



FCI
FONDS DER
CHEMISCHEN
INDUSTRIE



Deutsches
Lackinstitut



Themengebiet: Schule, Ausbildung, Bildung

Unterrichtsmaterial Lacke, Farben und Druckfarben Was das Leben bunt macht



Dieses Unterrichtsmaterial ist in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Lackinstitut und dem Verband der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie e. V. entstanden und steht auch unter www.vci.de/fonds zum Herunterladen bereit.

Die CD-ROM enthält Arbeitsblätter und Vorschläge für Experimente. Zudem sind die Abbildungen des Textheftes hinterlegt.



Die Arbeitsblätter und
Versuchsbeschreibungen
finden Sie auf der
beiliegenden CD

Arbeitsblatt	Thema	Niveau	Kapitel
1	Kreuzwörterrätsel	SEK I	Ohne Zuordnung
2	Buchstabensalat	SEK I	Ohne Zuordnung
3	Oxidative Selbsthärtung trocknender Öle	SEK I	5.3
4	Polymerisation	SEK II	5.4
5	Polyaddition	SEK II	5.4
6	Polykondensation	SEK I/II	5.4
7	Farbpigmente	SEK I	5.6
8	Lösemittel	SEK I	5.7
9	Wasser als Verdünnungsmittel	SEK I	5.8
10	Ablauf der Lackfertigung	SEK I	6.1
11	Lackverarbeitung	SEK I	6.2
12	Kathodische Elektrottauchlackierung	SEK I	7.1
13	Kathodische Elektrottauchlackierung	SEK II	7.1
14	Mehrschichtlackierung	SEK I	7.1
15	Baustoffe	SEK I	7.2

Experiment	Thema	Niveau	Kapitel
1	Herstellung von Straßenkreide	SEK I	Ohne Zuordnung
2	Herstellung von Wachsfarben	SEK I	Ohne Zuordnung
3	Herstellung einer Caseinfarbe	SEK I	4.1
4	Tusche aus Tee	SEK I	4.2
5	Herstellung einer Ölfarbe	SEK I/II	5.3
6	Herstellung eines Zaponlacks	SEK I	5.3
7	Herstellung von Aquarellfarben	SEK I	5.3
8	Herstellung eines 2K-Epoxydharzlacks	SEK I/II	5.4
9	Eisenoxid-Pigmente	SEK I	5.6
10	Herstellung eines Buntlacks	SEK I	5.6
11	Pigmente – Darstellung von Thénard-Blau	SEK II	5.6
12	Kartoffeldruck	SEK I	6.2
13	Siebdruck	SEK I	6.2
14	Pulverlackierung	SEK I/II	7.8

Anregungen für weiterführende Experimente für den Oberstufenunterricht:

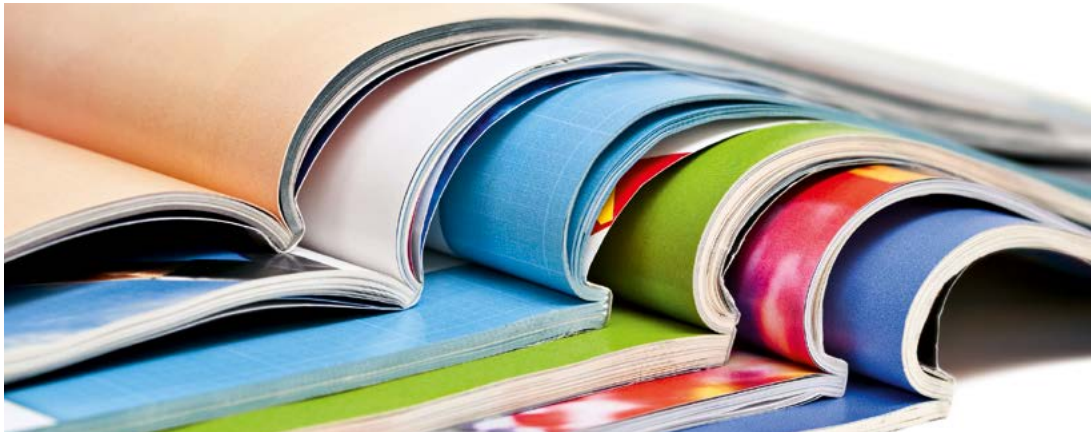
Experiment	Thema
15	Kombinatorische Synthese – Ionenaustausch
16	Kombinatorische Synthese – Split and Combine

Inhalt

› 5	Vorwort
› 6	1 Einführung
› 8	2 Methodisch-didaktische Hinweise
› 12	3 Wirtschaftliche Bedeutung der Lack-, Farben- und Druckfarbenindustrie in Deutschland
› 12	3.1 Lacke und Farben
› 13	3.2 Druckfarben und Drucklacke
› 14	4 Geschichte der Lacke, Farben und Druckfarben
› 14	4.1 Lacke und Farben
› 15	4.2 Druckfarben und Drucklacke
› 16	5 Chemie der Beschichtungsstoffe
› 16	5.1 Wie kann man Beschichtungsstoffe übersichtlich gruppieren?
› 16	5.2 Was ist ein Lack?
› 17	5.3 Ohne Bindemittel keine Beschichtung
› 19	5.4 Verfahren zur Synthese von Polymeren und von Lackharzen
› 22	5.5 Vom Bindemittel zur Lackschicht
› 23	5.6 Farbmittel und Pigmente
› 27	5.7 Lösemittel
› 29	5.8 Wasserlacke und Dispersionsfarben
› 30	5.9 Pulverlacke und strahlenhärtende Lacke
› 31	5.10 Additive
› 32	6 Vom Rohstoff zum Produkt
› 32	6.1 Herstellung von Beschichtungsstoffen – die gute Mischung macht es
› 34	6.2 Verarbeitung von Lacken, Farben und Druckfarben
› 38	6.3 Prüf- und Messverfahren: Wie gut ist ein Lack oder eine Farbe?
› 40	7 Lacke, Farben und Druckfarben in der Praxis
› 40	7.1 Schöner Lack auch nach Jahren – kein Problem durch moderne Autolackierung
› 44	7.2 Für jedes Bauwerk die richtige Lösung – Schutz durch Beschichtung
› 47	7.3 Wie lackiert man eine Waschmaschine? – Der Trick mit den großen Blechen
› 49	7.4 Bitte auf der richtigen Spur einordnen – Straßenmarkierungen machen den Verkehr sicher
› 50	7.5 Was hat der Hersteller von Müsliriegeln mit einer Druckerei zu besprechen?
› 51	7.6 Getränkedosen – mehr als nur ein Stück Blech
› 53	7.7 Geschwindigkeitsrekord – strahlenhärtende Lacke in der Möbelindustrie
› 54	7.8 Heizkörper lackieren ohne Lösemittel?
› 56	8 Zukunftsperspektiven
› 58	Literatur
› 59	Glossar
› 62	Impressum

4 Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wurde im gesamten Heft die männliche Sprachform gewählt. Im Glossar können die im Text mit * hervorgehobenen Stichwörter nachgeschlagen werden.

Vorwort



Hand aufs Herz: Hätten Sie dieses Heft überhaupt aufgeschlagen, wenn der Titel „Beschichtungsstoffe“ oder „Beschichtungsmittel“ lauten würde? Im Deutschen sind das nämlich die fachlich korrekten Bezeichnungen für Werkstoffe, die man zum Lackieren, Drucken oder Streichen verwenden kann; also Lacke, Farben und Druckfarben. Und das hört sich doch gleich viel ansprechender und bunter an.

Im Englischen hat man es da leichter: Der Begriff „Coatings“ umfasst alle Produkte, die gebraucht werden, um Häuser, Stahlbauwerke, Maschinen, Autos oder Möbel durch einen Überzug vor Korrosion und Fäulnis zu schützen oder sie mit einem dekorativen Überzug zu versehen. Auch Zeitungen und Zeitschriften zu drucken sowie moderne Verpackungen farbenfroh und informativ zu gestalten, rechnet man hierzu.

Fast alle Oberflächen sind heute beschichtet, lackiert oder bedruckt. Die Spannweite reicht vom Computergehäuse über das CD-Cover, den Bleistift, Gebäudefassaden, Fahrzeuge, Verkehrsschilder, die Müslipackung, Zeitungen oder Zeitschriften bis zur Getränkedose. In Deutschland werden jährlich mehr als 1,8 Millionen Tonnen Lacke, Farben und Druckfarben von Industrie und Handwerk sowie im Do-it-yourself-Bereich verarbeitet. Es gibt kaum andere Materialien, die uns so vielfältig umgeben und deren Eigenschaften wir so häufig nutzen.

Auch für Schülerinnen und Schüler sind perfekte Oberflächen und Druckerzeugnisse in vielfältigen Farb-

nuancierungen heute nicht mehr wegzudenken. Sie gehören so selbstverständlich zu ihrer Alltags- und Lebenswelt, dass die Frage, was die Grundlagen ihrer Herstellung und Verarbeitung sind, selten gestellt wird.

HINWEIS

Videos rund um das Thema Lacke, Farben und Druckfarben finden Sie auf www.lacke-und-farben.de/magazin/video-center/. Diese Filme sind zwischen drei und fünf Minuten lang und behandeln verschiedene Aspekte, die auch in diesem Textheft vorgestellt werden. Zum Beispiel: „Getaucht- gepulvert- gewalzt“ oder: „Wie der Lack aufs Blech kommt“.

Das Unterrichtsmaterial „Lacke, Farben und Druckfarben“ soll deshalb wichtiges Basiswissen der Chemie der Beschichtungsstoffe und Druckfarben vermitteln und die große Spannweite ihrer Einsatzgebiete anhand typischer Beispiele verdeutlichen. Dabei werden Arbeits- und Gesundheitsschutz im jeweiligen Zusammenhang berücksichtigt.

Bei der Konzeption und Erstellung unserer Unterrichtsmaterialien für den praxisnahen Schulunterricht arbeiten Vertreter der chemischen Industrie mit Hochschullehrern und Lehrern der Chemie zusammen. Ziel ist es, Neugierde für den industriellen Fertigungsprozess von Lacken, Farben und Druckfarben zu wecken. Schülerinnen und Schüler sollen im Chemieunterricht mit diesen wichtigen, aus dem Alltag nicht wegzudenkenden Produkten vertraut gemacht werden.





Das Wort „Farbe“ leitet sich aus dem althochdeutschen Wort *farawa* ab und wird im deutschen Sprachgebrauch 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 (Ölmalerei, Wasserfarben), aber auch die Materialien, mit denen Fassaden, Wände und Holzoberflächen gestrichen werden (Malerfarben, Bautenfarben*) oder Textilfarben. Im naturwissenschaftlichen Sprachgebrauch ist der Begriff „Farbe“ der Sinnesempfindung des Auges vorbehalten. Auch hier ist die Unterscheidung in der englischen Sprache wieder leichter: „Colour“ bezeichnet die Farbempfindung, „Paint“ hingegen das Produkt.

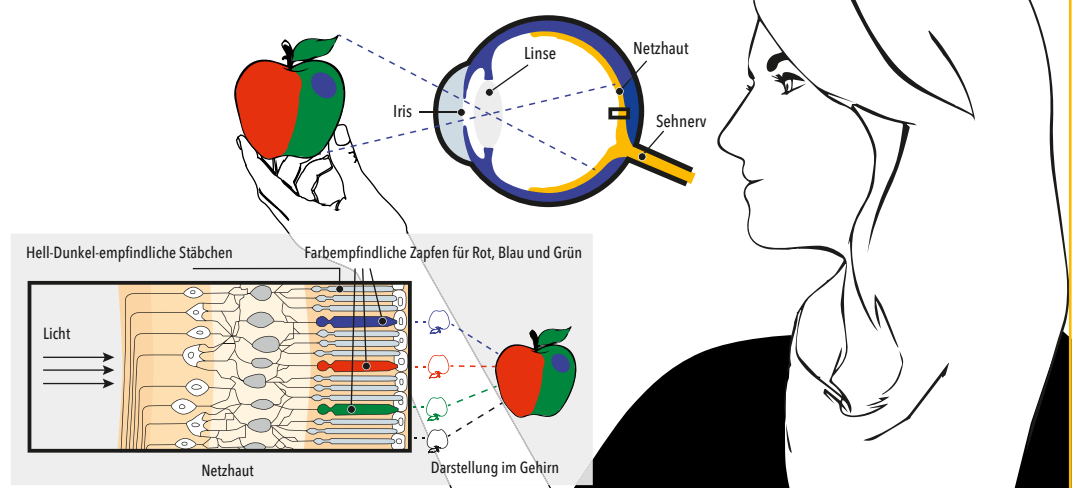
Als „Lacke“ bezeichnet man bei uns umgangssprachlich solche Produkte, mit denen sich glänzende, harte, farbige oder klare Schichten auf Metall-, Holz-, Kunststoff- oder Betonoberflächen erzeugen lassen.

Druckfarben enthalten fein verteilte Farbpigmente oder gelöste Farbstoffe aller Farbtöne, einschließlich Weiß und Schwarz. Druckfarben werden auf die verschiedenen industriellen Verfahren und Anforderungen an das Druckerzeugnis abgestimmt und von Druckformen direkt oder indirekt auf den gewünschten Bedruckstoff übertragen, wo sie trocknen. Texte und Bilder müssen den koloristischen Vorgaben entsprechend dargestellt werden können. Durch flächendeckenden oder partiellen Auftrag von Drucklacken kann Papier einen Glanz, eine Struktur oder andere Effekte erhalten.

ABBILDUNG 1

So funktioniert das Farbsehen

Das Auge nimmt Licht unterschiedlicher Wellenlänge auf. Rund 6 Millionen Zapfen in der Netzhaut nehmen den Rot-, Blau- und Grünanteil wahr. Etwa 120 Millionen lichtempfindliche Stäbchen registrieren das Schwarz-Weiß-Verhältnis. Aus diesen Informationen setzt das Gehirn die exakten Farbtöne zusammen und rekonstruiert letztendlich das Bild, das wir sehen.





Die meisten der genannten Beschichtungsmittel sind vor ihrer Verarbeitung flüssig. Nach der Verarbeitung sind sie hart und bilden einen Lack-, Druckfarben- oder Wandfarbenfilm auf dem jeweiligen Untergrund. Wie das chemisch und physikalisch vor sich geht, soll in diesem Unterrichtsmaterial erklärt werden. Es gibt zum Beispiel Lacke, die nur aufgrund physikalischer Vorgänge trocknen, und solche, die durch chemische Reaktionen eine harte Schicht ausbilden.

Um Lacke, Farben, Druckfarben oder andere Beschichtungsmittel verarbeiten zu können, werden ihnen zum Teil organische Lösemittel zugesetzt. Während der letzten 50 Jahre haben jedoch lösemittelhaltige Systeme zunehmend an Bedeutung verloren. In vielen

Anwendungsbereichen, zum Beispiel bei Wand- und Fassadenfarben, kommen heute wässrige Systeme, die auf Dispersionen* beruhen, zum Einsatz.

INFO FÜR LEHRKRÄFTE

Schülerinnen und Schüler können Beispiele zusammentragen, wo und wie Güter durch Beschichtungen geschützt werden. Wo haben Anstriche nur die Funktion, Oberflächen zu verschönern? Wo wird durch Farbe eine Signalwirkung erreicht? Welchen Beitrag leisten Druckfarben zur Imagebildung und Wiedererkennbarkeit von Produkten?

2 Methodisch-didaktische Hinweise

Zwar sind Farbstoffe und Farbigkeit 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, Farben und Druckfarben um ein hochinteressantes Thema mit einem starken Bezug zur Alltagswelt der Schüler handelt, bei dem zweifelsfrei die Chemie im Mittelpunkt steht. 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: Schüler lernen am Beispiel der Herstellung und der Verarbeitung von Lacken, Farben und Druckfarben kennen, wie durch stetige Weiterentwicklungen im Sinne eines nachhaltigen Wirtschaftens Energie, Rohstoffe und andere Ressourcen eingespart sowie unerwünschte Emissionen verringert werden.

Die Chemie der Lacke, Farben und Druckfarben ist auch heute noch ein komplexes und forschungsintensives Gebiet. Somit besteht im Unterricht die Aufgabe, im Sinne einer didaktischen Reduktion das Wesentliche herauszuarbeiten und sich auf ausgewählte Beispiele zu beschränken. Das vorliegende Unterrichtsmaterial baut auf diesen Grundsätzen auf und bietet die Möglichkeit einer Unterrichtsgestaltung je nach gewünschter Vertiefung und zur Verfügung stehender Zeit. So kann die Thematik sowohl in einem Unterricht der Sekundar-

stufe I als auch im Unterricht der Sekundarstufe II erarbeitet werden. Darüber hinaus stellt das Unterrichts- und Informationsmaterial eine Basis für den berufskundlichen Unterricht dar.

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 Graffiti ist denkbar. Damit eignet sich das Thema Lacke, Farben und Druckfarben sehr gut für einen fächerübergreifenden Ansatz oder für ein Projekt.

Die hier vorgeschlagenen Experimente zum Themenkreis Lacke, Farben und Druckfarben sind weitgehend ohne großen Aufwand mit leicht erhältlichen Chemikalien oder im Fachhandel bzw. Baumarkt käuflichen Produkten durchzuführen.

Bezug zu Lehrplänen des Faches Chemie

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

- ⬡ Bindemittel* für Lacke und Farben sind im weiteren Sinne Kunststoffe, die durch Polymerisation, Polykondensation oder Polyaddition entstehen.
- ⬡ Bindemittel sogenannter Nitrolacke sind Derivate der Cellulose.
- ⬡ Als Pigmente werden oftmals Metalloxide, wie Titan-dioxid (Titanweiß) oder Eisenoxide, eingesetzt. Ein gängiges schwarzes Pigment ist der Kohlenstoff.
- ⬡ Es werden nachwachsende Rohstoffe eingesetzt, wie pflanzliche Öle, Baumharze oder Cellulose.



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

Fachspezifische Inhalte des Themas Lacke/Farben/Druckfarben	Bezug zu Inhalten der Sekundarstufe I	Bezug zu Inhalten der Sekundarstufe II
Lacke/Farben/Druckfarben (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, funktionale Gruppen, Polymere (Polymerisation, Polyaddition, Polykondensation), nachwachsende Rohstoffe (Leinöl), chemische/physikalische Trocknung
Lösemittel	Alkohole, Ester, Aromaten, Wasser, aliphatische und naphthenische Kohlenwasserstoffe, Ketone, Stoffgemische (Emulsion), Umweltschutz (Luftschadstoffe, Adsorption)	Struktur-Eigenschafts-Beziehungen, Tenside (kationisch, anionisch, nichtionisch), Umweltschutz (Luftschadstoffe)
Pigmente	Einfache Beispiele: Metalloxide	Anorganische und organische Pigmente, Toxizität bestimmter Pigmente, Farbigkeit, Farbmessung, Umweltschutz (Luftschadstoffe)
Additive (Lackhilfsmittel)		Initiatoren, Katalysatoren, Emulgatoren
Lack-/Druckfarbenherstellung	Beispiel für einen technischen Prozess	
Lack-/Farb-/Druckfarbenapplikation	Technische Prozesse (z. B. Tauchlackierung, Druckverfahren) Lackierung von Werkstoffen (z. B. Metalle, Holz), Korrosion, Korrosionsschutz, Kosmetik (Nagellack)	Korrosion, Korrosionsschutz (vertieft), Elektrotauchlackierung als elektrochemischer Prozess



Über die Vermittlung chemischer Grundlagen hinaus sollten weitere 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. Das hat sich durch wesentliche Verbesserungen beim Schutz der Metalloberfläche seither deutlich verändert. Schüler haben 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.



- Druckfarben und Drucklacke ermöglichen die Übermittlung wichtiger Informationen in Zeitungen, Magazinen, Büchern und auf Verpackungen, speziell auf solchen für pharmazeutische Produkte und Lebensmittel. Sie fördern auch die Werbewirksamkeit von Verpackungen, beispielsweise bei hochwertigen Konsumartikeln.
- Ein weiterer wesentlicher Gesichtspunkt ist der Umweltschutz: Die Reduktion des Verbrauchs von Lösemitteln steht hier im Vordergrund, beispielsweise der Einsatz von Pulverlacken, die – vereinfacht gesagt – auf Oberflächen aufgeschmolzen werden, oder von sogenannten Wasserlacken*.
- Durch die Rückgewinnung, Adsorption oder thermische Verwertung von Lösemitteln bei industriellen Lackierverfahren werden deren Emissionen stark eingeschränkt.
- Durch den Einsatz nachwachsender Rohstoffe für die Herstellung von Bindemitteln kann der Verbrauch erdölbasierter Ausgangsstoffe verringert werden.



Das vorliegende Unterrichtsmaterial gliedert sich in fünf große Abschnitte:

- ⬡ Die wirtschaftliche Bedeutung der Lack-, Farben- und Druckfarbenindustrie und die historische Entwicklung der Lacke, Farben und Druckfarben (Kapitel 3 – 4).
- ⬡ Eine allgemeine Übersicht über Lacke, Farben und Druckfarben (Kapitel 5). Hierbei stehen deren Zusammensetzung sowie wichtige chemische Reaktionen, die den Weg vom Rohstoff über das Produkt bis zur ausgehärteten Beschichtung verständlich machen, im Vordergrund. In knapper Form wird dabei auch auf das wichtige Feld der Farbstoffe und Pigmente sowie der Additive*, die wesentlich für Verarbeitung und Produktqualität sind, eingegangen.
- ⬡ Sowohl für die Herstellung von verkaufsfähigen Produkten als auch für deren Verarbeitung werden spezielle Verfahren angewendet. Kapitel 6 zeigt, wie zum Beispiel hochwertige Buntlacke oder Dispersionsfarben* gefertigt werden und geht auf unterschiedliche Wege zu perfekten Beschichtungen und Drucken ein.
- ⬡ Beispiele, die besonders gut die Spannweite der Anwendungen wiedergeben, sind in Kapitel 7 beschrieben. Jedes dieser Beispiele hat einen Bezug zum Alltag. Die Produkte begegnen uns täglich oder werden jeden Tag von uns gebraucht, ohne dass uns deutlich wird, wie viel Know-how für die Lackierung, das Bedrucken oder die Farbgebung notwendig ist.
- ⬡ Ein Blick auf Entwicklungstendenzen und zukünftige Entwicklungen auf dem Gebiet der Lacke, Farben und Druckfarben (Kapitel 8) schließt das Unterrichtsmaterial ab.

⬡ INFO FÜR LEHRKRÄFTE

Zur Auflockerung des Unterrichts wurden ein Kreuzworträtsel und ein „Buchstabensalat“, in dem Begriffe aus dem Bereich Lacke, Farben und Druckfarben zu finden sind, aufgenommen. (**Arbeitsblätter 1 und 2**). Zusätzlich zu den in den „Info für Lehrkräfte“-Kästen genannten Versuchen wurden noch die beiden **Experimente 1 und 2** aufgenommen, die keinem Kapitel zugeordnet sind. Sie sind für die Sekundarstufe I geeignet und behandeln die Herstellung von Straßenkreide und Wachsmalstiften.

Die Lack-, Farben- und Druckfarbenindustrie in Deutschland

3.1 Lacke und Farben

Lacke und Farben schützen die Oberflächen von Produkten und verhindern, dass sie frühzeitig unbrauchbar werden. Korrosion und Verfall infolge von Feuchtigkeit, Temperaturunterschieden, Luftschadstoffen oder Salzen, UV-Strahlung oder Schädlingen werden durch eine Beschichtung mit Lacken und Farben sicher vermieden. Natürlich müssen die beschichteten Objekte sorgfältig gepflegt und die Beschichtungen bei Beschädigungen repariert bzw. regelmäßig erneuert werden. In Deutschland entstehen jährlich volkswirtschaftliche Schäden in Milliardenhöhe, weil solche Instandhaltungsarbeiten nicht rechtzeitig ausgeführt werden. Die wirtschaftliche Bedeutung von Lacken und Farben erschließt sich somit nicht aus den reinen Produktionsmengen bzw. den Umsätzen der Industrie. Denn ihr Einsatz trägt dazu bei, dass Ressourcen geschont werden, indem die Lebensdauer existierender Güter und Produkte verlängert wird.

Lackfabriken entstanden mit der industriellen Revolution und waren zu jener Zeit klassische mittelständische Familienbetriebe. Das ist auch heute noch weitgehend so. Erst von den 1960er Jahren an engagierten sich auch große Chemiekonzerne auf dem Feld der Lackherstellung, zumeist durch die Übernahme von Familienunternehmen. Heute existieren in Deutschland noch 200 Lackfabriken mit etwa 20.000 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 Jahr 2016 produzierten alle deutschen Lackhersteller 2,1 Millionen Tonnen Lacke und Farben im Wert von 6,6 Milliarden Euro. Der jährliche Verbrauch an Lacken und Farben beträgt in Deutschland 18 Kilogramm pro Kopf.



3.2 Druckfarben und Drucklacke

Druckfarben und Drucklacke sind maßgeschneiderte Produkte, die in hunderten Farbtypen und -nuancen zum Einsatz kommen, um die unterschiedlichsten Anforderungen zu erfüllen: Sie müssen auf tausenden Bedruckstoffen (Papier, Pappe, Kunststoff, Textilien, Metall) gut aussehen und in unterschiedlichen Druckverfahren zu verarbeiten sein. In Deutschland sind etwa 5.000 Mitarbeiter in 20 Unternehmen tätig, die 2016 rund 508.000 Tonnen Druckfarben und -lacke im Wert von 1,4 Milliarden Euro produzierten. Der Verbrauch an Druckfarben und Drucklacken beträgt pro Jahr etwa 3,7 Kilogramm pro Bundesbürger. Mit dieser beachtlichen Menge können über 2.000 Zeitungen gedruckt werden.

Die Exportquote aller Beschichtungsstoffe beträgt 41 Prozent der Herstellmenge, bei Druckfarben 54 Prozent. Ein Großteil der Exporte wird mit den Staaten der Europäischen Union abgewickelt. Die Importquote nach Deutschland beträgt 18 Prozent des Inlandsmarktes. Beschich-

INFO FÜR LEHRKRÄFTE

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 Tanksattelauflegers (24.000 L) umrechnen. Hierfür kann näherungsweise eine mittlere Dichte des Lacks von 1,3 g/cm³ angenommen werden.

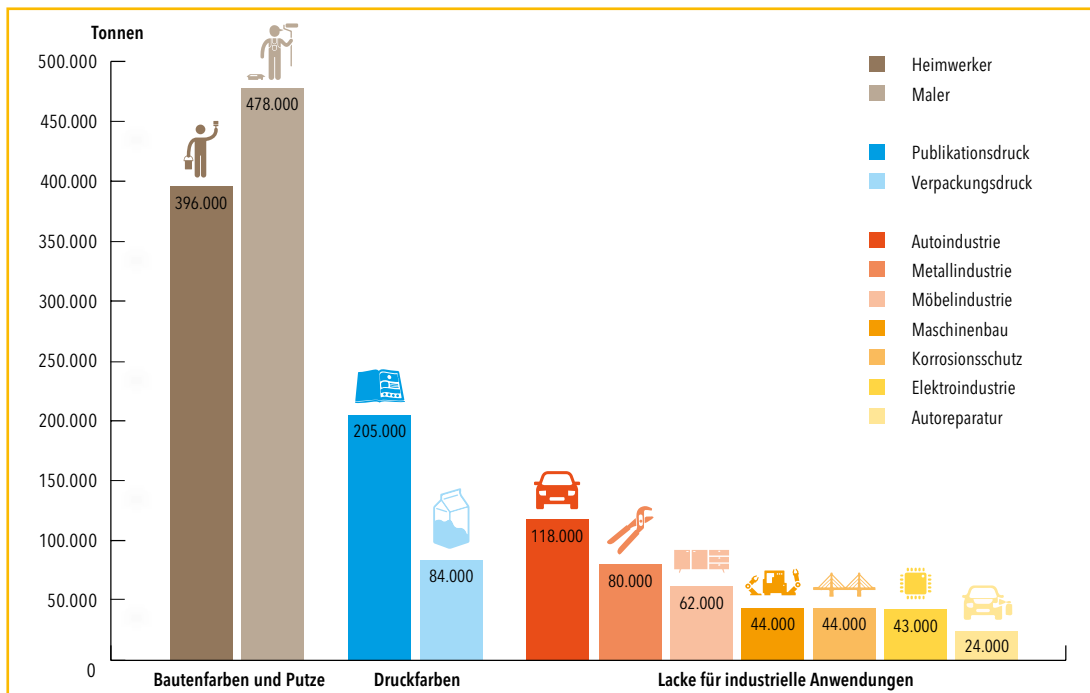
tungsstoffe werden heute durch eine moderne und hochentwickelte Industrie hergestellt, die in Europa etwa 110.000 Menschen Arbeitsplätze in verschiedensten Berufen bietet.

HINWEIS

Informationen zu Ausbildung und Berufen in der Lack-, Farb- und Druckfarbenindustrie findet man unter: www.lacklaborant.de
Auf www.lacke-und-farben.de/magazin/video-center/ geben Auszubildende für den Beruf Lacklaborant/-in Einblicke in ihren Arbeitsalltag.

ABBILDUNG 2

Verkaufte Bautenfarben, Druckfarben und Lacke in Deutschland 2016



4. 1 Lacke und Farben

Die frühesten Zeugnisse der Verwendung von Farben in der Menschheitsgeschichte finden sich in der spanischen El-Castillo-Höhle, der Höhle Leang Pettakere auf Sulawesi und in der Chauvet-Höhle in Südfrankreich. Die ältesten Höhlenmalereien werden auf fast 30.000 Jahre datiert. Die damals verwendeten Farben setzen sich aus tierischem Fett, gefärbter Erde und natürlichen Pigmenten wie Ocker zusammen. Sie enthielten also die gleichen Basisbestandteile wie die Farben, die wir heute nutzen – ein Bindemittel, einen Farbträger und ein farbgebendes Pigment.



Um 4.000 vor Christi Geburt wurden in Europa die ersten Farben aus gebranntem Kalk zum Schutz und zur Dekoration von Behausungen genutzt. Etwa zur gleichen Zeit waren die Menschen in Südostasien bereits in der Lage, Lacke herzustellen. Aus der Rinde des Lackbaums wurde ein Saft gewonnen, der mit Farbstoffen und mineralischen Pigmenten versetzt wurde, an der Luft härtete und beständige Beschichtungen ergab. Ein natürliches Harz, der Schellack, wird in Indien seit Jahrtausenden aus dem Sekret der Schildlaus *Kerria lacca* gewonnen. Der deutsche Begriff „Lack“ geht zurück auf das altindische Sanskrit-Wort „laksha“. Es bedeutet so viel wie „hunderttausend“ und bezieht sich auf die unvorstellbare Menge an Schildläusen, die für die Gewinnung des Schellacks benötigt werden.

Im Mittelalter gelangte die Kunst der Lackherstellung schließlich nach Europa. Aber erst als in der Renaissance kunstvoll lackierte Schmuckgegenstände und Möbel nach fernöstlichem Vorbild bei Adel und Bürgertum in

Mode kamen, wurde Lack in größeren Mengen hergestellt. In Frankreich wurden ab 1730 erste Patente zur Herstellung bestimmter Lacke vergeben.

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. Die Verwendung reiner Harze führt zu harten, glänzenden Oberflächen, die aber spröde sind. Der Zusatz von Ölen dagegen 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 Einfärbung („Pigmentierung“) dienten Metallverbindungen wie Bleiweiß (basisches Bleicarbonat, $\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$), Zinkweiß (Zinkoxid, ZnO), Kobaltblau (Kobaltaluminat CoAl_2O_4) und Chromgelb (Blei(II)-chromat, PbCrO_4).

