

## 13 Spezielle Beschichtungen

### 13.1 Autolacke (Wilke)

#### 13.1.1 Terminologie

Unter Autolacken kann man zwei verschiedene Lacktechnologien verstehen: Zunächst die Autoserienlacke; das sind all die Lacksysteme, die der Fahrzeughersteller am Produktionsband auf die Karosserie appliziert. Die Karosserielackierung im Automobilwerk ist ein integraler Bestandteil der Fertigungskette; die farbige Karosserie ist nur einer der vielen Schritte vom gestanzten, umgeformten und verschweißten Stahlblech zum vollständig ausgestatteten fahrbereiten Fahrzeug. Den Möglichkeiten, Lackhärtung auf thermischem Wege zu betreiben, sind bezüglich der Temperatur aus werkstofflichen Gründen keine Grenzen gesetzt, da lediglich Metall erhitzt wird. Im Gegensatz dazu wird bei der Automobilreparaturlackierung am vollständigen Fahrzeug Lack aufgetragen und gehärtet. Da das Auto dabei viele wärmeempfindliche Gegenstände enthält, lassen sich nicht die gleichen Lacksysteme einsetzen wie bei der Autoserienlackierung. Sie müssen mit einer Infrarotlampe aushärtbar sein; daher werden grundsätzlich andere Bindemittelsysteme eingesetzt. Weiter muss man berücksichtigen, dass die Reparatur eines Blechschadens je nach Ausprägung des Schadens zusätzlich Spachtel- und Schleifoperationen erfordert, und dass die Lackierung zu der durch das Wetter bereits leicht verblassten, auch möglicherweise leicht verkratzten Erstlackierung passen muss. Im Gegensatz zur Erstlackierung wird sie in kleinen Betrieben manuell ausgeführt. Bei der Autoreparaturlackierung handelt es sich also um eine ganz spezifische, individuelle Angelegenheit, die nicht wie die Autoserienlackierung nach einem immer gleichen Schema mit fest gelegten Farben für immer gleiche Autos erfolgt. Wegen der Komplexität der Autoreparaturlackierung wird sich die Darstellung im Folgenden auf die Autoserienlackierung beschränken.

#### 13.1.2 Autoserienlackierung / Autoserienlacke

Ein Autoserienlack besteht aus mehreren Schichten. Man spricht deshalb von einem Lackaufbau. Abbildung 13-1 zeigt einen typischen Autoserienlackaufbau, an dem sich die zu den einzelnen Schichten gehörenden Lacksysteme gut besprechen lassen.

Schicht	Schichtdicke [ $\mu\text{m}$ ]
Klarlack	30-40
Basislack	15-25
Füller	20-30
KTL	20-30
Phosphatierung	
Substrat (Stahl- oder Aluminium)	

Abbildung 13-1: Klassischer Autoserienlackaufbau

Nachdem die Einzelteile einer Rohkarosserie aus Stahl- und Aluminiumband gestanzt und zusammengeschweißt worden sind, ist es nötig eine Reinigungsoperation anzuschließen. Diese hat die Aufgabe, die Karosserie von Ziehfetten und Ölen und Schmutz zu befreien, welche den Lackierprozess empfindlich stören würden. Danach erfährt die Oberfläche eine intensive Vorbehandlung mit phosphathaltigen Substanzen, die sich als dünne Schicht auf dem Metall ablagern. Diese so genannte Phosphatierung soll einerseits die Haftung der ersten Lackschicht fördern und hat zudem selbst schon eine korrosionshemmende Wirkung.

Es schließt sich der erste Lackierschritt an, die kathodische Tauchlackierung (KTL, s. Abbildung 13-2). Hierbei wird die Karosserie in ein Becken getaucht, welches mit einer wässrigen Dispersion eines Einbrennlackes gefüllt ist. Die Farbe der KTL ist überwiegend grau. Das eingesetzte Epoxy-Bindemittel trägt positive Ladungen, ist also ein Polykation (siehe Kapitel Wasserlacke). Beim Anlegen einer Spannung von ca. 220 V wird die elektrisch leitfähige Karosserie als Kathode geschaltet und die positiv geladenen Dispersionsteilchen werden von ihr angezogen. Dicht vor der Oberfläche der Karosserie bildet sich eine alkalische Grenzschicht aus, in welcher die Dispersionsteilchen entladen werden. Im Neutralzustand sind sie in Wasser unlöslich und scheiden sich auf der Metalloberfläche ab. Das durch die Abscheidung im Tauchbad abnehmende Lackmaterial wird über einen Kompensationskreislauf wieder nachdosiert. Die auf der Karosserie innen wie außen lose haftende KTL-Nassschicht wird an-

schließlich bei 165-185 °C eingebrannt. Dabei vernetzen die Epoxidharzbestandteile mit den ebenfalls enthaltenen blockierten Isocyanaten. Die Aufgabe der KTL ist primär der Korrosionsschutz. Sekundär fällt ihr noch die Aufgabe zu, Substratunebenheiten wie z.B. Riefen abzudecken. Die KTL gehört zu den emissionsärmsten Lackierverfahren überhaupt, der Lösemittelgehalt moderner Systeme liegt bei etwa 0,5 %, der Anteil des genutzten Lackmaterials (Auftragswirkungsgrad) ist sehr hoch.



Abbildung 13-2: Kathodische Tauchlackierung (KTL) - Foto: BASF

Nach der KTL erfolgt eine Inspektion der Karosserie, um Fehlstellen wie Stippen und Krater aufzufinden und eventuelle Reparaturmaßnahmen wie Schleifen vornehmen zu können.

Die nächste Operation ist die Nahtabdichtung und die Applikation des Unterbodenschutzmaterials. Die Nahtabdichtung verfolgt den Zweck, durch das Eindringen von Wasser und Schadstoffen ausgelöste Korrosionsprozesse in den Hohlräumen der Karosserie zu unterbinden. Unterbodenschutzbeschichtungen (UBS) sollen den unteren Bereich vor Steinschlägen bewahren. Häufig setzt man anstelle der UBS-Beschichtung auch Kunststoffverkleidungen ein.

Als Materialien für die Nahtabdichtung und UBS-Beschichtungen kommen Plastisole aus PVC und PUR zum Einsatz, die per Airless-Spritzen appliziert werden (siehe Kapitel Applikation). Eine weitere in dieser Station ausgeführte Operation ist das Einbringen von Dämmmatten zur Geräuschminimierung.

Als nächstes gelangt die Karosserie in die Zone der Füller-Applikation. Sie erfolgt im Gegensatz zur KTL nur im Außenbereich und wird durch pneumatisches Spritzen ausgeführt (Abbildung 13-3).



Abbildung 13-3: Pulverfüller-Applikation – Foto: BASF

Der Füller dient zum Schutz vor Steinschlag und zusätzlich vor Korrosion, der Abdeckung von Unebenheiten bzw. der Glättung. Gleichzeitig soll er die lichtempfindliche (kreidungsanfällige) KTL-Schicht vor dem Angriff der UV-Strahlung schützen. Ein guter Füller muss zudem problemlos schleifbar sein. In vielen Fällen ist der Füller nicht wie herkömmlich weiß oder grau gefärbt sondern farbig und dient dann bereits der coloristischen Unterstützung der nachfolgenden Decklackierung. Füller enthalten häufig Bindemittel auf Polyurethanbasis (PUR) bzw. PUR-modifizierte Polyester. Lack-schichten aus Polyurethan eignen sich wegen ihrer ausgewogenen mechanischen Eigenschaften besonders gut zum Schutz vor Steinschlägen. Die Einbrenntemperaturen liegen bei meist über 150°C. Die Verwendung von wässrigen Füllern ist mittlerweile Stand der Technik, und es kommen auch Pulverfüller zum Einsatz.

Nach der Füllerapplikation werden in manchen Fällen Kunststoffteile an die Karosserie montiert, welche die nachfolgenden Lackierschritte durchlaufen, damit sie die Wagenfarbe erhalten. Hierzu zählen vor allem Kotflügel.

Für die Farbe, den Effekt und den Glanz der Autokarosserie ist die nachfolgende Decklackierung zuständig. Früher wurde diese Lackierung vorwiegend in einer Schicht aufgetragen, doch hat sich wegen ihrer höheren Brillanz für hochwertige Lackierungen die Applikation in zwei Schritten durchgesetzt. Zunächst wird der Bunt- und Glanzpigment-haltige Basislack aufgetragen. Die meisten Fahrzeuge sind heutzutage mit Effektbasislacken beschichtet, welche Aluminium- und/oder Perleffektpigmente enthalten.

