porenstruktur wasser- und sogar schmutzabweisend macht. Währenddessen sorgt der Dispersionsanteil für Haftfestigkeit, Festigkeit und die Einbettung der Pigmente.

Tabelle 14

Fassadenfarben: ein Vergleich

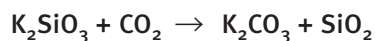
Eigenschaft	Dispersionsfarbe	Siliconharzfarbe	Dispersions-silicatfarbe
Wasserabweisung	++	+++	++ bis ±
Wasserdampfdurchlässigkeit	+	+++	+++
Diffusionswiderstand gegen CO ₂	+++	-	-
Elastizität	+ bis ++	±	±
Überarbeitbarkeit	++	++	+ bis ++
Farbgebung	+++	++	+

+++ = sehr gut; ++ = gut; + = befriedigend; ± = ausreichend; - = mangelhaft

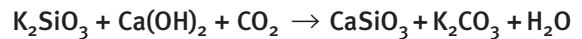
Chemisch betrachtet stehen Siliconharze zwischen der organischen und der anorganischen Welt: Silicium- und Sauerstoffatome bilden das molekulare Grundgerüst, doch im Gegensatz zu Quarz (SiO_2) ist hier jedes vierte Sauerstoffatom durch eine organische Alkyl-Gruppe ersetzt.

4.6.4 Silicatfarben

Hierbei handelt es sich um ein anorganisches System mit Kaliwasserglas (Kaliumsilicat) als Bindemittel. Nach der Applikation auf mineralischen Untergründen beginnt eine chemische Reaktion des Bindemittels mit Kohlendioxid, in deren Verlauf sich eine anorganische Silicat-Matrix ausbildet (Abb. 28).



In die Reaktion ist auch der kalkhaltige Untergrund einbezogen, die Silicatfarbe verkieselt mit ihm, wird sozusagen Bestandteil des Putzes.



Silicatfarben bilden keinen geschlossenen Film, zeigen aber durch die Verkieselung eine lange Haltbarkeit und eine hohe Wasserdampfdiffusionsfähigkeit. Allerdings ist die Wasseraufnahme auch höher als bei anderen Systemen.

Wegen der starken Alkalität des Kaliwasserglases eignen sich nur mineralische Pigmente für die Herstellung von Silicatfarben; dies schränkt die Farbvielfalt ein.

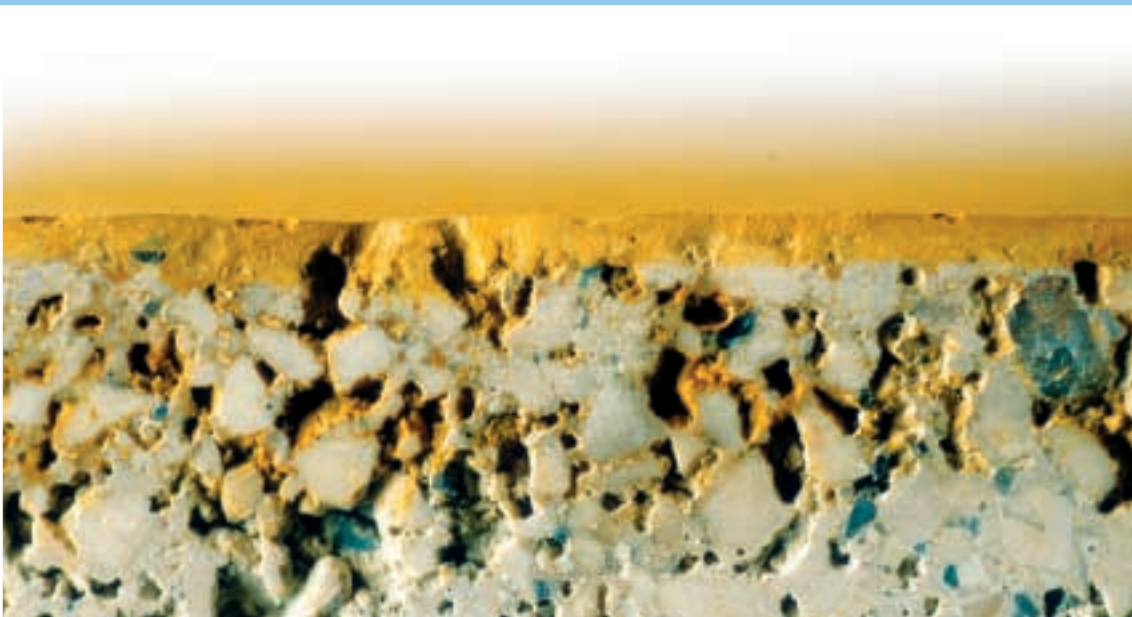
4.6.5 Dispersionssilicatfarben

Dispersionssilicatfarben vereinen zwei völlig verschiedene Bindemitteltypen: das anorganische Wasserglas und eine Polymerdispersion.

Diese Kombination erleichtert die Applikation und sorgt für einen verbesserten Wetterschutz. Zuerst verfilmt die Polymerdispersion, sorgt damit auch für eine gute anfängliche Haftfestigkeit und für einen dauerhaften

Abbildung 28

Silicatmatrix



Feuchteschutz. Parallel bildet sich durch die Reaktion des Wasserglases eine Silicat-Matrix.