Die älteste heute in Deutschland noch existierende Lackfabrik ist über 250 Jahre alt, hat ihre Wurzeln also noch im 18. Jahrhundert. War die wirtschaftliche Bedeutung von Lacken zu dieser Zeit noch gering, so nahm sie infolge der industriellen Revolution in Europa im 19. Jahrhundert stark zu: Der Werkstoff Eisen wurde in immer größerem Umfang verwendet und musste gegen Korrosion geschützt werden. Es entstanden viele sogenannte Lacksiedereien in den Industriegebieten Deutschlands. Ende des 19. Jahrhunderts wurden dann die ersten synthetisch hergestellten Produkte – Kunstharze – als Lackbindemittel verwendet und unlösliche organische Farbstoffe für die Farbgebung 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 schnell trocknende, beständige und hochglänzende Lacke benötigt. Der seither erzielte Fortschritt lässt sich an der Qualität der Lacke wie auch an der Verarbeitungszeit verdeutlichen: Benötigte man Anfang des 20. Jahrhunderts noch einige Tage oder sogar Wochen, um ein Auto in mehreren Arbeitsgängen von Hand zu lackieren, so dauert der Prozess dank Automatisierung 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 Lackrezepturen, aber auch von Verarbeitungs- und Trocknungsmethoden führte. Dabei war die treibende Kraft wiederum die Kraftfahrzeugindustrie, die qualitativ hochwertige sowie umweltverträgliche Lacksysteme und Verarbeitungsmethoden suchte. Diese Weiterentwicklungen dauern auch heute noch an.

INFO FÜR LEHRKRÄFTE

Als Bindemittel für Farben wurde, besonders im Bereich der Kunst, auch Milcheiweiß (Casein) verwendet. Caseinfarben wurden für das Malen auf Holz und Putz verwendet. Sie sind heute zum großen Teil durch Acrylfarben abgelöst, lassen sich aber einfach und preiswert selbst aus Quark herstellen (**Experiment 3**).

4.2 Druckfarben und Drucklacke

Für schriftliche Mitteilungen auf Papier oder Stoff wurden in der Antike Tinten und Tuschen verwendet. Tinten (von lat. tingere = färben) sind wässrige Lösungen färbender Stoffe, die mehr oder weniger stark von Papier aufgesogen werden. Als „Tuschen“ (von frz. toucher = berühren) werden in Wasser aufgeschwemmte Pigmente oder gelöste Farbstoffe mit hohem Anteil von beispielsweise Leim als Bindemittel* bezeichnet. Schon im 3. Jahrhundert vor Christus kombinierten die Römer den Sud von Galläpfeln mit Eisensalzen. Dabei entstand eine fast schwarze Eisengallustinte.

INFO FÜR LEHRKRÄFTE

Eine schwarze Tinte kann sehr schnell und einfach aus schwarzem Tee und Eisensalzen wie Eisen(II)sulfat hergestellt werden (**Experiment 4**). Im Unterricht der Sekundarstufe I wird auf eine Erarbeitung der Theorie verzichtet. Auch im Bereich der Sekundarstufe II sollte nur vereinfacht auf die ablaufenden Reaktionen eingegangen werden.

Bücher und bildliche Darstellungen wurden bis ins Mittelalter in Klöstern und Schreibstuben handschriftlich übertragen. Das erste Verfahren, diese teure und langwierige Vervielfältigung zu umgehen, war das Stempeln. Aus Holz, Ton oder Metall wurden Tafeln oder Blöcke gefertigt, auf denen die zu übertragenden Zeichen erhaben hervorstanden; daher der Begriff Hochdruckverfahren.

Der Durchbruch aber wurde erst mit der genialen Idee Johannes Gutenbergs erreicht: der Buchdruck mit beweglichen Lettern, der die Vervielfältigung von Schriften in hohen Stückzahlen möglich machte. 1445 erschien Gutenbergs ältestes Druckwerk: „Weltgericht“. Die erforderlichen pastösen Druckfarben stellten Gutenberg und seine Nachfolger aus Leinöl, Lampenruß und geringen Anteilen an Kupfersalzen selbst her. Leinöl hat einen hohen Gehalt an Glycerinestern ungesättigter Fettsäuren. Durch die zugesetzten Metallverbindungen, sogenannte Trockenstoffe, katalysiert, führt die Reaktion mit Luftsauerstoff zu einem klebfreien, belastbaren Druckfarbenfilm. Diese Farben erfüllten die grundlegenden Anforderungen, sie waren gleichmäßig deckend, schnell trocknend, gut zu verarbeiten und hafteten gut auf dem Untergrund. Auch modernen Farben für den Offsetdruck* sowie für den Banknotendruck liegt dieses Prinzip der oxidativen Trocknung zugrunde.

1815 wurde die erste Druckfarbenfabrik in Deutschland gegründet, der bereits 1817 eine zweite folgte. Damals wurde vor allem schwarze Farbe hergestellt. Buntfarben spielten noch eine untergeordnete Rolle. Aber der Bedarf an Druckfarbe wuchs ständig weiter. Periodisch erscheinende Druckerzeugnisse entwickelten sich zu Wochen- und Tageszeitungen. Industrialisierung und Streben nach Bildung steigerten den Bedarf an Büchern und Geschäftsdrucksachen. Mit der breiten Einführung bildergeschmückter Druckerzeugnisse stiegen auch die Qualitätsansprüche an bunte Druckfarben. Heute gibt es in Deutschland 20 Druckfarbenhersteller.



5.1 Wie kann man Beschichtungsstoffe übersichtlich gruppieren?

Beschichtungsstoffe können nach sehr unterschiedlichen Kriterien eingeteilt werden. So kann man nach der chemischen Zusammensetzung, der Verarbeitung oder der Funktion vorgehen. Tabelle 2 gibt eine Übersicht über allgemeine Unterscheidungsmerkmale.

Das Trocknen bzw. Aushärten von Beschichtungsstoffen beruht auf physikalischen und chemischen Vorgängen, die sich oft ähneln. Diese allgemeinen Grundlagen werden deshalb im vorliegenden Unterrichtsmaterial in den Vordergrund gestellt.

Auch Druckfarben und Drucklacke werden durch die gleichen grundlegenden Reaktionen wie Lacke hergestellt und enthalten die gleichen Komponenten. Sie nehmen in einigen Bereichen jedoch eine Sonderstellung ein:

- Die Schichtdicken von Druckfarben auf dem Druckergebnis sind – mit Ausnahme des Siebdrucks (s. S. 38) – deutlich geringer als beim Auftragen anderer Beschichtungsstoffe, im Offsetdruck* beispielsweise nur circa ein bis zwei Mikrometer pro Farbschicht.
- Beim Auftrag von Drucklacken entstehen dickere Schichten, sie sind zwischen 30 und 200 Mikrometer stark.
- Die Pigmentkonzentrationen und die Farbintensität der Pigmente müssen sehr hoch sein, um im Druckbild die erforderliche Farbstärke erzielen zu können.
- Mit Druckfarben werden durch subtraktive Farbmischung* im Vierfarbdruck Druckbilder mit normierten Farben originalgetreu dargestellt. Nach dem Druckprozess müssen die Druckfarbenoberflächen in kürzester Zeit so klebfrei sein, dass keine Farbpartikel auf die Rückseite des darüber liegenden Druckes übertragen werden oder Stapel und Rollen verkleben.

○ TABELLE 2

Unterscheidungsmerkmale von Beschichtungsstoffen

Unterscheidungsmerkmale	Lackarten
Verwendungszweck	Wandfarben, Bautenlacke, Holzlacke, Metalllacke, Kunststofflacke, Industrielacke, Fahrzeuglacke, Schiffsfarben, Elektroisolierlacke, Druckfarben und -lacke
Lösungsmittel-Einsatz	Lösemittellack, Wasserlack, Pulverlack
Trocknung / Härtung	Lufttrocknender Lack, Einbrennlack, Strahlenhärter-Lack
Lieferform	1-Komponenten-Lack, 2-Komponenten-Lack
Verarbeitungsart	Streichlack, Spritzlack, Tauchlack, Elektrotauchlack, Walzlack
Funktion	Grundierung, Decklack, Basislack, Klarlack

5.2 Was ist ein Lack?

Ein Lack 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.

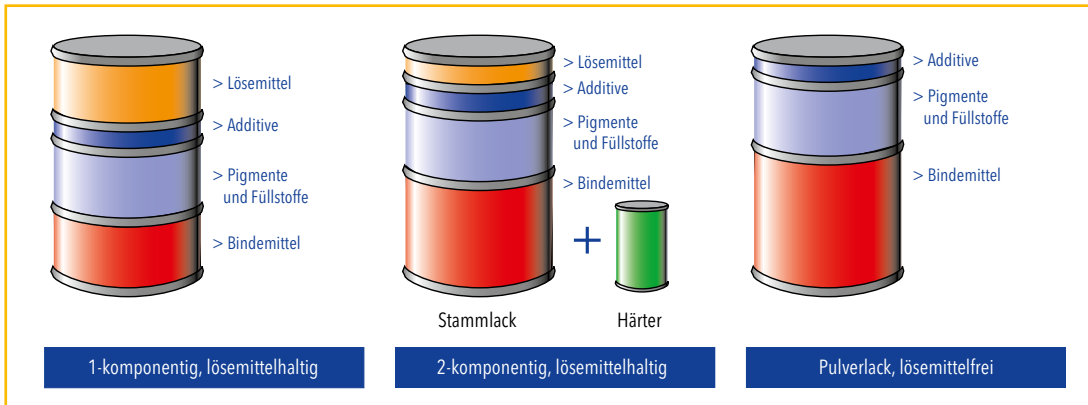
- Lacke werden auf Untergründe aufgetragen. Diese können ganz verschiedenartig sein, etwa Metalle, Holz, Kunststoffe, Papier, oder sie können aus mineralischen Baustoffen bestehen wie Gips, Zement, Stein oder Beton.
- Lacke ergeben auf den jeweiligen Untergründen Beschichtungen mit ganz bestimmten Eigenschaften: Die Beschichtung schützt und verschönert.

- ⬢ Wesentlich ist das sogenannte Bindemittel. Es bewirkt, dass beim Trocknen und beim Härten des Lackes ein zusammenhängender Film entsteht. Dabei spielen physikalische wie chemische Vorgänge eine Rolle (zum Beispiel Verdampfen des Lösemittels).
- ⬢ 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 (Zusatzstoffe), mit denen sich die Eigenschaften der Lacke in weiten Grenzen variieren lassen (z. B. Härter*).
- ⬢ Lösemittel werden zugesetzt, um den Beschichtungsstoff verarbeitungsfähig einzustellen.



⬢ ABBILDUNG 3

Komponenten eines Industrielackes



5.3 Ohne Bindemittel keine Beschichtung

Bindemittel sind der wichtigste Bestandteil eines jeden Beschichtungsstoffes. Sie bilden nach dem Trocknen den harten und beständigen Film, sozusagen als Rückgrat der Beschichtung. Während Bindemittel unverzichtbar sind, können andere Bestandteile je nach Art 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 Halbfabrikat Lack durch Trocknung bzw. Härtung eine Beschichtung bildet.

Löst man ein Harz, zum Beispiel Schellack oder Polyacrylat, in einem Lösemittel und streicht die Lösung auf einen Untergrund, bildet sich zunächst ein flüssiger Film. Dieser wird nach dem Verdunsten des Lösemittels fest und hart. Das Bindemittel, meist eine Verbindung mit hochmolekularer Masse, verändert sich chemisch nicht, es ist im lösemittelfreien Zustand bei Raumtemperatur ein amorpher, glasartiger Feststoff.

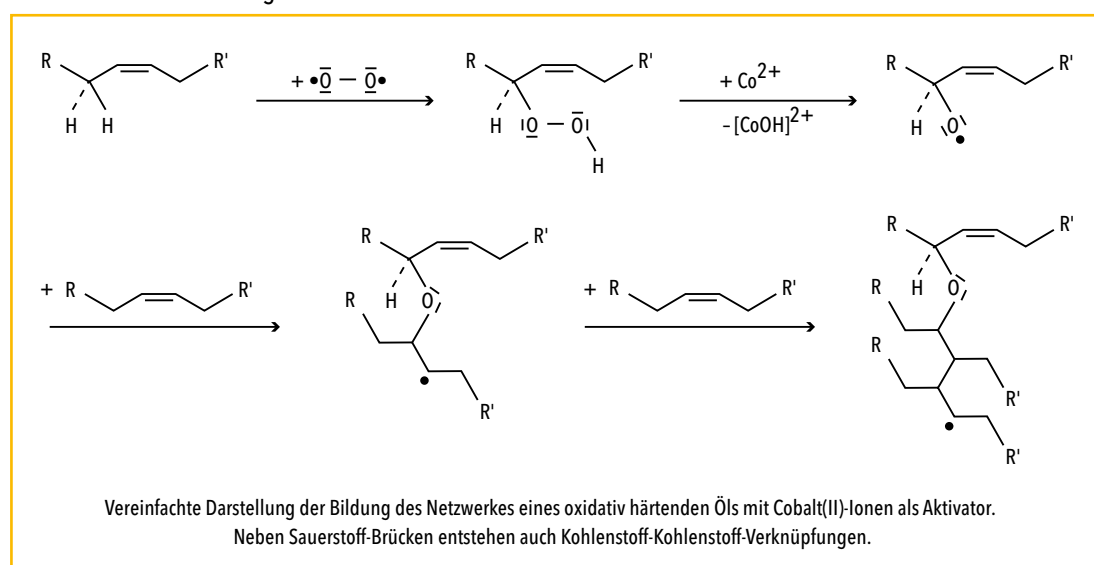
Da nur physikalische Vorgänge ablaufen, wird das Verhalten als physikalische Trocknung* bezeichnet. Durch Lösemittel kann der Lackfilm wieder gelöst werden.

Führt man den gleichen Versuch mit Leinöl durch, das 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 wird und nicht mehr klebrig ist (oxidative Selbsthärtung). Sie ist auch in Lösemitteln nicht mehr löslich. Diese Eigenschaft entsteht durch eine chemische Reaktion, die durch UV-Licht oder durch Zugabe von Kobalt-, Blei- oder Mangansalzen beschleunigt (katalysiert) 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 Peroxo-Radikale, die eine Vernetzung der Fettsäuremoleküle auslösen. Dadurch bildet sich ein polymeres Netzwerk mit hoher Molekülmasse. Man spricht von chemischer Trocknung oder chemischer Aushärtung.

ABBILDUNG 4

Oxidative Selbsthärtung trocknender Öle



Die beschriebenen Vorgänge können innerhalb eines Bindemittels ablaufen, wie beim Leinöl, oder es können verschiedene Bindemittel miteinander reagieren (Reaktion zwischen Bindemittel und Härter*).



INFO FÜR LEHRKRÄFTE

Die Herstellung einer Ölfarbe mit Leinöl ist in **Experiment 5** beschrieben. Der in Abbildung 4 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 3** (Oxidative Selbsthärtung trocknender Öle).

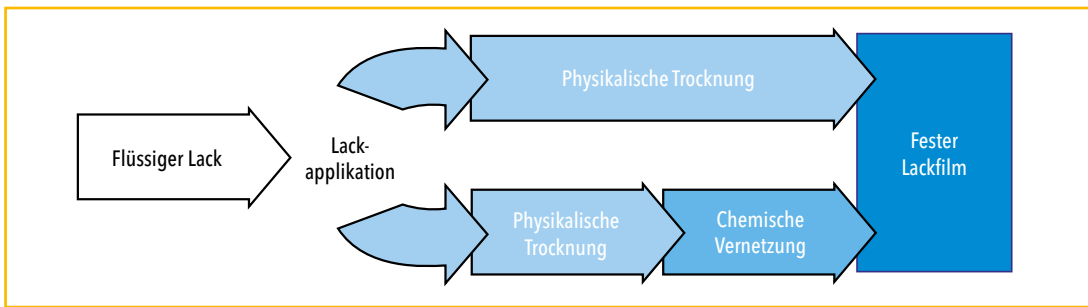
Ein typischer Lack, der physikalisch trocknet, ist Zaponlack. Dieser entsteht durch Lösen von Nitrocellulose zum Beispiel in Aceton (**Experiment 6**). Auch eine Aquarellfarbe ist physikalisch trocknend, wobei als Bindemittel das pflanzliche Harz „Gummi arabicum“ verwendet wird (**Experiment 7**).

Die beiden Grundprinzipien der Bildung eines Lackfilms werden oftmals gleichzeitig genutzt, insbesondere bei Lacken, die ohne Wärmeeinwirkung 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 synthetischen Polymeren (Kunstharzen) abgelöst, die auf der Basis der gleichen grundlegenden Reaktionen hergestellt werden wie die gängigen Kunststoffe.

ABBILDUNG 5

Schematische Darstellung der Lackfilmbildung



5.4 Verfahren zur Synthese von Polymeren und von Lackharzen

Polymere sind Makromoleküle, die aus kleineren Bausteinen, den Monomeren, aufgebaut werden. Sie bilden lange kettenförmige, verzweigte oder auch räumlich vernetzte Moleküle, die knäueförmig, faden- oder stäbchenförmig oder kristallin angeordnet sind. Polymere werden durch drei chemische Reaktionsprinzipien aufgebaut:

- Polymerisation
- Polykondensation
- Polyaddition

Synthese von Polymerisaten

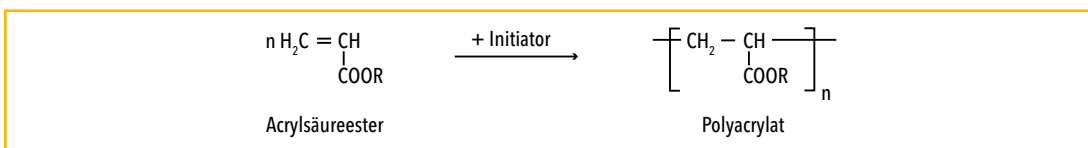
Zur Polymerisation eignen sich Alkene wie zum Beispiel Ethen, Acrylsäureester oder Styrol*. Durch Zufuhr von

Energie oder Reaktion mit sogenannten 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. 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 Acrylat-Bindemitteln sind besonders wetterbeständig. Sie werden zum Beispiel für Decklacke* von Kraftfahrzeugen verwendet. Aber auch für Dispersionsfarben für Wand- und Fassadenanstriche werden aus Acrylaten hergestellt.

ABBILDUNG 6

Schematische Darstellung der Polymerisation; Beispiel Polyacrylat



Synthese von Polykondensaten

Bei der Polykondensation werden einzelne Bausteine durch Abspaltung kleiner Moleküle, zum Beispiel von Wasser, zu Makromolekülen verknüpft. Dies wird hier am Beispiel der Polyester erläutert, wobei von einer Dicarbonsäure und einem Diol ausgegangen wird (Abbildung 8). So entsteht aus Terephthalsäure und Ethylenglycol durch Abspaltung von Wasser – also durch eine Veresterung – Polyethylenterephthalat (PET). 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 Phthalsäure unter

Zusatz einer ungesättigten Fettsäure wie Ölsäure durch (Abbildung 7). 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.

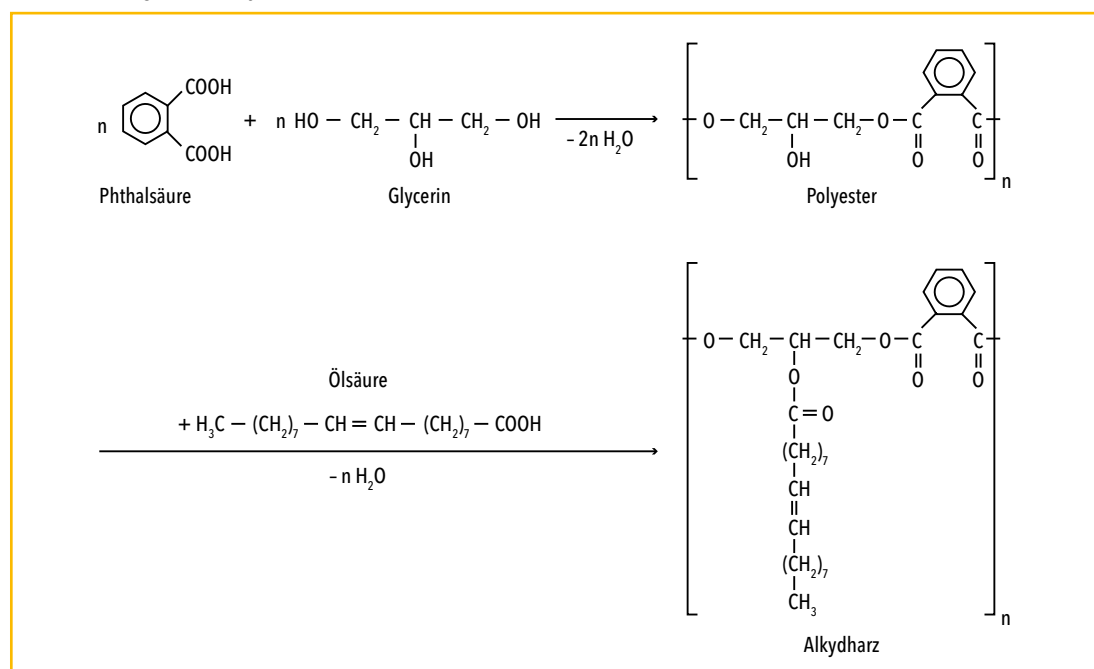
INFO FÜR LEHRKRÄFTE

Die in den Abbildungen 5 bis 10 dargestellten Reaktionen werden allgemein im Zusammenhang mit dem Unterrichtsthema Kunststoffe erarbeitet. Sie werden hier zur Wiederholung nochmals dargestellt.

Hierzu gehören ferner die **Arbeitsblätter 4-6**. Für den Unterricht in der Sekundarstufe 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.

ABBILDUNG 7

Darstellung eines Alkydharzes



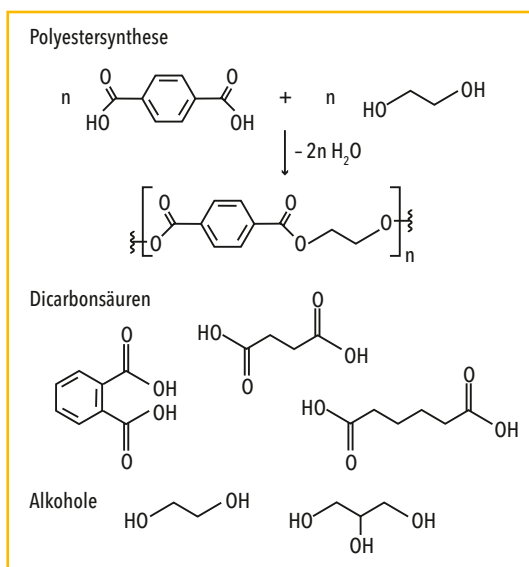
Synthese von Polyaddukten

Bei der Polyaddition werden die Polymerbausteine miteinander verknüpft, ohne dass dabei Wasser oder andere kleine Moleküle abgespalten werden. Auch hier müssen die Monomerbausteine 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 (Abbildung 9). Landläufig sind vor allem Schaumstoffe und Formteile wie Skistiefel aus Polyurethanen bekannt. Aber auch in der Lackchemie spielen Polyurethane eine große Rolle im Bereich der sogenannten 2-Komponenten-Lacke*: Die verwendeten Stammlacke* enthalten als Bindemittel Acrylatharze oder Polyester mit freien Hydroxylgruppen, als Härter werden mehrfunktionelle Isocyanate zugesetzt. Nach dem Mischen der Einzelkomponenten steht für die Verarbeitung nur eine begrenzte Zeit, die Topfzeit, zur Verfügung. Sie kann zwischen 30 Minuten und mehreren Stunden liegen. Polyurethan-Lacke sind hochwertig und werden zum Beispiel zum Lackieren von Kraftfahrzeugen, Schiffen, Flugzeugen, Möbeln und Stahlkonstruktionen verwendet.

ABBILDUNG 8

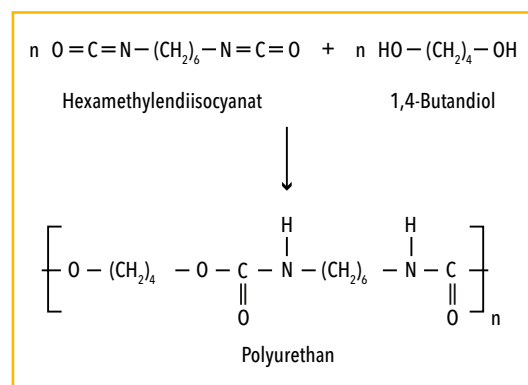
Synthese von Polyesternern und Beispiele für die eingesetzten Dicarbonsäuren und Alkohole



Eine weitere wichtige Gruppe von Polyaddukten sind Epoxidharze, die durch Reaktion mehrwertiger Epoxide mit Diaminen entstehen (Abbildung 10). Epoxidharze haben einerseits als Klebstoffe, etwa bei der Verklebung von

ABBILDUNG 9

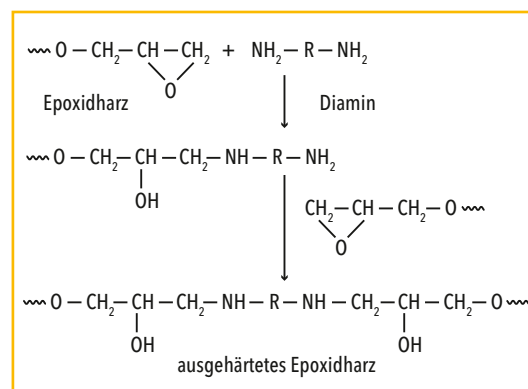
Schematische Darstellung der Polyaddition; Beispiel Polyurethan



Carbonfasern zu Fahrzeugteilen, eine hohe Bedeutung. Andererseits werden sie für Lacke mit hoher chemischer und mechanischer Beständigkeit eingesetzt. Wie auch bei den Polyurethanlacken werden Harz und Härter getrennt gelagert, erst vor Gebrauch gemischt und sofort verarbeitet.

ABBILDUNG 10

Schematische Darstellung der Polyaddition; Beispiel Epoxidharz



INFO FÜR LEHRKRÄFTE

Die Herstellung eines 2-Komponenten-Epoxidharzlacks ist in **Experiment 8** beschrieben.

5.5 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 Acrylharzen? 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 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 1.000 und 15.000, d. h. die Zahl der Monomerbausteine beträgt etwa 5 bis 100. Bei Kunststoffen beträgt die Molmasse weit mehr als 100.000, sie reicht bis hin zu einigen Millionen. Hier bilden meist mehr als 1.000 Bausteine 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 Molmasse 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, nicht mehr formstabil und verfließt. Bei niedrigen Temperaturen, ihren Nutzungstemperaturen, befinden sich Polymere in einem glasartigen oder teilkristallinen Zustand. Die Beweglichkeit der Polymerketten ist stark eingeschränkt, die Materialien sind hart und formstabil. Bei der sogenannten Glasübergangstemperatur* tritt der Übergang von einem in den anderen Zustand ein. Bei den Lackbindemitteln für lufttrocknende Lacke ist für die 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 jedoch 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 der beschriebenen Vernetzung der Makromoleküle, wodurch sich harte oder zähelastische Schichten ausbilden.

Die wichtigsten in der Praxis verwendeten Bindemittel und die dazugehörigen Strukturformeln sind in Tabelle 3 zusammengefasst.



☐ TABELLE 3

Bindemittel für Lacke und Anstrichstoffe

Bezeichnung	Aufbaureaktion	Monomere (funktionelle Gruppe)	Struktur (Polymer)
Acrylharz	Polymerisation	Acrylsäureester ($>C=C<$) Methacrylsäureester	$\left[\text{CH}_2 - \underset{\text{COOR}}{\text{CH}} \right]_n$ Polyacrylat
Alkydharz	Polykondensation	mehrwertige Säuren ($-COOH$) Polyole ($-OH$) Fettsäuren ($-COOH$)	s. Abb. 7
Phenolharz	Polykondensation	Formaldehyd ($>C=O$) Phenol ($-OH$)	$\left[\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH}) - \text{CH}_2 \right]_n$ Novolak
Polyesterharz	Polykondensation	mehrwertige Alkohole ($-OH$) mehrwertige Carbonsäuren ($-COOH$)	s. Abb. 8
Melaminharz	Polykondensation	Formaldehyd ($>C=O$) Melamin ($-NH_2$)	Melamin-Formaldehyd-Harz $\left[\begin{array}{c} \text{HO}-\text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2-\text{N} \\ \\ \text{N} \\ \\ \text{N} \\ \\ \text{CH}_2-\text{OH} \end{array} \right]_n$
Epoxidharz	Polyaddition	Epoxide ($\text{CH}_2-\text{CH}-\text{O}$) Di- und Triamine	Epoxidharz s. Abb. 9
Polyisocyanat	Polyaddition	Diisocyanate ($-N=C=O$) Polyole ($-OH$) Amine ($-NH_2$)	Polyurethan s. Abb. 26

5.6 Farbmittel und Pigmente

Die Farbigkeit aller Beschichtungsmittel, seien es Autolacke, Wandfarben oder Druckfarben, wird durch Farbmittel erreicht. Hierunter versteht man allgemein fargebende Substanzen. Vorwiegend sind dies Pigmente. Pigmentierte Beschichtungsmittel 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 Mikrometer.

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 gestreut und erzeugen so 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 4 gibt eine Übersicht über heute eingesetzte Produkte. Farbige Lacke enthalten im Allgemeinen mehrere Pigmente, damit der gewünschte Farbton erreicht wird.



Prozessfarben (Skalenfarben) für den Vierfarbendruck

Die originalgetreue Darstellung von Vorlagen, beispielsweise von Fotografien, ist mit nur vier Druckfarben möglich. Bei der sogenannten Separation werden Bildvorlagen in vier Farbtöne zerlegt und auf die vier Druckträger übertragen.

Der erforderliche Farbumfang im Druck wird durch die Farbtöne der Skalenfarben Gelb, Magenta (Rot), Cyan (Blau) und Schwarz (Key) erreicht. Durch Übereinanderdrucken der drei bunten Farben entsteht allerdings kein tiefes Schwarz. Dafür wird zusätzliches Schwarz benötigt, das auch den Kontrast verbessert.

Subtraktive Farbmischung

Die subtraktive Farbmischung macht sich die unterschiedliche Lichtabsorption der Pigmente zunutze: Ein Teil des auftreffenden Lichts wird vom Pigment absorbiert. Das reflektierte Licht bestimmt die Farbe der Oberfläche. Wenn mehrere Pigmente verwendet werden, bildet sich durch Überlagerung der Lichtwellen eine Mischfarbe.

Die Grundfarben der subtraktiven Farbmischung sind Gelb, Magenta und Cyan.

Schmuckfarben

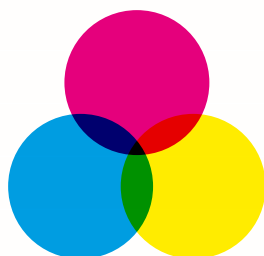
Zur Darstellung spezifischer Farbtöne in Firmenlogos und Werbematerialien werden spezielle Farbmischsysteme mit über 3.000 Farbtönen angeboten, die in Farbfächern zusammengestellt sind. Die Farbmittel sind fast ausschließlich organische Buntpigmente. Gold-, Silber- und Spezialeffekte werden durch Aluminium- und Messinglegierungen sowie Perlglanzpigmente erzielt. Nicht transparentes, deckendes Weiß enthält Titandioxid oder in Spezialfällen Zinksulfid.

Drucklacke

Bei bestimmten Druckerzeugnissen ist es erforderlich, zusätzlich zu den farbgebenden Druckfarben sogenannte Drucklacke einzusetzen. Mit ihnen soll zum Beispiel der Glanz, die Scheuerfestigkeit, oder die Glätte verbessert werden. Spezialeffekte sind Matt- oder Perlmutter-Effekte oder Düfte. Drucklacke sind vergleichbar rezeptiert wie Druckfarben und entsprechen auch deren Trocknungsmechanismen. Sie werden fast immer in einem zusätzlichen Druckvorgang nach dem letzten farbgebenden Druck aufgetragen.