Bei der Häufigkeit von Farben im Automarkt spielen saisonale und regionale Aspekte und die Art des Autos eine große Rolle. Die in West-Europa mit Abstand häufigste Effekt-Farbe für Limousinen ist silbermetallic, gefolgt von schwarz und blaumetallic. In USA sind traditionell auch braune Effektfarben stark vertreten. Unter den Unifarbtönen dominieren bei Sportwagen rot und gelb, in Südeuropa und Japan ist die in Nord- und Mitteleuropa zur Zeit wenig verbreitete Farbe weiß stark vertreten.

Überwiegend handelt es sich bei den Basislacken um wässrige Systeme, deren Bindemittelzusammensetzung verschiedene mögliche Typen umfasst. So werden neben Polyurethan-, Polyesterbindemittel und Polyacrylaten auch zahlreiche Hybridsysteme eingesetzt. Die Applikation der Basislacke erfolgt wie die Füllerapplikation durch Spritzen und wie diese meist robotergesteuert und mit elektrostatischer Unterstützung, um einen hohen Auftragswirkungsgrad zu erzielen und damit die Umweltbelastung zu minimieren.

Der Basislack erfährt nach der Applikation eine Ablüftung und im Fall wässriger Systeme ein forciertes Ablüften bei ca. 60°C. Danach ist die Basislackenschicht nicht fest und glänzt nicht. Sie muss mit einem farblosen Klarlack überzogen werden, damit die optische Wirkung der Decklackierung sich entfaltet. Der nun zu applizierende Klarlack muss in der Regel einen hohen Glanzgrad aufweisen und die Ausprägung von optischen Effekten unterstützen.

Aufgabe des Klarlackes ist daneben auch der Schutz des Gesamtaufbaus vor den Einflüssen des Wetters wie z.B. UV-Strahlung, vor dem Angriff durch Chemikalien, biologischen Medien und vor mechanischen Verletzungen. Glanz, Unterstützung der Effektausprägung, Bewitterungsschutz, Schutz vor Chemikalien, biologischen Medien und mechanischen Beschädigungen (Kratzer).

Die diese Schutzfunktionen gewährleistende polymerchemische Basis besteht aus Polyacrylaten (s. Bindemittel), die mit Melaminharzen oder Isocyanaten vernetzt werden. Nur in wenigen Ausnahmen werden lösemittelfreie Klarlacke eingesetzt; es gibt sowohl Pulverklarlack als auch wässrige Emulsionen. Der Klarlack wird ebenfalls durch Spritzen, zumindest teilweise elektrostatisch unterstützt appliziert und nach einer kurzen Abluftzeit bei meist 140-160°C eingebrannt (Abbildung 13-4). Zu den Anforderungen des Klarlackes gehört auf jeden Fall noch anwendungstechnische Eigenschaften wie eine geringe Ablaufneigung, geringe Kocheerneigung, eine problemlose Überlackierbarkeit und Polierbarkeit.



Abbildung 13-4: Klarlack-Applikation (Foto: BASF)

## 13.2 Bautenschutz-Beschichtungen (Lobnig)

### 13.2.1 Fassadenschutz-Systeme

Fassaden-Beschichtungen dienen einerseits dekorativen Zwecken, insbesondere der Farbgebung, andererseits sollen sie die Bauwerke vor Baustoffkorrosion schützen. Der Angriff auf Fassaden-Baustoffe erfolgt vor allem durch Feuchtigkeit, Temperaturwechsel sowie chemische und biologische Einflüsse. Ins Mauerwerk eindringende Feuchtigkeit hat vor allem drei nachteilige Wirkungen:

- Frostschäden: Die Volumenausdehnung von Wasser in Poren beim Frieren führt zur Rissbildung
- Verminderung der Wärmedämmung: Da Wasser eine hohe Wärmeleitfähigkeit besitzt, nimmt die Wärmedämmung von Baustoffen mit zunehmendem Wassergehalt ab
- Transportmöglichkeit für andere bauschädliche Stoffe, z.B. Salze: Im Bodenbereich vorkommende Salze können als Salzlösung in die Poren des Mauerwerks gesaugt werden (kapillare Wasseraufnahme). In größerer Höhe verdampft das Wasser aus der Wand und lässt die Salze in den Poren des Mauerwerks, vor allem in den oberflächennahen Bereichen, zurück. Durch Reaktion mit Baustoffen, Anlagerung von Kristallwasser (Hydratation) oder Kristallisation aus übersättigter Lösung kann es zu einer erheblichen Volumenzunahme kommen. Falls keine Ausdehnung in den Poren nicht möglich ist, entstehen zum Teil erhebliche Drücke und damit Baustoff-Zerstörung oder Rissbildung.

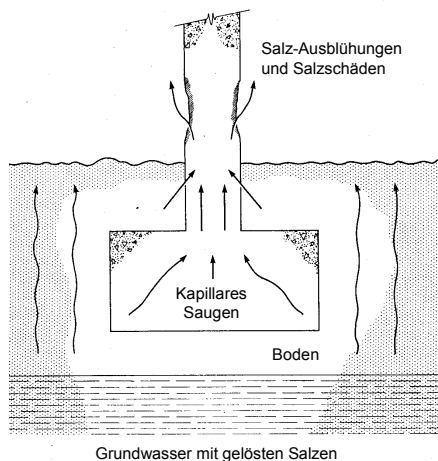


Abbildung 13-5: Salzschäden an Mauerwerk und deren Mechanismus

Um die Baustoffkorrosion zu verhindern, müssen daher Wasser und zerstörend wirkende Bestandteile der Umgebung von der Wand ferngehalten werden. Für die Fassaden in Mitteleuropa, die zum größten Teil mit mineralischen Putzen oder Kunstharzputzen versehen sind, werden meist Fassaden-Beschichtungen zum Schutz verwendet. Die Kombination von Putz und Fassadenfarbe gilt als wirtschaftlichstes und variationsfähigstes Verfahren zum Fassadenschutz.

### Anforderungen an Fassadenfarben

Fassadenfarben müssen eine Vielzahl an Eigenschaften aufweisen:

- Schutz vor Wasseraufnahme
- Schutz vor Salzaufnahme
- Schutz vor Schadgasaufnahme, z.B.  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{NO}_x$ , evtl.  $\text{CO}_2$
- Schutz gegen Befall von Mikroorganismen
- Geringe Durchlässigkeit für flüssiges Wasser
- Ausreichende bis hohe Wasserdampfdurchlässigkeit, um eine Trocknung der Mauer zu erlauben.
- Auf Kalkputzen hohe  $\text{CO}_2$ -Durchlässigkeit, da diese Putze zum Erhärten über lange Zeit  $\text{CO}_2$  aus der Luft benötigen.
- Auf Stahlbeton sehr geringe  $\text{CO}_2$ -Durchlässigkeit, da  $\text{CO}_2$  zum Verlust der Alkalität des Betons führt, welche aber für die Stabilität der Bewehrungsstähle notwendig ist.
- Hohe UV- und Lichtbeständigkeit
- Geringe Kreidungs- und Verschmutzungsneigung
- Hohe Alkalibeständigkeit, da die meisten Baustoffe alkalisch sind.
- Keine chemische Nebenreaktion mit dem jeweiligen Baustoff, die z.B. zu Verfärbungen oder Ablösung führt.
- Spannungsfreiheit und ausreichende Elastizität, bezogen auf den Anstrichuntergrund, insbesondere dürfen keine Spannungen beim Austrocknen entstehen.
- Anwendbarkeit auf möglichst allen intakten mineralischen Untergründen (z.B. weichen und harten Putzen sowie Altbeschichtungen)
- Problemlose Verarbeitung und Überstreichbarkeit
- Einstellbarkeit der Deckkraft und des Glanzgrades, z.B. für lasierende Anstriche
- Ausreichende Reversibilität, d.h. Entfernbarkeit ohne Beeinträchtigung oder Beschädigung intakter Bauuntergründe.