4.7 Holzbeschichtungen

4.7.1 Der Baustoff Holz

Holz wird als nachwachsender Rohstoff wieder vermehrt als Baustoff – auch konstruktiv – eingesetzt. Holz besteht aus Zellulose und aus dem kohlenstoffreichen Lignin, das für Druckfestigkeit sorgt. Das natürliche Material kann in den Zellulosefasern Wasser in einer Menge von bis zu einem Drittel des Holz-Eigengewichts einlagern, was Längenänderungen von bis zu 3 Prozent quer zur Faserrichtung bewirkt.

Ein zuverlässiger Schutz vor Feuchtigkeit ist also Voraussetzung für die Verwendung von Holz. Wasser, Luftsauerstoff und UV-Strahlung setzen zusätzlich den Lignin-Abbau an der Oberfläche in Gang. Weil die Abbauprodukte wasserlöslich und damit auswaschbar sind, dringt der Abbau des Lignins allmählich in die Tiefe vor. Erkennbar ist dieser Verwitterungsprozess an der Graufärbung des Holzes.

› Methodische Anmerkung 23

Die Stabilität von Holz kann gut verstanden werden, wenn man den prinzipiellen Aufbau mit dem von Stahlbeton vergleicht. Die Cellulosefasern haben die Funktion des Bewehrungsstahls, das Lignin hat die des Betons.

4.7.2 Holzerhaltung

An vorderster Stelle der vorbeugenden Holzerhaltung steht der Schutz durch konstruktive Maßnahmen. Diese erschweren den Zutritt von Wasser, leiten anfallendes Wasser schnell ab und begünstigen die Rücktrocknung. Vorbeugender chemischer Holzschutz mit bioziden

und insektiziden Wirkstoffen kommt heute nur bei tragenden Holzkonstruktionen zur Anwendung.

Alle anderen schützenden Beschichtungen sind frei von solchen Wirkstoffen. Sie verhindern aber den Zutritt von Wasser, blocken UV-Strahlen durch spezielle Pigmentierungen ab und hemmen damit den Verwitterungsprozess des Holzes.

Maßhaltige Bauteile wie Fenster und Türen, die keine Dimensionsänderung zeigen dürfen, werden mehrschichtig behandelt. Diese Beschichtungen erlauben nur eine minimale Wasseraufnahme, während ihre hohe Wasserdampfdurchlässigkeit die Rücktrocknung des Holzes begünstigt. Für Zwischen- und Deckbeschichtungen werden sowohl Lasuren als auch deckende Lacke eingesetzt, die die UV-Strahlung zuverlässig abschirmen.

An nicht maßhaltiges Holz, beispielsweise Außenverkleidungen, werden geringere Anforderungen hinsichtlich der Dimensionsstabilität gestellt. Hier steht die Wasserdampfdiffusionsfähigkeit im Vordergrund, die vor allem von Beschichtungssystemen auf der Basis von Polymerdispersionen gewährleistet wird.

In Tabelle 15 sind die beiden wichtigsten Bindemitteltypen für den Holzschutz einander gegenübergestellt.

Tabelle 15

Stärken-Schwächen-Profil von Holzschutz-Beschichtungen

Eigenschaften	Alkyd- bzw. Kunstharzlacke	Wasserlacke auf Dispersionsbasis
Arbeits- und Umweltschutzanforderungen	±	+
Verarbeitung bei nasskalter Witterung	±	-
Benetzungseigenschaften	+	±
Verlauf	+	±
Antrocknung	-	+
Wetterbeständigkeit (Vergilben, Kreiden)	±	+
Verblockungsstabilität	+	+ bis -
Flexibilität nach Alterung	-	+
Haltbarkeit in Jahren (je nach Belastung und Farbton)	3-6 Jahre	5-10 Jahre

+++ = sehr gut; ++ = gut; + = befriedigend; ± = ausreichend; - = mangelhaft

In den nächsten Jahren wird es zu wesentlichen Neuerungen bei der Entwicklung, der Formulierung und der Anwendung gerade von Industrie- und Autolacken kommen. Denn neue Erkenntnisse der physikalischen und der chemischen Grundlagenforschung lassen viele lacktechnische Phänomene und Lösungsansätze in einem anderen Licht erscheinen.

Gezielte Forschungsarbeit bei Bindemitteln

Die Fortschritte der Grundlagenforschung führen dazu, dass die über Jahrzehnte hin praktizierte Optimierungsmethode des „trial and error“ mit ihren aufwendigen Versuchsreihen mehr und mehr abgelöst wird von ganz gezielten Testverfahren. Denn die Eigenschaften von Lackfilmen und Beschichtungstoffen lassen sich zunehmend exakter im Vorhinein definieren – und so lassen sich die Tests präzise zuschneiden. Bei den Bindemitteln der nächsten Generation liegen nicht nur die chemischen Eigenschaften genau fest, auch die molekularen Strukturen können exakt definiert werden. Auf diese Weise wird es den Lacktechnikern von morgen gelingen, noch gleichmäßigere Oberflächenbeschichtungen zu erzeugen.

Bislang verlaufen Härtung und Vernetzung von Lackschichten bis zu einem gewissen Grade zufällig. Die reaktiven Gruppen der Bindemittel und der Härter sind in dem noch nicht ausgehärteten Lack ungleichmäßig verteilt – mit der Folge, dass etliche Moleküle in dem sich nun verfestigenden Lackfilm keinen Reaktionspartner finden. Das sich ausbildende Netzwerk ist unregelmäßig, quasi löchrig. Verbessern lässt sich die Aushärtungsreaktion durch die Zugabe von Katalysatoren oder Initiatoren, die eine chemische Reaktion beschleunigen oder erst auslösen, wenn sie mit energiereicher Strahlung beschossen werden. UV-härtende Lacke, die in Bruchteilen von Sekunden aushärten, gibt es schon seit einigen Jahren für bestimmte Marktsegmente.