TABELLE 4

Grundfarben der subtraktiven Farbmischung und Entstehung von Mischfarben



Mischung von	ergibt
Gelb und Magenta	Rot
Cyan und Gelb	Grün
Cyan und Magenta	Blau
Gelb, Cyan und Magenta	Schwarz

HINWEIS

Farbe und Farbmessung

Farbtöne kann man mathematisch beschreiben, man kann sie aber auch messen. Voraussetzung für die messtechnische Beschreibung von Farbtönen sind farbmtrisch definierte Standards. Dazu sind verschiedene Farbsysteme entwickelt worden, mit denen sich der Farbton, die Helligkeit und die Sättigung bestimmen lassen. PC-gesteuerte Analyseverfahren messen zum Beispiel die Reflektion der Wellenlängen und liefern mit hoher Genauigkeit absolute Farbdaten.



TABELLE 5

Beispiele für anorganische und organische Pigmente

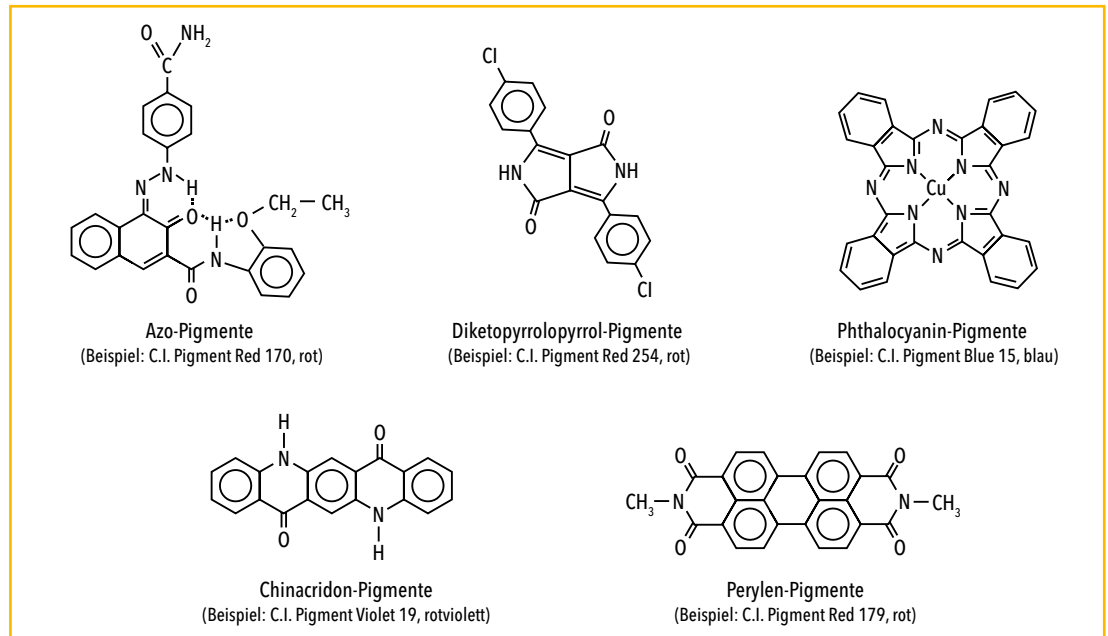
Bezeichnung	Farbton	Chemische Zusammensetzung
<i>Anorganische Pigmente</i>		
Titandioxid	Weiß	TiO ₂
Eisenoxide	Gelb, Rot, Schwarz	FeO(OH); Fe ₂ O ₃ ; Fe ₃ O ₄
Chrom(III)oxid	Grün	Cr ₂ O ₃
Ruß	Schwarz	C
<i>Organische Pigmente</i>		
Phthalocyanin-Pigmente	Phthalocyanin-Pigmente	Kupferphthalocyanine
Azopigmente	Azopigmente	Verbindungen mit R-N=N-R-Struktur
Perylen-Pigmente	Perylen-Pigmente	Derivate der Perylentetracarbonsäure
Chinacridon-Pigmente	Chinacridon-Pigmente	Derivate des Chinacridons
Diketopyrrolopyrrol-Pigmente	Diketopyrrolopyrrol-Pigmente	Derivate des Ketopyrrolopyrrols

Auf die Verwendung von Blei- und Chromat-Pigmenten wird heute aus Arbeits- und Umweltschutzgründen weitgehend, auf die von Cadmium-Pigmenten vollständig verzichtet. Für alle entsprechenden Farbtöne gibt es für Gesundheit und Umwelt unbedenkliche Alternativen.

INFO FÜR LEHRKRÄFTE

Ein einfaches Experiment ist die Herstellung eines Buntlackes aus Klarlack (**Experiment 10**). Die physikalischen Grundlagen der Lichtabsorption durch Pigmente werden in **Arbeitsblatt 7** behandelt.

Strukturen wichtiger organischer Farbpigmente



Eine besondere Gruppe von Farbmitteln, die inzwischen starke Bedeutung gewonnen hat, ist die der Effektpigmente*. Diese enthalten keine spezifischen Chromophore (chemische Strukturen, die die Farbigeit der Pigmente bewirken). Ihre Farbwirkung beruht auf physikalischen Effekten wie Reflektion und Interferenz. Beispielsweise werden in den bekannten Metallicfarbtönen für Kraftfahrzeuge seit Langem sehr dünne, kleine Aluminiumplättchen, sogenannte Aluminiumflakes, eingesetzt. Diese wirken in der Lackschicht wie kleine Spiegel, die das einfallende Licht reflektieren. Da sie in der Lackschicht zufällig verteilt sind, entstehen durch jede Änderung des Blickwinkels oder des Einfallswinkels des Lichts unterschiedliche Farbeindrücke (Flopeffekt).

Vielfarbeneffekte sind aus der Natur von Perlen, Vogelfedern oder Schmetterlingsflügeln bekannt. Die Effekte beruhen auf einer Wechselwirkung von Reflektion und Interferenz an aufeinander folgenden dünnen Schichten der Pigmentteilchen mit unterschiedlicher Brechzahl, wie es auch von der Innenseite von Muschelschalen bekannt ist. Interferenz- oder Perlglanzpigmente bestehen zum Beispiel 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.



5.7 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 Kapitel 5.8. behandelt.) Die Lösemittel müssen so gewählt werden, dass sie nicht mit anderen Inhaltsstoffen des Lackes reagieren.

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.

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, müssen die Lösemittel einerseits während einer kurzen Zeit restlos entweichen. Andererseits darf die Verdampfung nicht so schnell erfolgen, dass dabei Oberflächenstörungen,

wie zum Beispiel Blasen, entstehen. Es werden deshalb Gemische aus Lösemitteln mit unterschiedlichem Verdunstungsverhalten verwendet.

- Bei Offsetdruckfarben spielt das „Wegschlagen“ auf saugfähigen Bedruckstoffen eine wichtige Rolle. Sehr niedrigviskose Bestandteile der Bindemittel penetrieren innerhalb weniger Sekunden in die Kapillarstruktur der Oberfläche und beschleunigen dadurch die Klebfreiheit des Druckes.

Schon aus dem Blickwinkel des Rohstoffeinsatzes ist es zweckmäßig, den Lösemittelgehalt so gering wie möglich zu halten. Auch aus Gründen des Umwelt-, des Gesundheits- und des Arbeitsschutzes wurden und werden erhebliche Anstrengungen unternommen, um den Einsatz von Lösemitteln zu verringern:

- Durch die Entwicklung niedrigviskoser Bindemittel ist es möglich geworden, die benötigten Lösemittelmengen deutlich zu verringern. Lacke mit solchen Bindemitteln nennt man feststoffreiche Lacke oder High-Solid-Lacke.
- Bei der industriellen Verarbeitung werden die Lösemittel aus der Abluft zurückgewonnen. Sie können erneut eingesetzt oder als Brennstoff zur Wärmegegewinnung verwendet werden.
- Bei der Entwicklung neuer Lacke werden zunehmend Lösemittel verwendet, deren Gesundheitschädlichkeit möglichst gering ist (vgl. Wasserlacke).
- Ein besonderer Trick ist der Einsatz von sogenannten reaktiven Verdünnern. Darunter versteht man hochsiedende lösemittelartige Stoffe, die reaktive Gruppen enthalten und bei der Trocknung mit in den Lackfilm eingebaut werden.



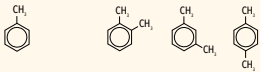
Die genannten Anstrengungen waren in der Vergangenheit durchaus erfolgreich, wie das folgende Beispiel zeigt: Für die Lackierung eines Pkw wurden 1980 noch etwa 15 Kilogramm Lösemittel benötigt. Heute sind es weniger als 3 Kilogramm. (Siehe auch Kapitel 7.1, Autolackierung).

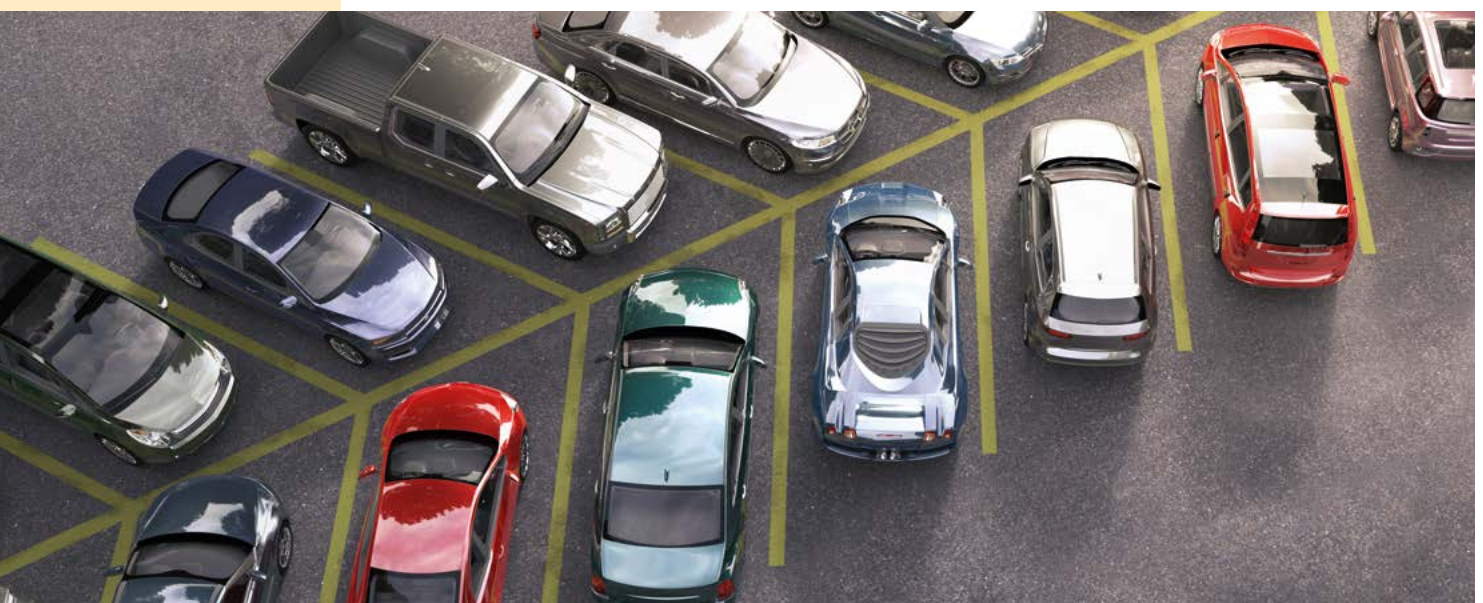
INFO FÜR LEHRKRÄFTE

Die Gefahren, die durch den unsachgemäßen Umgang mit Lösemitteln entstehen können, sollten im Unterricht thematisiert werden (**Arbeitsblatt 8**). In diesem Zusammenhang kann auf Aspekte der Gesetzgebung Arbeitssicherheit im gewerblichen und im privaten Bereich eingegangen werden.

TABELLE 6

Lacklösemittel

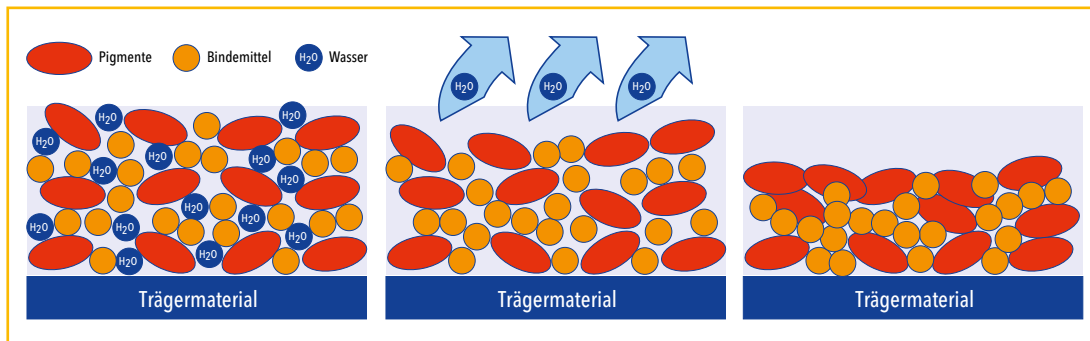
Chemische Struktur	Typische Lösemittel	Strukturformel	Siedebereich
Aliphatische Kohlenwasserstoffe	Benzine		60–200 °C
Aromatische Kohlenwasserstoffe	Toluol, Xylole		110–200 °C
Ester	Ethylacetat, Butylacetat	$\text{CH}_3 - \overset{\text{O}}{\parallel} \text{C} - \text{O} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$ $\text{CH}_3 - \overset{\text{O}}{\parallel} \text{C} - \text{O} - (\text{CH}_2)_3 - \text{CH}_3$	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



5.8 Wasserlacke und Dispersionsfarben

ABBILDUNG 12

Schematische Darstellung der Polyaddition – Beispiel Epoxidharz



Will man den Verbrauch an organischen Lösemitteln verringern, so kann man diese durch Wasser 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 sich ausbildende Film bliebe wasserlöslich. Ein Beispiel hierfür sind Wasserfarben, bei denen als Bindemittel Gummi arabicum verwendet wird. Diese Farben sind bekanntlich mit Wasser wieder von einer Oberfläche zu entfernen.

Um die Vorteile der oben behandelten Bindemittel und von Wasser als Verdünnungsmittel trotzdem nutzen zu können, bedient man sich eines Tricks. Die Bindemittel werden in Wasser in feinen Tröpfchen oder Teilchen mit einer Größe von 100 bis 10 Mikrometer verteilt, und die entstandene Emulsion oder Dispersion wird durch den Zusatz von Tensiden (Emulgatoren) oder durch elektrostatische Abstoßungskräfte stabilisiert.

Zur Herstellung von Bindemitteldispersionen kann man Gemische wasserunlöslicher Monomere sowie Initiatoren durch starkes Rühren in Wasser fein verteilen. Durch den Zusatz geeigneter Tenside (Emulgatoren) entsteht eine stabile Emulsion. Die auf diese Weise zu feinsten Tröpfchen verteilten Monomeren polymerisieren (Emulsionspolymerisation), dabei entstehen mikroskopisch kleine Polymerpartikel.

HINWEIS

Aus Sicht der Chemie sind Wasserlacke und Dispersionsfarben eng verwandt und basieren auf vergleichbaren Bindemittelsystemen, beispielsweise auf Acrylaten. Wo liegen aber die Unterschiede?

Unter einem Lack versteht man landläufig einen Beschichtungstoff, der zu einer glänzenden bis matten Schicht auf trocknet, die farblos (Klarlack) oder durch Pigmentzusatz farbig (Buntlack) sein kann. Sie sind in der Regel wasserbeständig und haben eine geschlossene harte Oberfläche.

Typische Dispersionsfarben für den Innen- und Außenanstrich enthalten geringere Anteile an Bindemitteln, sind also gegenüber mechanischer Beanspruchung weitaus weniger widerstandsfähig als ein Lack. Dagegen enthalten sie weitaus höhere Anteile an Farbpigmenten, sind atmungsaktiv und trocknen matt bis seidenmatt auf. Der überwiegende Teil der enthaltenen Pigmente sind Weißpigmente wie Titandioxid, durch den Zusatz von Abtönfarben werden die gewünschten Farbtöne eingestellt.

Ein anderer Weg besteht darin, zunächst Polykondensations- und Polyadditionsharze in einem organischen Lösemittel herzustellen. 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.

Beim Verdunsten des Wassers aus den nach einem der Verfahren hergestellten wasserverdünnbaren Bindemitteldispersionen 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 und gegebenenfalls durch chemische Reaktionen noch aushärtet. Allerdings geht dieser Prozess wegen der hohen Verdampfungsenergie von Wasser relativ langsam vonstatten.

INFO FÜR LEHRKRÄFTE

Mit einem einfachen Modellversuch ist dieses Verhalten sichtbar zu machen: Wird ein Tropfen einer Sonnenschutzmilch (ebenfalls eine Emulsion) 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.

Bei der Erarbeitung des Themas Wasserlack ist der Einsatz des **Arbeitsblattes 9** hilfreich.

Die Menge an wasserverdünnbaren Lacken, die industriell oder handwerklich verarbeitet werden, nimmt seit Jahren ständig zu.



5.9 Pulverlacke und strahlenhärtende Lacke

Eine sehr umweltverträgliche Lackart, bei der die Verwendung von Lösemitteln vollständig vermieden wird, sind die Pulverlacke. Bei den Pulverlacken werden feste thermoplastische Bindemittel und Härter mit Pigmenten und Additiven gemischt, dispergiert 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.

Allgemein gelangt bei der Verarbeitung von Lacken im Spritzverfahren nur ein Teil des versprühten flüssigen oder pulverförmigen Lackes auf das Lackiergut, der Rest ist sogenanntes Overspray. Bei der Pulverlackierung kann dieser – da es sich ja um ein festes Pulver handelt – gesammelt und in den Lackierprozess zurückgeführt werden.

Wegen ihrer Umweltverträglichkeit werden Pulverlacke zunehmend in der Industrielackierung verwendet, insbesondere für Metalloberflächen. Nachteilig ist, dass sie nur bei Temperaturen über 120 °C aushärten. Damit sind sie für Untergründe wie Holz oder Kunststoff noch nicht geeignet. Es wird aber daran gearbeitet, Pulverlacke mit niedrigeren Härtungstemperaturen zu entwickeln.



Strahlenhärtende Lacke und Drucklacke härten – wie der Name bereits nahelegt – bei Bestrahlung mit elektromagnetische Strahlen, zum Beispiel UV-Licht.

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 solche Lacke keine Lösemittel enthalten. In Kapitel 7.7 wird der Einsatz Strahlenhärtender Lacke in der Möbelindustrie dargestellt.

5.10 Additive

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

Wichtige Additive sind:

- ⬢ Trockenstoffe (Sikkative) fördern die Aushärtung des Lackfilms. Eingesetzt werden wasserunlösliche Metallsalze organischer Säuren, welche die oxidative Trocknung von ölhaltigen Bindemitteln katalysieren, also beschleunigen. Initiatoren unterstützen die Filmvernetzung durch Polymerisation.
- ⬢ Katalysatoren aktivieren auch Polykondensations- oder Polyadditionsreaktionen. Antioxidantien verhindern die Hautbildung luftsauerstoffhärtender Lacke durch vorzeitige Antrocknung und Trocknung der flüssigen Lacke.
- ⬢ Lichtschutzmittel (UV-Absorber) verhindern die schnelle Zerstörung von Lackoberflächen durch UV-Strahlung.
- ⬢ Konservierungsmittel verhindern, dass flüssige wasserbasierte Farben, Lacke und Druckfarben von Bakterien, Pilzen und Algen befallen werden.
- ⬢ Bei der Einarbeitung von Farbmitteln in Bindemittel werden oberflächenaktive Substanzen zugegeben, um die Pigmentoberflächen zu benetzen. Verlaufsmittel unterstützen die Bildung von glatten, glänzenden Oberflächen.

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.

6.1 Herstellung von Beschichtungsstoffen – die gute Mischung macht es

Allgemein ist die Herstellung von Beschichtungsstoffen, sei es ein Buntlack, eine Dispersionsfarbe, ein Drucklack oder eine Druckfarbe, ein mechanischer Prozess. Die einzelnen Komponenten einer Rezeptur – Bindemittel, Pigmente, Lösemittel und Additive – werden homogen miteinander vermischt und dispergiert. Dabei laufen keine chemischen Reaktionen ab.

Die erste Stufe ist das Ansetzen. Die Pigmente einer Rezeptur und Teile der Bindemittel, Lösemittel und Additive werden zusammengegeben und wie bei einem Kuchenteig intensiv zu einer homogenen zähen Masse vermischt. Da die Pigmente allerdings oftmals aus sehr kleinen Kristallen bestehen, die sich zu Aggregaten zusammenballen, wird für hochwertige Lacke mit der Dispergierung eine weitere Prozessstufe angeschlossen, um eine sehr gute Verteilung im Bindemittel zu erreichen.

INFO FÜR LEHRKRÄFTE

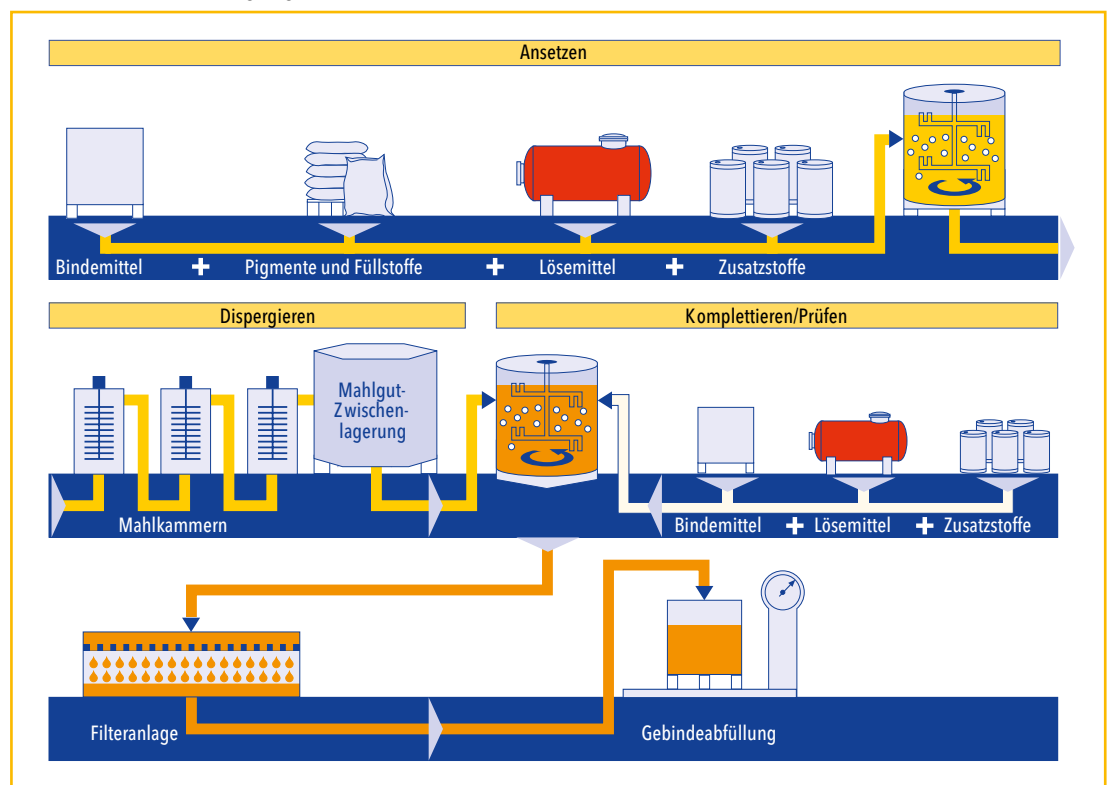
Die im Folgenden beschriebene Lackherstellung kann in ihren einzelnen Stufen mit dem **Arbeitsblatt 10** erarbeitet werden.

Nur so wird die Farbwirkung voll ausgenutzt und die Schutzwirkung der Pigmente gegen Witterungseinflüsse ist sichergestellt.

Die Dispergierung geschieht heute in sogenannten Rührwerkskugelmöhlen. Das sind geschlossene rohrförmige Behälter, in denen eine mit Scheiben ausgerüstete Rührwelle rotiert. Der Behälter ist zu etwa 60 Prozent mit feinen Perlen von 0,1 bis 3 Millimeter Durchmesser aus sehr hartem Material, wie Keramik, gefüllt. Der vorgemischte Lack 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 weitgehend zerteilt

ABBILDUNG 13

Schema des Lackfertigungsablaufs



und mit Bindemittel und Netzadditiven umhüllt. Abgeschlossen ist die Dispergierung, wenn alle Pigmentteilchen mit Bindemittel umhüllt sind.

HINWEIS

Besonders wichtig ist die gleichmäßige Verteilung von Farbpigmenten im Bindemittel bei der Herstellung von Druckfarben. Nur durch feinste gleichmäßige Verteilung wird ein ansprechendes und fehlerfreies Druckbild erreicht.

Pigmente haben den größten Anteil an den Materialkosten einer Druckfarbe.

Es folgt die Zugabe der restlichen Komponenten des Lackes, und durch Lösemittel- oder Wasserzugabe wird die Viskosität eingestellt. Das Material wird geprüft, um festzustellen, ob die vorgegebenen Spezifikationen erfüllt sind. Teilweise sind Korrekturzusätze erforderlich. Bei Decklacken muss weiterhin der Farbton der Rezeptur durch Zugabe kleiner Mengen von Tönpasten und Vergleich mit einer Farbtonvorlage eingestellt werden. Dieses Nuancieren bedeutet einen hohen Aufwand.

Die beschriebene Art der Lackfertigung nennt man „Grundaufbereitung“, weil alle 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 mit einem definierten Farbton. Aus einer Mischlackpalette von 15 bis über 50 Basisfarben kann dann bei Bedarf ein bestimmter Farbton gemischt werden. Das Konzept erlaubt es, die gewünschten Farbtöne viel schneller zu liefern als bei einer Grundaufbereitung, weil die einzelnen Mischlacke auf Vorrat gehalten werden.



INFO FÜR LEHRKRÄFTE

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

Für Autoreparaturlacke, Malerlacke, Holzlacke und Dispersionsfarben sind solche Mischlackssysteme 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.

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. 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 in vielen Fällen automatisch und wird durch Rechner gesteuert.

ABBILDUNG 14

Lackfertigung früher und heute



6.2 Verarbeitung von Lacken, Farben und Druckfarben

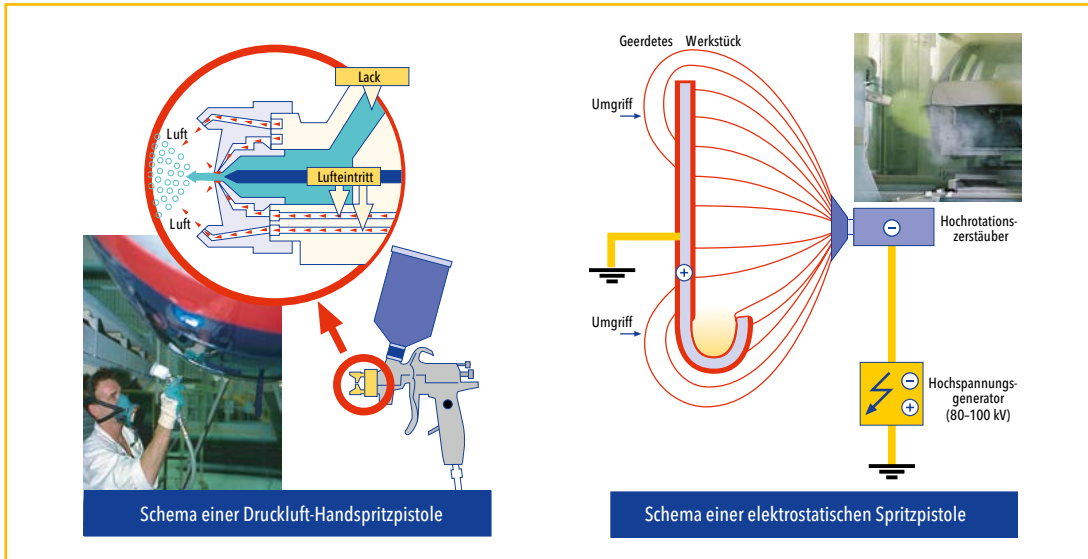
Vorbereitung des Untergrundes

Zwischen Werkstoffoberfläche und einer Beschichtung sollte eine möglichst gute und dauerhafte Haftung erreicht werden. Dabei spielen einerseits Art und Sauberkeit des Untergrundes eine große Rolle, andererseits die Auswahl des dazu passenden Beschichtungssystems. Die Haftung beruht auf physikalischen und chemischen Wechselwirkungen und kann durch mechanische und chemische Vorbehandlungsverfahren optimiert werden.

INFO FÜR LEHRKRÄFTE

Die wichtigsten Methoden der Lackverarbeitung sind mit Beispielen auf **Arbeitsblatt 11** zusammengestellt. Die Thematik ist besonders im berufskundlichen Unterricht von Interesse, im Chemieunterricht kann sie verkürzt behandelt werden.

Schematische Darstellung des Lackauftrags durch Sprühen (pneumatisch und elektrostatisch)



Altbekannt: das Malen oder Anstreichen

Das älteste und bekannteste Verfahren, um Produkte wie Lacke und Farben zu verarbeiten, ist das Streichen mit Pinsel oder Bürste. Das Material 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.

Schnell und effektiv: Farbauftrag durch Spritzen

Für die industrielle Lackierung sind Verfahren entwickelt worden, mit denen die Lackverarbeitung schnell und teilweise automatisiert durchgeführt werden kann. Das bedeutendste Verfahren ist das Spritzen. 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 (Abbildung 15). Mit dem Verfahren sind sehr gleichmäßige, glatte Lackschichten zu erreichen. Lacke können manuell mit sogenannten Spritzpistolen aufgetragen werden, zum Beispiel 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 Autolackierung, Kapitel 7.1).

Ein Nachteil der konventionellen Spritzlackierung: Es gelangt nur ein Teil des versprühten Lackes auf die Oberfläche des Lackiergutes. Je nach Form des Objektes werden bis zu 50 Prozent als Overspray vorbeigesprüht und fallen als Abfall an. Das ist im Sinne des Umweltschutzes, aber auch im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit nachteilig.

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. Mehr als 80 Prozent des eingesetzten Lackes gelangen so auf die Oberfläche und bilden die Lack-

schicht aus. Ein weiterer Vorteil dieses Verfahrens ist der sogenannte 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 Objektoberfläche.

INFO FÜR LEHRKRÄFTE

Schülerinnen und Schülern ist das Spritzen von Lacken aus Sprühdosen meist geläufig, wobei der Missbrauch (Graffiti) und der daraus entstehende wirtschaftliche Schaden durchaus thematisiert werden sollte.

Vielfach ist aber auch die Airbrush-Technik bekannt. Einfache Airbrush-Sets zur Demonstration des Verfahrens können sehr preiswert erworben werden.

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

- Lackierer müssen beim manuellen Spritzen Masken tragen, die vor dem Einatmen der versprühten feinen Lacktröpfchen (Aerosole*) bzw. der enthaltenen Lösemittel schützen.
- Die Spritzlackierung muss in Kabinen mit ausreichender Belüftung erfolgen.
- Freigesetzte Lösemitteldämpfe müssen aus der Umluft der Spritzkabinen 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 zum Beispiel durch einen ständig fließenden Wasservorhang hinter den zu lackierenden Teilen oder durch Auswaschen der Umluft. Aus dem umlaufenden Wasser wird der Lackabfall entfernt und entsorgt.