Fassadenfarben werden oft **nach ihren Bindemitteln** unterschieden, z.B. Dispersionsfarben, Silikonharzfarben, Silikatfarben oder Dispersionssilikatfarben. Dispersionsfarben sind die am häufigsten verwendeten Farben, sowohl im Innen- als auch im Außenbereich. Der Anstrichstoff besteht aus fein verteilten polymeren Bindemitteltelchen in Wasser sowie Füllstoffen und Additiven. Nach dem Aufbringen auf dem Untergrund verdunstet das Wasser oder wird vom Untergrund aufgesaugt. Gleichzei-

tig fließen die Bindemittelteilchen zusammen und bilden einen Film, in den die Pigmente, Füllstoffe und Additive eingebettet sind. Die am häufigsten in Dispersionsfarben eingesetzten Bindemittel sind Reinacrylate und Styrol-acrylate.

Die Bindemittel-Basis erlaubt jedoch nur bedingt Aussagen über die Eigenschaften der Farbe. Je nach Formulierung, z.B. Bindemittelanteil, Pigment-Volumen-Konzentration und Art der Additive unterscheiden sich die Anwendungseigenschaften deutlich. Daher werden die Farben oft **nach technischen Kriterien** eingeteilt, vor allem nach der Wasseraufnahme und Wasserdampfdiffusions-Fähigkeit:

### Einteilung nach der Wasseraufnahme

Die Wasseraufnahme von Baustoffen folgt i.A. dem Gesetz

$$W = w \cdot \sqrt{t}$$

Der Kennwert „Wasseraufnahmekoeffizient“  $w$  wird nach DIN EN 1062 aus dem Bereich der  $W(t)$ -Kurve bestimmt, die eine  $\sqrt{t}$ -Abhängigkeit zeigt. Vereinfachend beschreibt  $w$  die Wasseraufnahme in  $\text{kg/m}^2$  nach einer Stunde Wasserbelastung. Je geringer der Wert von  $w$ , desto geeigneter ist eine Beschichtung als Schutz gegen Wasseraufnahme.

### Einteilung nach der Wasserdampf-Durchlässigkeit

Als Kennwert der Wasserdampf-Durchlässigkeit wird die „diffusionsäquivalente Luftschichtdicke“  $s_d$  verwendet. Der  $s_d$ -Wert (in m) gibt die Dicke einer ruhenden Luftschicht mit der gleichen Wasserdampf-Durchlässigkeit wie die zu beschreibende Beschichtung. Damit lassen sich Beschichtungen unabhängig von Dicke und Zusammensetzung anschaulich vergleichen. Je kleiner der  $s_d$ -Wert einer Beschichtung ist, desto besser kann Wasserdampf durch die Schicht transportiert werden, und umso besser können feuchte Wände trocknen.

Ideale Fassenschutzfarben zeigen also sowohl möglichst geringe Werte von  $w$  als auch möglichst geringe Werte von  $s_d$ . Zumindest müssen die Werte von Wasseraufnahme ( $w$ -Wert) und Wasserdampfdurchlässigkeit ( $s_d$ -Wert) so aufeinander abgestimmt sein, dass alles Wasser, das in Nass-Perioden von der Mauer aufgenommen wird, in Trocken-Perioden durch Wasserdampfdiffusion wieder abgegeben werden kann (Fassadenschutz-Theorie von Künzel).

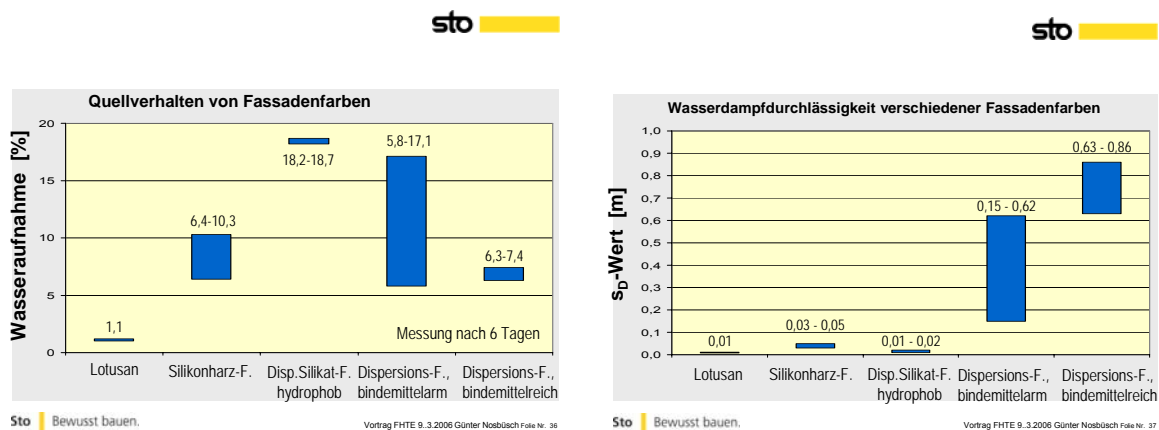


Abbildung 13-6: Wasseraufnahme und diffusionsäquivalente Luftschichtdicke von Fassadefarben mit unterschiedlichen Bindemitteln. Bild: STO AG

### Neue Entwicklungen von Fassadenfarben

Ein wichtiges Ziel bei der Entwicklung neuer Fassadenfarben ist eine geringe Verschmutzungsneigung der Oberfläche. Zwei Beispiele solcher Entwicklungen sind:

- Fassadenfarbe mit Lotus-Effekt
- Photokatalytisch wirkende Fassadenfarben

Diese beiden Typen sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden:

#### Fassadenfarbe mit Lotuseffekt

Die Lotus Pflanze, in den asiatischen Ländern wegen ihrer makellos sauberen Blätter als heilige Pflanze verehrt, dient als Grundlage für den nach ihr benannten Lotus-Effekt. Auf ihren Blättern haften

Wasser und Schmutz so schlecht, dass bereits ein leichter Regen genügt, um sämtliche Verschmutzungen wieder abzuspülen. 1975 wurde dies vom Botaniker Wilhelm Barthlott der Universität in Heidelberg genauer untersucht.



Abbildung 13-7: Lotusblatt (links) und abperlender, mit Schmutz beladener Wassertropfen (rechts)  
Bilder: STO AG

Die Sauberkeit der Blätter beruht einerseits auf den stark wasserabweisenden Eigenschaften, der sog. Hydrophobie der Blattoberfläche, andererseits auf deren noppenartiger Feinstruktur mit Dimensionen im Nanometer-Bereich. Wasser kann eine hydrophobe Oberfläche nicht benetzen, sondern bildet runde Tropfen, die schon bei geringster Neigung von der Oberfläche abrollen. Der selbstreinigende Effekt entsteht durch die geringe Kontaktfläche zwischen Schmutz und der nano-strukturierten Oberfläche. Die Adhäsion von Partikeln auf solchen Oberflächen ist minimal, da sie wie ein Fakir auf dem Nagelbrett nur auf den wenigen Nanometer dicken Spitzen der Struktur aufliegen können. Diese Kombination führt dazu, dass einige Tropfen abperlendes Wasser genügen, um die Verschmutzung rückstandsfrei zu entfernen.

Bei der Fassadenfarbe „Lotusan“ von STO wurden die Hydrophobie und Oberflächenstruktur des Lotus-Blattes nachgestellt. Es handelt sich um eine Polysiloxan-Farbe. Die hydrophobierende Komponente ist hier keine höhermolekulare Silicium-organische Verbindung, wie bei Siliconharz-Farben, sondern ein eher niedermolekulares Oligomer.

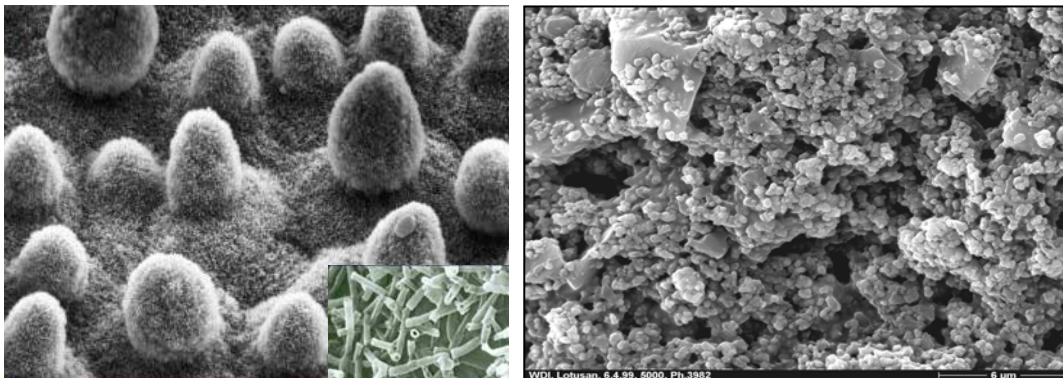


Abbildung 13-8: Oberflächenstruktur des Lotusblattes (links) und der Fassadenfarbe Lotusan (rechts)  
Bilder: STO AG

Die Verschmutzungsneigung einer solchen Beschichtung ist deutlich geringer als von anderen Fassadenbeschichtungen, wie z.B. ein einfacher Schlammtest zeigt. Für diesen Effekt ist jedoch notwendig, dass sich die Oberflächenstruktur nach der Applikation ausbilden kann, d.h. es ist eine Mindestzeit mit Bewitterung nötig.