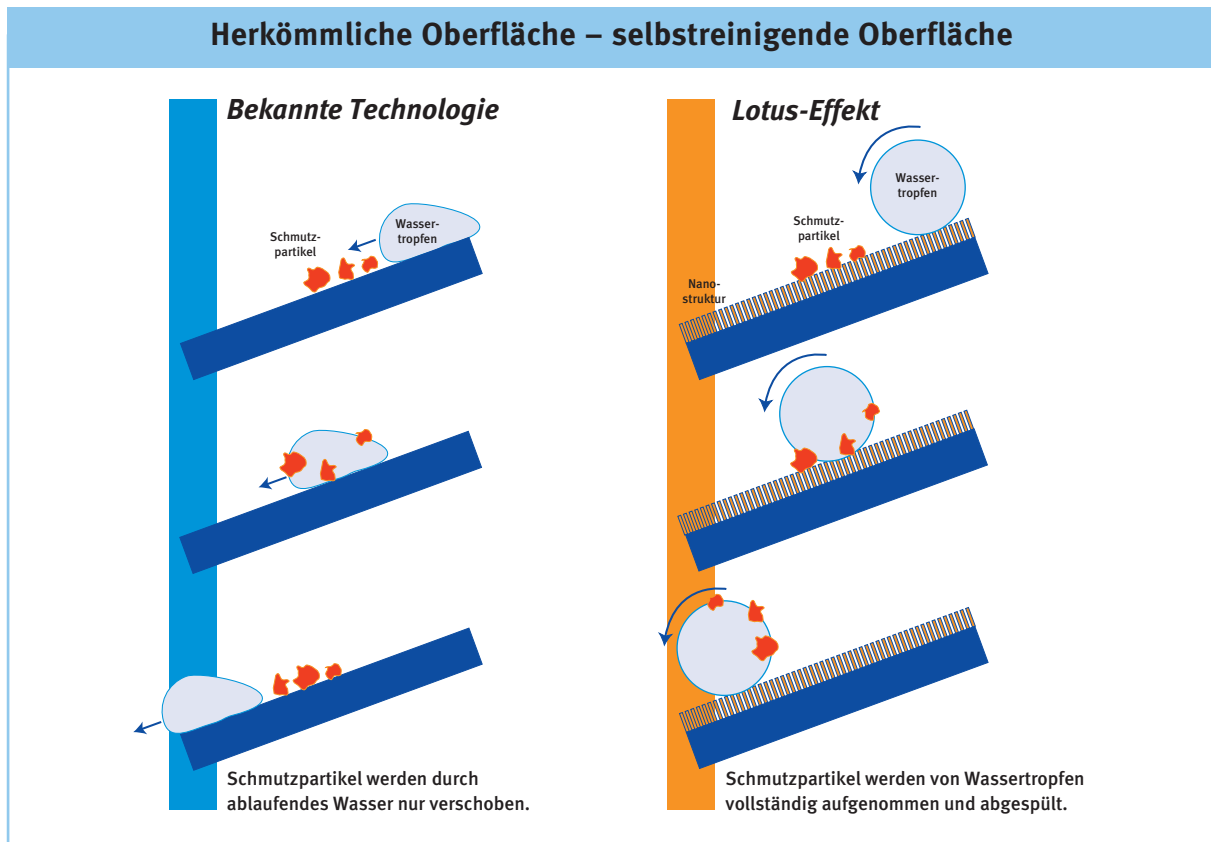
In den nächsten Jahren werden sich solchen strahlenhärtenden Lacken – dank neuer Bindemittleigenschaften – noch weitere Anwendungsfelder erschließen.

Ein großes Potenzial für zukünftige Beschichtungssysteme weisen auch die so genannten Hybrid-Polymere auf. Mit ihnen wird es möglich, die guten Eigenschaften verschiedener Polymerklassen zu addieren. Besondere Vorteile bietet die Kombination anorganischer und organischer Bausteine, insbesondere der Einbau von Silizium in die Polymerstruktur. Hybrid-Polymere verbinden die Stabilität und die Kratzfestigkeit anorganischer Netzwerke mit der Elastizität der organischen Polymere. Synthesewege dazu sind bereits seit längerem erprobt, z. B. die Sol-Gel-Technik. Aber auch andere Aufbauprinzipien, wie die Verwendung siliziumhaltiger Monomere oder der Einbau von funktionalisierten Siliziumdioxid-Nanoteilchen in eine Polymermatrix, führen zu Lackbindemitteln mit besonderen technologischen Eigenschaften, z. B. hoher Kratzfestigkeit und Härte und besonderem Benetzungsverhalten.