Für Großserien und große Flächen: Tauchen und Walzen

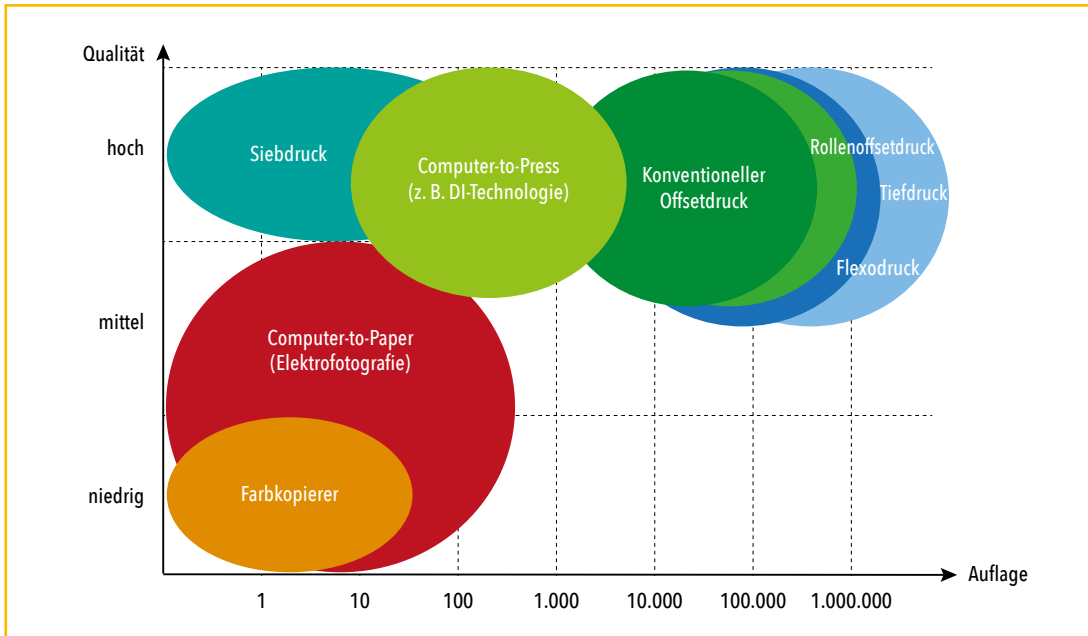
Neben dem Spritzen ist das Tauchen ein wichtiges Lackierverfahren. Die zu lackierenden Gegenstände werden dabei in ein Lackbad getaucht. Nach dem Austauchen und dem Abtropfen wird die verbleibende Lackschicht in Öfen getrocknet. Bei diesem Verfahren entsteht kein Lackabfall, und bei der Verwendung von Wassertauchlacken auch nur eine geringe Lösemittelemission. 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. Ein moderner Tauchlackierprozess, die Elektrotauchlackierung, vermeidet diesen Nachteil. Das Verfahren wird im Kapitel 7.1, Autolackierung, genauer beschrieben.

Auf großflächige ebene Werkstücke kann Lack durch das Walzen aufgetragen werden. Das Lackiergut, zum Beispiel 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.

Spezialanwendung Druck: Wie wählt man das richtige Verfahren?

Die industrielle Druckproduktion ist nur dann wirtschaftlich, wenn bezüglich Druckqualität, Bedruckstoff, Auflagenhöhe und spezifischer Anforderungen an das Endprodukt das optimale Druckverfahren ausgewählt wird.

Auswahl verschiedener Druckverfahren nach Qualität und Auflagenhöhe



Eine kurze Übersicht über Druckverfahren

Noch zu Gutenbergs Zeiten um 1440 wurde in Deutschland der **Kupferstich** erfunden. Bilder wurden durch Einritzen (Stechen) von Linien und Schraffuren in Kupferblech in eine Druckvorlage übertragen. In den Vertiefungen der Gravur verblieb die aufgetragene Druckfarbe nach dem Abwischen des Kupferblechs. Mit hohem Druck aufgepresstes Papier übernahm die Farbe aus den Linien und Schraffuren. Ein Kupferstichkünstler der Frühzeit war Albrecht Dürer. Da sich die Druckfarbe aus tief liegenden Linien auf das Papier überträgt, resultiert hieraus der Oberbegriff **Tiefdruckverfahren**.

Ein Meilenstein in der Entwicklung der Buchdruckerkunst war die Erfindung der Buchdruck-Schnellpresse durch Friedrich Koenig im Jahr 1810. Damit konnten stündlich 800 Drucke fertiggestellt werden. Eine weitere Steigerung konnte durch zylindrische Druckformen und Andruckwalzen erzielt werden, Grundlage für den Rotationsdruck. Der Druck auf Papierrollen statt auf einzelne Bogen war der krönende Abschluss dieser Entwicklung. 1798 erfand Alois Senefelder in München die Lithografie (lat. lithos = Stein). Im Gegensatz zum Hochdruck (die druckenden Teile sind erhaben, wie etwa beim

Buchdruck) liegen sowohl farbübertragende als auch bildfreie, nicht druckende Segmente der Druckform in einer Ebene, was später zu der Verfahrensbezeichnung **Flachdruck** führte. Dieser Effekt beruht auf den unterschiedlichen Benetzungseigenschaften der druckenden und nicht druckenden Partien der Platte.

Nach diesem Prinzip arbeitet das heute mit einem Produktionsanteil von über 40 Prozent dominierende Flachdruckverfahren, der **Offsetdruck**. Bereits 1907 konnten maschinell Drucke im Offsetverfahren hergestellt werden.



1907 wurde das erste deutsche Patent zum Anilindruckverfahren angemeldet. Dies kann als Meilenstein in der Entwicklung des **Flexodrucks** angesehen werden. Der Flexodruck ist ein direktes Hochdruckverfahren, bei dem die druckenden Flächen, die mit Druckfarbe eingefärbt werden, höher als die nicht druckenden Flächen liegen.

Im Gegensatz zu den klassischen Verfahren des Drucks ist der **Siebdruck** noch jung. Erste Versuche werden auf die Jahre um 1870 datiert. Ein Textil- oder Metallgewebe wird über einen Rahmen gespannt. Bildfreie Stellen, die nicht mitdrucken sollen, werden mit Schablonen oder anderen Abdeckmitteln verschlossen. Die Druckfarbe wird über das feinmaschige Siebgewebe gezogen und an den nicht abgedeckten Stellen durch das Gewebe auf den darunterliegenden Bedruckstoff gedrückt. Der Siebdruck wird besonders wegen der Leuchtkraft seiner relativ dicken Farbschicht geschätzt. Es können die unterschiedlichsten Materialien bedruckt werden, sowohl flache Folien und Platten als auch geformte Objekte. Im Vergleich zu anderen Druckverfahren ist die Druckgeschwindigkeit relativ gering.



Digitaldruck bezeichnet eine Gruppe von Druckverfahren, bei denen das Druckbild direkt von einem Computer in eine Druckmaschine übertragen wird, ohne dass eine statische Druckform benutzt wird. Da es keine festen Druckträger gibt, kann jeder einzelne Druck individuell gestaltet werden, was der Druckindustrie gänzlich neue Geschäftsfelder erschlossen hat. Das Druckverfahren ist ausschlaggebend für die Auswahl der Druckfarben und Drucklacke.

◊ INFO FÜR LEHRKRÄFTE

Ein lohnendes Exkursionsziel ist der Besuch einer Druckerei. Sehr einfache Druckverfahren sind der Kartoffeldruck (**Experiment 12**) und der Siebdruck (**Experiment 13**). Beide Verfahren eignen sich auch für ein Projekt gemeinsam mit dem Fach Kunst.

6.3 Prüf- und Messverfahren: Wie gut ist ein Lack oder eine Farbe?

Wie alle Produkte, die in den Handel gebracht werden, müssen auch Lacke und Farben je nach Verwendungszweck bestimmte Anforderungen (Spezifikationen) erfüllen. Um dies zu gewährleisten, wurden im Laufe der Jahre spezielle Prüfverfahren entwickelt.

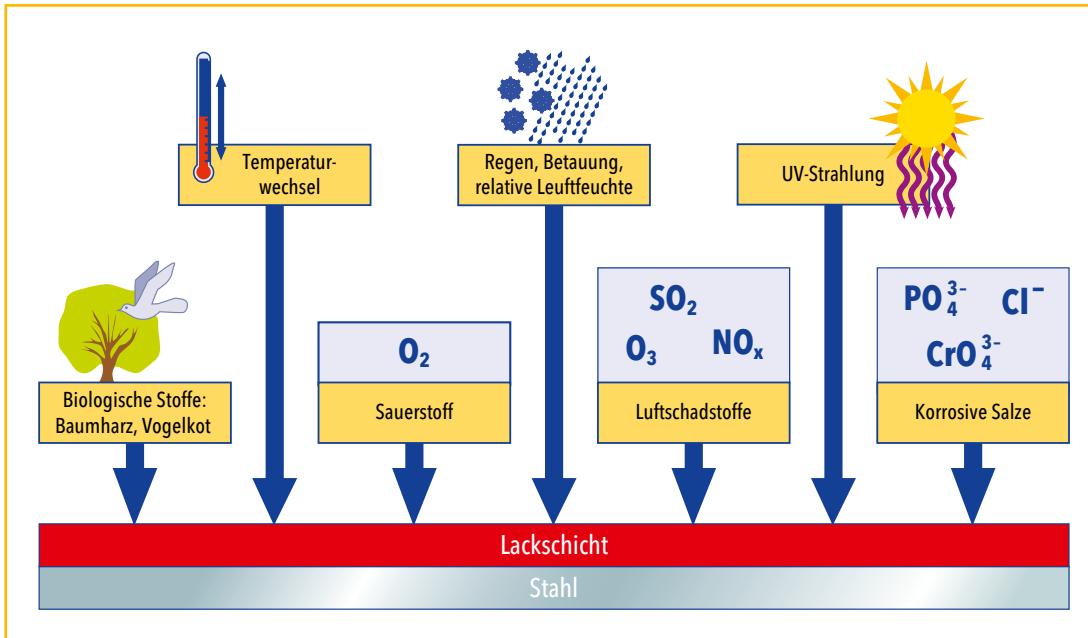
Prüfungen an der Lackschicht

Prüfungen, die etwas darüber aussagen, welche Qualität eine Lackschicht hat, werden an speziellen Prüftafeln aus Metall, Holz oder Kunststoff durchgeführt. Die Prüfmethoden müssen reproduzierbar sowie vor allem praxisrelevant sein.

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 zunehmend durch Messgeräte unterstützt. Das ist besonders wichtig bei Autolacken. Bei diesen werden Farbtongenauigkeit, hoher Glanz, Beständigkeit und eine möglichst glatte Oberfläche gefordert.

Faktoren, die auf eine Lackschicht bei Bewitterung einwirken



Bewitterungs- und Korrosionsschutzprüfung

Zur Beurteilung der Korrosionsbeständigkeit in der Praxis werden Beschichtungen und Überzüge einer korrosiven Umgebung ausgesetzt. Besonders intensiv werden Lacke untersucht, die durch Einwirkungen aus der Atmosphäre stark belastet werden (hohe Luftfeuchtigkeit, Temperaturschwankungen, Frost, Salz). Als Schäden können bei Qualitätsmängeln auftreten: Glanzverlust, Farbtonveränderungen, Anätzungen, Risse und Abplatzen vom Untergrund.

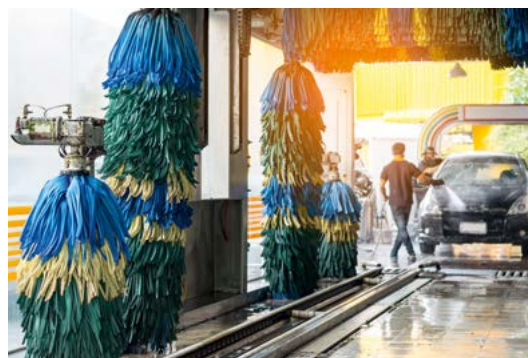
Von Korrosionsschutzlacken wird erwartet, dass sie mehr als 20 Jahre halten. Natürlich kann eine Prüfung nicht über solch lange Zeiten laufen. Deshalb prüft man die korrosionsschützende Wirkung von Lacken in Klimakammern, in denen sie bei hoher Luftfeuchtigkeit und höheren Temperaturen mit Salzlösungen besprüht werden.

Bei Fahrzeuglacken legt man die Prüfbleche zum Beispiel in Arizona und Florida zum Test aus. Hier ist die UV-Strahlung der Sonne so stark beziehungsweise das Klima so feuchtwarm, dass sich nach zwei Jahren Schäden an der Oberfläche zeigen, die in Europa erst nach fünf bis zehn Jahren auftreten.

Prüfverfahren für mechanische Beanspruchungen

Lackschichten sind im Gebrauch immer mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt, die durch Prüfmethoden simuliert werden.

Die Beständigkeit von Autolacken gegen das Verkratzen in Waschstraßen wird beispielsweise in Miniatur-Waschanlagen geprüft. Zur Verschärfung des Tests wird definierter feiner Sand (als Schmutzersatz) in das Waschwasser gegeben. Zur Prüfung der Steinschlagbeständigkeit wird in einer Apparatur Steinsplitt oder Stahlschrott mit hoher Geschwindigkeit gegen die Lackoberfläche geschleudert.



Die Bedeutung von Beschichtungsstoffen, die vielfältigen heutigen Möglichkeiten sowie die besonderen Anforderungen werden am besten anhand von Beispielen aus der Praxis deutlich. Die große Spannweite wird anhand der Serienlackierung von Kraftfahrzeugen, von Anstrichstoffen für Bauwerke, der Lackierung von Blechen für Waschmaschinen, von Straßenmarkierungen, der Bedruckung einer Verpackungsfolie für Müsliriegel, dem Bedrucken einer Getränkedose und der Lackierung von Möbelteilen gezeigt.

INFO FÜR LEHRKRÄFTE

Die Inhalte dieses Kapitels bauen auf den vorher erarbeiteten Grundlagen auf, stellen jedoch nicht nur eine Anwendung, sondern auch eine Erweiterung dar. Je nach Lerngruppe kann aus den Beispielen für den Unterricht eine Auswahl getroffen werden.

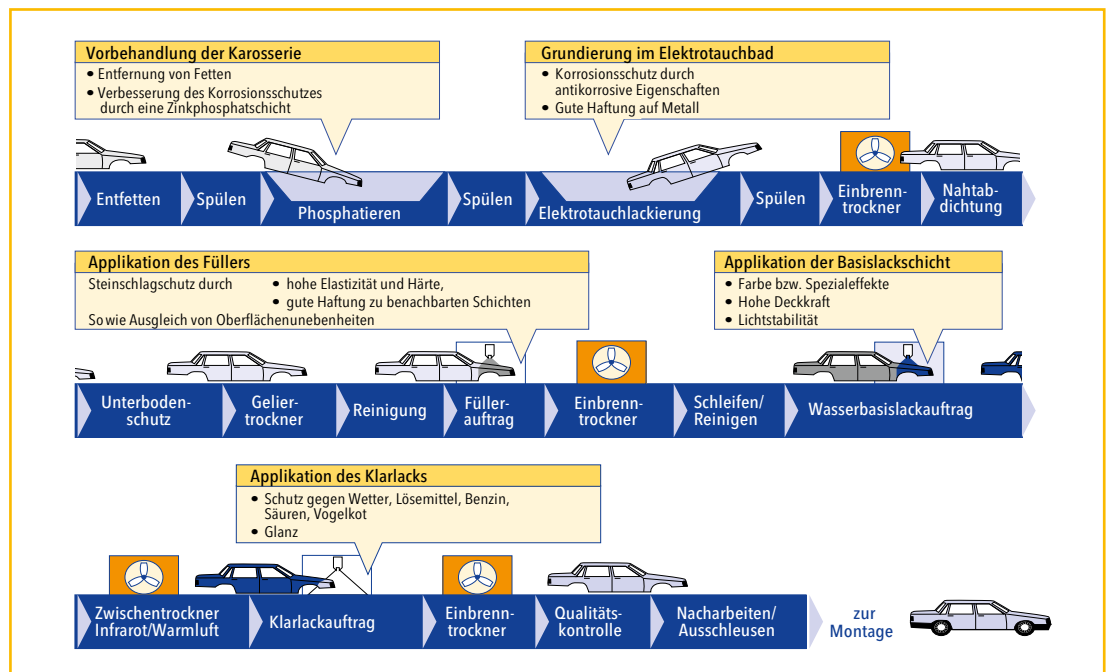
7.1 Schöner Lack auch nach Jahren – kein Problem durch moderne Autolackierung

Am Beispiel der Lackierung von Kraftfahrzeugen und speziell von Personenkraftwagen lässt sich gut zeigen, welche unterschiedlichen Anforderungen bei der Verarbeitung von Lacken und von den fertigen Beschichtungen selbst erfüllt werden müssen:

- ◊ Möglichst kurze Lackierprozesse unter anderem durch Automatisierung
- ◊ Hohe Ausnutzung der eingesetzten Lacke
- ◊ Möglichst geringe Umweltbelastung durch Lösemittlemissionen und durch Lackabfälle
- ◊ Hervorragender Langzeitschutz gegen Korrosion, gegen chemische Einflüsse wie zum Beispiel Vogelkot und sauren Regen, gegen Steinschlag und gegen Kratzbeanspruchungen in Waschanlagen etc.
- ◊ Attraktive Oberflächen durch Glanz, Brillanz, Farbtöne und besondere Effekte wie Metallic, Perlglanz und Farbflop (Interferenz)
- ◊ Gleichmäßigkeit über die gesamte Oberfläche und niedrige Fehlerquote im Lackierprozess

ABBILDUNG 18

Typische Stufen der Auto-Serienlackierung

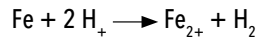


Die genannten hohen Anforderungen haben seit Jahren zu stetigen Weiterentwicklungen und Innovationen bei den eingesetzten Lacken und deren Applikationsprozessen geführt, die über die Automobilindustrie hinaus Bedeutung haben. Heute werden mindestens drei aufeinander abgestimmte, hochwertige Lacke nacheinander aufgetragen, die jeweils spezielle Anforderungen erfüllen.

Sowohl die Verbesserung der Qualität der Lackschichten als auch die Verringerung der Umweltbelastung bei gleichzeitigem geringerem Materialverbrauch durch Reduktion des Einsatzes von Lösemitteln sind heute und in Zukunft wichtige Entwicklungsziele. Die Fortschritte der letzten Jahrzehnte zeigt Abbildung 19.

Vorbehandlung

Bleche und Profile, aus denen Karosserieteile hergestellt werden, sind aus Gründen des Korrosionsschutzes eingefettet. Im ersten Schritt wird deshalb eine gründliche Entfettung und Reinigung durchgeführt. Es folgt als Grundlage für die Haftfestigkeit der Grundierung und für den Korrosionsschutz eine Zinkphosphatierung. Innerhalb von etwa zwei Minuten wird bei 50 °C bis 60 °C in einer phosphorsauren Zinksalzlösung eine etwa zwei µm dicke Schicht aus Phosphaten gebildet. In einem ersten Schritt entstehen durch Reaktion des Eisens mit Phosphorsäure Eisenionen:



Auf der Metalloberfläche scheidet sich sodann eine fest haftende Schicht ab, die sowohl aus Zink und Eisen enthaltenden Phosphaten als auch aus Zinkphosphat besteht:

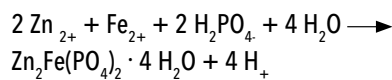
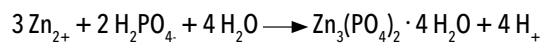
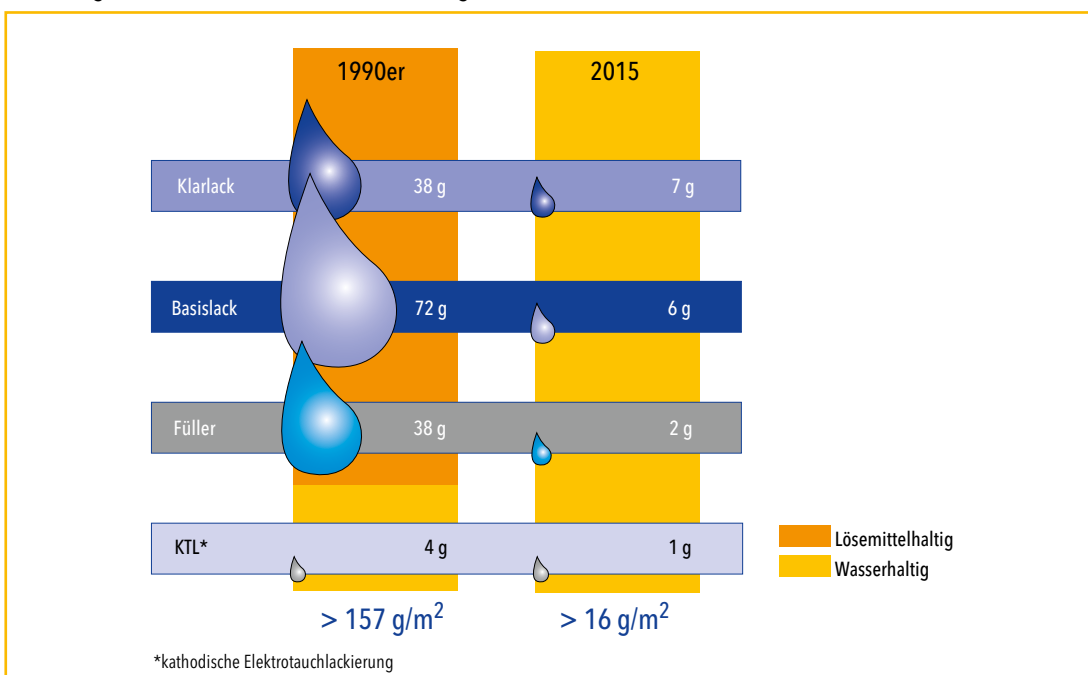
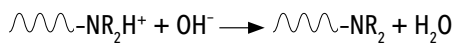


ABBILDUNG 19

Lösungsmittelnutzung bei der Autolackierung



Bei der Diffusion der geladenen Lackteilchen zur Kathode werden diese deprotoniert und koagulieren (Umkehrreaktion der Dispergierung, s.u.).



Da der entstehende Lackfilm nicht leitend ist, werden bei fortschreitender Beschichtungsdauer auch Bereiche der Karosserien wie zum Beispiel Hohlräume erreicht. Es entsteht eine relativ gleichmäßig dicke Beschichtung. Gleichzeitig nimmt die Stromdichte und damit die Stromstärke nach anfänglich sehr hohen Werten rasch ab.

In etwa zwei bis drei Minuten ist der Filmaufbau so gut wie abgeschlossen. Nach dem Ausfahren der Karosserien aus dem Tauchbad wird anhaftendes Lackmaterial abgespült. Durch anschließendes Einbrennen bei etwa 180 °C, das eine Vernetzung des Lackharzes bewirkt, erhält der Lackfilm seine endgültigen Eigenschaften.

Die meist als Durchlaufanlagen konzipierten Elektrotauchbäder können bis zu 70 Karosserien pro Stunde beschichten.

Nahtabdichtung und Unterbodenschutz

Vor dem Auftragen der nächsten Lackschicht müssen Fugen und Falzverbindungen abgedichtet sowie die für die Tauchprozesse zum Abfließen der Flüssigkeiten notwendigen Löcher verschlossen werden. Dazu und für den in der gleichen Kabine aufgetragenen Unterbodenschutz mit einer Schichtdicke bis zu einem Zentimeter werden PVC- sowie Polyurethanmaterialien verwendet. Mit Weichmachern und wenig Lösemittel versehene PVC-Massen werden auf etwa 130 °C erwärmt und dann überwiegend von Robotern appliziert. Beim Abkühlen werden die Materialien hochviskos, sodass dicke Schichten ohne Abfließen aufgetragen werden können.

Füllerauftrag

Füller haben die Hauptaufgabe, kleine Unebenheiten der Oberfläche auszugleichen. Sie enthalten anorganische Füllstoffe wie Kaolin, Kreide und Talkum* und verbessern den Korrosionsschutz. Durch ihre speziellen mechanisch-technologischen Eigenschaften, wie Elastizität und hohe Materialdichte, wirken sie Beschädigungen



durch Steinschlag entgegen. Das Einbrennen erfolgt zusammen mit den Dichtmaterialien bei etwa 160 °C.

Decklackierung

In Europa wird die Decklackierung mit einem überwiegend wässrigen Basislack* und einem 2-Komponenten-Klarlack ausgeführt. Dabei dient der Basislack der Farbgebung und der Klarlack dem Bewitterungsschutz.

INFO FÜR LEHRKRÄFTE

Der Aufbau einer Mehrschichtlackierung ist Inhalt von **Arbeitsblatt 14**, geeignet für den Unterricht in der Sekundarstufe I und für den berufskundlichen Unterricht. Hier findet sich auch eine interessante kriminalistische Frage, die sich auf diesen Themenbereich bezieht.

Der Basislack wird in zwei Schritten aufgetragen, im ersten elektrostatisch, im zweiten pneumatisch, um die spätere Reparierbarkeit des Lacks mit pneumatischen Spritzpistolen zu vereinfachen. Nachdem beide Basislacksschichten getrocknet sind, wird der lösemittelbasierte Klarlack vollständig automatisch appliziert. Die gemeinsame Härtung aller Schichten dauert etwa 30 Minuten bei 140 °C. Die Schichtdicken der Basislacke liegen je nach Farbton und dessen Deckkraft zwischen 8 und 30 Mikrometer, die Schichtdicke des Klarlacks bei 40 Mikrometer.

INFO FÜR LEHRKRÄFTE

Zum Verständnis der Inhalte ist ein Grundwissen der Schülerinnen und Schüler über Korrosion und über einfache elektrochemische Vorgänge hilfreich.

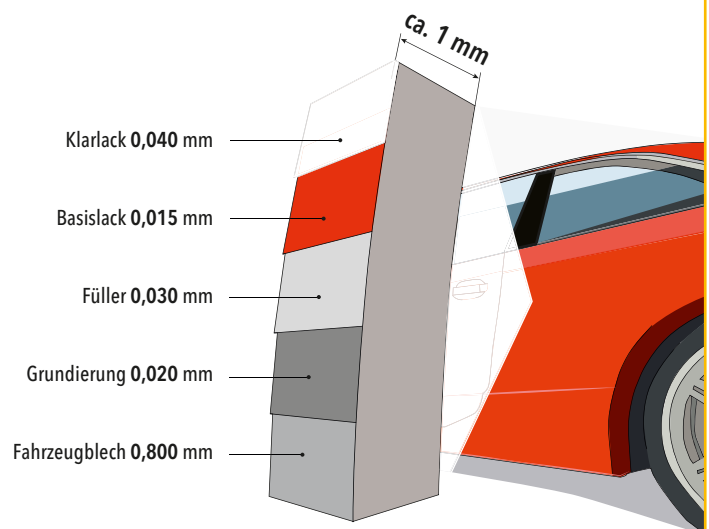
In den 1950er und 1960er Jahren war die Automobil-lackierung in erster Linie Handarbeit. Heute kommen sogenannte Portalmaschinen und Lackierroboter zum Einsatz. Außerdem konnten in den letzten Jahren die Lackierverfahren so verbessert werden, dass weniger

Lack bei verbesserter Oberflächenqualität benötigt wird. Zudem wurden die Schichtdicken von etwa 120 auf 90 Mikrometer reduziert. Insgesamt ergeben sich eine deutliche Materialeinsparung, ein geringerer Energiebedarf und verbesserte Arbeitsbedingungen.

ABBILDUNG 21

Schematischer Aufbau einer Mehrschichtlackierung mit Basis- und Klarlack

Ein starkes Team perfekt aufeinander abgestimmter Beschichtungen garantiert eine perfekte Oberfläche auf der gesamten Karosserie. Alle vier Lackschichten zusammen sind nur so dünn wie ein menschliches Haar. Und doch sorgen sie für eine brillante Farbwirkung, Glanz und Schutz vor den meisten Umwelteinflüssen.



7.2 Für jedes Bauwerk die richtige Lösung – Schutz durch Beschichtung

Bautenfarben und -lacke schützen Oberflächen im Innen- und Außenbereich von Gebäuden und halten Konstruktionen funktionsfähig. Für jedes Baumaterial, jeden Untergrund, jede Art der späteren Belastung bieten die Hersteller von Baufarben heute optimierte und abgestimmte Beschichtungsstoffe.

INFO FÜR LEHRKRÄFTE

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 schädigen, als auch die möglichen technischen Maßnahmen sind zum großen Teil den Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I bereits bekannt. Das **Arbeitsblatt 15** kann daher zum thematischen Einstieg und zur Wiederholung dienen.

Hinter den Begriffen „Bautenfarbe“ und „Bautenlack“ stehen große Produktfamilien. Bindemittel, Pigmente und Additive sind auf die spezifischen Untergründe, Beanspruchungen und die Anforderungen an das Aussehen abgestimmt. Gemeinsam aber ist den Bautenfarben*, dass sie in mehreren Schichten flüssig aufgetragen werden, 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.

Wandfarbe für innen und außen

Vergleicht man eine Wandfarbe für ein Wohnzimmer mit einer Fassadenfarbe, werden die unterschiedlichen Anforderungen an Beschichtungsstoffe im Baubereich deutlich.

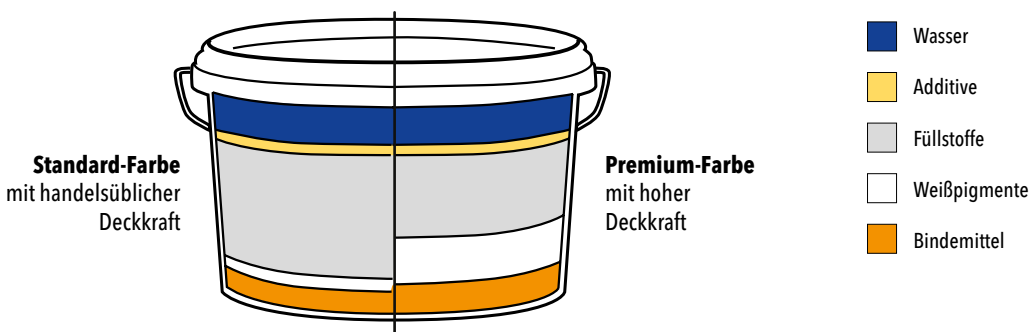
Eine Wandfarbe für ein Wohnzimmer soll vor allem gut decken. Ein hoher Anteil an Weißpigment, meist Titandioxid, ist deshalb erforderlich. Durch Zusatz von Abtönpasten kann nach individuellem Geschmack eine Fülle von Farbtönen erreicht werden. Die Farbe trocknet matt auf und ist wischfest. Sie darf weder auf Möbelstücke abfärben noch auf den Pullover und die Jeans, wenn man sich an die Wand lehnt. Dagegen sollen Raumfeuchte und eventuelle Feuchte des Mauerwerks aufgenommen und wieder abgegeben werden. Im Handel sind ausschließlich mit Wasser verdünnbare Dispersionsfarben, oft auf der Basis von Acrylharzen*. Um sauber arbeiten zu können und Tropfenbildung zu vermeiden, werden sie mit Zusatzstoffen versehen, die die Viskosität erhöhen.



ABBILDUNG 22

Auf die Mischung kommt es an

Weißer Premium-Wandfarbe mit hoher Deckkraft und Nassabriebfestigkeit enthalten mehr Weißpigmente und Bindemittel, die in Standard-Farben durch Füllstoffe ersetzt sind.



Für Wände, die wiederholt abgewaschen werden, etwa in Sanitärbereichen oder Hauseingängen, stehen spezielle Latexfarben auf der Basis von Polyacetaten zur Verfügung.

Die Fassadenbeschichtung 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 Rücktrock-

nung des Mauerwerks durch hohe Wasserdampfdiffusionsfähigkeit. Sie schützen die Fassade an Stellen, die bei ungünstigen klimatischen Verhältnissen länger feucht bleiben, vor Algen, Pilzen und Schimmel.