### Photokatalytisch wirkende Bautenbeschichtungen

Eine andere Art von selbstreinigenden Farben sind die photokatalytischen Bautenbeschichtungen. Diese Beschichtungen enthalten Titandioxid-Pigmente, welche bei Bestrahlung mit Licht geeigneter Wellenlänge und Intensität chemische Reaktionen auslösen können, ohne selbst verbraucht zu werden (Katalysator). Durch die photokatalytische Wirkung des  $\text{TiO}_2$  können organische Moleküle wie Schmutz oder Geruchsstoffe auf der Oberfläche der Beschichtungen abgebaut werden. Aufgrund ihrer

großen Oberfläche eignen sich für photokatalytisch wirkende Beschichtungen vor allem nano-skalige Titandioxide.

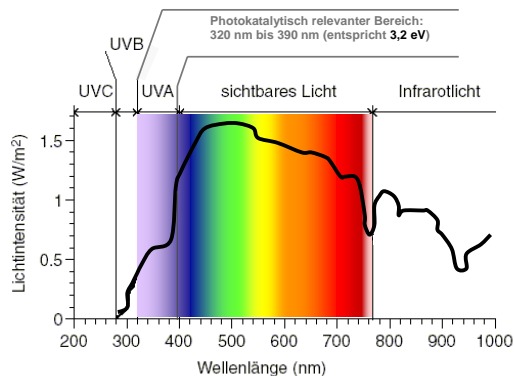


Abbildung 13-9: Spektrum des Sonnenlichts und photokatalytisch wirksamer Bereich bei  $TiO_2$ -Pigmenten. Bild: STO AG

Da im Außenbereich die Strahlungsintensität wesentlich höher ist als im Innenbereich, eignen sich diese Beschichtungen vor allem für Außenfassaden. Aber auch für die geringere Strahlung in Innenräumen wurden bereits photokatalytisch wirksame Beschichtungen entwickelt, z.B. die Farbe Climasan von STO.

### Weiterführende Literatur

- H. Reul, Handbuch Bautenschutz und Bausanierung, Rudolf Müller, Köln, 2001.
- H. Weber und Mitautoren, Fassadenschutz und Bausanierung, Expert Verlag GmbH, Renningen, 1992.
- R. Karsten, Bauchemie - Ursachen, Verhütung und Sanierung von Bauschäden, C.F.Müller Verlag, Heidelberg, 2003.
- K.W. Liersch, Bauphysik kompakt - Wärme und Feuchteschutz, Bauwerk Verlag GmbH, Berlin, 2001.
- H. Knoblauch, U. Schneider, Bauchemie, Werner Verlag, Düsseldorf, 2001.

### Versuche (voraussichtlich)

- Herstellung einer einfachen Bautenbeschichtung
- Einfache Prüfungen, z.B. Deckvermögen, Scheuerbeständigkeit, Schlammtest, Hydrophilie/-phobie
- Messung der Wasseraufnahme von beschichteten Baustoffen
- Messung der Wasserdampfdiffusion durch Beschichtungen
- Konzeption und Durchführung von Testverfahren zur Beurteilung des Selbstreinigungseffektes von Beschichtungen

## 13.3 Korrosionsschutz-Beschichtungen (Lobnig)

### 13.3.1 Kosten durch Korrosion

Die durch Korrosion von Bauteilen entstehenden Kosten machen ca. 4,2% des Bruttonutzenproduktes aus. Dies beinhaltet einerseits die direkten Kosten für Material- und Bauteilersatz, andererseits die indirekten Kosten wie z.B. solche, die durch den Produktionsausfall von Anlagen entstehen. Nach einer britischen Studie (T.P.Hoar, Report of the committee on corrosion and protection, HMSO, London, 1971) könnte ein Viertel dieser Kosten durch den Gebrauch besserer, seit langem bekannter Korrosionsschutz-Techniken gespart werden. Eine der wichtigsten Korrosionsschutz-Maßnahmen ist der Schutz durch Beschichtungen.

### 13.3.2 Mechanismus der Korrosion

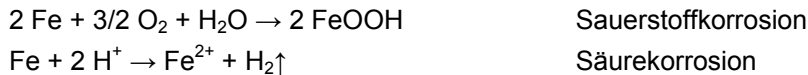
Unter Korrosion versteht man die Reaktion eines metallischen Werkstoffes mit seiner Umgebung, die eine messbare Veränderung des Werkstoffes (Korrosionserscheinung) bewirkt und zu einer Beeinträchtigung der Funktion eines metallischen Bauteils oder eines ganzen Systems (Korrosionsschaden) führen kann.

Im Folgenden sollen die ablaufenden Vorgänge am Beispiel des Rostens von Eisen beschrieben werden:

Wie schon aus der Definition der Korrosion ersichtlich, handelt es sich um eine chemische Reaktion. Materialabtrag durch mechanische Einwirkung ist somit keine Korrosion, sondern Verschleiß. Mit Reaktionen sind einerseits Stoffumsatz, andererseits Energieumsatz verbunden.

Bei den meisten Gebrauchsmetallen ist das Metall energieärmer als das Korrosionsprodukt. Daher läuft die Korrosion meist freiwillig ab, dagegen muss zur Herstellung der Metalle aus ihren Erzen Energie aufgewendet werden (→ Hochofenprozess).

Die häufigsten Reaktionspartner für korrodierendes Eisen sind Sauerstoff (O<sub>2</sub>) aus der Luft oder Protonen (H<sup>+</sup>) aus dem Wasser, letztere insbesondere bei sauren Lösungen. Die entsprechenden Stoffumsätze lassen sich mit chemischen Reaktionen beschreiben:



In beiden Fällen gibt das metallische Eisen (Fe) zwei Elektronen pro Atom an den Reaktionspartner ab, d.h. das Eisen wird oxidiert. Der Reaktionspartner (O<sub>2</sub> oder H<sup>+</sup>) nimmt Elektronen auf, d.h. wird reduziert. Korrosion bei Raumtemperatur ist eine Redox-Reaktion, bei der Ladungen zwischen den beiden Reaktionspartnern verschoben werden.

Beispiel Säurekorrosion:

Oxidation:  $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$  (Elektronen bleiben im Metall, Kationen gehen in den Elektrolyten)

Reduktion:  $2 \text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$  (Elektronen gehen in den Elektrolyten)

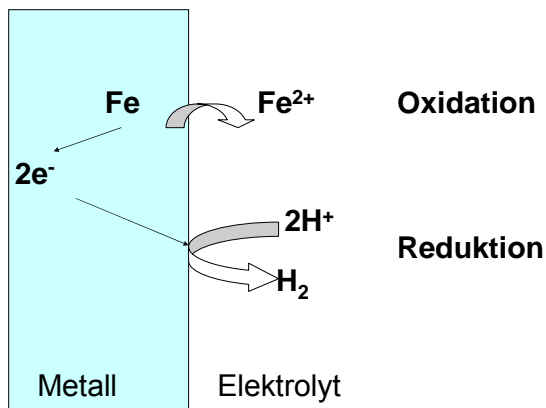


Abbildung 13-10: Mechanismus der Korrosion von Eisen

Die am Ort der Oxidation, der Anode, entstehenden Elektronen (e<sup>-</sup>) wandern im Metall zum Ort der Reduktion, der Kathode, wo sie verbraucht werden. Bei gleichmäßiger Korrosion wechseln die Orte von Anode und Kathode auf der Oberfläche statistisch über die Zeit. Die Korrosion bei Raumtemperatur ist also eine Grenzflächenreaktion mit Ladungs-Übergängen über die Grenzfläche Metall/Lösung.

Bei Raumtemperatur sind die oben beschriebenen Reaktionen nur möglich bei Anwesenheit eines Elektrolyts, d.h. in Gegenwart von Wasser und darin gelösten Ionen. Selbst bei atmosphärischer Auslagerung sind die scheinbar trockenen Oberflächen von sehr dünnen Elektrolyt-Schichten bedeckt (bei relativen Luftfeuchten oberhalb von ca. 60%), welche dick genug sind, um Korrosionsreaktionen zu erlauben.