Perfekte Oberflächen

Aber nicht nur beim Bindemittel der Zukunft spielen Silizium und seine Verbindungen eine herausragende Rolle: Für die perfekte Lackoberfläche können Füllstoffe wie Schichtsilicate oder Quarz in Form von Nanoteilchen zu völlig neuen Eigenschaftsprofilen führen. Schichtsilicate, die in nanofeiner Form in Polymerdispersionen eingeschlossen sind, erhöhen z. B. die Gas-Barrierewirkung einer Beschichtung ganz erheblich. Bei Getränkeflaschen könnte durch eine solche Lackschicht die Diffusion der Kohlensäure aus dem Behälter in die Atmosphäre deutlich vermindert werden. Auch Antihalt-Beschichtungen, an denen Schmutz, Wasser oder Öl abperlen, können mit solchen winzigen Partikeln hergestellt werden. Dieser Effekt wurde von Wissenschaftlern des Botanischen Instituts der

Abbildung 29



Universität Bonn der Natur abgeschaut und als „Lotus-Effekt“ benannt (Abb. 29). Er wurde in der Zwischenzeit für einige Anwendungsbereiche, wie etwa selbstreinigende Dachziegel, Fassaden oder Sanitärgegenstände, marktgängig gemacht. Mit Sicherheit wird die Anwendung des Lotus-Effekts in den nächsten Jahren auf weitere Marktsegmente ausgedehnt werden.

Während selbstreinigende Oberflächen bereits in den Lacksektor vordringen und Produkte erheblich verbessern, deuten sich in den Labors bereits ganz andere Entwicklungen an, die den hauchdünnen Schichten ein noch weiteres Anwendungsspektrum eröffnen. Fotochrome Beschichtungen beispielsweise, die je nach auftretender Lichtintensität lichtdurchlässig oder -undurchlässig sind. Und mit Katalysatoren ausgerüstete Beschichtungen könnten künftig zum Abbau von Schadstoffen in der Luft beitragen.

Abbildungen und Folien

Abb. 1, Folie 1	Inlandsverbrauch 2002 >9
Abb. 2, Folie 2	Die Welt mit und ohne Lack >11
Abb. 3, Folie 3	Historische Lackarbeiten >12
Abb. 4, Folie 4	Komponenten eines Industrielackes >14
Abb. 5	Oxidative Selbsthärtung trocknender Öle >16
Abb. 6	Schematische Darstellung der Lackfilmbildung >16
Abb. 7	Schematische Darstellung der Polymerisation; Beispiel Polyacrylat >17
Abb. 8	Schematische Darstellung der Polykondensation; Beispiel Polyester >18
Abb. 9	Darstellung eines Alkydharzes >19
Abb. 10	Schematische Darstellung der Polyaddition; Beispiel Polyurethan >19
Abb. 11	Schematische Darstellung einer Vernetzung durch Bildung eines Polyurethans >21
Abb. 12, Folie 5	Strukturen wichtiger organischer Farbpigmente >23
Abb. 13, Folie 6	Lacklösemittel >26
Abb. 14	Schema der Filmbildung bei der Trocknung von Dispersionsfarben >28
Abb. 15, Folie 7	Strukturen wichtiger Additive >30
Abb. 16, Folie 8	Schema der Pulverlackierung mit Overspray-Rückführung >31
Abb. 17, Folie 9	Schema des Lackfertigungsablaufs >32
Abb. 18, Folie 10	Schema einer Rührwerkskugelmühle zur Lackdispergierung >33
Abb. 19, Folie 11	Lackfertigung früher und heute >34
Abb. 20, Folie 12	Schematische Darstellung von Lacksprühgeräten (pneumatisch und elektrostatisch) >36
Abb. 21, Folie 13	Faktoren, die auf eine Lackschicht bei Bewitterung einwirken >39
Abb. 22, Folie 14	Typische Stufen der Auto-Serienlackierung >41
Abb. 23, Folie 15	Schematische Darstellung einer Anlage zur kathodischen Elektrotauchlackierung (KTL) >42
Abb. 24, Folie 16	Schematischer Aufbau einer Mehrschichtlackierung mit Basis- und Klarlack >45
Abb. 25, Folie 17	Lackierroboter und Lackierautomaten >48
Abb. 26, Folie 18	Lösemittleinsatz bei der Autolackierung: gestern, heute und in der Perspektive für die Zukunft >49
Abb. 27, Folie 19	Typische Fachwerkhäuser und moderne Fassaden >51
Abb. 28	Silicatmatrix >57
Abb. 29	Herkömmliche Oberfläche – selbstreinigende Oberfläche >61

Tabellen

Tabelle 1	Bezug der Thematik Lacke zu den Inhalten des Chemieunterrichts in den Sekundarstufen I und II >7
Tabelle 2	Lackarten >15
Tabelle 3	Vergleich Kunststoffe – Lackbindemittel >21
Tabelle 4	Wichtige Kunstharze für Lacke und Anstrichstoffe >22
Tabelle 5	Beispiele für anorganische und organische Pigmente >23
Tabelle 6	Parameter für die kathodische Elektrotauchlackierung in der Autolackierung >43
Tabelle 7	Rezepturen: 2K-PUR-Decklack und Metallic-Wasserbasislack >46
Tabelle 8	Eigenschaften wichtiger Baustoffe >50
Tabelle 9	Bindemittel für Beschichtungsstoffe des Bautenschutz-Bereichs >52
Tabelle 10	Korrosionsklima und (durchschnittliche) Korrosionsgeschwindigkeit des Stahls >53
Tabelle 11	Standard-Beschichtungssystem für den Langzeitkorrosionsschutz von Stahlbrücken >55
Tabelle 12	Oberflächenschutzsysteme für den Betonschutz >55
Tabelle 13	Richtrezeptur für seidenmatte Fassadenfarbe auf Basis eines Acrylatdispersionsbindemittels >56
Tabelle 14	Fassadenfarben: ein Vergleich >56
Tabelle 15	Stärken-Schwächen-Profil von Holzschutz-Beschichtungen >59