Den größten Anteil an Fassadenfarben haben Dispersionsfarben (vgl. Kapitel 5.8). Sie unterscheiden sich voneinander vor allem durch das Bindemittel (Reinacrylat, Styrolacrylat, PVAC-Copolymere) sowie durch das Verhältnis zwischen Pigmenten und Füllstoffen und flüssigen Bestandteilen. Damit werden unter anderem bestimmte Eigenschaften, wie Glanzgrad oder Wasserdampf-Diffusionsfähigkeit, gesteuert.

🟡 TABELLE 7

Rezeptur für eine weiße Dispersionsfarbe für Innenräume

Rezepturbestandteil	Prozent
Styrol-Acrylat-Dispersion	11 %
Calciumcarbonat	48 %
Magnesiumsilicathydrat	6 %
Titandioxid	6 %
Wasser	28 %
Entschäumer, Konservierungsmittel, Verdicker	1 %

vereinfacht nach: Oliver Groß, Farbe und Lack 6, 2012

Für erhöhte Anforderungen zum Beispiel an den Feuchteschutz im Außenbereich werden Siliconharzfarben und Dispersionsilicatfarben angeboten. Siliconharzfarben basieren auf einer Mischung aus Polymerdispersionen und Siliconharzemulsionen. Sie bilden zwar keinen geschlossenen Film, aber dennoch einen besseren

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. Chemisch betrachtet stehen Siliconharze zwischen der organischen und der anorganischen Welt: Silicium- und Sauerstoffatome bilden das molekulare Grundgerüst, doch im Gegensatz zu Quarz (SiO₂) ist hier jedes vierte Sauerstoffatom durch eine organische Alkyl-Gruppe ersetzt.

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

Alle drei der vorgestellten Beschichtungen für Fassaden haben ihre Vor- und Nachteile, wie Tabelle 9 zeigt.

🟡 TABELLE 8

Rezeptur für eine moderne, seidenmatte Fassadenfarbe auf Basis eines Acrylatdispersionsbindemittels

Rezepturbestandteil	Gew.-%	Funktion
Wasser	20 %	Verdünnungsmittel
Additive	2 %	z. B. Entschäumer, Konservierungsmittel, Verarbeitungshilfsmittel
Calcite, Talkum, Al-Silicate	30 %	Kostensenkung, Regulierung der Schichtdicke
Titandioxid (Weißpigment)	10 %	Farbgebung, Deckvermögen
Acrylatdispersion (60 % in Wasser)	38 %	Bindemittel (Wasser als Verdünnungsmittel)

🟡 TABELLE 9

Fassadenfarben: ein Vergleich

Eigenschaft	Dispersionsfarbe	Siliconharzfarbe	Dispersionsilicatfarbe
Wasserabweisung	++	+++	++ bis ±
Wasserdampfdurchlässigkeit	+	+++	+++
Diffusionswiderstand geg. CO ₂	+++	-	-
Elastizität	+ bis ++	±	±
Überarbeitbarkeit	++	++	+ bis ++
Farbvielfalt	+++	++	+

7.3 Wie lackiert man eine Waschmaschine? – Der Trick mit den großen Blechen

Waschmaschinen, Wäschetrockner, Kühlschränke, Tiefkühltruhen und andere Haushaltsgeräte sind überwiegend weiß lackiert, der Handel spricht deshalb von „weißer Ware“. Über lange Jahre sind die äußeren Beschichtungen beständig. Waschpulver und Schmutz können der Waschmaschine ebenso wenig anhaben wie verspritzte oder verschüttete Lebensmittel dem Kühlschrank. Eigentlich müssten die Hersteller von „weißer Ware“ in ihren Fabriken große Lackierstraßen betreiben – die man allerdings heute vergeblich sucht. Der Trick ist zumindest auf den ersten Blick einfach: Bereits lackierte Bleche werden eingekauft, passend geschnitten und geformt und ja nach Anwendung verschraubt oder auch geklebt.

Vom Stahlwerk wird Rohstahl dem Walzwerk in Form sogenannter Brammen geliefert, die man sich etwa wie große, circa 20 Tonnen schwere Backsteine aus Stahl vorstellen kann. Im Walzwerk werden die Brammen zur Rotglut erhitzt, zu langen Blechen ausgewalzt und die fertigen Blechbänder zu Rollen, sogenannten Coils*, aufgewickelt. So entsteht zum Beispiel aus einer Bramme von 20 Tonnen ein Blechband von 2.500 Meter Länge, einem Meter Breite und einem Millimeter Dicke. Für die Herstellung lackierter Bleche wird in einer zweiten Anlage das Band wieder abgewickelt, entfettet und durchläuft zunächst ein Bad von flüssigem Zink. Die nach dem Erkalten zurückbleibende dünne Zinkschicht schützt vor Rost. Im Anschluss durchläuft das Blechband eine Lackieranlage.

Durch Walzen wird die Beschichtung aufgetragen, im anschließenden Wärmeofen verdampft der Lösemittelanteil und der Lack härtet durch Reaktion seiner Komponenten sofort aus. Der ganze Prozess dauert nur wenige Minuten. Für den Versand wird das lackierte Stahlband wieder aufgerollt, die beschichteten Stahlrollen – Coated Coils* – sind versandfertig. Sehr hochwertige Oberflächen werden vor dem Aufrollen mit einer Schutzfolie beklebt. Um Leerlauf bei der Verzinkung und Lackierung zu vermeiden, wird an das Ende eines Stahlbandes vor

dem Beschichten gleich der Anfang des nächsten Coils angeschweißt und nach dem gesamten Prozess die Naht wieder getrennt.

Was zunächst einfach aussieht, ist in der Praxis anspruchsvoll. Das Blechband muss eine gleichbleibend hohe Oberflächengüte aufweisen. Kunde und Stahlwerk müssen sich vorher verständigen, ob eine Beschichtung in mehreren Schichten aufgetragen wird, ob die Lackierung auf einer oder auf zwei Seiten erfolgen und wie die Oberfläche aussehen soll (Glanz, Effekte). Wie die Abbildung 23 an zwei Beispielen zeigt, ist die Beschichtung in weiten Grenzen variierbar.

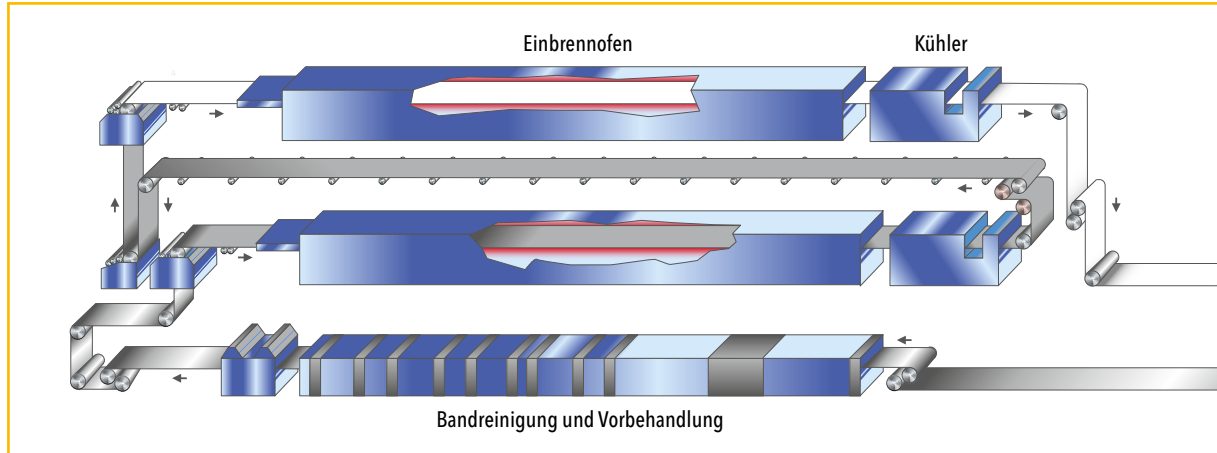
Das verwendete Lacksystem ist vom späteren Verwendungszweck der Bleche abhängig. So kommen Epoxidharze, Polyesterharze und Polyurethane zum Einsatz. Der Lack für eine Waschmaschine muss zum Beispiel gegen die alkalischen Waschmittel beständig sein, der Lack für einen frei stehenden Herd muss hitzeresistent sein. Rotwein, Senf oder andere Lebensmittel dürfen auf Küchengeräten keine bleibenden Flecken hinterlassen. Kratzfestigkeit, eine fest haftende, glatte gleichmäßige Schicht und Farbbeständigkeit sind ebenfalls wichtig. Für die Hersteller von „weißer Ware“ stehen weitere Anforderungen im Mittelpunkt: Die Beschichtung darf sich durch die Verarbeitung nicht ablösen oder, wenn ein Blech zum Beispiel um eine Kante gebogen wird, nicht reißen. Ebenso darf der Farbton nicht von den Vorgaben abweichen.

Wo liegt der Vorteil vorlackierter Bleche? Zusammen mit der Verzinkung als Rostschutz lässt sich der gesamte Prozess der Beschichtung sehr effektiv gestalten. Große Lackierstraßen nutzen den eingesetzten Lack effektiv aus, es entsteht kaum Abfall. Die Abluft lässt sich effektiv reinigen und Lösemittel können zurückgewonnen werden, sodass Umweltbelastungen weitgehend vermieden werden. Würden eine Waschmaschine oder ein Kühlschrank erst beim Hersteller lackiert, müsste die Farbe auf verzinkte Bleche verschiedener Größe und Formen von Hand oder mit Robotern aufgetragen werden, was einen hohen Aufwand erfordern würde.



Coated Coils aus dem Walzwerk

Schema einer Anlage zur Herstellung von Coated Coils



Vorlackierte Bleche werden aber nicht nur für „weiße Ware“ produziert. Große Bedeutung haben sie für die Herstellung von Fassadenverkleidungen für Hallen und Fabrikgebäude. Diese Verkleidungen werden in unterschiedlichen Farben und Qualitäten aus Coated Coils oder auch aus beschichteten Stahltafeln hergestellt. Sie können zur Wärmedämmung innen mit Isolierschichten aus geschäumten Kunststoffen versehen werden. Der Vorteile liegen auf der Hand: Die fertig lackierte Fassade wird einschließlich Wärmedämmung in einem Arbeitsgang montiert.



ABBILDUNG 24

Beispiele zur Beschichtung von Blechen

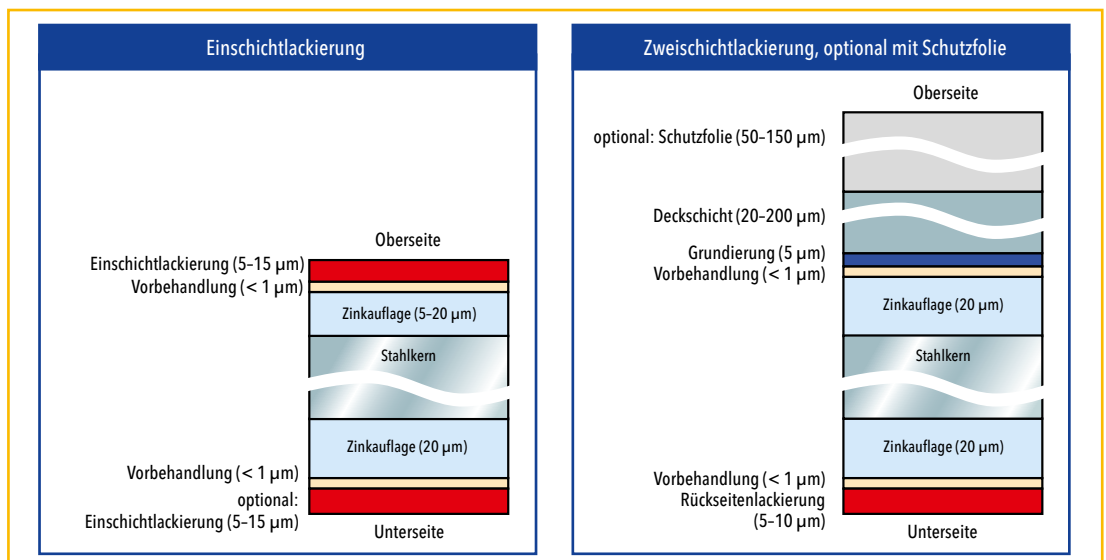
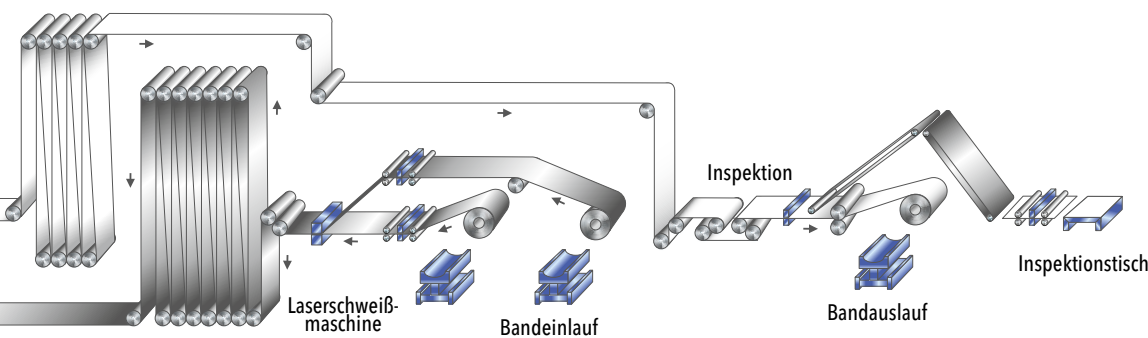


ABBILDUNG 23



7.4 Bitte auf der richtigen Spur einordnen – Straßenmarkierungen machen den Verkehr sicher

Fahrbahnmarkierungen zur Trennung von Verkehrsströmen, Hinweise zum Einordnen in die richtige Spur, die Kennzeichnung von Fahrbahnrändern und besonderen Verkehrsflächen wie Parkplätzen haben eine bedeutende Lenkungsfunktion und machen den Verkehr sicher. Es ist deshalb nicht verwunderlich, dass auf fehlende Fahrbahnmarkierungen sogar gesondert hingewiesen wird. Nach einer groben Schätzung befinden sich auf den etwa 13.000 Kilometer Autobahnen in Deutschland etwa 100.000 Kilometer Fahrbahnmarkierungen.

Wie bei vielen Dingen des Alltags, die uns auf den ersten Blick wenig spektakulär erscheinen, steckt auch in den Beschichtungsstoffen für Fahrbahnmarkierungen ein erhebliches Know-how. Gefordert sind gute witterungsbeständige Haftung auf dem Straßenbelag, mechanische Stabilität und Abriebfestigkeit, eine schmutzabweisende Oberfläche, kein Ausbleichen der Farbe, gute Sichtbarkeit bei Nacht und gute Griffigkeit für Reifen auch bei Nässe. Um die Griffigkeit zu erreichen, ragen hochwertige Markierungen etwas über die Fahrbahndecke hinaus, sodass Regenwasser abläuft. Moderne Randstreifen erfüllen auch eine Warnfunktion, da ihre Oberfläche strukturiert ist. Überfahren ist so im Fahrzeug deutlich zu hören und zu fühlen.

Alleine die genannten Anforderungen sind schon hoch. Für Straßenbaubetriebe sind aber noch weitere Eigenschaften wichtig. Die Beschichtung soll bei Instandhaltungsmaßnahmen schnell wieder befahrbar sein, um den Verkehr möglichst wenig zu behindern. Das Aufbringen muss konturenscharf erfolgen, damit Markierungsstreifen und Richtungspfeile nicht auf der Straßenoberfläche verlaufen.

Eingesetzt werden je nach Verkehrsbelastung Dispersionsfarben, Alkydharzfarben und thermoplastische Beschichtungen, die als Schmelze aufgetragen werden. Ausschlaggebend für die Haftung ist die Art des Straßenbelags und auch sein Zustand. So sind nasse Untergründe äußerst nachteilig, ebenso frische Asphaltdecken. Sie enthalten noch Trennmittel, damit der Asphalt beim Walzen nicht an den Maschinen haften bleibt, Beton muss mit einem sogenannten Primer vorbehandelt werden. Als Pigment für die bei uns übliche weiße Farbe wird überwiegend Titandioxid verwendet. Zusätze von feinkörnigem Quarz verbessern die Griffigkeit, vermindern also die Rutschgefahr. Für bessere Sichtbarkeit bei Nacht werden bis zu einem Millimeter große Glaskugeln auf die frische Farbe aufgestreut oder bereits der Farbmischung zugesetzt. Letzteres hat den Vorteil, dass bei Abrieb immer wieder Glasperlen an die Oberfläche gelangen. Auch Fluoreszenzfarbstoffe werden den Beschichtungen beigemischt, was die Erkennbarkeit bei Nacht noch weiter erhöht. Und nach einer guten halben Stunde kann der Verkehr wieder über die Straße rollen.

TABELLE 10

Rezeptur für eine einfache Straßenmarkierungsfarbe

Styrol-Acrylat-Copolymer-Dispersion (50prozentig in Wasser)	41 %
Titandioxid	19 %
Calciumcarbonat	10 %
Kieselgur	4 %
Mikrotalkum	3 %
Dispergieradditive usw.	3 %
Wasser	20 %

7.5 Was hat der Hersteller von Müsliriegeln mit einer Druckerei zu besprechen?

Vom Müsliriegel bis zum Schnittkäse: Lebensmittelverpackungen sollen Haltbarkeit und Frische gewährleisten und sowohl für den Handel als auch für den Verbraucher Transport und Lagerung so unkompliziert wie möglich machen. Aber Verpackungen erfüllen noch weitere Funktionen. Sie werben – oft zielgruppenspezifisch – für das Produkt, gewährleisten das Wiedererkennen der Marke eines bestimmten Herstellers und sind damit verkaufsfördernd. Um bei der Vielfalt des heutigen Warenangebotes Aufmerksamkeit zu erregen, spielt die grafische und farbliche Gestaltung der Verpackung eine herausragende Rolle. Damit sind auch die Anforderungen an Druckfarben für Lebensmittelverpackungen besonders hoch.

Durch die große Anzahl von zu bedruckenden Verpackungsmaterialien und deren Kombinationen ist besonders umfangreiches anwendungstechnisches Know-how erforderlich. So muss die Haftung auf dem zu bedruckenden Material gewährleistet sein. Der Aufdruck darf sich nicht leicht abreiben lassen – der Müsliriegel soll auch noch nach einigen Tagen im Rucksack gut aussehen. Besonders langlebig ist ein solcher Aufdruck, wenn bei der Herstellung eine Folie bedruckt und anschließend mit einer durchsichtigen Folie als Außenlage kaschiert wird.

Verpackungsfolien werden in der Regel zunächst als Bahnen bedruckt, dann erst Verpackungsmaschinen zugeführt. Angewendet werden alle gängigen Druckverfahren vom Tiefdruck bis zu digitalen Verfahren. Besonders digitale Verfahren – bei denen das Druckbild direkt vom Computer auf die Druckmaschine übertragen wird – eignen sich für die schnelle Herstellung kleiner Mengen bis zum individuellen Einzelstück.

Da Verpackungsfolien fast immer nur außen bedruckt werden, ist ein direkter Kontakt zwischen Druckfarbe und dem Lebensmittel nicht gegeben. Bei unsachgemäßem Arbeiten können allerdings Stoffe auf das in der Verpackung befindliche Lebensmittel übergehen.

Dabei spielen zwei Vorgänge eine Rolle:

- ⬡ Werden Verpackungsmaterialien nach dem Bedrucken gestapelt oder in Rollen aufgewickelt, können – für das menschliche Auge unsichtbar – Farbbestandteile vom Druckbild auf die Rückseite des darüber liegenden Druckes übertragen werden (sogenannter Abklatsch). Da diese Fläche dann in der fertigen Verpackung die Innenseite darstellt, besteht die Gefahr, dass niedermolekulare Substanzen auf das Füllgut übergehen.
- ⬡ Migrieren (wandern) Bestandteile des Farbauftrags durch die Verpackung, kommen sie mit dem Lebensmittel in Kontakt.

Durch geeignete Formulierung der Verpackungsdruckfarben wird das Potenzial eines Übergangs von Chemikalien in das Lebensmittel durch Abklatsch oder Migration auf ein Minimum gesenkt.

Für die oben genannten Müsliriegel wird eine mehrschichtige Kunststoffolie verwendet, die als Wasserdampf- und Sauerstoffsperrschicht mit Aluminium beschichtet ist. Im Vierfarbendruck werden sowohl Produktname und Werbung als auch die gesetzlich vorgeschriebenen Informationen aufgebracht – natürlich ohne Herstellungs- bzw. Verfallsdatum. Diese Informationen werden erst aufgestempelt, wenn der Müsliriegel in die Folie eingeschlagen und luftdicht versiegelt wird.



7.6 Getränkedosen – mehr als nur ein Stück Blech

Bereits aus mehreren Metern Entfernung erkennt der Kunde die Dose mit seinem Lieblingsgetränk im Supermarkt oder beim schnellen Einkauf unterwegs an der Tankstelle. Die farbliche Gestaltung der Dosen und das Firmenlogo garantieren einen hohen Wiedererkennungswert und tragen damit erheblich zur Kaufentscheidung bei. Aber auch nach längerer Bevorratung in der Kühltheke, dem Transport und beim Köhlen in Eiswasser bei der Grillparty soll die Lackierung der Getränkedosen noch unbeschadet aussehen und somit die Frische des Inhaltes signalisieren.



Die Lackierung von Getränkedosen muss also hohen Anforderungen gerecht werden: konstante Qualität des Aufdrucks, Lichtechtheit und Unlöslichkeit in Wasser. Aber nicht nur das Äußere, auch das „Innenleben“ einer Getränkedose spielt eine große Rolle.

Das Unterteil von Getränkedosen besteht aus einem einzigen Stück. Diese Unterteile werden in mehreren Arbeitsgängen aus Blechen hergestellt, indem, stark vereinfacht dargestellt, ein Stempel in das flache Blech gepresst wird. Nachdem der entstandene Becher ausgeschnitten und der Rand für den späteren Verschluss eingewalzt wurde, wird er gereinigt und auf Fehler wie Risse untersucht. Dann folgt eine Lackierung der Innenseite. Inhaltsstoffe der Getränke könnten sonst mit dem Metall reagieren, Fehlgeschmack und Verfärbungen die Folge sein. Die Lacke werden mit automatischen Spritzpistolen aufgetragen und anschließend in einer Wärmeofen eingebrannt. Teilweise wird eine zweite Lackschicht aufgetragen.

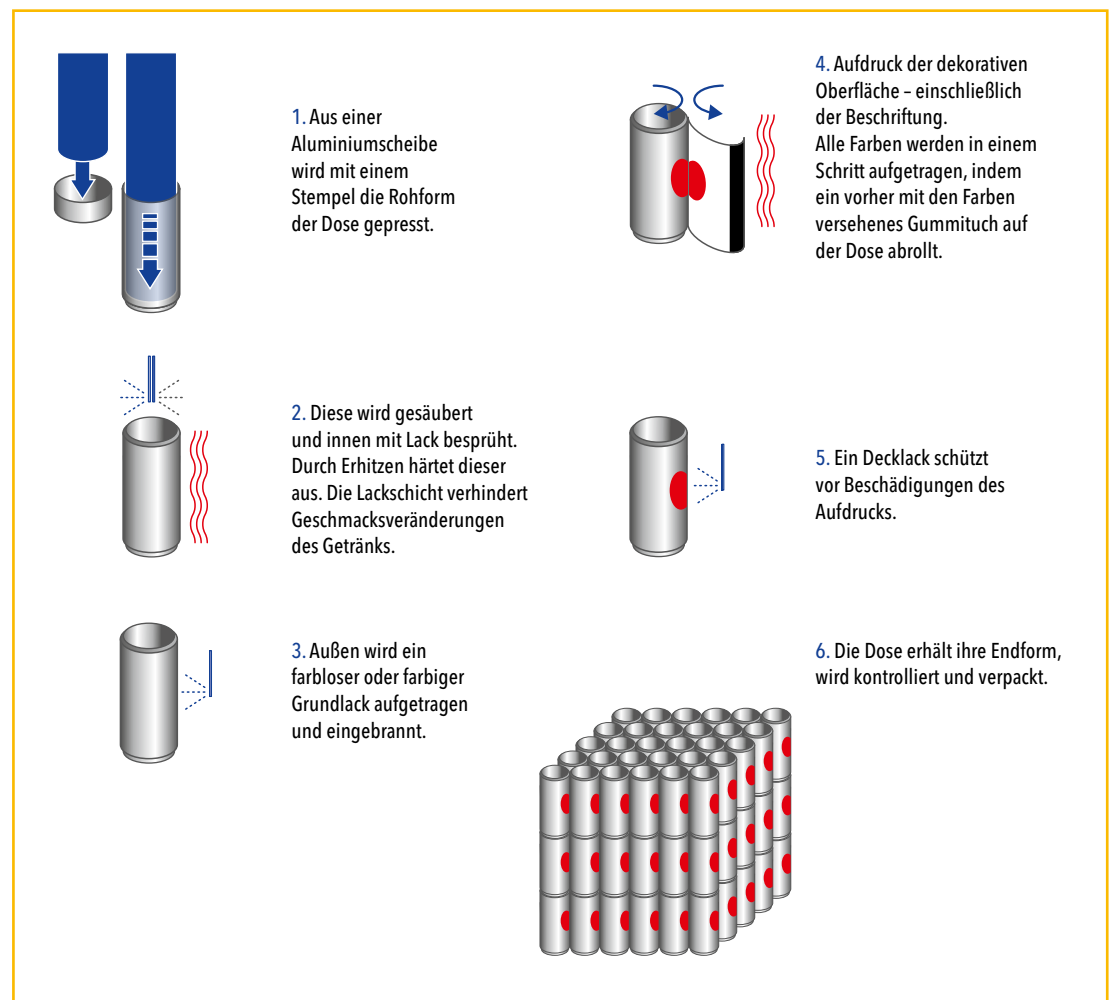
Jetzt wird die Dose außen mit einem Grundlack überzogen und dieser ebenfalls eingebrannt. Auf diese Weise entsteht eine gute Basis für die Bedruckung, die meist auf dem sogenannten Nass-in-Nass-Verfahren basiert. Ein rotierendes Gummituch nimmt zunächst alle einzelnen Farben auf und überträgt sie dann auf die Dose, indem es auf ihr entlangrollt. Der mehrfarbige Auftrag erfolgt also in einem einzigen Schritt! Überziehen mit einem Schutzlack und Einbrennen des Lackes schließen den Prozess ab. Nach nochmaliger Kontrolle werden die Dosen verpackt und an die Getränkehersteller ausgeliefert.

Die Geschwindigkeit, mit der Getränkedosen entstehen, ist enorm: Zwischen 1.600 und 2.000 Einheiten fertigt eine hochmoderne Anlage in der Minute. Europaweit existieren rund 80 Produktionslinien, die in diesem Tempo fertigen können. Dabei entspricht die Produktionsgeschwindigkeit dem Tempo, mit dem Getränkehersteller ihre Dosen abfüllen. Auch die benötigte Lack-

menge kann sich sehen lassen: In Europa werden für die Produktion von mehr als 59 Milliarden Getränkedosen rund 35.000 Tonnen Spritzlack für die Innenseiten und etwa 20.000 Tonnen für die Außenlackierung jährlich verbraucht. In Deutschland werden jährlich etwa 1,4 Milliarden Dosen geleert.

ABBILDUNG 25

Wie werden Getränkedosen hergestellt?



7.7 Geschwindigkeitsrekord – strahlenhärtende Lacke in der Möbelindustrie

In der Anfangszeit des Serienbaus von Autos stieß man unverhofft auf ein Problem: Die Fahrzeuge konnten am Fließband schnell montiert werden. Das Lackieren ließ sich aber nicht rationalisieren. Große Abstellhallen wurden benötigt, da die Lacke nur langsam trockneten. Das Beispiel zeigt, wie wichtig für industrielle Prozesse zunächst nebensächlich erscheinende Produkteigenschaften wie die Trockenzeit von Lacken sein können. Mittlerweile beträgt die Zeit für den vollständigen Lackiervorgang für einen Pkw nur noch Stunden. Für andere Industriezweige wäre das aber immer noch zu lang.

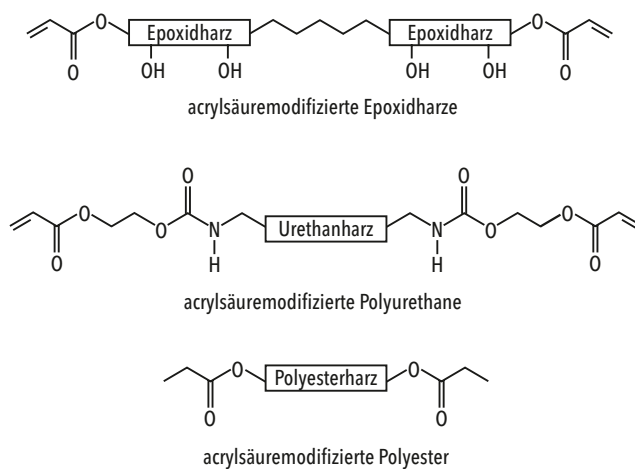
Ein solcher Industriezweig ist die Möbelindustrie. Regalbretter, Fertigparkett, Türblätter und andere Teile werden im Werk lackiert. Große Stückzahlen lassen sich heutzutage nicht nur produzieren, da moderne Holzbearbeitungsmaschinen zur Verfügung stehen, sondern auch, weil Beschichtungssysteme entwickelt wurden, die durch die Einwirkung von UV-Licht oder Elektronenstrahlen in Sekunden vollständig aushärten. Die Möbel-

teile können sofort verpackt und versandt werden, Wartezeiten entfallen.

Das Grundprinzip der bei der „Strahlenhärtung“ von Lacken ablaufenden Reaktionen ist aus der Kunststoffchemie gut bekannt: Alkene wie Propen können radikalisch polymerisiert werden, wobei die Erzeugung von Radikalen aus zugesetzten Initiatoren durch energiereiche Strahlung ausgelöst werden kann. Dieses Prinzip macht man sich zunutze. So werden etwa Lackharze synthetisiert, die in ihren Seitenketten mit Acrylsäure verestert sind. Im Produktionsprozess werden die recht dünnflüssigen, mit geringen Mengen Initiatoren versehenen Harze durch Walzen auf die Holzteile aufgetragen. Diese durchlaufen dann eine Kammer, in der sie mit UV-Licht bestrahlt werden. Die Polymerisation dauert nur Sekunden, es bildet sich ohne Lösemittellemission und bei niedriger Temperatur eine feste Beschichtung. Wie hoch die Qualität ist, zeigt die hohe Belastbarkeit und Kratzfestigkeit von Fertigparkett.

ABBILDUNG 26

Beispiele für strahlenhärtende, acrylsäuremodifizierte Filmbildner



nach Goldschmidt/Streitberger: BASF-Handbuch Lackiertechnik 2002

7.8 Heizkörper lackieren ohne Lösemittel?

Die Emission von Lösemitteln war in der Vergangenheit ein Hauptproblem vieler Beschichtungssysteme. Wasserverdünnbare Lacke stellen eine Lösung dar. Ein anderer Weg ist die Pulverlackierung, also der Lackauftrag in Form fester Partikel. Geeignet ist sie für alle Gegenstände, die sich elektrostatisch aufladen lassen, also vorwiegend Metallgegenstände. Deshalb hat sich die Pulverlackierung etwa für Heizkörper, Fahrradrahmen oder Metallteile von Möbeln durchgesetzt und findet immer größere Verbreitung.