Die entstehenden Reaktionsprodukte können fest sein und auf der Oberfläche verbleiben, wie der Rost, eine Mischung aus Eisenoxiden und -hydroxiden (z.B. FeOOH), oder löslich sein und somit von der Oberfläche in die Lösung transportiert werden (z.B. Fe<sup>2+</sup>). Im letzteren Fall bleibt die Metalloberfläche blank.

### 13.3.3 Korrosionsschutz durch Beschichtungen

Der Aufbau von Korrosionsschutz-Beschichtungen ist i.A. mindestens zweilagig. Die auf das Metall aufgetragene Grundbeschichtung ist für die Haftung auf dem Metall verantwortlich sowie für aktiven Korrosionsschutz. Letzteres bedeutet, dass Komponenten der Beschichtung aktiv in die chemischen Reaktionen eingreifen und damit die Korrosion verlangsamen oder verhindern. Die Deckbeschichtung schützt die Grundbeschichtung vor der Umgebung.

Die Korrosionsschutz-Wirkung von Beschichtungen wird hauptsächlich auf 2 Mechanismen zurückgeführt:

- Die Barrierewirkung gegen die Einwirkung korrosiver Substanzen
- Die Wirkung aktiver Pigmente und Inhibitoren.

### Barrierewirkung von Beschichtungen

Die Beschichtung soll die beiden Reaktionspartner der Korrosion, d.h. aggressive Umgebung und Metall, voneinander trennen, und somit die Korrosion verhindern. Eine gute Barrierewirkung von Beschichtungen erfordert das Fehlen von Poren, Rissen und Abplatzungen und damit auch eine gute Haftung, sowie geringe Permeationsgeschwindigkeiten durch die intakte Schicht. Die Permeation von Wasser und Sauerstoff durch Beschichtungen wäre zwar genügend hoch, um Korrosionsprozesse an der Metall-Beschichtungsgrenzfläche prinzipiell zu erlauben, aber die Durchlässigkeit für Ionen ist sehr gering. Da keine bzw. kaum Ionen zur Metall-Oberfläche gelangen können, liegt dort auch kein Elektrolyt vor. Damit sind Korrosionsreaktionen nicht möglich bzw. extrem langsam.

### 13.3.4 Korrosionsschutz-Pigmente

Durch die Beimischung von Korrosionsschutz-Pigmenten können die Schutzeigenschaften der Beschichtungen erheblich verbessert werden. Prinzipiell können 4 Mechanismen der Wirkung unterschieden werden:

#### Verringerung der Diffusionsgeschwindigkeit der eindringenden Schadstoffe:

Treibende Kraft für die Wanderung von korrosiven Stoffen der Umgebung (z.B.  $H_2O$ ,  $O_2$ ,  $SO_2$ ,  $NaCl$ ) durch eine Beschichtung ist der Versuch, Konzentrationsunterschiede auszugleichen (Diffusion). Je länger der Diffusionsweg und je geringer der Konzentrationsunterschied, desto langsamer wandern (diffundieren) die Stoffe durch die Beschichtung. Eine solche Verlangsamung kann z.B. durch den Einsatz dickerer Korrosionsschutz-Beschichtungen erreicht werden, oder durch den Einbau von plättchenförmigen, chemisch inerten Pigmenten mit einer dachziegel-artigen Ausrichtung parallel zur Oberfläche erreicht werden, z.B. Eisenglimmer ( $Fe_2O_3$ ) oder Aluminium-Plättchen (Al):

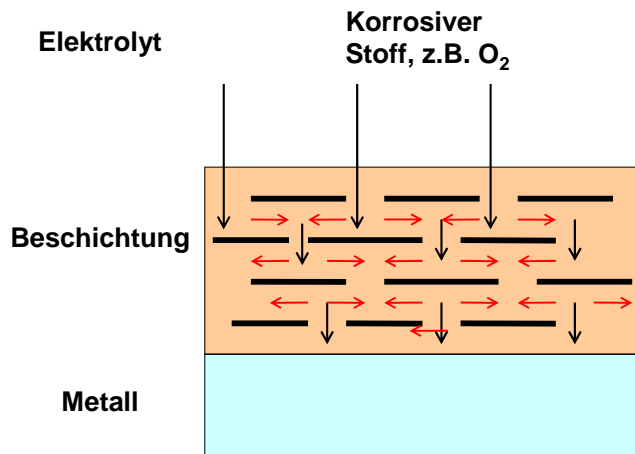
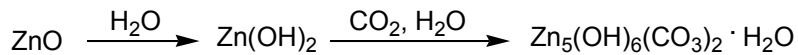


Abbildung 13-11: Wirkung von Sperrpigmenten in Korrosionsschutz-Beschichtungen

Der Diffusionsweg ist deutlich länger als ohne Pigment-Zugabe. Da die Schadstoffe wegen der Ausrichtung der Pigmente auch parallel zur Oberfläche wandern müssen (rote Pfeile), in dieser Richtung aber kein Konzentrationsunterschied zu erwarten ist (Die Schadstoffe dringen an allen Stellen der Oberfläche gleichermaßen ein.), verlangsamt sich die Wanderungsgeschwindigkeit erheblich und die Barriere-Wirkung der Beschichtung wird deutlich besser.

#### Reaktion von Pigment und eindringendem Schadstoff:

Pigmente, wie z.B. Zinkweiss ( $ZnO$ ) und Zinkphosphat ( $Zn_3(PO_4)_2$ ), können mit eindringenden Schadstoffen zu unlöslichen Produkten reagieren, die in der Beschichtung verbleiben, dort aber unschädlich sind. Z.B. reagiert Zinkweiss mit Wasser zum basischen Zinkhydroxid ( $Zn(OH)_2$ ), welches mit sauren Schadstoffen aus der Luft, z.B. Kohlendioxid ( $CO_2$ ), reagieren kann, und diese abfängt. Das Produkt ist ein unlösliches basisches Zinkcarbonat:



### Passivierung

Durch die Reaktion zwischen Metall und Pigment wird eine dünne Schutzschicht auf der Metalloberfläche gebildet, die weitere Auflösung des Metalls verhindert (Passivierung). Beispiele für Pigmente mit dieser Wirkung sind Zinkphosphat und die inzwischen wegen ihrer Umweltschädlichkeit verbotenen Pigmente Bleimennige und Zinkchromat.

### Kathodischer Schutz:

Durch den Kontakt zwischen Metall und Pigmenten wird das Potential des Metalls in einen Bereich verschoben, in dem Korrosion aus thermodynamischen Gründen nicht möglich ist. Ein Beispiel dafür ist Zinkstaub. Wenn die in die Beschichtung eingebaute Menge Zinkstaub genügend hoch ist, verhält sich die Beschichtung ähnlich wie ein metallischer Zink-Überzug. Selbst im Falle einer Verletzung der Schicht opfert sich das unedlere Zink zugunsten des edleren Untergrundes Eisen. Das Eisen wird dadurch vor Korrosion geschützt, stattdessen wird Zink aufgelöst.