- Brock, T.; Groteklaes, M.; Mischke, P.:
Lehrbuch der Lacktechnologie. 2. Auflage.
Vincentz, Hannover 2000
- Dietrich, V.: Naturwissenschaften Biologie,
Chemie, Physik: Farben. Berlin 1998
- Fischer, C.; Fischer, R.: Chemie im Büro.
Reinbek bei Hamburg, 1988
- Fonds der Chemischen Industrie im Verband
der Chemischen Industrie e.V., Informations-
serie „Farbstoffe und Pigmente“, Frankfurt
am Main 1993
- Goldschmidt, A.; Streitberger, H.-J.:
Lackiertechnik. Vincenz, Hannover 2002
- Gräf, D.: Lacke. Ein fächerübergreifendes
Thema in der Schule. PdN-Ch. 44 (1995),
Nr. 6, S. 25–32
- Kittel, H.: Lehrbuch der Lacke und
Beschichtungen, Bd. 1 bis 7.
Berlin/Oberschwandorf 1971–1980
- Lühken, A.; Bader, H. J.:
Hochtemperaturchemie in der Haushalts-
mikrowelle. CHEMKON (2001) Nr. 1, S. 7–14
- Müller, A.; Sommerfeld, H.; Bader, H. J.;
Blume, R.: Nachwachsende Rohstoffe:
Tallöl, ein Naturstoff für die Lack- und
Papierherstellung. PdN-Ch. 40 (1991)
Nr. 2, S. 31–34
- Nanetti, P.: Lack für Einsteiger.
Vincentz, Hannover 1999
- Nanetti, P.: Lackrohstoffkunde. 2. Aufl.
Vincentz, Hannover 2000
- Römpp: Römpp Lexikon – Lacke und Druck-
farben. Thieme, Stuttgart/New York 1998
- Sommerfeld, H.: Modellreaktionen zur
Technologie nachwachsender Rohstoffe.
(Dissertation/Fakultät Chemie, Universität
Bielefeld). Shaker, Aachen 1993
- Stäudel, L.; Mander, K.; Rudolph, M.:
Das Leinöl-Projekt. Fächerübergreifender
Unterricht für die Mittel- und Oberstufe.
PdN-Ch. 44 (1995) Nr. 6, S. 8–12
- Stahl, M.; Flintjer, B.; Bader, H. J.: Eisenoxid-
Pigmente. Versuche für eine anwendungsorien-
tierte Unterrichtskonzeption in der Sekundar-
stufe I. CHEMKON (1996) Nr. 4, S. 181–186
- Themenheft Farbstoffe. NiU Chemie (1999),
Nr. 52
- Vollmer, G.; Franz, M.: Chemie in Hobby und
Beruf. Farben, Holzschutz, Korrosionsschutz,
Klebstoffe, Schweiß- und Lötmaterialien,
Büromaterialien. Thieme/dtv, 1991

- Abluftreinigung** >48
- Absorption** >48
- Acrylatdispersion** >52, 55, 56
- Acrylatharz** >19, 20, 27
- Acryldispersionsbindemittel** >56
- Acrylharze** >52, 54, 55
- Additive (Lackhilfsmittel)** >7, 14, 28 ff., 51, 56
- Additivstruktur** >30
- Adsorption** >48, 49
- Aerosole** >36
- Aggregate** >31, 32, 34
- Aktive Pigmente** >53
- Alkydharze** >18, 19, 25, 52, 54
- Aluminiumflakes** >24
- Antiabsetzmittel** >29, 30
- Antioxidantien** >29, 30
- Applikation** >7, 36, 41, 51, 55, 57
- Armierung** >54, 55
- Aushärtung** >6, 15, 20, 25, 29
- Autolacke** >7, 38, 40 ff.
- Autolackzusammensetzung** >46
- Autoreparaturlacke** >9, 10, 33, 35

- Basislacke** >46
- Baustoffeigenschaften** >50
- Bautenanstrichmittel** >9, 10
- Bautenfarben** >6, 7, 10, 35, 50, 51
- Bautenlacke** >10, 15, 50
- Bautenschutz** >50, 51, 52
- Beschichtungssysteme** >51, 54, 58, 60
- Beton** >34, 50, 51, 54, 55
- Betonkorrosion** >54 f.
- Betonschutzsysteme** >54
- Bewitterung** >38, 39
- Bindemittel** >13, 15 ff., 20, 21, 27, 42, 54, 56, 60
- Bindemittel für Beschichtungsstoffe** >52
- Bindemitteldispersionen** >27
- Bindemittelstruktur** >25
- Biofilter** >49
- Buntlack** >24

- Carbonatisierung** >54
- Coil-Coating-Prozess** >37
- Coloristik** >24
- Copolymerisation** >17

- Deckbeschichtung** >51, 52, 54, 55, 58
- Decklacke** >17, 32
- Decklackierung** >44, 45, 46
- Dispersionsfarben** >17, 27, 28, 29, 31, 33, 35, 56
- Dispersionssilicatfarben** >52, 56, 57

- Effektpigmente** >24, 46
- Eisenoxidpigmente** >8
- Elastizitätsprüfung** >38
- Elektrostatische Applikation** >36
- Elektrotauchlacke** >42
- Elektrotauchlackierung** >7, 37, 41 ff.
- Emulsionspolymerisation** >27