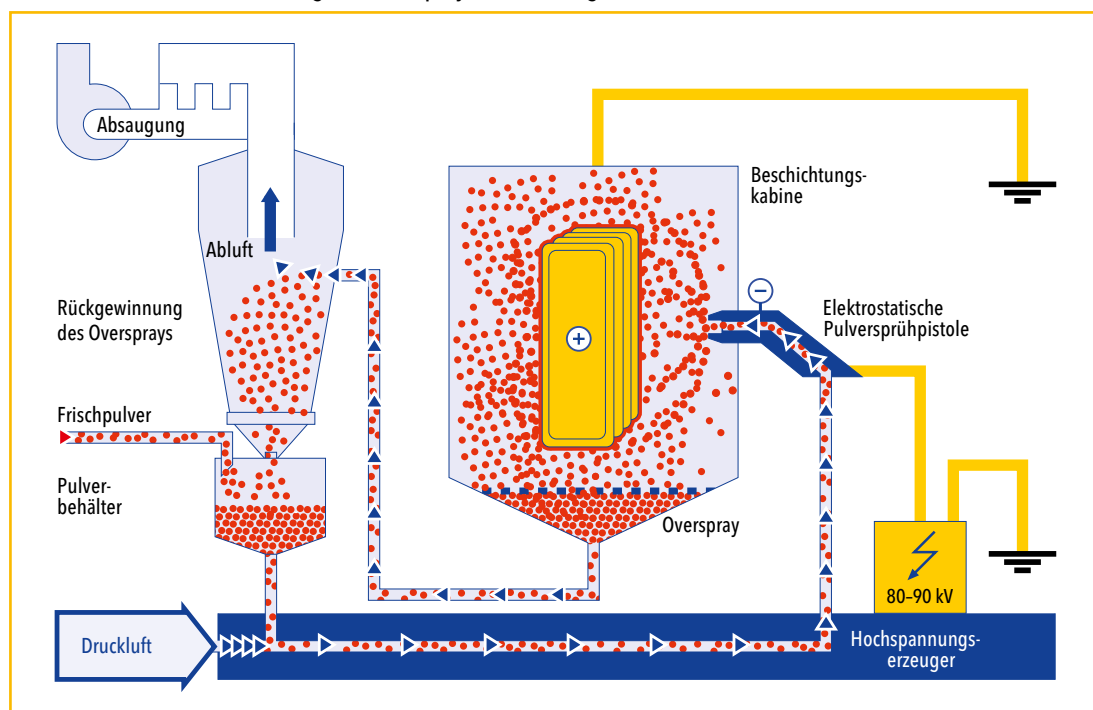


Das Schema einer Pulverlackierung zeigt. Abbildung 27. Der im Beispiel zur Lackierung vorbereitete Heizkörper wird elektrostatisch aufgeladen. Aus der Sprühpistole, die gegensinnig aufgeladen ist, tritt nun im elektrischen Feld das Lackpulver aus. Es lagert sich auf der Oberfläche des Heizkörpers ab, auch an den Stellen, die man mit einem Pinsel kaum erreichen könnte. Hat sich eine

gleichmäßig dicke Schicht ausgebildet, wird das elektrostatische Feld soweit abgeschirmt, dass sich weiteres Pulver nicht mehr anlagert. Überschüssiges Lackpulver wird aufgefangen und kann wieder dem Lackierprozess zugeführt werden. Das Verfahren arbeitet somit fast abfallfrei.

ABBILDUNG 27

Schema der Pulverlackierung mit Overspray-Rückführung



Das aufgebraute Lackpulver bildet noch keine stabile Schicht, der Lack muss erst „eingebraunt“ werden. Dazu werden die beschichteten Gegenstände auf bis zu 200 °C erhitzt. Das Lackpulver wird dabei zunächst zähflüssig. Gleichzeitig laufen Vernetzungsreaktionen ab, die zu einer fest haftenden Beschichtung führen.

Welche chemischen Reaktionen laufen bei der Bildung des Lackfilms ab? Als Beispiel sei hier eine Mischung aus einem Polyester, der freie OH-Gruppen enthält, und einem sogenannten verkappten Isocyanat näher betrachtet. Die Komponenten sind Feststoffe und liegen im Pulverlack fein verteilt vor. Vereinfacht kann man sich vorstellen, dass beim Erhitzen die reaktiven Isocyanatgruppen wieder frei werden und mit den OH-Gruppen des Polyesters zu Urethanen reagieren.

Pulverlackierungen sind so vorteilhaft, dass man die Anwendung auch auf andere Materialien wie Kunststoffe

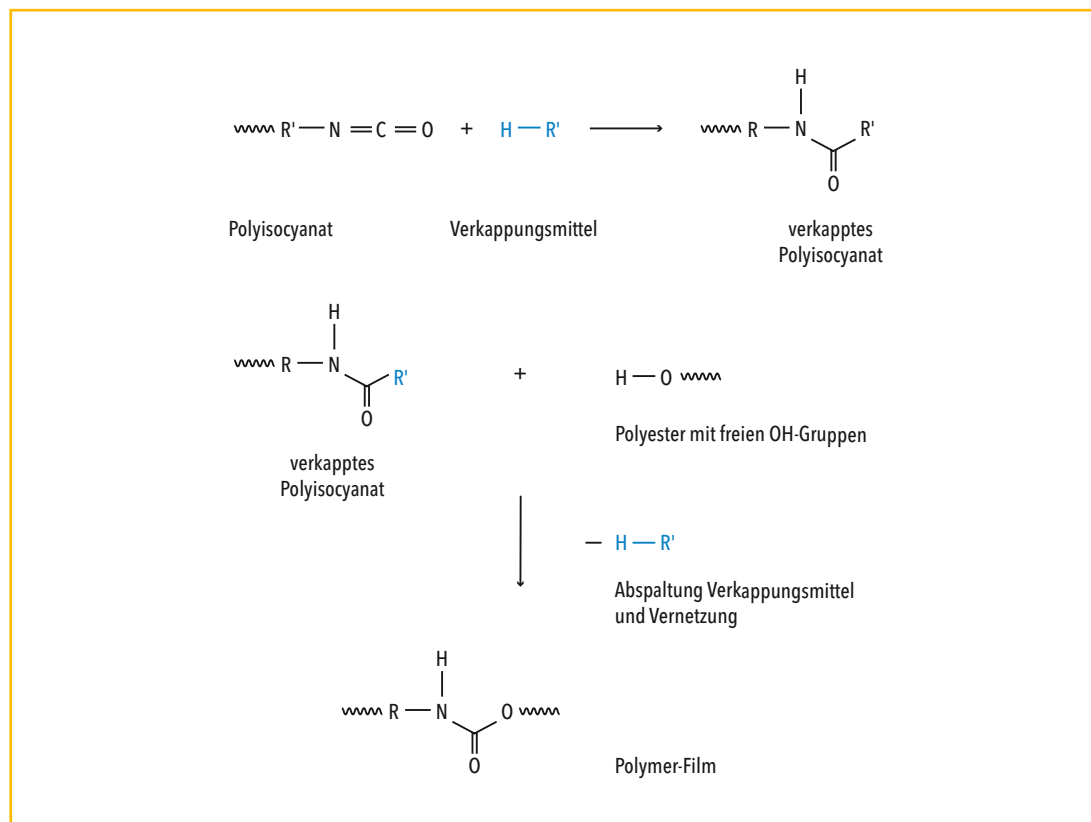
ausdehnen möchte. Auf den ersten Blick eignen sich Kunststoffe nicht für eine Pulverbeschichtung, da sie nicht elektrisch leitend sind. Weiterhin könnten sie beim Einbrennen des Lackes ihre Form verlieren oder sich sogar chemisch verändern. Der Trick besteht darin, Kunststoffteile zunächst mit einem Primer zu behandeln, der sie elektrisch leitend macht, und Pulverlacke zu verwenden, die bei so niedrigen Temperaturen aushärten, dass die Kunststoffteile formstabil bleiben.

INFO FÜR LEHRKRÄFTE

Das Prinzip der Pulverlackierung kann in einem einfachen Experiment, das bereits Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I durchführen können, gezeigt werden. Flache Metallgegenstände wie Unterlegscheiben lassen sich in wenigen Minuten beschichten (**Experiment 14**).

ABBILDUNG 28

Prinzip der Wirkung verkappter Polyisocyanate



Die Schwerpunkte der aktuellen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten konzentrieren sich auf die Herstellung von Harzen möglichst genau definierter chemischer Beschaffenheit, die Entwicklung neuer Harze mit verbesserten Eigenschaften, Additive für Wasserlacke, neue Filmeigenschaften und die Nutzung biobasierter Rohstoffe.

Harz-Entwicklung

Die hohe Automatisierung der Lackapplikation (automatische Lackieranlagen mit Robotern) und die Verschlan-
kung aller Prozesse führen dazu, dass die Anforderungen an die Beschichtungsmaterialien immer höher werden. So sollen gerade bei der Serienfertigung immer gleichmäßige Lackoberflächen erreicht werden.

Im Gegensatz zu früher können dabei Unterschiede der Lackmaterialien (zum Beispiel Viskosität oder Trocknungsgeschwindigkeit) nicht durch die Geschicklichkeit des Lackierers ausgeglichen werden. Da Bindemittel durchschnittlich etwa 70 Prozent der Eigenschaften eines Beschichtungsstoffes bestimmen, stehen sie im Fokus der Forschungsarbeiten.

Additive für die Wasserlacke

In herkömmlichen lösemittelhaltigen Lacken waren die Lösemittel nicht nur für das Verflüssigen des Bindemittels und die Fließeigenschaften des flüssigen Lackmaterials, sondern auch für die Benetzung der zu lackierenden Oberfläche und die Desinfektion des flüssigen Lacks zuständig. In einem modernen Wasserlack müssen diese unterschiedlichen Aufgaben jetzt durch verschiedene Additive übernommen werden. Die Entwicklung von maßgeschneiderten und wirkungsvollen Additiven spielt deshalb eine bedeutende Rolle bei der Wasserlacktechnologie.

Neue Filmeigenschaften

Von Lackoberflächen, zum Beispiel Parkett- oder Autolacken, wird hohe Kratzfestigkeit erwartet. Zugleich muss der Lack aber auch auf der Oberfläche haften und darf nicht zu spröde sein. Um dieses Eigenschaftsprofil zu erreichen, muss ein Kompromiss aus Härte und Elastizität des Lackfilms erreicht werden. Nanoteilchen aus Siliziumdioxid oder Nanostrukturen auf Basis von Silo-

xanen vermögen die Kratzfestigkeit zu steigern, ohne den Lackfilm unflexibel zu machen. In der industriellen Lackierung tragen zur Erhöhung der Kratzfestigkeit sogenannte Hybridharze bei. So werden zum Beispiel in einem Film unterschiedliche Netzstrukturen aus Siloxanen und Polyurethanen genutzt.

Nanoteilchen aus verschiedenen Oxiden können den so genannten „Lotus“-Effekt nachahmen. Solche selbstreinigenden Oberflächen kommen bei Dachziegeln, Fassadenanstrichen oder Sanitärgegenständen zum Einsatz.

In Krankenhäusern oder lebensmittelverarbeitenden Betrieben sind besondere Hygienestandards einzuhalten. Deshalb sind dort **Oberflächen mit bioziden** (von griech. bios = Leben und lat. caedere = töten) **Eigenschaften** gefragt. Moderne Forschungsansätze nutzen zum Beispiel Silber-Nanopartikel im Lackfilm, um konventionelle biozide Wirkstoffe (wie Triclosan und Benzalkoniumchlorid) zu ersetzen.

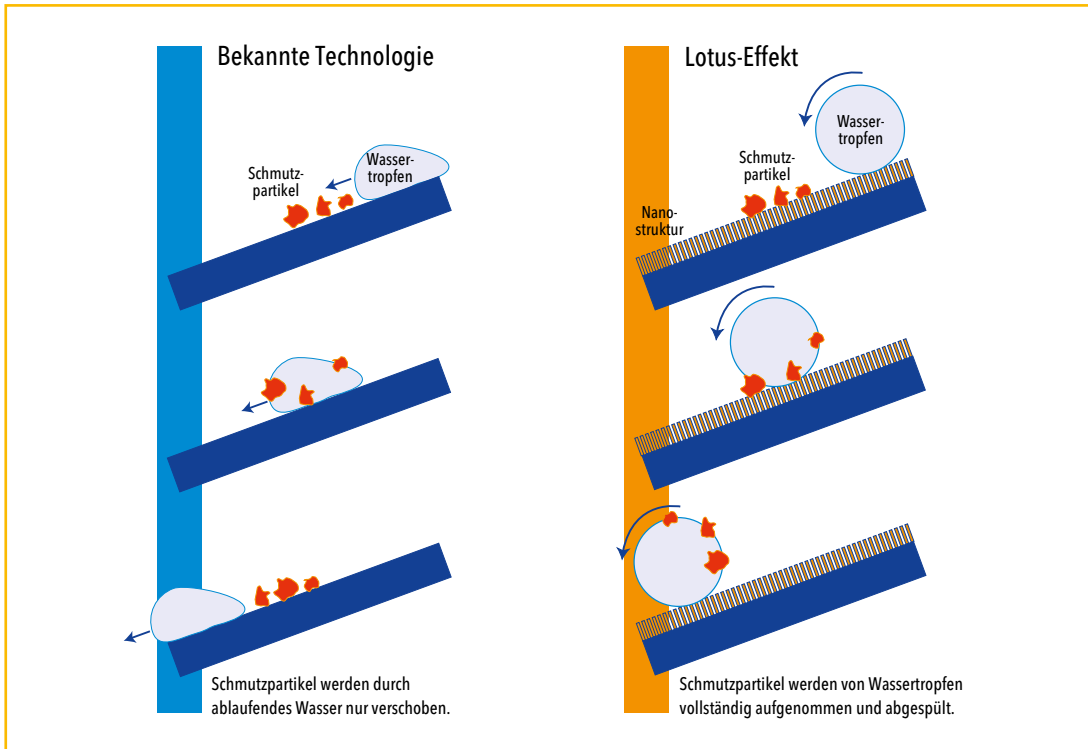
Selbstheilende Oberflächen können produziert werden, indem einem Lack Nanokapseln zugemischt werden, die mit reaktiven Harzen gefüllt sind. Bei einer Beschädigung der Oberfläche (Kratzer) setzen diese Nanokapseln das Harz frei, das unter Einfluss von Luft oder UV-Strahlung aushärtet und so die Beschädigung ausbessert. Insbesondere können mit dieser Methode aktive Korrosionsschutzmittel an beschädigten Stellen freigesetzt werden, sodass Rostfraß verhindert wird.

Eine **photokatalytische Wirkung** von Lackfilmen lässt sich mit speziellen Titandioxid-Nanopartikeln erreichen. Solche photokatalytischen Beschichtungen zerstören organische Verbindungen auf Fassadenoberflächen oder helfen, in Ballungsräumen die Stickoxidbelastung zu reduzieren, indem – angeregt durch die UV-Strahlung – die Spaltung der Stickoxide in Stickstoff und Sauerstoff bewirkt wird. In São Paulo, Brasilien, werden entsprechende Versuche durchgeführt.

Biobasierte Rohstoffe

Traditionell wurden biobasierte Rohstoffe in Form von Fettsäuren für die Produktion von Alkydharzen genutzt. Gegenwärtig befassen sich zahlreiche Forschungen mit

Herkömmliche Oberfläche – selbstreinigende Oberfläche



dem Einsatz von biobasierten Rohstoffen, um fossile Rohstoffe zu ersetzen. Vor allem einfache chemische Bausteine, wie Adipinsäure, Diole und ähnliche Verbindungen, werden zunehmend in Additiven eingesetzt. Forschungsaktivitäten konzentrieren sich auf Cellulose als Rohstoffbasis für die Produktion von Lackharzen.

Zukunftsperspektiven bei Druckfarben

Die moderne Informationstechnologie stellt die größte Herausforderung für den Publikationsdruck dar: Zeitungen werden zunehmend in Internetportalen und Bücher mit eBook-Readern gelesen. Deshalb stagnierte der Verbrauch von Druckfarben in den letzten Jahren; 2016 stieg der Verbrauch wieder leicht an. Gleichzeitig wandelt sich das Anforderungsprofil an die Druckaufträge und damit auch der Marktanteil der verschiedenen Druckverfahren. Der Digitaldruck ist bei kleinen Auflagen und einer vermehrt geforderten Individualisierung der Druckprodukte anderen Druckverfahren überlegen. Da bei ihm starre Druckplatten fehlen, kann mit Digitaldruck jedes Druckbild bei jedem einzelnen Abzug angepasst werden. Durch ständige Weiterentwicklungen

sinken bei steigender Qualität die Herstellungskosten. Ein weiteres Druckverfahren, das derzeit überdurchschnittliche Wachstumsraten erfährt, ist der Flexodruck. Durch seinen großen Anteil beim Verpackungsdruck profitiert er vom generell wachsenden Verpackungsmarkt. Flexodruck kann auch in anderen Marktsegmenten bisher angewendete Druckverfahren substituieren.



Literatur

- Brock, T., Groteklaes, M., Mischke, P., Lehrbuch der Lack-technologie (4. Aufl.), Vincentz, Hannover, 2012
- Dietrich, V.: Naturwissenschaften Biologie, Chemie, Physik: Farben, Cornelsen, Berlin 1998
- Fachgruppe Druckfarben im Verband der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie e. V. Frankfurt, Merkblätter, www.lackindustrie.de/druckfarben
- Fonds der Chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie e. V., Informationsserie „Farbstoffe und Pigmente“, Frankfurt, 1993
- Gööck, R., Die großen Erfindungen (Schrift-Druck-Musik), Sigloch Edition, Künzelsau, 1984
- Goldschmidt, A., Streitberger, H.-J., BASF Handbuch der Lackiertechnologie (2. Aufl.), Vincentz, Hannover, 2014
- Heidelberger Druckmaschinen AG, Print Media Academy, W. Wallowy, Modul 2, Druckverfahren, 2001, www.eindruck.net/fileadmin/download/PDF/grundlagen_druck.pdf
- Jandel, A.-S., Meuthe, B., Coil Coating (3. Aufl.), Springer-Vieweg, Wiesbaden, 2013
- Kittel, H., Lehrbuch der Lackiertechnologie, Band 1-9 (2. Aufl.), Hirzel, Stuttgart, 2003-2008, Roempp-online, www.roempp.com
- Lühken, A., Bader, H. J.: Hochtemperaturchemie in der Haushaltsmikrowelle, CHEMKON Nr. 1, S. 7-14, 2001
- Müller, A., Sommerfeld, H., Bader, H. J., Blume, R., Nachwachsende Rohstoffe: Tallöl, ein Naturstoff für die Lack- und Papierherstellung. PdN-Ch. 40, Nr. 2, 1991
- Nanetti, P., Lackrohstoffkunde, (2. Aufl.), Vincentz, Hannover, 2000
- Nanetti, P., Lack von A bis Z, Vincentz, Hannover, 2009
- Nanetti, P., Lack für Einsteiger (4. Aufl.), Vincentz Hannover, 2013
- Prieto, J., Keine, J., Holzbeschichtungen, Vincentz, Hannover, 2004
- Römpp, H., Römpp Lexikon – Lacke und Druckfarben, Thieme, Stuttgart/New York, 1998
- Sander, J. (Hrsg.), Korrosionsschutz durch Beschichtungen, Vincentz, Hannover, 2011
- Schwalm, R., UV Coatings, Elsevier, Oxford, 2007
- Sepeur, S. et al., Nanotechnology, Vincentz, Hannover, 2008
- Sommerfeld, H., Modellreaktionen zur Technologie nachwachsender Rohstoffe, (Dissertation/Fakultät Chemie, Universität Bielefeld), Shaker, Aachen, 1993
- Stahl, M., Flintjer, B., Bader, H. J., Eisenoxid-Pigmente. Versuche für eine anwendungsorientierte Unterrichtskonzeption in der Sekundarstufe, CHEMKON Nr. 4, S. 181-186, 1996
- Stäudel, L., Mander, K., Rudolph, M., Das Leinöl-Projekt, Fächerübergreifender Unterricht für die Mittel- und Oberstufe, PdN-Ch. 44, Nr. 6, 1995
- Stenzel, V., Rehfeld, N., Functional Coatings, Vincentz, Hannover, 2011
- Streitberger, H.-J., Dössel, K.-F., (Hrsg.), Automotive Paints and Coatings, Wiley-VCH, Weinheim, 2007
- Svejda, P., Prozesse und Applikationsverfahren, Hanser, München, 2007
- Vollmer, G., Franz, M., Chemie in Hobby und Beruf. Farben, Holzschutz, Korrosionsschutz, Klebstoffe, Schweiß- und Lötmaterialien, Büromaterialien. Thieme/dtv, 1991
- Würzberger, O., Die Farben für graphische Zwecke Verlag von Klmsch & Co., Frankfurt, 1920

Glossar

Acrylharze

Acrylharze sind lufttrocknende oder wärmehärtbare Kunstharze, die durch Homo- oder Copolymerisation von Acrylsäure- und/oder Methacrylsäureestern hergestellt werden.

Lufttrocknende Acrylharze und ihre wässrigen Dispersionen werden als Bindemittel für Bauten- und Fassadenfarben eingesetzt. Wärmehärtbare Acrylharze sind Bindemittelkomponenten von Einbrennlacken für die Lackierung von Metall- und Kunststoffoberflächen.

Additive

Additive sind Lackzusatzstoffe oder Hilfsmittel, welche die Eigenschaften von flüssigen Lacken und Lackfilmen verbessern oder nachteiligen Effekten entgegenwirken. Additive werden meist nur in kleinen Mengen (> 1 %) eingesetzt. Wichtige Additive sind Verdicker, Antiabsetzmittel, Antihautmittel, Konservierungsstoffe, Verlaufsmittel und Trockenstoffe.

Aerosole

Aerosole sind kolloidale Systeme, bei denen feste oder flüssige kleine Teilchen oder Tröpfchen in einem Gas, z. B. in Luft, fein verteilt sind. Bekannte Aerosole sind Nebel (kleine Wassertröpfchen in Luft) oder Rauch (feste Partikel in Luft). Ein Aerosol ist auch der Lacknebel im Sprühstrahl einer Spritzpistole.

Applikationsverfahren

Verfahren zur Verarbeitung von Lacken und Farben. Bekannte Applikationsverfahren sind: Streichen, Rollen, Spritzen, Tauchen und Fluten. Die Auswahl richtet sich nach der Art des Lackiergutes und des Beschichtungssystems.

Basislack

Der Basislack ist die farbgebende Schicht in einer Zweischicht-Decklackierung. Auf den Basislack folgt eine Klarlackschicht, die eine glänzende Oberfläche erzeugt und den gesamten Lackaufbau gegen Witterungseinflüsse und mechanische und chemische Belastungen schützt.

Bautenfarben

Bautenfarben oder Baufarben ist der Sammelbegriff für alle Anstrichstoffe, die im Bausektor Verwendung finden. Man unterscheidet dabei noch zwischen den Dispersionsfarben, die für den Anstrich von Wänden und Fassaden verwendet werden, und den Bautenlacken, die zur Beschichtung von Holz- und Metalloberflächen, z. B. für Türen, Fenster und Heizkörper, eingesetzt werden.

Bindemittel

Bindemittel oder Filmbildner sind die wesentlichen Bestandteile einer Beschichtung. Sie bilden nach der Trocknung und Härtung die auf dem Untergrund haftende harte und mechanisch beständige Schicht.

Coil-Coating-Lacke

Lacke für die Metallbandlackierung. Die Metallbänder werden direkt nach der Herstellung im Walzverfahren kontinuierlich gereinigt, vorbehandelt und beschichtet. Die Metallbänder (bis zu 2 m Breite) werden nach der Lackaushärtung zu Coils aufgerollt. Aus den lackierten Blechen werden Gebrauchsgegenstände, z. B. Hausgeräte, ohne nachträgliche Lackierung hergestellt. Um die dabei auftretenden Verformungen ohne Beschädigung auszuhalten, müssen Coil-Coating-Lacke sehr elastisch sein.

Decklack

Der Decklack ist die oberste Schicht eines Lackaufbaus. Decklacke bestimmen den Farbton und Glanz einer Lackierung und gewährleisten die mechanische und chemische Beständigkeit. Einschichtdecklacke sind pigmentiert. Bei Zweischichtdecklacksystemen wird auf einen farbigen Basislack ein Klarlack aufgetragen. Zweischichtdecklacksysteme werden insbesondere bei der Kraftfahrzeuglackierung eingesetzt.

Dispersion

Dispersionen sind zweiphasige Systeme, bei denen Tröpfchen oder feste Teilchen in einer Flüssigkeit sehr fein und stabil verteilt sind (Teilchengröße 10–10.000 nm). Sind beide Phasen flüssig, so spricht man von Emulsionen; stabile Verteilungen von Feststoffen in einer Flüssigkeit nennt man Suspensionen. Zur Herstellung von Lacken und Farben werden Dispersionen von Polymeren in Wasser als Bindemittel für Wasserlacke und Dispersionsfarben eingesetzt.

Dispersionsfarben

Anstrichstoffe insbesondere für den Bausektor, bei denen wässrige Polymerdispersionen als Bindemittel eingesetzt werden.

Effektpigmente

Pigmente, die in einer Lackschicht einen vom Betrachtungswinkel abhängigen Farbeffekt bewirken. Als Effektpigmente werden eingesetzt:

- 1) Aluminiumplättchen, sie erzeugen bei Ausrichtung parallel zur Oberfläche den sog. Metalleffekt (Änderung der Helligkeit bei Änderung des Betrachtungswinkels, auch Flip-Flop-Effekt genannt).
- 2) Interferenzpigmente, das sind plättchenförmige Teilchen aus Glimmer, auf die sehr dünne Schichten aus Metalloxiden (z.B. Titandioxid oder Eisenoxid) aufgebracht werden. Je nach Dicke und Art der Metalloxidschicht bewirken diese Pigmentteilchen in Lackschichten durch Interferenz des einfallenden Lichts vielfältige Farbeffekte, die sich mit dem Betrachtungswinkel ändern.

Glasübergangstemperatur

Als Glasübergangstemperatur (T_g) bezeichnet man die Temperatur, bei der amorphe oder teilkristalline Polymere vom festen Zustand in den flüssigen Zustand übergehen. Dabei tritt eine deutliche Änderung physikalischer Kenngrößen, z. B. der Härte und der Elastizität, ein. Unterhalb der T_g ist ein Polymer glasartig und hart, oberhalb der T_g geht es in einen gummiartigen bis zähflüssigen Zustand über. Ursache ist das Einfrieren oder Auftauen der Brownschen Molekularbewegung längerer Kettensegmente (20–50 Kettenatome) der Polymerketten.

Härter

Härter ist die zweite Komponente bei einem sogenannten 2-Komponenten-Lack.

Offsetdruck

Der Offsetdruck ist – im Gegensatz zum Buchdruck – ein indirektes Druckverfahren, bei dem der Druck nicht direkt von der Druckplatte auf den zu bedruckenden Stoff (z.B. Papier) aufgetragen wird, sondern indirekt über eine Walze. Diese Methode ist die am weitesten verbreitete Drucktechnik im Bücher-, Zeitungs-, Werbe- und Verpackungsdruck.

Physikalische Trocknung

Nach Verdunsten der Lösemittel fließen die gelösten Bindemittelteilchen zusammen und bilden den Beschichtungsfilm. Durch diese Filmbildung wird keine stoffliche Veränderung bewirkt, sodass derartig getrocknete Beschichtungen grundsätzlich (durch ein geeignetes Lösemittel) wieder anlösbar sind, im Gegensatz zu den Reaktionsharzen, bei denen eine chemische Reaktion erfolgt, welche die Moleküle chemisch fest miteinander verbindet, sodass diese Beschichtungen nicht wieder anlösbar sind. Bei der physikalischen Trocknung von Wasserlacken, die als Bindemittel Polymerdispersionen enthalten, fließen die hochmolekularen Polymerteilchen nach dem Verdunsten des Wassers zusammen und bilden die Beschichtung.

Rheologische Additive

Rheologische Additive setzt man ein, um während der Herstellung, der Applikation und der Filmbildung auf Konsistenz, Viskosität und Fließverhalten einwirken zu können.

Stammlack

2-Komponenten-Lacke bestehen aus einem Stammlack, der das Bindemittel, Pigmente und Füllstoffe enthält, und dem Härter. Erst durch Vermischen der beiden Komponenten kurz vor der Verarbeitung entsteht der Beschichtungsstoff.

Subtraktive Farbmischung

Bei der subtraktiven Farbmischung wird Licht verschiedener Farbe durch Farbfilter ausgeblendet oder durch Pigmente absorbiert. Das restliche Licht bildet eine Mischfarbe. Die Grundfarben der subtraktiven Farbmischung sind Gelb, Magenta (Purpur) und Cyan (Blau-grün).

Styrol

Styrol (Vinylbenzol) wird als Co-Monomerbaustein zur Herstellung von Polymeren (Filmbildnern) verwendet.

Talkum

Talkum wird in Beschichtungsstoffen als Füllstoff verwendet. Seine leichte Alkalität (pH-Wert 8-9,5) passiviert und schützt vor Korrosion.

Umgriff

Als Umgriff bezeichnet man einen Effekt bei der Beschichtung von Objekten durch elektrostatisches Spritzen oder durch Elektrotauchlackierung, durch den auch schwer zugängliche Bereiche der zu lackierenden Oberfläche durch die Lackteilchen erreicht werden.

Ursache ist die Isolierung der Oberfläche durch den aufgetragenen Lack. Dadurch verschieben sich die elektrischen Feldlinien zu den noch nicht beschichteten leitfähigen Bereichen der Oberfläche. Diesem elektrischen Feld folgen die Lackteilchen.

Wasserlacke

Wasserlacke sind Lacke, bei deren Herstellung und Applikation Wasser als Dispergier- und Verdünnungsmittel verwendet wird. Für Wasserlacke im Bautenlackbereich kann der „Blaue Engel“ des Umweltbundesamtes vergeben werden, wenn ihr Lösemittel-Gehalt unter 10 % liegt. Wasserlacke für den industriellen Einsatz können als physikalisch trocknende, als oxidativ trocknende oder thermisch vernetzende Lacke und auch als 2-Komponenten-Lacke formuliert werden.

2-Komponenten-Lacke

2-Komponenten-Lacke sind Beschichtungsstoffe, bei denen die chemische Reaktion, die zur Härtung führt, so schnell verläuft, dass der Härter separat geliefert und erst unmittelbar vor der Verarbeitung mit dem sogenannten Stammlack vermischt wird. Härter für 2-Komponenten-Lacke sind meist Polyisocyanate, die mit dem Stammlack zu sehr beständigen Polyurethanlacken vernetzen.