### 13.3.5 Mechanismen des Versagens von Korrosionsschutzbeschichtungen

Die meisten Degradations-Prozesse finden an den Grenzflächen Metall/Beschichtung bzw. Beschichtung/korrosives Medium statt:

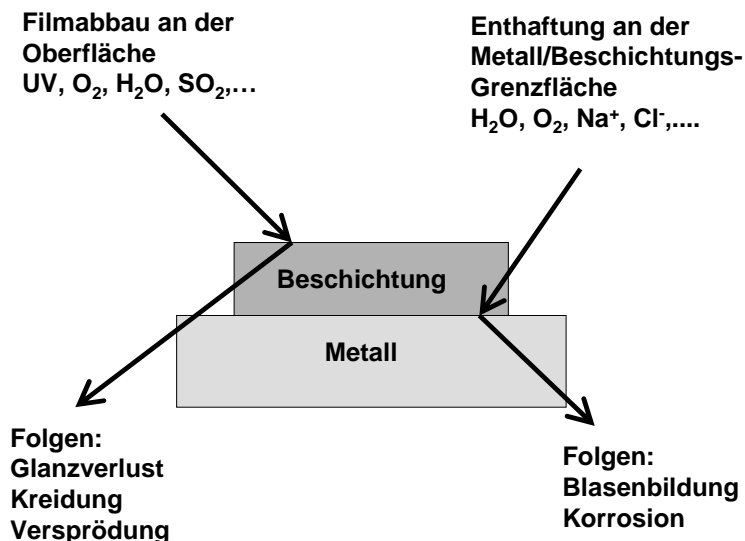


Abbildung 13-12: Wesentliche Ursachen des Verlustes der Schutzwirkung von Korrosionsschutz-Beschichtungen

Die Belastung der äußeren Oberfläche durch klimatische, chemische oder thermische Einflüsse, bei atmosphärischer Bewitterung vor allem durch UV-Licht und Sauerstoff, führt zur nachteiligen Veränderung der Barrierewirkung, Permeabilität, Geschmeidigkeit und Elastizität. Auch aggressive Stoffe wie  $\text{SO}_2$  oder  $\text{NH}_3$  können durch Reaktion mit dem Bindemittel die Beschichtung schädigen. Sichtbar wird dies zunächst durch den - durch Abbau des Bindemittels hervorgerufenen - Glanzverlust, später durch Kreiden oder durch Filmabbau, bei dem die ganze Dicke der Schicht erfasst wird. Dann ist das Bindemittel soweit abgebaut, dass die Pigmente und Füllstoff ihren Zusammenhalt verlieren, und man sie leicht von der Oberfläche entfernen kann.

Weiterhin sind Enthftungsvorgänge ausgehend von Verletzungen der Beschichtung von Bedeutung, die gleichmäßige Enthftung (kathodische Delamination) oder die Bildung fadenförmiger Korrosionsprodukte unterhalb der Beschichtung (Filiformkorrosion).

Ein anderer, häufig auftretender Schadensmechanismus ist die Blasenbildung.

Diese treten vor allem dann auf, wenn sich wasseranziehende (hygroskopische) Stoffe auf der Metalloberfläche unterhalb der Beschichtung befinden. Die Beschichtung besitzt eine sehr geringe Durchlässigkeit für Ionen, aber eine hohe für Wasser. Da nun unterschiedliche Konzentrationen des hygroskopischen Stoffes auf beiden Seiten der Beschichtung vorliegen, versucht das System diese durch Stofftransport (Diffusion) auszugleichen. Da die Diffusion von Ionen von der Metall-Beschichtungs-Grenzfläche nach außen nicht möglich ist, resultiert stattdessen eine Diffusion von Wasser durch die

Beschichtung vom Elektrolyten zur Metall-Beschichtungs-Grenzfläche, wodurch die Konzentration des hygroskopischen Stoffes dort abnimmt. Unterhalb der Beschichtung bilden sich Elektrolyt-gefüllte Blasen mit zunehmendem Überdruck, evtl. bis zum Aufplatzen der Beschichtung. Diese Blasen nennt man „osmotische Blasen“, da diese Art des Stofftransportes auch als „Osmose“ bezeichnet wird.

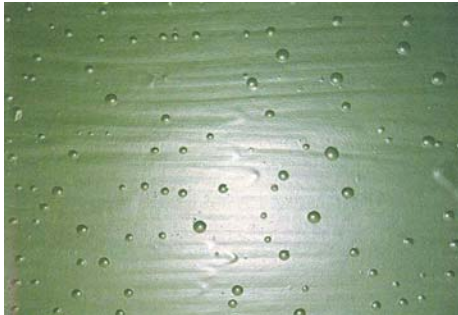


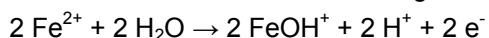
Abbildung 13-13: Osmotische Blasen durch Unterwasser-Belastung einer Korrosionsschutz-Beschichtung

Blasen als Folge von Temperaturgradienten entstehen bei sauberen Oberflächen nur, wenn die Werkstoffoberfläche kälter als das umgebende Medium ist. Da der Dampfdruck von Wasser exponentiell mit der Temperatur zunimmt, kommt es an der kälteren Werkstoffoberfläche laufend zur Kondensation von Wasserdampf. Der Blaseninhalt besteht unter idealen Bedingungen aus neutralem Wasser.

Sind die Proben mit einer äußeren Stromquelle verbunden, können ebenfalls Blasen auftreten. Werden Elektronen von der Stromquelle aus der Probe abgezogen, d.h. bei sog. anodischer Belastung, werden Metall-Atome oxidiert:



Die Elektronen des Metalls werden zur Stromquelle abgeführt, die verbleibenden Metall-Kationen verbleiben an der Metall-Beschichtungs-Grenzfläche und führen dort mit Wasser zur anodischen Blase. Die entstandenen Metall-Kationen reagieren mit dem Wasser in der Blase, d.h. hydrolisieren:



Der Inhalt der Blase reagiert aufgrund dieser Reaktion sauer.

Werden Elektronen von der Stromquelle in die Probe gezwungen, d.h. bei sog. kathodischer Belastung, können kathodische Blasen entstehen. Der leicht durch die Beschichtung wandernde Sauerstoff nimmt die Elektronen an der Metall-Beschichtungs-Grenzfläche auf, d.h. er wird reduziert:



Dies führt zur Alkalisierung des Blaseninhaltes durch die entstehenden OH<sup>-</sup>-Ionen.

### 13.3.6 Korrosions-Prüfungen

Zur Untersuchung des Korrosions- bzw. Korrosionsschutzverhaltens gehört zunächst der Korrosionsversuch, meist die chemische, elektrische, mechanische oder thermische Belastung der zu untersuchenden Systeme. Darauf folgt die Versuchsauswertung, bei der die Abweichung von Kennwerten oder anwendungstechnischen Eigenschaften vom ursprünglichen Wert vor der Korrosionsbelastung gemessen oder bestimmt wird. In der Industrie werden meist die Belastungsbedingungen im Vergleich zum praktischen Einsatz verschärft, um schneller die Korrosionsschutz-Wirkung beurteilen zu können, z.B. durch

- Erhöhung der Temperatur
- Erhöhung der Konzentration des angreifenden Mediums
- Einsatz aggressiverer Medien
- Veränderung der Strahlungsart bzw. Erhöhung der Strahlungsintensität
- Anbringen von Verletzungen an Beschichtungen und Überzügen
- Einbringen zusätzlicher mechanischer Belastungen
- Kombination der zeitlichen Abfolge von gleichen bzw. verschiedenen Belastungsbedingungen
- Kombination gleichzeitig einwirkender Belastungsbedingungen unterschiedlichster Art

Die Belastungsbedingungen dürfen jedoch nicht zu stark von den praktischen Einsatz-Bedingungen abweichen, da sonst evtl. Veränderungen der Korrosionsmechanismen auftreten können, und keine Korrelation mehr zwischen Praxis-Tauglichkeit und Ergebnis des verschärften Tests besteht.

### Industrie-übliche Testverfahren sind z.B.:

- Lagerung in Außenatmosphären und Besprühen der Proben mit Salzwasser in regelmäßigen Abständen
- Häufiges Befeuchten und Trocknen der Proben, da die schnellste Korrosion während der Befeuchtungs- bzw. Trocknungsphasen stattfindet.
- Lagerung der Proben unter einer UV-Lampe
- Salzsprühtest: Lagerung bei 35°C unter dauerndem Nebel einer 3,5 Gew-% NaCl-Lösung

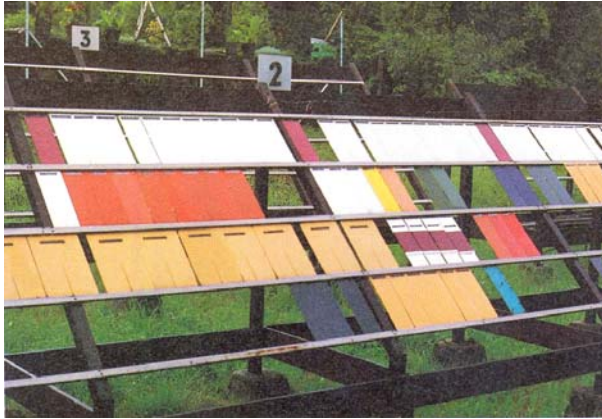


Abb. 5: Freibewitterungsstand bei SIKA in Stuttgart

Sinnvoll beim Testen von Korrosionsschutz-Beschichtungen ist es, vor der Auslagerung einen Ritz durch die Beschichtung bis zum Metall zu erzeugen, z.B. mit Hilfe eines Präzisionsinstrumentes oder auch einfach mit Hilfe eines Nagels oder Messers. Später wird optisch beurteilt, wie weit sich die Beschichtung ausgehend vom Defekt vom Untergrund gelöst hat.