- Farben** >11 ff., 24
- Farbmittel** >13, 14, 21, 24, 29
- Farbpigmente** >8, 23
- Farbpigmentstruktur** >23
- Fassade** >55
- Fassadenbeschichtungen** >55, 56, 57
- Fassadenfarbe** >27, 38, 52, 55, 56
- Filtration** >33, 37
- Flopeffekt** >24
- Füller** >41, 44, 45, 49

- Grundauffertigung** >33
- Grundbeschichtung** >53, 54, 55
- Glasübergangstemperatur** >20, 21

- Haftfestigkeit** >35, 40, 44, 52, 56, 57
- Härteprüfung** >38
- Harze** >13, 16, 26
- Hausgerätelacke** >35
- High Solid** >26, 48
- Holzbeschichtung** >58 ff.
- Holzerhaltung** >58
- Holzlack** >9, 15, 35
- Holzschutz** >52, 58, 59

- Industrielacke** >9, 14, 15, 25, 27
- Industrielle Lackierung** >35, 37
- Initiatoren** >7, 27, 29, 30, 31, 60
- Isocyanate** >18, 25, 43

- Kaliumsilicat (Kaliwasserglas)** >57
- Katalysatoren** >7, 29, 49, 60, 61
- Kathode** >42, 53
- Kathodische Elektrotackierung** >41, 42, 43
- Klarlack** >15, 24, 45, 49
- Koagulierung** >43
- Konservierungsmittel** >29, 56
- Korrosion** >7, 9, 10, 11, 35, 38, 40, 45, 52, 53, 54
- Korrosionsklima** >53, 54
- Korrosionsmechanismus** >53 f.
- Korrosionsschäden** >7
- Korrosionsschutz** >7, 10, 40, 41, 52, 53
- Korrosionsschutzbeschichtung** >51, 55
- Korrosionsschutzlacke** >18
- Kratzbeständigkeit** >38
- Kreiden** >59
- Kunsthharze** >13, 16, 21, 22
- Kunststoffe** >6, 13, 17, 20, 21, 34, 50

- Lackanforderungen** >40, 42
- Lackansetzung** >31
- Lackarten** >15
- Lackauftragung** >35 ff.
- Lackbestandteile** >14 f.
- Lackdefinition** >14
- Lackdispergierung** >33
- Lacke** >11, 12
- Lackeinteilung** >14
- Lackentwicklung** >12, 13
- Lackfabrik** >9, 10, 12
- Lackfilm** >15 ff., 20, 25, 26, 29, 31, 37, 38, 43, 60
- Lackfilmbildung** >15, 16, 28
- Lackharze** >8, 17, 18, 20, 35
- Lackherstellung** >31 ff.
- Lackhilfsmittel** >28 ff.
- Lackierautomaten** >47, 48
- Lackierroboter** >47, 48

- Lackindustrie** >9, 13
- Lacklösemittel** >25, 26 f.
- Lackschichtprüfungen** >37, 38
- Lackspezifikationen** >37
- Lacksprühgeräte** >36
- Lackuntergründe** >34
- Lackviskosität** >25
- Leinöl** >7, 13, 15, 16, 18
- Licht** >22, 24, 25
- Lichtschutzmittel** >29, 30
- Lignin** >50, 58
- Lösemittel** >8, 14, 15, 16, 20, 22, 25 ff., 31, 32, 34, 36, 44, 48
- Lösemitteldesorption** >49
- Lösemittlemission** >37, 40
- Lösemittellacke** >28, 47
- Lösemittelverbrennung** >49

- Mahlgut** >32, 33
- Malerlacke** >18
- Mehrschichtlackierung** >45, 47
- Metallicfarbtöne** >24
- Metalliclackierung** >24, 45
- Metallic-Wasserbasislack** >46
- Metalloxid** >6, 7, 24, 46
- Mischlacke** >33
- Mischlackssysteme** >33, 34
- Möbellacke** >10

- Nitrocellulose** >25
- Nitroverdünnung** >25

- Oberflächen** >7 ff., 11
- Oberflächenaktive Substanzen** >29
- Oberflächenschutz** >7, 10
- Ökologie** >50
- Ökonomie** >50
- Öle** >13
- Ölfarbe** >16
- Overspray** >30, 31, 35, 36

- Phenylcarbaminsäureester** >43
- Photoinitiatoren** >30
- Pigmentdispergierung** >32
- Pigmente** >6, 7, 14, 15, 21, 22, 23, 28 ff., 33