Herausgeber

Fonds der Chemischen Industrie im Verband der Chemischen Industrie e. V. (FCI),
Mainzer Landstraße 55, 60329 Frankfurt am Main
www.vci.de/fonds, Tel. 069 2556-0

In Kooperation mit

Deutsches Lackinstitut GmbH, Frankfurt am Main

Redaktion und Gesamtkoordination

Birgit Kullmann, FCI, Frankfurt

Methodisch-didaktisches Konzept:

Prof. Dr. Hans Joachim Bader, Johann Wolfgang
Goethe-Universität, Frankfurt

Wissenschaftliche und fachdidaktische Beratung

Prof. Dr. Bernd Ralle, Technische Universität Dortmund

Autoren

Prof. Dr. Hans Joachim Bader, Johann Wolfgang
Goethe-Universität, Frankfurt
Prof. Dr. Thomas Brock, Hürth
Klaus Hanke, Alfeld
Ingrid Heußen, Evonik Industries AG, Essen
Dr. Hans-Joachim Streitberger, Münster

Fachliche Beratung

Michael Bross, Frankfurt
Corinna Orner, Frankfurt

Mai 2018
26.000 Exemplare
Alle Rechte vorbehalten

Bildnachweis

stock.adobe.com: © Thomas Jansa (Seite 7), © KB3
(Seite 8), © photoGrAPHie (Seite 10), © adimas (Seite
12), © Christine Langer-Püschel (Seite 14), © den-belits-
ky (Seite 17), © Joerg Mikus (Seite 18), © Mikhail Klyo-
shev (Seite 22), © fovito (Seite 25), © Vitalina Rybakova
(Seite 26), © alexlmx (Seite 27), © Oleg Shakirov (Seite
30), © zhu difeng (Seite 31), © Ingo Bartussek (Seite
33), © Dinga (Seite 36), © industrieblick (Seite 38),
© artzenter (Seite 39), © deepvalley (Seite 45), © vipe-
rapp (Seiten 48, 51), © stockphoto-graf (Seite 51),
© Peter de Kievith (Seite 54), © Alexander Schwarz (Seite
57), © Jag_cz (Titelseite)

BASF SE: Seiten 34, 42, 47

fotolia.com: © gena96 (Seite 5), © siraphol (Seite 10),
© Wilm Ihlenfeld (Seite 11), © Thorsten Katz (Seite 14),
© Africa Studio (Seite 26), © powell83 (Seite 26),
© adimas (Seite 28), © zefart (Seite 37), © Dariusz T.
Oczkowicz (Seite 43)

bildagentur.panthermedia.net: © of.art (Seite 15)

shutterstock.com: © Jag_cz (Titelseite)

thinkstockphotos.de: © scanrail (Seite 5), © Nik Merku-
lov (Seite 6)

Alle anderen Abbildungen und Fotos FCI und DLI

Gestaltung

Seippel & Weihe Kommunikationsberatung GmbH
Bernardstraße 14-16
63067 Offenbach am Main
www.seippel-weihe.com

Produktion

bk betterkonsult
Königsteiner Straße 2
61440 Oberursel/Taunus
www.betterkonsult.de

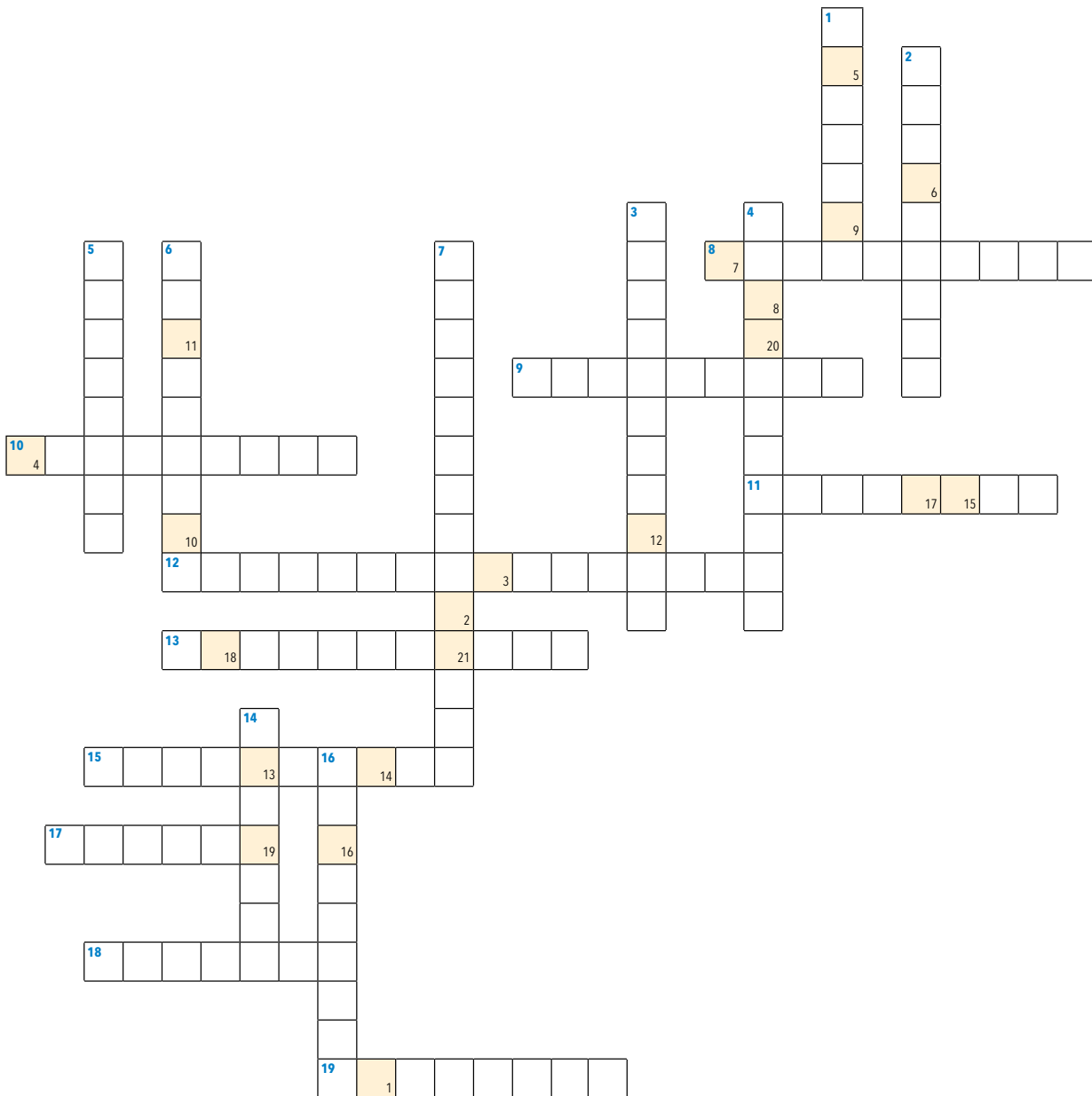
Druck

Klimaneutral gedruckt auf Papier aus nachhaltiger
Waldwirtschaft.



Arbeitsblätter & Experimente

Kreuzworträtsel



Lösungssatz

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Horizontal

- 8 Beugt 10 vor
- 9 Erfinder des Buchdrucks mit beweglichen Lettern
- 10 Setzt Eisenblech zu
- 11 Kann Geduld auf eine harte Probe stellen
- 12 Wird für den Druck von Büchern benötigt
- 13 Additiv
- 15 Feine Partikelverteilung von Lacken
- 17 Methode zum Farbauftrag
- 18 Wirkt ausgleichend
- 19 Letzte Schicht bei Mehrschichtlackierung

Vertikal

- 1 In feiner Verteilung teuerste Komponente einer Druckfarbe
- 2 Klassischer Farbauftrag
- 3 Wichtiger Bestandteil von Lacken
- 4 Moderne Lacke kommen mit weniger davon aus
- 5 Wird oft für große Gemälde verwendet
- 6 Farbpigment für Rot-Braun-Töne
- 7 Hat mit Radikalen zu tun
- 14 Weist einen hohen Anteil an Doppelbindungen auf
- 16 Gehört zu den Durchdruckverfahren

Buchstabensalat

Aufgabe

Findest du alle 21 Wörter in diesem Buchstabensalat?
(kreuz und quer und diagonal, vorwärts und rückwärts)

L	P	Z	X	A	D	I	X	O	N	E	S	I	E	X
V	P	O	M	M	K	C	U	R	D	B	E	I	S	C
N	F	I	L	T	R	A	T	I	O	N	D	M	G	D
A	O	U	O	Y	C	H	I	H	Z	T	O	K	N	I
L	H	I	E	A	M	R	P	T	T	A	R	O	E	S
E	T	A	S	L	W	E	U	S	U	U	T	A	Z	P
T	N	K	E	O	L	I	R	E	H	C	K	G	L	E
T	E	C	M	R	R	E	J	J	C	H	E	U	A	R
I	M	A	I	K	T	R	R	J	S	B	L	L	W	G
M	G	L	T	R	E	E	O	D	T	A	E	A	E	I
E	I	R	T	Y	B	A	R	K	S	D	T	T	C	E
D	P	A	E	S	L	E	I	N	O	E	L	I	P	R
N	Z	L	L	O	E	L	F	A	R	B	E	O	O	U
I	O	K	Z	S	T	R	E	I	C	H	E	N	P	N
B	Z	R	A	H	L	Y	R	C	A	N	J	W	X	G

- | | | |
|--------------|----------|----------|
| 1. ACRYLHARZ | 8. | 15. |
| 2. | 9. | 16. |
| 3. | 10. | 17. |
| 4. | 11. | 18. |
| 5. | 12. | 19. |
| 6. | 13. | 20. |
| 7. | 14. | 21. |

Oxidative Selbsthärtung trocknender Öle

Information

Natürliche Öle und Fette bestehen im Wesentlichen aus Triglyceriden, d. h. aus Estern aus Glycerin und linearen, geradzahligen Fettsäuren.

Sie unterscheiden sich

- in der Länge der Fettsäuren,
- in der Anzahl und Position der Doppelbindungen in den Fettsäureresten und
- nach ihrer Herkunft (tierische und pflanzliche Öle und Fette).

Die Anzahl der Doppelbindungen ist ein Maß dafür, ob die Öle an der Luft trocknen und zu einem Film aushärten können. Je mehr Doppelbindungen vorhanden sind, umso schneller trocknen die Öle an der Luft.

Aufgabe

Welche der folgenden Öle würdest du aufgrund der enthaltenen Fettsäuren für einen Lack verwenden, damit dieser besonders schnell an der Luft trocknet?

Fettsäure		Anteil (%)					
Name	Doppelbindungen	Kokosöl	Palmöl	Erdnussöl	Sojabohnenöl	Sonnenblumenöl	Leinöl
Dodecansäure (Laurinsäure)	0	46-52	0-0,4	0	0	0	0
Tetradecansäure (Myristinsäure)	0	15-20	0,5-3	0	0	0	0
Hexadecansäure (Palmitinsäure)	0	8-10	40-47	7-12	9-11	5-7	6-7
Octadecansäure (Ölsäure)	1	5-8	36-42	35-70	20-35	18-28	12-34
Octadecadiensäure (Linolsäure)	2	0-2,5	7-12	20-35	50-56	60-68	14-26
Octadecatriensäure (Linolensäure)	3	0	0-0,5	0	7-10	0	35-65

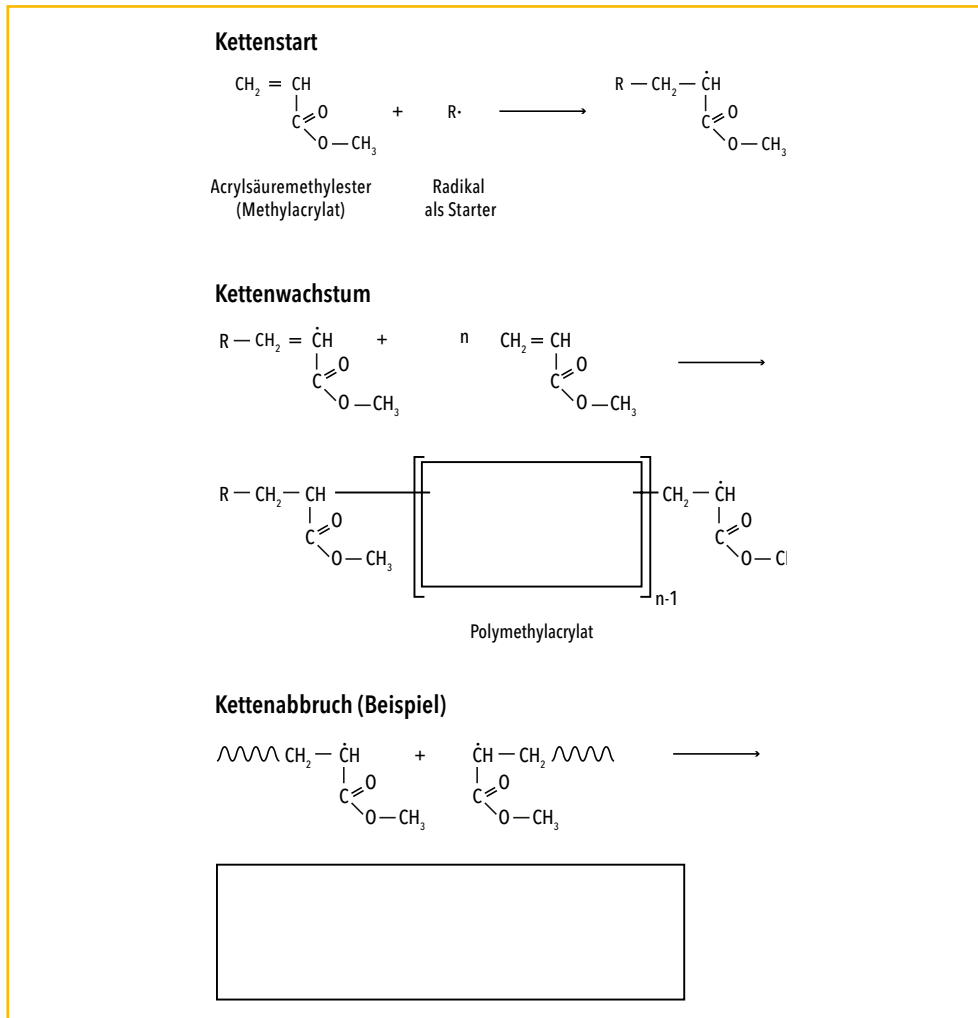
Polymerisation

Information

Die Polymerisation verläuft nach einem radikalischen Kettenmechanismus. Es wird zwischen Kettenstart, Kettenwachstum und Kettenabbruch unterschieden. Radikale als Starter können zum Beispiel durch UV-Bestrahlung von Photoinitiatoren entstehen.

Aufgaben

1) Vervollständigen Sie den Reaktionsmechanismus.



2) Welche wichtigen Lacke bzw. Lackrohstoffe werden durch die radikalische Polymerisation hergestellt? Wofür werden sie verwendet?

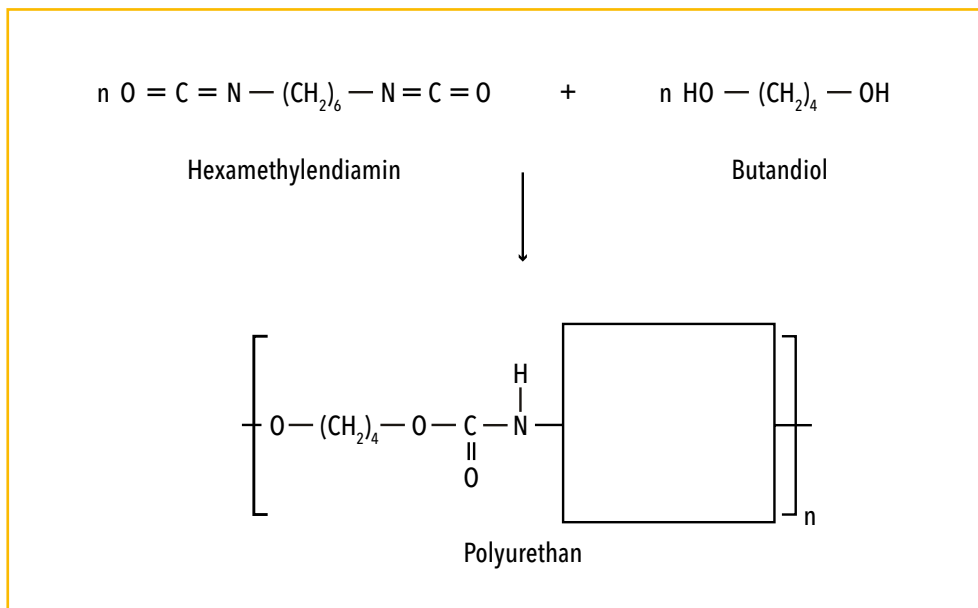
Polyaddition

Information

Bei der Polyaddition werden verschiedenartige Monomere, die jeweils zwei oder auch mehrere reaktive Gruppen enthalten, durch Additionsreaktionen miteinander verknüpft. Es erfolgt keine Abspaltung von niedermolekularen Verbindungen.

Aufgaben

1) Welches Produkt entsteht?



2) Welche Lacke härten durch Polyadditionsreaktionen aus? Wofür werden sie verwendet?

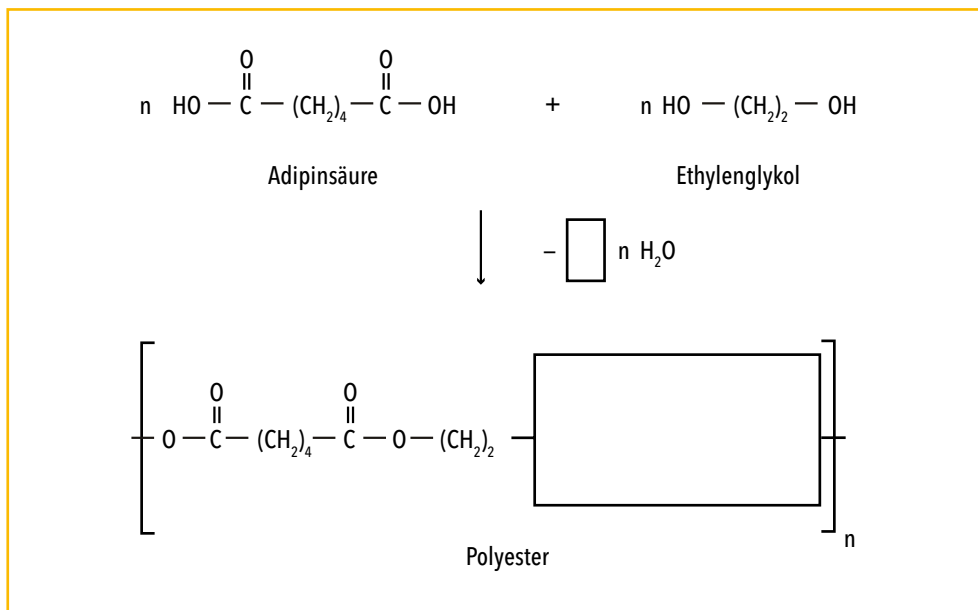
Polykondensation

Information

Bei der Polykondensation werden gleiche oder verschiedene Monomere, die jeweils eine der mehreren reaktiven Gruppen tragen, miteinander verknüpft. Dabei werden kleine, meist anorganische Moleküle (oft Wasser) abgespalten.

Aufgaben

1) Welches Produkt entsteht?

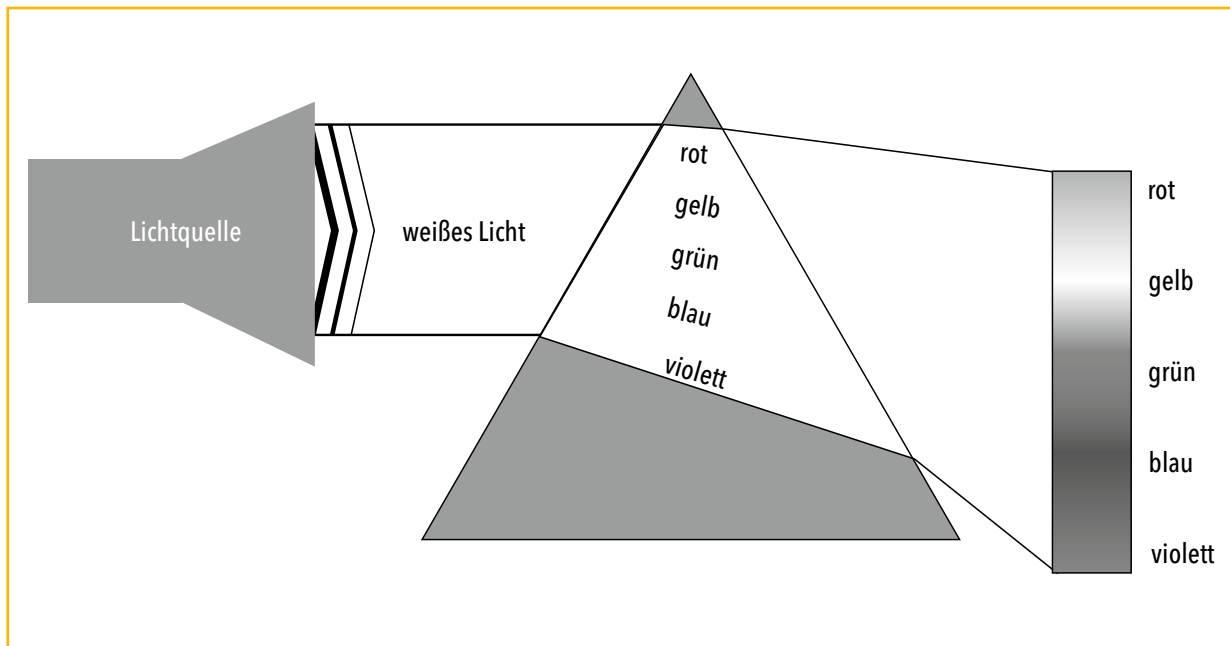


2) Welche wichtigen Lackharze werden durch Polykondensation hergestellt?
Wofür werden sie verwendet?

Farbpigmente

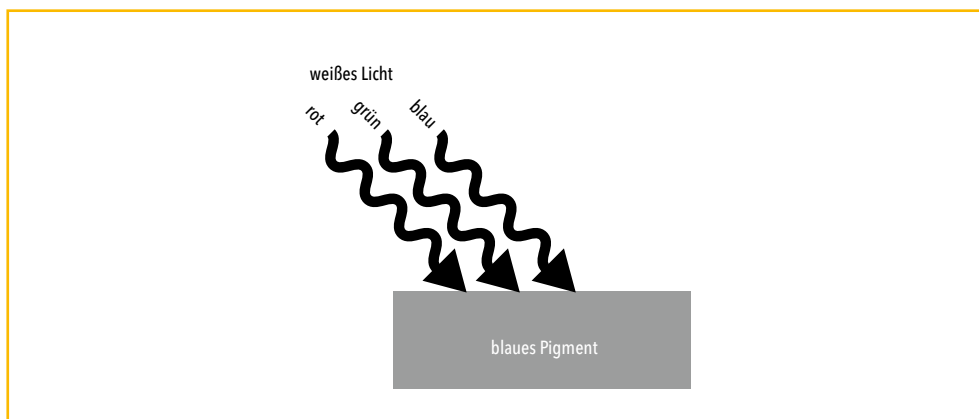
Information

Schickt man weißes Licht durch ein Prisma, so wird das Licht jeweils an den beiden Grenzflächen gebrochen. So wird das weiße Licht mit Hilfe des Prismas in seine Wellenanteile zerlegt, denn Licht unterschiedlicher Wellenlängen wird verschieden stark gebrochen.



Aufgabe

Welche Farbanteile der Lichtstrahlen werden bei einem blauen Pigment „verschluckt“ (absorbiert) und welche reflektiert? Zeichne den reflektierten Strahl im Schema nach.



Lösemittel

Information

Moderne Lacke können im Gegensatz zu früher mit weniger oder vollständig ohne Lösemittel hergestellt und verarbeitet werden.

Aufgaben

- 1) Warum ist es notwendig, dass die Menge an Lösemitteln, die verwendet werden, verringert wird?
- 2) Wie kann man sich gegen die negativen Eigenschaften von Lösemitteln, wie zum Beispiel leichte Brennbarkeit, auch zu Hause schützen?
- 3) Warum müssen Lösemittel den Lacken zugesetzt werden?
- 4) Welche Möglichkeiten gibt es, die Menge an Lösemitteln in Lacken zu verringern?

Wasser als Verdünnungsmittel

Information

Zwischen den Molekülen des Wassers herrscht ein relativ starker Zusammenhalt durch Wasserstoffbrückenbindungen, welche zwischen den Wassermolekülen ausgebildet werden.

Seifenmoleküle bestehen aus einer langen unpolaren und damit hydrophoben (wasserabweisenden) Kette und einem polaren Rest. Die hydrophobe bzw. lipophile (fettfreundliche) Kette wird vom polaren Wasser abgestoßen, während der polare Rest von den Wassermolekülen angezogen wird. Die Seifenmoleküle ordnen sich daher meist an der Wasseroberfläche an, wo der hydrophobe Rest aus dem Wasser ragen kann, oder es bilden sich kugelförmige Micellen, in denen die hydrophoben Reste nach innen ragen, während der hydrophile Rest auf die Wassermoleküle hin ausgerichtet ist. In solchen Kugeln können hydrophobe Stoffe wie Fette oder unpolare Pigmente eingeschlossen und so im Wasser verteilt werden.

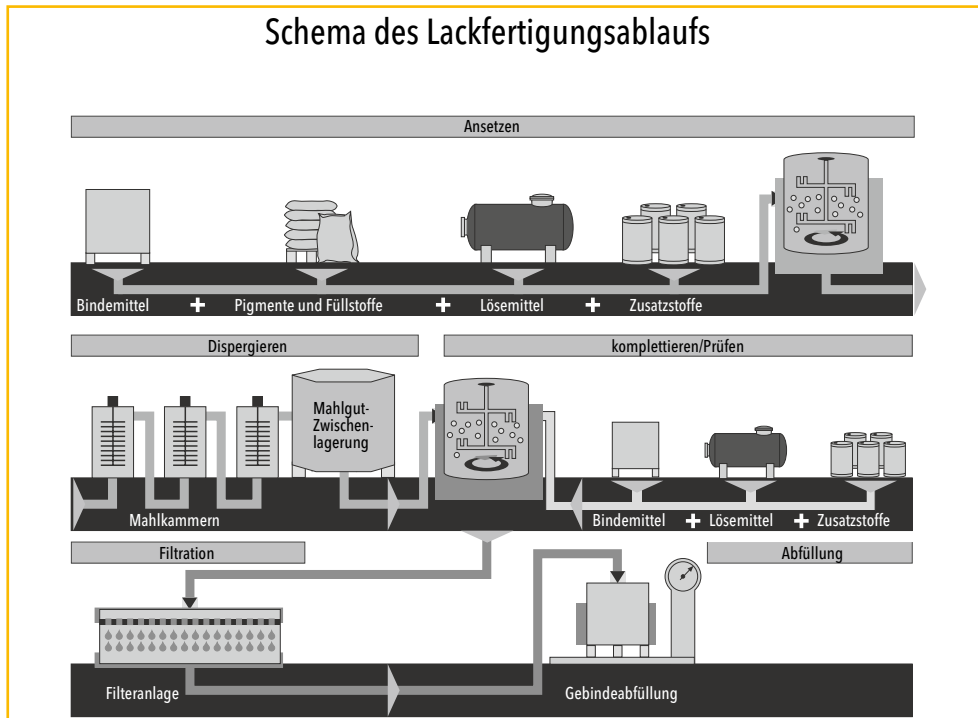
In einem Wasserlack ist das (hydrophobe) organische Bindemittel mit den Pigmentpartikeln in Wasser fein dispergiert. Diese Dispersion wird durch den Zusatz von Tensiden als Emulgatoren stabilisiert.

Aufgabe

Zeichne auf, wie sich die Seifenmoleküle in der Micelle anordnen, wenn sich ein hydrophobes Pigmentteilchen im Wasser befindet.

Ablauf der Lackfertigung

Information



Aufgabe

Beschreibe die einzelnen Arbeitsschritte der Lackfertigung.

Ansetzen:

Dispergierung:

Komplettierung:

Prüfen:

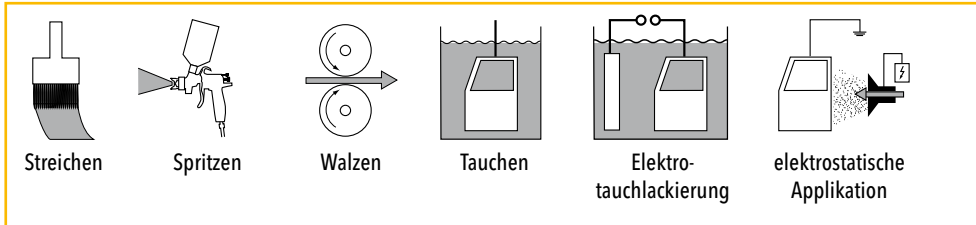
Filtration:

Abfüllung:

Lackverarbeitung

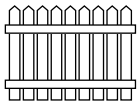
Information

Die folgenden Arbeitsmethoden werden in der Industrie verwendet, um Lackschichten auf Produkte aufzutragen.



Aufgabe

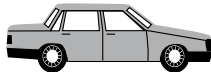
Welche dieser Arbeitsmethoden eignen sich, um eine Lackschicht auf die abgebildeten Gegenstände aufzutragen? Welche Methoden könnten zu Hause und welche Methoden könnten von der Industrie verwendet werden?



Gartenzaun



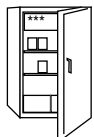
Fahrrad



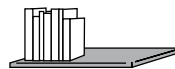
Auto



Stahlträger



Kühlschrank

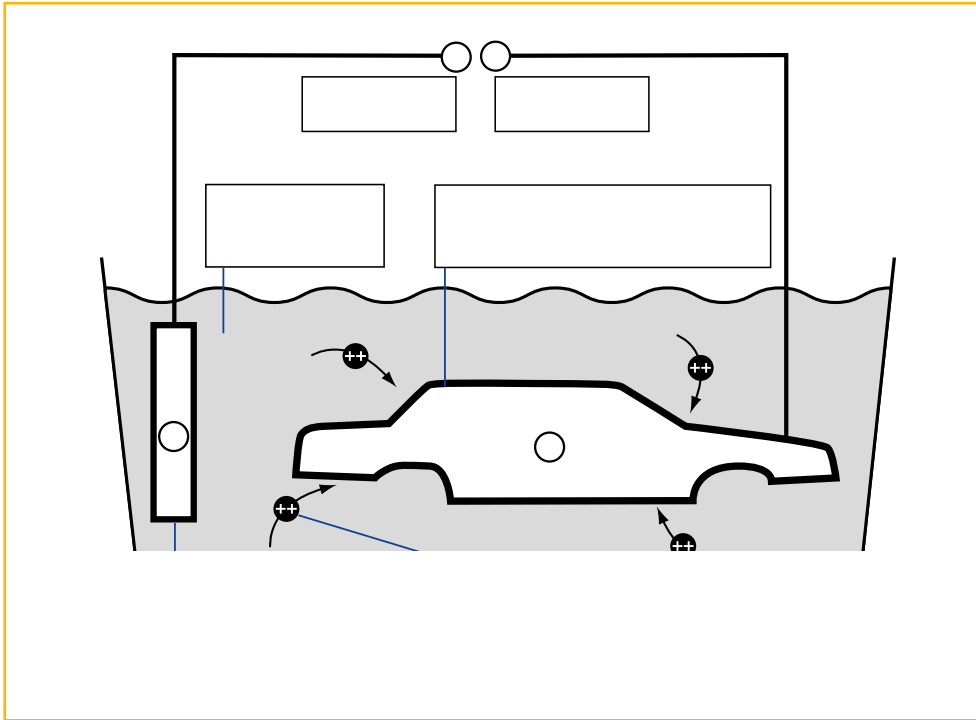


Regalbrett

Kathodische Elektrotackierung

Information

Elektrotacklacke sind wässrige Dispersionen. Sie lassen sich je nach Typ unter Anlegen von Gleichstrom entweder an der Anode oder an der Kathode abscheiden.



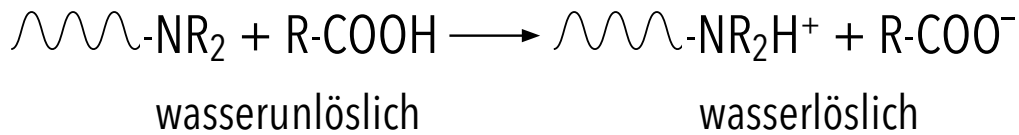
Aufgabe

Beschrifte die schematische Darstellung zur Elektrotackierung.