Die Probenveränderungen werden häufig einfach visuell beurteilt, durch Glanz- oder Farbmessung oder Mikroskopie.

### Weiterführende Literatur

Egon Kunze, Korrosion und Korrosionsschutz, (6 Bände), Wiley-VCH Verlag, April 2001

Vorlesungen über Korrosion und Korrosionsschutz von Werkstoffen, (2 Bände), Institut für Korrosionsschutz Dresden, TAW-Verlag, Wuppertal, 1997

D.A.Jones, Principles and Prevention of Corrosion, Macmillan Publishing Company, 1992

E.Heitz, R.Henkhaus, A.Rahmel, Korrosionskunde im Experiment, Wiley-VCH, 1983.

### Versuche (voraussichtlich)

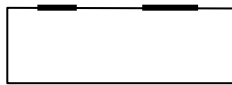
- Korrosion von Eisen in verschiedenen Medien, Einfluss von Sauerstoff und Säure
- Herstellung einer Korrosionsschutz-Beschichtung auf Wasserbasis
- Modellversuche zum Versagen Korrosionsschutz-Beschichtungen:
  - Osmotische Blasenbildung
  - Anodische und Kathodische Blasenbildung
  - Kathodische Delamination
  - Filiform-Korrosion
- Konzeption und Durchführung von Tests zur Beurteilung der Korrosionsschutz-Wirkung von Beschichtungen

### 13.4 Druckfarben (Meichsner)

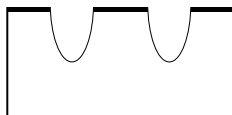
Klassische Druckfarben sind farbmittelhaltige Zubereitungen, die über eine Druckform auf den Bedruckstoff aufgetragen werden. Man unterscheidet dabei Offsetdruck, Flexodruck, Tiefdruck und Siebdruck. Die Druckverfahren unterscheiden sich durch die Lage der druckenden Elemente und zum Teil in der Art des Bedruckstoffes. Für jedes Verfahren muss eine Druckfarbe mit einer speziellen Zusammensetzung verwendet werden. Beim Offsetdruck und Siebdruck benötigt man hochviskose (zähflüs-

sige) Farben, beim Tief- und Flexodruck extrem dünnflüssige und somit lösemittelhaltige oder wässrige Druckfarben.

## Druckverfahren



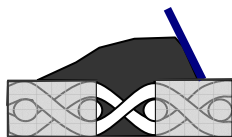
**Offsetdruck** – Flachdruck, druckende und nicht druckende Stellen liegen in einer Ebene



**Flexodruck** – Hochdruck, druckende Stellen sind erhaben



**Tiefdruck** – Tiefdruck, druckende Stellen sind Vertiefungen in der Druckform



**Siebdruck** – Durchdruck, druckende Stellen sind nicht beschichtete Maschen im Siebgewebe

Abbildung 13-14: Prinzip der klassischen Druckverfahren

Beim Offsetdruck, einem Flachdruckverfahren, liegen druckende und nichtdruckende Bereiche in der gleichen Ebene der Druckform, sie unterscheiden sich lediglich dadurch, dass die druckenden Stellen hydrophob sind und deshalb die ebenfalls hydrophobe Druckfarbe annehmen. Die nicht druckenden Stellen der Druckform sind hydrophil (meist Aluminiumblech), sie werden durch das Feuchtwerk mit einem dünnen Film des Feuchtmittels (wässrige Lösung) überzogen. Dadurch kann auf diese Stellen die hydrophobe Farbe nicht mehr übertragen werden. Da man pastöse Druckfarben verwendet, wird ein sehr großes Farbwerk mit zahlreichen Walzen zur Druckfarbenverteilung benötigt, damit schließlich auf dem Weg vom Farbkasten zur Druckplatte nur noch ein dünner homogener Farbfilm übertragen wird. Für jede Farbe benötigt man ein eigenes Druckwerk, so wie es in Abbildung 13-15 gezeigt ist. Im Offsetdruck wird meist auf Papier gedruckt, typische Druckerzeugnisse sind Zeitungen, Illustrierte mit kleinen Auflagen, Kunstdrucke, Bücher etc.

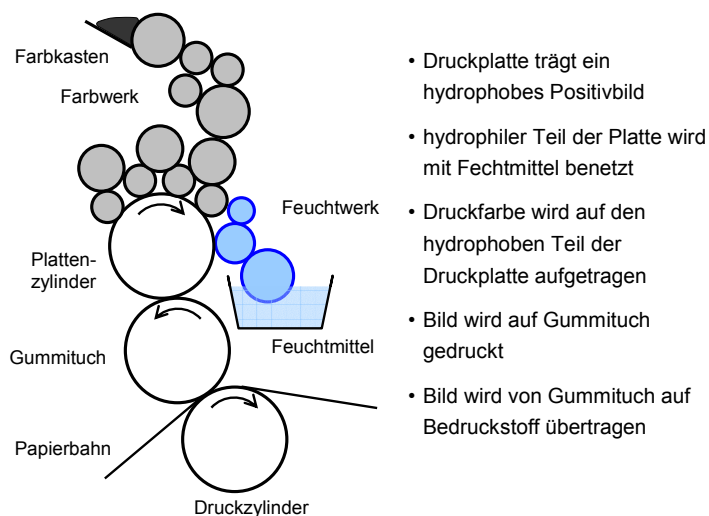


Abbildung 13-15: Prinzip des Offsetdruckes

Der Flexodruck (Abbildung 13-16) ist ein Hochdruckverfahren, dort sind die druckenden Teile der Druckform erhaben. Als Druckplatten setzt man meist Gummiklischees oder sog. Fotopolymerplatten ein. Letztere können direkt durch Belichtung mit einem Laser und anschließende chemische Behandlung strukturiert werden, was die sog. Computer-to-Plate-Technologie ermöglicht. Die dünnflüssige Druckfarbe wird durch eine Tauch- und Rasterwalze, das ist eine verchromte Metall- oder eine Keramikwalze mit vielen kleinen Nöpfchen zur Farbaufnahme auf die Druckform übertragen. Im Flexodruck werden meist Verpackungsmaterialien gedruckt. Als Bedruckstoff eignen sich leichte und schwere Papiere, Karton, Kunststofffolien etc.

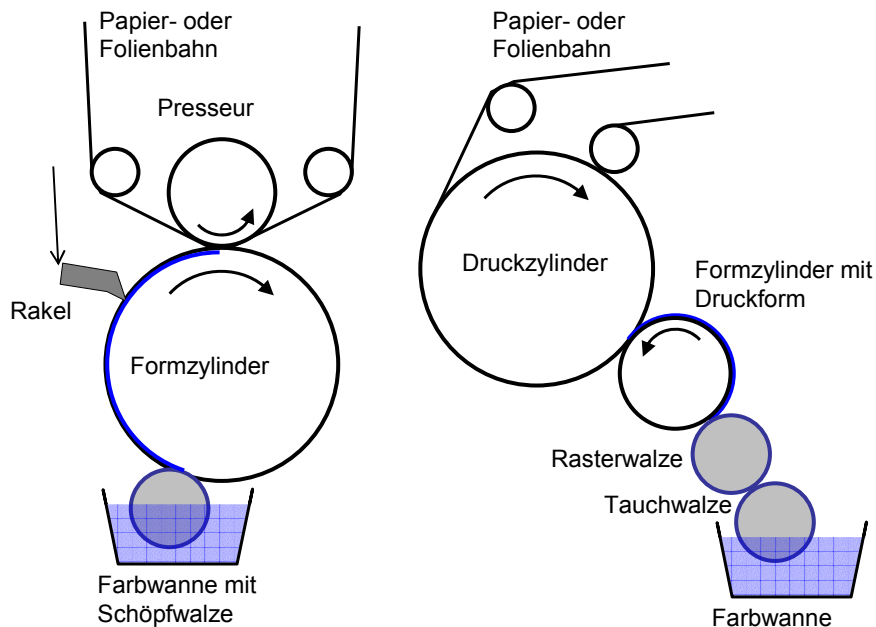


Abbildung 13-16: Prinzip des Tiefdrucks (links) und des Flexodrucks (rechts).