- Pigmentgruppen** >23
Pigmentierung >13, 58
Polyaddition >6, 7, 17 f., 20
Polyestersynthese >17, 18
Polyethylenterephthalat >18
Polyisocyanate >43, 52
Polyisocyanathärter >54
Polykondensation >6, 7, 17 f.
Polymerdispersion >56 f.
Polymere >7, 16, 17, 20, 27, 52
Polymerisation >7, 17, 27
Polyurethane >18, 43
Polyurethanbindemittel >54
Polyvinylalkohol >27
Primärkörner (Kristalle) >31, 32
Pulverfüller >44
Pulver-Klarlacke >46
Pulverlacke >8, 15, 29 ff., 48
Putze >10, 34, 55, 57
- Radikale** >15, 17, 31
Reaktive Verdünner >26
Reflektion >24, 25
Rheologie-Additive >29
Rührwerkskugelmöhlen >32
- Schellack** >12, 13, 15
Sekundärdispersion >27, 28, 29
Siliconharze >52, 56, 57
Silicatfarben >57 f.
Silicatmatrix >57, 58
Siliconharzemulsion >56
Siliconharzfarben >56 f.
Spritzlackierung >35, 36, 37, 47, 48
Stahl >50, 53 f.
Stammlacke >19
Steinschlagbeständigkeit >38
Strahlenhärtende Lacke >29 f.
- Tauchlackierung** >38, 42
Tenside >7, 27
Topfzeit >19
Trockenstoffe >29, 30
Trocknung >15, 16, 18, 20, 25 ff., 46, 51
Umweltschutz >7, 8, 35, 40, 47
- UV-Lacke** >31, 48
- Verdickungen** >29, 46
Verdünnungen >25
Veresterung >18
Verlaufsmittel >29, 30
Viskosität >20, 21, 26, 27, 32, 33, 37
- Walzlackierung** >37
Wasserbasislacke >46
Wasserdampfdiffusion >55 ff.
Wasserelektrolyse >42
Wasserfarben >11, 27
Wasserfüller >44
Wasserglas >57
Wasserlacke >8, 18, 25, 27 ff., 37, 42, 44, 59
Weichmacher >43, 44
- Zinkphosphatierung** >40, 45
Zinkphosphatpigmente >53
Zinkstaubpigmente >54

Zur Geschichte

Der Fonds der Chemischen Industrie wurde 1950 mit dem Ziel gegründet, den Aufbau der chemischen Grundlagenforschung an den deutschen Hochschulen zu fördern. Im Laufe der Zeit hat sich der Fonds weiteren Aufgaben im Bereich der Forschungs-, Wissenschafts- und Bildungspolitik zugewendet. 1965 wurde die „Stiftung Stipendien-Fonds“ für die Nachwuchsförderung gegründet.

Zielsetzung

Sicherung der Grundlagenforschung, des wissenschaftlichen Nachwuchses sowie von Verständnis und Akzeptanz der Chemie durch leistungsbezogene Förderung von Lehrenden und Lernenden an Hochschulen und Schulen.

Tätigkeitsschwerpunkte

Förderung der Forschung, des Nachwuchses und der Schulen sowie von Information im Chemiebereich. Vorschläge zur Forschungs-, Wissenschafts- und Bildungspolitik.

Entscheidungsgremium

Kuratorium: zwölf Forschungsvorstände der chemischen Industrie, sechs Hochschullehrer der Chemie sowie ex officio die Präsidenten des Verbandes der Chemischen Industrie (VCI) und der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh). Vorsitzender ist ein Vertreter der chemischen Industrie. Die Mitglieder des Kuratoriums bilden zugleich den wissenschaftlichen Beirat der Stiftung Stipendien-Fonds und den Ausschuss für Forschung, Wissenschaft und Bildung des VCI. Unterstützend ist ein Forschungsbeirat mit Vertretern der einzelnen chemischen Fachgebiete (anorganische, organische, physikalische, technische/makromolekulare, biologische Chemie sowie Chemiedidaktik) tätig.

Beitragsaufkommen

0,12 Promille des Umsatzes aus deutscher Chemieproduktion der Mitglieder des Verbandes der Chemischen Industrie. Im Rahmen einer Kooperation gewährt das BMBF zusätzlich Zuschüsse auf ausgewählten Forschungsfeldern (zzt. „Bioinformation“ sowie „Neue Materialien“).

Förderbereiche des Fonds

- › Leistungsorientierte, personenbezogene Förderung von Wissenschaftlern an Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen im Chemiebereich ohne Projektbindung
- › Infrastrukturhilfeprogramme für Wissenschaftler in den Kooperationsbereichen mit dem BMBF „Bioinformation“ und „Neue Materialien“
- › Durchführung von wissenschaftlichen Veranstaltungen zur Vermittlung aktueller Forschungsergebnisse
- › Nachwuchsförderung (Dozenten-, Habilitations-, Promotions- und Lehramtsstipendien) im Bereich Chemie
- › Initiierung von Modellversuchen zur Aus- und Fortbildung, insbesondere von Diplom-Chemikern
- › Stipendien für Studienanfänger in Chemie, Biochemie, Wirtschaftschemie und Chemie-Lehramt
- › Stipendien für Chemiker mit dem Berufsziel Wissenschaftsjournalismus
- › Unterrichtsförderung für Schulen mit Aktivitäten im Chemiebereich
- › Erstellung von Informationsmaterialien im Chemiebereich für Lehrer an Schulen und Hochschulen sowie Ausbilder in Mitgliedsunternehmen (Informationsserien auf Folien, CD-ROM oder im Internet, Informationen zum Chemiestudium unter www.chemie-im-fokus.de u. a.)
- › Förderung von Schule-Hochschule-Wirtschaft-Partnerschaften, Mentoringprogrammen und Schülerlaboren an außerschulischen Lernorten
- › Förderung von öffentlichkeitswirksamen Forschungsprojekten der Chemiedidaktik
- › Stiftung des „Friedrich-Wöhler-Preises“ der MNU für praktizierende Chemielehrer für besondere Verdienste um den Chemieunterricht
- › Unterstützung von „Jugend forscht“, des europäischen Unterrichtswettbewerbs „CEFIC Science Education Award“, des Fördervereins Chemie-Olympiade e.V. und weiterer Schülerwettbewerbe
- › Durchführung von Lehrerfortbildungsveranstaltungen sowie Unterstützung der GDCh-Lehrerfortbildung