Kathodische Elektrotauchlackierung

Information

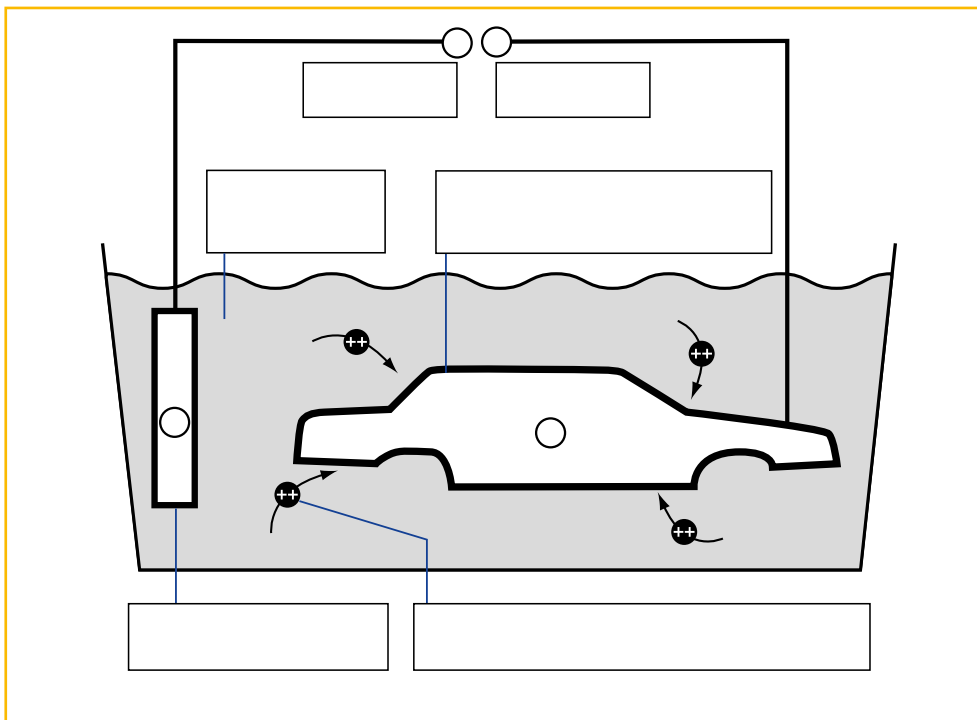
Die Bindemittel, die bei der kathodischen Elektrotauchlackierung verwendet werden, enthalten basische Gruppen, z. B. Aminogruppen. Durch Zugabe von organischen Säuren werden diese in eine wasserlösliche Form überführt.



~: Polymerrest

Aufgaben

1) Beschriften Sie die schematische Darstellung zur Elektrotauchlackierung.



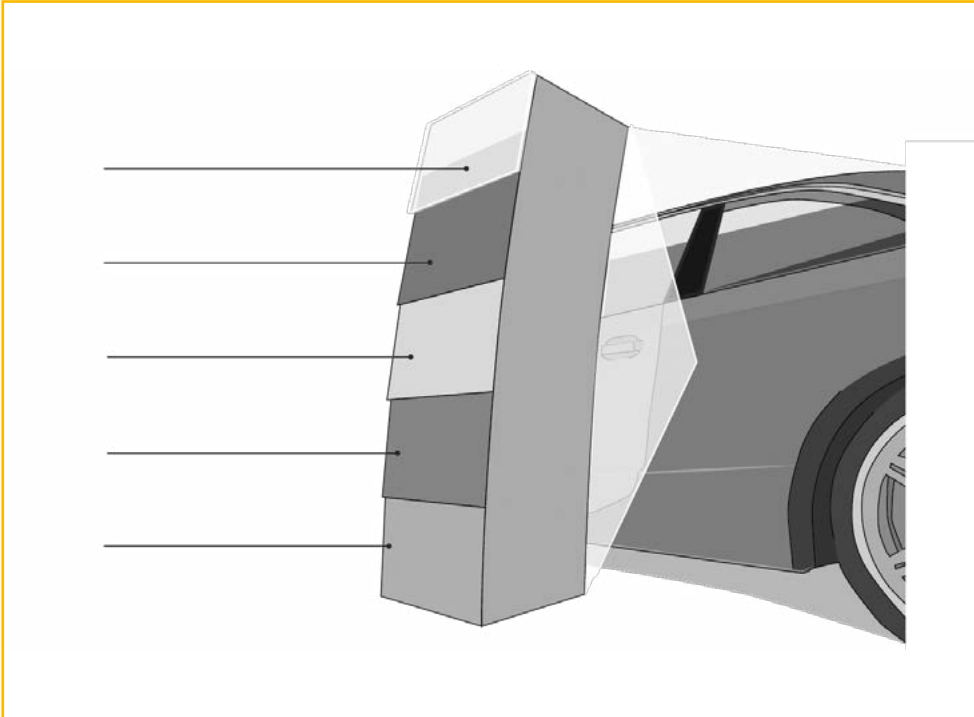
2) Welche Reaktionen laufen bei der Elektrolyse an der Kathode ab?

3) Wie kann die Dicke der bereits entstandenen Lackschicht während der Elektrolyse verfolgt werden?

Mehrschichtlackierung

Aufgaben

1) Wie heißen die einzelnen Zonen bzw. Lackschichten?



- 2) Wie werden die verschiedenen Lackschichten aufgetragen (z. B. Spritzen, Einbrennen)?
- 3) Ein Beispiel aus der forensischen Chemie: Ein Autofahrer verursacht mit seinem Wagen einen schweren Unfall und begeht Fahrerflucht. Zeugen geben unterschiedliche Aussagen hinsichtlich Typ und Farbe des Wagens ab. An der Unfallstelle finden sich einige Lackspuren des verursachenden Fahrzeugs.

Was könnte die Polizei unternehmen, um doch noch nähere Informationen über das Auto des Unfallverursachers zu bekommen und so vielleicht den Täter überführen zu können?

Baustoffe

Aufgabe

Die folgenden Baustoffe finden sich in fast allen Gebäuden. Von welchen Umwelteinflüssen werden sie angegriffen? Wie kann man sie vor diesen Angriffen schützen?

Baustoff	Stoffbasis	Schädigende Einflüsse	Möglichkeiten des Schutzes
Holz	Zellulose, Lignin u. a.		
Natursandsteine	Sand und Kalkstein als Bindemittel		
Leichter Mauerziegel	Gebannter Ton		
Kalkzementputz	Kalk, Zement, Feinsand, Wasser		
Stahl	Eisen		
Beton	Zement, Sand, Kies, Wasser		
Stahlbeton	Beton und Bewehrungsstahl		
Glas	Silikate		

Herstellung von Wachsfarben

Information

Wachsfarben bestehen hauptsächlich aus dem Bindemittel Wachs und Farbpigmenten. Man verwendet hierzu gebleichtes Bienenwachs, da es farblos und härter als unbehandeltes Wachs ist. Diese Eigenschaften sind vorteilhaft zur Herstellung von Wachsfarben.

Arbeitsaufträge

- 1) Führe den folgenden Versuch nach der Anweisung durch.
- 2) Notiere alle Beobachtungen.

Material

2 Aluminiumschälchen, Waage, Heizplatte, Messer, Einwegspritze (10 oder 15 ml), Reagenzglasklammer, Holzspatel, Pasteurpipette (mit Hütchen), Stativ mit Stativmaterial, weißes Papier

Chemikalien

gebleichtes Bienenwachs, Farbpigment, Speiseöl

Vorbereitung

8 g Bienenwachs werden in einem Schälchen abgewogen.
3 g Pigment werden in einem Schälchen abgewogen.

Eine 10 ml-Einwegspritze wird mit einem Messer am vorderen Ende abgeschnitten. Man zieht den Kolben zurück und reibt sie mit einem mit Speiseöl getränkten Papiertaschentuch aus. Die Spritze wird mit dem abgeschnittenen Ende nach oben und mit zurückgezogenem Kolben senkrecht eingespannt.

Durchführung

Das Aluminiumschälchen mit dem Bienenwachs wird auf der Heizplatte (etwa 100 °C) erwärmt, bis das Wachs vollständig geschmolzen ist. Man hält das Schälchen am Rand mit einer Reagenzglasklammer und fügt das abgewogene Pigment zu. Die Masse wird gründlich mit einem Holzspatel vermischt. 5 Tropfen Speiseöl werden zugefügt und ebenfalls eingerührt.

Die erhaltene flüssige Mischung wird in die Plastikspritze gegossen. Danach lässt man abkühlen, bis der Inhalt der Spritze erstarrt ist, und stellt diese dann für ca. eine Stunde zum Aushärten in den Kühlschrank. Die ausgehärtete Masse wird mit dem Kolben vorsichtig herausgedrückt. Der erhaltene Wachsmalstift wird mit einem Messer angespitzt und kann zum Malen auf Papier oder Pappe verwendet werden.

Beobachtung

Herstellung einer Caseinfarbe

Information

Caseinfarben werden seit dem Altertum verwendet. Basis ist das Milcheiweiß Casein, welches als Bindemittel dient. Caseinfarben sind einfach und schnell herzustellen und werden heute noch in einigen Bereichen der Kunst und der Hobbymalerei verwendet.

Arbeitsaufträge

- 1) Führe den folgenden Versuch nach der Anweisung durch.
- 2) Notiere alle Beobachtungen.

Material

Mörser mit Pistill, mehrere Pinsel zum Auftragen der Farbprobe, Papier, Spatel, Waage, Wägeschälchen, Aluminiumfolie, 2 Kunststoffpipetten (3 ml), Papier

Chemikalien

Calciumhydroxid, Leinöl, Magerquark, anorganisches Farbpigment (z. B. rotes Eisenoxid-Pigment)

	Piktogramme		H-Sätze	P-Sätze	E-Ratschläge
Calciumhydroxid		Gefahr	H: 315, 318, 335	P: 261, 280, 305+351+338	Anorganische Abfälle (sauer und alkalisch) mit Schwermetallen. Auf alkalischen pH-Wert achten.

Durchführung

In den Mörser werden 2,5 ml Wasser gegeben und 2,5 g Calciumhydroxid eingerührt. Der entstandene Brei wird mit 25 g Magerquark zu einer homogenen Masse vermischt.

Die Masse wird ggf. mit Wasser verdünnt, bis sie eine honigartige Konsistenz erreicht. Es werden 2,5 ml Leinöl sowie etwa 1 g des gewünschten Pigments zugesetzt. Jetzt wird wieder gerührt, bis eine homogene Farbe entstanden ist.

Mit der erhaltenen Caseinfarbe kann auf einem Blatt Papier oder Pappe gemalt werden. Probeweise wird zusätzlich auf einem Stück Aluminiumfolie ein Teil der Farbe verstrichen. Ist die Farbe noch nicht intensiv genug, kann weiteres Pigment eingerührt werden.

Beobachtung

Tusche aus Tee

Information

Tee enthält Gerbstoffe, die mit Eisensalzen schwarz gefärbte Komplexe ergeben. Man kann somit aus Tee sehr einfach eine Tusche herstellen. Zugewetztes Gummi arabicum, das Harz einer Akazienart, beeinflusst die Fließfähigkeit der Tusche. Es verhindert das Klecksen, sorgt für einen gleichmäßigen Fluss über die Schreibfeder und verbessert die Haftung der Tinte auf dem Papier.

Arbeitsaufträge


- 1) Führe den folgenden Versuch nach der Anweisung durch.
- 2) Notiere alle Beobachtungen.

Material

Vierfuß mit Ceranplatte, Bunsenbrenner, 2 Bechergläser (500 ml), Löffelspatel, Waage mit Wägeschälchen, Siedeperlen, feines Teesieb, Glasstab, Schreibfeder, Papier

Chemikalien

Schwarzer Tee, Eisen(II)-sulfat-Heptahydrat, Gummi arabicum (E414, natürliches Polysaccharid), Wasser

	Piktogramme		H-Sätze	P-Sätze	E-Ratschläge
Eisen(II)-sulfat		Achtung	H: 302, 319, 315	P: 305+351+338, 302+352	Anorganische Abfälle (sauer und alkalisch) mit Schwermetallen. Auf alkalischen pH-Wert achten.

Durchführung

Man bringt in einem 500 ml-Becherglas 200 ml Wasser über dem Bunsenbrenner zum Sieden, gibt 5 g Tee zu und kocht für 5 Minuten weiter. Danach wird über ein Teesieb abfiltriert. 5 g Eisen(II)-sulfat-heptahydrat und 2 g Gummi arabicum werden unter Rühren zugegeben. Man rührt mit einem Glasstab, bis das Gummi arabicum vollständig gelöst ist. Mit der erhaltenen Tusche kann geschrieben oder gemalt werden.

Hinweis

Vorsicht beim Kochen des Tees, anfänglich ist starkes Schäumen möglich!

Beobachtung

Herstellung einer Ölfarbe

Information

Farben auf der Basis trocknender Öle wie Leinöl hatten bis zur Entwicklung moderner Lacksysteme für Anstriche und auch für Künstlerfarben eine hohe Bedeutung. So wurden sie seit dem 15. Jahrhundert in der Malerei verwendet (beispielsweise von Rubens, Rembrandt und van Eyck). Hier wird eine Anleitung für eine einfache Künstlerfarbe vorgestellt.

Arbeitsaufträge

- 1) Führe/Führen Sie den folgenden Versuch nach der Anleitung durch.
- 2) Notiere/Notieren Sie alle Beobachtungen.
- 3) Informiere dich/Informieren Sie sich über die chemischen Reaktionen beim Trocknen einer Ölfarbe.

Material

Mörser mit Pistill, Pinsel (zum Auftragen der Lackprobe), Waage mit Wägeschälchen, Spatel, 2 Kunststoffpipetten (3 ml), Aluminiumfolie, weißes Papier oder Pappe

Chemikalien

Leinöl, anorganisches Farbpigment (z. B. rotes Eisenoxid-Pigment), Bariumsulfat, Bienenwachs, Terpentinöl, Leichtbenzin (zum Reinigen)

	Piktogramme		H-Sätze	P-Sätze	E-Ratschläge
Terpentinöl		Gefahr	H: 226, 302, 312, 332, 304, 315, 317, 319, 411	P: 273, 280, 301+310, 305+351+338, 331	Flüssige organische Abfälle - halogenfrei
Terpentinersatz		Gefahr	H: 226, 304, 315, 317, 336, 411 EUH: 066	P: 102, 202, 210, 240, 242, 261, 262, 273, 280, 301+310, 307+311, 391, 403+233, 501	Flüssige organische Abfälle - halogenfrei
Leichtbenzin		Gefahr	H: 225, 304, 315, 336, 411	P: 201, 210, 243, 280, 301+310, 301+330+331, 403+233, 501	Flüssige organische Abfälle - halogenfrei

Herstellung eines Zaponlacks aus Celluloid

Information

Zaponlack ist die Bezeichnung für einen physikalisch trocknenden Klarlack oder Transparentlack mit geringem Bindemittelgehalt. Er wird meist auf der Basis von Cellulosenitrat hergestellt. Zaponlacke – der Name ist übrigens eine Phantasiebezeichnung – werden als schnell trocknender Oberflächenschutz von Holzgegenständen im Innenbereich, teilweise auch als Schutzüberzüge für Metallgegenstände z. B. aus Messing verwendet, damit diese nicht anlaufen.

Celluloid (Zelluloid) ist eine Mischung aus ca. 25 bis 30 Gew.-% Campher und 70 bis 75 Gew.-% Cellulosenitrat (N-Gehalt: ca. 10,5 bis 11 %). Es hat heute nur noch geringe Bedeutung, etwa für die Herstellung von Tischtennisbällen. Früher wurde es für die Herstellung von Filmen und Gebrauchsgegenständen (z. B. Käämme) und Spielzeug (z. B. Puppen) verwendet.

Arbeitsaufträge

- 1) Führe den folgenden Versuch nach der Anweisung durch.
- 2) Notiere alle Beobachtungen.
- 3) Informiere dich über physikalisch trocknende Lacke.

Material

Becherglas (100 ml), Uhrglas, 1 Messzylinder (50 ml), Magnetrührer und Rührkern, 3 Kunststoffpipetten (3 ml), Schere, Schnur, Wäscheklammer

Chemikalien

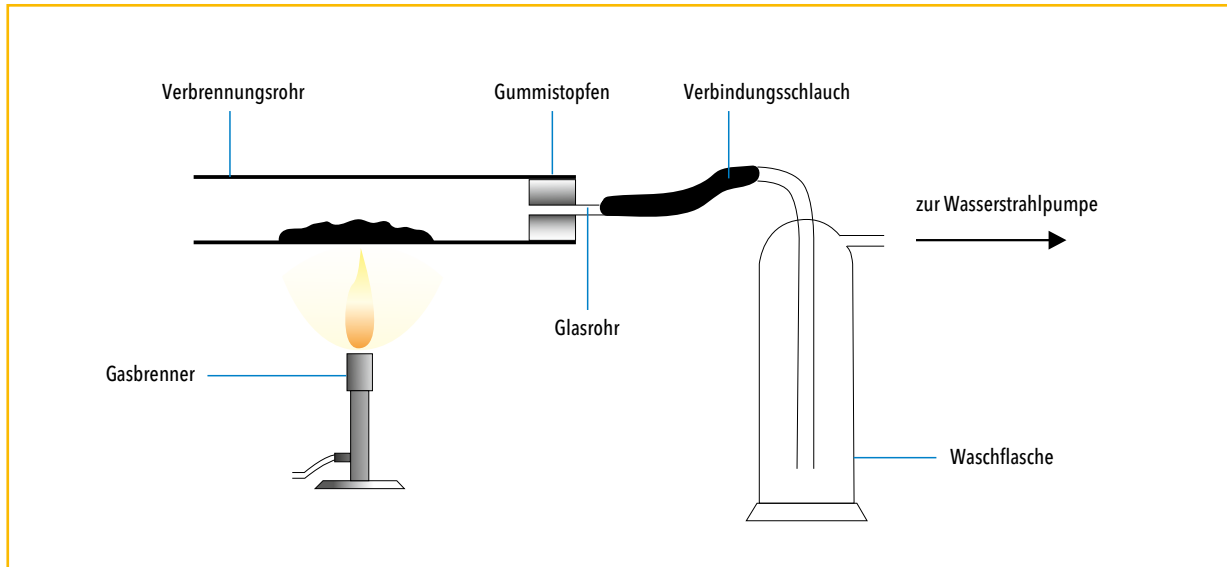
dünnes Aluminiumblech (etwa 3 x 10 cm, z. B. aus einem Aluminiumschälchen schneiden), Tischtennisball (Celluloid), Ethanol, Aceton, konz. Salzsäure (w = 25 %)

	Piktogramme		H-Sätze	P-Sätze	E-Ratschläge
Ethanol		Gefahr	H: 225, 319	P: 210, 240, 305+351+338, 403+233	Flüssige, organische Abfälle – halogenfrei
Aceton		Gefahr	H: 225, 319, 336 EUH: 066	P: 210, 240, 305+351+338, 403+233	Flüssige, organische Abfälle – halogenfrei
Salzsäure		Gefahr	H: 314, 335, 290	P: 234, 260, 305+351+338, 303+361+353, 304+340, 309+311, 501	Anorganische Abfälle (sauer und alkalisch) mit Schwermetallen. Auf alkalischen pH-Wert achten.

Eisenoxid-Pigmente durch Rösten

Information

Eisenoxid-Pigmente sind die mengenmäßig größte Gruppe anorganischer Pigmente, die einen Farbbereich von Gelb über Orange, Rot und Braun bis Schwarz abdecken. Chemisch handelt es sich um Eisenoxide und -hydroxide verschiedener Kristallstrukturen und Modifikationen. Eisenoxid-Pigmente sind lichtecht, alkalibeständig und preisgünstig. Sie werden vor allem in Baustoffen eingesetzt. Eisenoxid-Pigmente können z. B. durch thermische Zersetzung von Eisensulfat gewonnen werden.



Arbeitsaufträge

- 1) Führe den folgenden Versuch nach der Anweisung durch.
- 2) Notiere alle Beobachtungen.
- 3) Informiere dich über unterschiedliche Eisenoxide und ihre Farbe.

Material

Verbrennungsrohr (Duranglas, \varnothing ca. 2 cm), starker Brenner oder Gebläselampe, Waschflasche, kurzes Glasrohr, Schlauchstücke, durchbohrter Gummistopfen, Wasserstrahlpumpe, Spatel, Stativmaterial, Waage mit Wägeschälchen, Feuerzeug

Chemikalien

Eisen(II)-sulfat-Heptahydrat

	Piktogramme		H-Sätze	P-Sätze	E-Ratschläge
Eisen(II)-sulfat		Achtung	H: 302, 319, 315	P: 305+351+338, 302+352	Anorganische Abfälle (sauer und alkalisch) mit Schwermetallen. Auf alkalischen pH-Wert achten.

Pigmente – Darstellung von Thénard-Blau

Information

Eine auch historisch als Farbpigment bedeutende Verbindung ist CoAl_2O_4 , Kobaltblau oder Thénard-Blau genannt. Der Franzose Thénard entdeckte eine Möglichkeit, dieses Pigment einfach und in großen Mengen herzustellen. Dieses sehr temperaturstabile Pigment, das heute noch in der Töpferei Verwendung findet, erhält man durch Glühen einer Mischung von Aluminium- und Kobaltoxid. Für den Versuch wird Kobalt(III)-oxid eingesetzt, das jedoch bei Temperaturen ab 900 °C in Kobalt(II)-oxid übergeht.

Arbeitsaufträge

- 1) Führen Sie den folgenden Versuch nach der Anweisung durch.
- 2) Notieren Sie alle Beobachtungen.
- 3) Informieren Sie sich über die Reaktion von Kobalt(II)-oxid mit Aluminiumoxid in der Hitze.



Material

Mikrowellengerät (700 Watt), AST-Element, Tiegelzange, feuerfeste Unterlage aus Ofenmörtel, Porzellantiegel DIN 2/35 ($\varnothing 3,5\text{ cm}$, $h = 3\text{ cm}$), Waage mit Wägeschälchen, Mörser mit Pistill, Spatel

Aufarbeitung: Heizplatte, Becherglas (150 ml), Messzylinder, Wasserstrahlpumpe, Nutsche, Saugflasche, Rundfilterpapier

Chemikalien

Kobalt(II,III)-oxid, Aluminiumoxid, Salzsäure $w(\text{HCl}) = 25\%$

	Piktogramme		H-Sätze	P-Sätze	E-Ratschläge
Kobalt(II,III)-oxid Tätigkeitbeschränkungen für Schülerinnen und Schüler bis Jahrgangsstufe 4 Tätigkeitsbeschränkungen für gebärfähige Frauen, werdende oder stillende Mütter Besondere Substitutionsprüfung erforderlich		Achtung	H: 317, 351, 410	P: 261, 280, 302+352, 321, 405, 501.1	Anorganische Abfälle (sauer und alkalisch) mit Schwermetallen. Auf alkalischen pH-Wert achten.
Salzsäure		Gefahr	H: 314, 335, 290	P: 234, 260, 305+351+338, 303+361+353, 304+340, 309+311, 501	Anorganische Abfälle (sauer und alkalisch) mit Schwermetallen. Auf alkalischen pH-Wert achten.

Lackauftrag durch Pulverlackierung

Information

Pulverlacke enthalten keine Lösemittel und werden – wie der Name schon sagt – als Pulver geliefert. Sie werden vorwiegend auf metallische Träger zum Schutz aufgetragen und zur Verschönerung der Oberfläche verwendet. Dafür wird das Pulver auf die Oberfläche aufgetragen und anschließend durch Erwärmen aufgeschmolzen. Hierbei laufen chemische Reaktionen ab, die zu einer unlöslichen stabilen Lackschicht führen. Die filmbildende Phase der Pulverlacke setzt sich (genau wie bei Nasslacken) aus Bindemittel, Härter, Füllstoffen, Pigmenten und Additiven zusammen.

Für den folgenden Versuch wird ein Pulverlack auf Epoxidharz-Polyester-Basis eingesetzt.

Arbeitsaufträge

- 1) Führe/Führen Sie den folgenden Versuch nach der Anweisung durch.
- 2) Notiere/Notieren Sie alle Beobachtungen.

Material

Heizplatte, verschiedene Metallwerkstücke (z. B. Münzen, Schlüssel, Metallblech etc.), Becherglas (100 ml) oder Petrischale (je nach Werkstück), Tiegelzange, Spatel, Aluminiumfolie, Küchenpapier

Chemikalien

Pulverlack (BASF EP-SP), Aceton

	Piktogramme		H-Sätze	P-Sätze	E-Ratschläge
Aceton		Gefahr	H: 225, 319, 336 EUH: 066	P: 210, 240, 305+351+338, 403+233	Flüssige organische Abfälle – halogenfrei

Vorbereitung

Die zu lackierenden Werkstücke werden zum Entfetten 5 Minuten in Aceton gelegt und dann an der Luft getrocknet.

Durchführung

Die Heizplatte wird gegen Verunreinigung mit Aluminiumfolie abgedeckt und auf 180 °C vorgeheizt. Das gereinigte Werkstück wird auf ein Stück Küchenpapier gelegt. Man nimmt mit dem Spatel etwas Pulverlack auf und bestreut damit durch leichtes Antippen des Spatels das Werkstück. Anschließend wird es vorsichtig mit einer Tiegelzange aufgenommen und für 10 Minuten auf die Heizplatte gelegt.

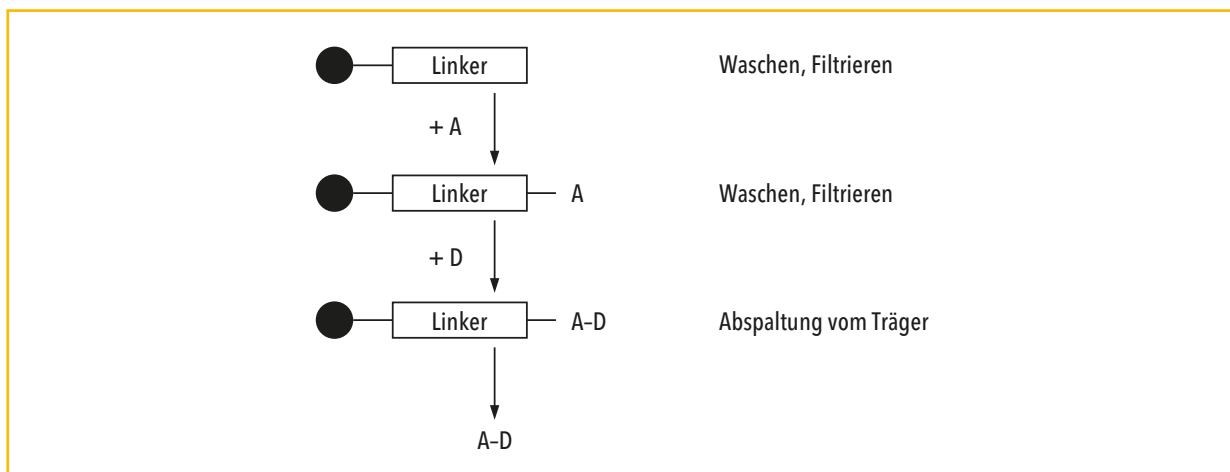
Beobachtung

Farbstoffe durch kombinatorische Synthese – Herstellung eines Farbstoffs auf einem Ionenaustauscherharz

Information

Bei einer klassischen Synthese liefert die Reaktion zwischen zwei Substanzen A und B im Idealfall eine einzige Verbindung AB. Meist sind noch Isolierung und Reinigung der Substanz notwendig, die oft den Zeitaufwand für die Synthese deutlich überschreiten. In der kombinatorischen Chemie wird dagegen durch Variation von Reaktionsbausteinen eine Gruppe von Verbindungen erhalten, die sich in der Anordnung der Bausteine unterscheiden, ohne dass dabei eine lineare zeitaufwendige Reaktionssequenz verfolgt wird.

Die Voraussetzungen wurden in den 1960er Jahren von R. B. Merrifield geschaffen und für die Synthese von Peptiden entwickelt. Eine gesamte Reaktionsfolge wird auf der Oberfläche eines festen Trägers – deshalb Festphasensynthese genannt – durchgeführt. Üblicherweise werden mit Divinylbenzol quervernetzte Polystyrole, die eine Ankergruppe aufweisen, verwendet. An die Ankergruppe (Linker) wird der erste Reaktionsbaustein A geknüpft. Im zweiten Schritt wird der mit A gekuppelte Träger mit dem nächsten Reaktionsbaustein D verbunden. Die Reaktionsfolge kann beliebig oft wiederholt werden, bis man die gewünschte Substanzsequenz erhalten hat und diese durch ein geeignetes Spaltungsreagenz vom Träger ablöst.



Dieser Versuch zeigt die Erzeugung eines Azofarbstoffes an der Oberfläche eines Ionenaustauscherharzes.

Arbeitsaufträge

- 1) Führen Sie den folgenden Versuch nach der Anweisung durch.
- 2) Notieren Sie alle Beobachtungen.
- 3) Informieren Sie sich über die Synthese von Azofarbstoffen.

Material

4 Reagenzgläser, Reagenzglasständer, Spatel, Filterpapier, Trichter, Erlenmeyerkolben, Pasteurpipette

EXPERIMENT 16

Farbstoffe durch kombinatorische Synthese – Herstellung von vier Farbstoffen durch „Split and Combine“

Information

Nach dem einführenden Experiment (Exp. 15) wird nunmehr hier die „Split and Combine“-Methode vorgestellt, wobei von der einfachsten Kombinationsmöglichkeit ausgegangen wird. Diese besteht darin, zwei Substanzen mit zwei weiteren zur Reaktion zu bringen (2×2 -System). Das folgende Formelschema zeigt die Vorgehensweise an dem hier durchgeführten Beispiel. Es werden 2-Naphthol und Chromotropsäure als phenolische Edukte sowie Naphthylamin-7-sulfonsäure und Anilin-2-sulfonsäure als Vorstufen für die Diazoniumsalze eingesetzt. Das Ergebnis sind zwei Ionenaustauscherportionen, die mit jeweils zwei unterschiedlichen Azofarbstoffen beladen sind.

Arbeitsaufträge

1. Führen Sie den folgenden Versuch nach der Anweisung durch.
2. Notieren Sie alle Beobachtungen.
3. Informieren Sie sich über die Formeln von Chromotropsäure, die der eingesetzten Amine und deren Reaktionen zu Azofarbstoffen.
4. Es werden 2-Naphthol und Chromotropsäure als phenolische Edukte sowie Naphthylamin-7-sulfonsäure und Anilin-2-sulfonsäure als Vorstufen für die Diazoniumsalze eingesetzt. Das Ergebnis sind zwei Ionenaustauscherportionen, die mit jeweils zwei unterschiedlichen Azofarbstoffen beladen sind.

Material

4 Reagenzgläser, Reagenzglasständer, Becherglas (50 ml), Spatel, Filterpapier, Erlenmeyerkolben, Trichter, Pasteurpipette

Chemikalien

Chromotropsäure (Dinatriumsalz-dihydrat), 2-Naphthol, Anilin-2-sulfonsäure, Naphthylamin-7-sulfonsäure, Natriumnitritlösung (eine kleine Spatelspitze in 5 ml dest. Wasser gelöst, $w < 2\%$), Salzsäure (ca. 2 ml Salzsäure [$w = 25\%$] in 10 ml dest. Wasser gelöst), dest. Wasser, schwach basischer Ionenaustauscher (Lewatit MP 62)

	Piktogramme		H-Sätze	P-Sätze	E-Ratschläge
2-Naphthol		Achtung	H: 332, 302, 400	P: 273	Feste organische Abfälle
Anilin-2-sulfonsäure		Gefahr	H: 314	P: 280, 305 + 351 + 338, 310	
Naphthylamin-7-sulfonsäure		Gefahr	H: 314, 315, 318, 319	P: 264, 264, 280, 310, 301 + 330 + 331, 303 + 361 + 353, 305 + 351 + 338, 405	
Salzsäure, $w = 25\%$		Gefahr	H: 290, 314, 335	P: 260, 305 + 338 + 310, 303 + 361 + 353, 304 + 340, 309 + 310	Anorganische Abfälle, alkalisch