Herausgeber

Fonds der Chemischen Industrie im Verband
der Chemischen Industrie e.V.,
Karlstraße 21, 60329 Frankfurt am Main

In Kooperation mit

Deutsches Lackinstitut GmbH,
Karlstraße 21, 60329 Frankfurt am Main

Erstauflage: März 2003

Alle Rechte vorbehalten

Das vorliegende Textheft zur Informationsserie
„Lacke und Farben“ ist zusammen mit einer
interaktiven CD-ROM erschienen. Auf dieser
CD-ROM sind alle Abbildungen nochmals
separat als ppt- und pdf-Dateien gespeichert.
Außerdem enthält die CD-ROM Arbeitsblätter,
Versuchsbeschreibungen und ein Glossar.

Die gesamte Informationsserie ist außerdem
über das Internet abrufbar (www.vci.de/fonds).

Autoren

Prof. Dr. Hans Joachim Bader,
Johann Wolfgang Goethe-Universität, Frankfurt
Prof. Dr. Thomas Brock,
Hochschule Niederrhein, Krefeld
Dr. W. Philipp Öchsner,
*Forschungsinstitut für Pigmente und
Lacke e.V., Stuttgart*
Dr. Dietrich Saatweber, *Wuppertal*

Redaktion

Michael Bross,
Deutsches Lackinstitut GmbH, Frankfurt
Dr. Stefan Horn,
Johann Wolfgang Goethe-Universität, Frankfurt
Angelika Kupka,
Deutsches Lackinstitut GmbH, Frankfurt
Armin Scharf, *Tübingen*
Dr. Annette Vielfort,
*Fonds der Chemischen Industrie im Verband
der Chemischen Industrie e.V., Frankfurt*

Bildquellennachweis

BASF Coatings AG, Münster
(Abb.: 3, 19 rechts, 20 rechts, 23)
Beeck GmbH & Co. KG, Stuttgart
(Abb.: 28)
BMW AG *(Abb.: 25 rechts)*
Michael Bross *(Abb.: 27 links)*
CD-Color GmbH & Co. KG, Herdecke,
ehem. Ewald Dörken AG *(Abb.: 19 links)*
Deutsches Lackinstitut GmbH, Frankfurt
(Abb.: Titelseite, 1, 2, 4)
Deutsches Lackiererblatt, Stuttgart
(Abb.: 20 links)
Keimfarben GmbH & Co. KG, Diedorf
(Abb.: 27 rechts)
Thomas Schulz, Die Produktioner, Frankfurt
(Abb.: 2)
Volvo Car Corporation *(Abb.: 25 links)*

Gestaltung

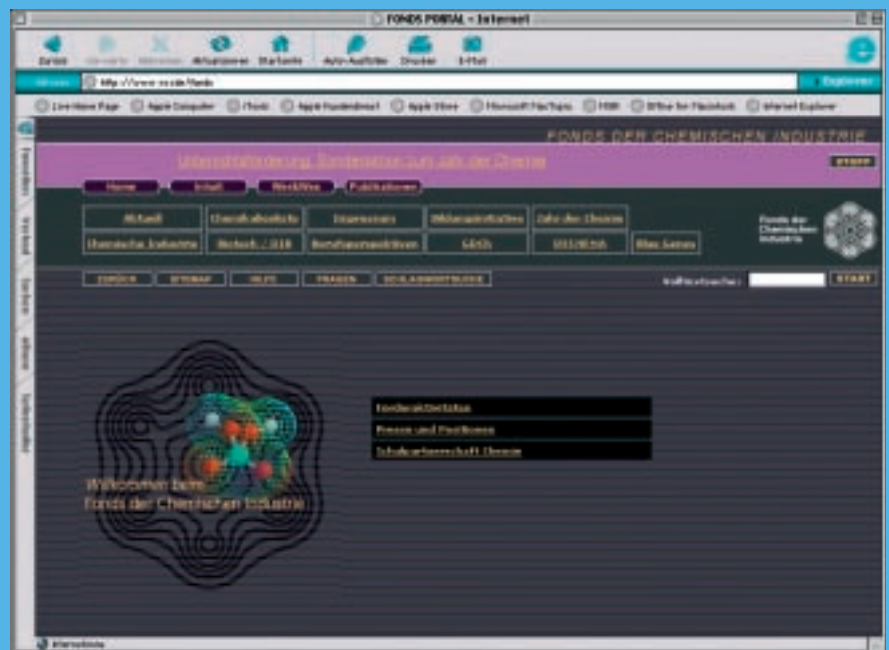
Seippel & Weihe
Kommunikationsberatung GmbH,
63067 Offenbach am Main,
www.seippel-weihe.com

Druck

Druck- und Verlagshaus Zarbock
GmbH & Co. KG, 60386 Frankfurt am Main,
www.zarbock.de

Der Fonds der Chemischen Industrie im Internet

www.vci.de/fonds



Auf den Internetseiten des Fonds der Chemischen Industrie (FCI) finden Sie alle zur Zeit zur Verfügung stehenden Informationsserien aufgelistet. Selbstverständlich können Sie sich dort auch über Fördermaßnahmen sowie forschungs- und bildungspolitische Positionen informieren.

Besuchen Sie uns im Internet und senden Sie uns Ihre Fragen und Anmerkungen per Mail an: fonds@vci.de