Beim Tiefdruck (Abbildung 13-16) sind die druckenden Teile als Negativbild in Form kleiner Vertiefungen (Nöpfchen) in eine verchromte Druckplatte eingraviert oder chemisch eingätzt. Die dünnflüssige Farbe wird durch eine Schöpfwalze in die Nöpfchen in der Druckform übertragen. Durch ein fest angepresstes Rakelmesser wird die Farbe von der Oberfläche abgestreift, so dass beim Drucken lediglich die Farbe in den Nöpfchen vorhanden ist. Der Tiefdruck ist nur für Druckerzeugnisse mit hoher Auflage geeignet, z. B. Illustrierte wie Spiegel oder Stern, Bieretiketten, Verpackungen etc.

Beim Siebdruck, dem sog. Durchdruck, besteht die Druckform aus einem Gewebe, bei dem das Druckbild für die Farbe durchlässig ist. Die Druckfarbe ist den Tief- und Flexodruckfarben ähnlich, hat aber eine höhere Viskosität. Beim Drucken wird sie meist mit einer Rakel durch das Gewebe auf den Bedruckstoff gepresst. Geeignet ist der Siebdruck für flache, aber auch für gewölbte Bedruckstoffe. So können auch Gläser, Metalle, Keramik, Textilien jeglicher Art und Kunststoffteile bedruckt werden. Die gedruckten Schichten sind mit 5 bis 30  $\mu\text{m}$  deutlich dicker als bei den andern Druckverfahren. Spezielle Anwendungen des Siebdruckes sind die Herstellung von Tachometerscheibe, von Leiterplatten mit gedruckten Schaltungen, oder die Serigraphie (drucken hochwertiger Plakate und Bilder im Vielfar-bendruck).

### Herstellung und Zusammensetzung von Druckfarben

Druckfarben stellt man aus einem Bindemittel (Firniss), Lösemittel und Farbmitteln, meist Pigmenten her. Erstaunlich ist, dass der größte Teil der heute hergestellten Pigmente in Druckfarben verbraucht wird. Daneben können Additive (Hilfsstoffe), z. B. Trockenstoffe enthalten sein. Die gedruckten Schichten sind sehr dünn, mit einer Dicke von weniger als 3  $\mu\text{m}$  (3 Millionstel Meter), und sie sollen lasierend sein (durchscheinend), deshalb müssen hier sehr feinteilige Pigmente eingesetzt werden. Lasierend sind die Schichten, wenn man Pigmente mit Teilchengrößen von weniger als einem Viertel der Lichtwellenlänge verwendet. Diese streuen das Licht nicht mehr, sondern werden durchstrahlt. Deshalb entsteht kein deckender Farbeindruck, sondern ein lasierender. Bei der Herstellung der Druckfarben müssen die Pigmente, die bei der Herstellung als sog. Agglomerate anfallen fein gemahlen werden. Dies geschieht bei den pastösen Druckfarben (Offset- und Siebdruckfarben) nach einer

Vormischung der Bestandteile mit einem Dissolver auf einem Dreiwalzenstuhl. Dabei werden die Pigmentagglomerate zwischen Walzen mit einem Durchmesser von ca. 50 cm zerrieben.

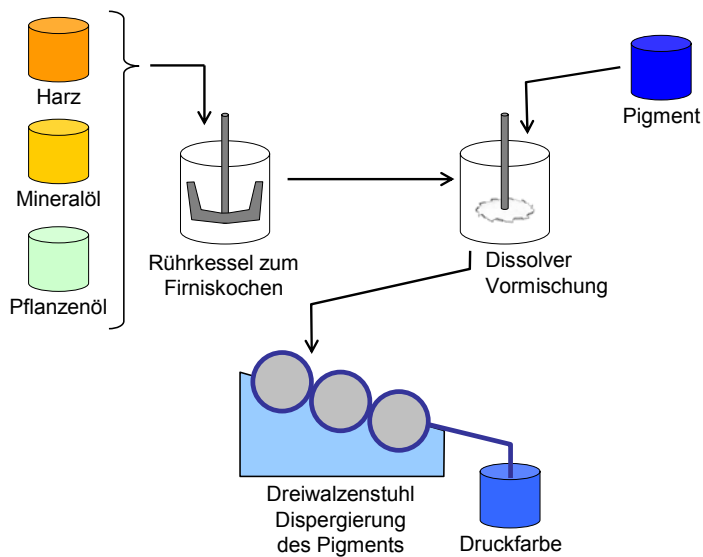


Abbildung 13-17: Herstellung pastöser Druckfarben mit dem Dreiwalzenstuhl (Offset- und Siebdruckfarben)

Die flüssigen Druckfarben (Tief- und Flexodruckfarbe) werden in einer Rührwerkskugelmühle gemahlen. Diese ist gefüllt mit dem Mahlgut, das Glasperlen oder Kügelchen aus Keramik enthält. Diese Kügelchen werden durch drehende Mahlscheiben gerührt. Die eigentliche Zermahlung geschieht durch ein Zerschlagen der Pigmentagglomerate zwischen den Kügelchen. Diese Methode ist nur geeignet für dünnflüssige Druckfarben, da bei pastösen (hochviskosen) Druckfarben nicht genügend Schlagenergie zur Zertrümmerung der Agglomerate eingebracht werden kann.

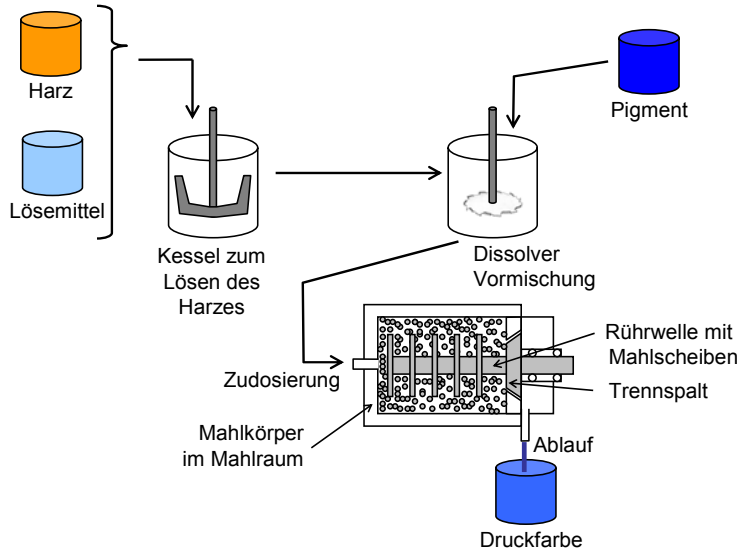


Abbildung 13-18: Herstellung flüssiger Druckfarben mit einer Rührwerkskugelmühle (Tief- und Flexodruckfarbe).

### 13.5 Künstlerfarben (Meichsner)

Da bereits Höhlenmalereien mit Farbe ausgeführt sind, dürften Künstlerfarben die ältesten bekannten Farben sein, die man kennt. Unter Künstlerfarben versteht man in erster Linie die flüssig vermalten Farben wie Ölfarbe, Acrylfarbe, Aquarellfarbe, Gouche und Tempera, Tusche und Tinte aber auch die festen Fraben, wie Pastellkriede, Wachsmalkreide, Zeichenkohle, Zeichenstifte und Farbstifte, Flüssige Künstlerfarben unterscheiden sich aufgrund des Bindemittelsystems und des Lösemittels. So unterscheidet man wässrige Farben und lösemittelhaltige Farben.

## flüssige Künstlerfarben

### wässrige Farben

- magere Tempera (Öl in Wasser-Emulsion)
- Aquarellfarbe (lasierende Pigmente, Volltonfarbe)
- Gouache, Deckfarbe (deckende Pigmente, Mischung mit Weiß)
- Tusche, Tinte (wässrig für Papier, bei Tusche Pigmente, bei Tinte Farbstoffe, Schellack oder wasserlösliches Kunstharz als Bindemittel)
- Acrylfarbe (Acrylatdispersionen und Styrol-Acrylatdispersionen)

### lösemittelhaltige Farben

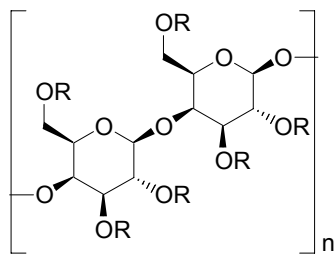
- fette Tempera (Wasser in Öl-Emulsion, mit und ohne Terpentin)
- Ölfarbe (meist Terpentin als Lösemittel)

Abbildung 13-19: Einteilung der flüssigen Künstlerfarben

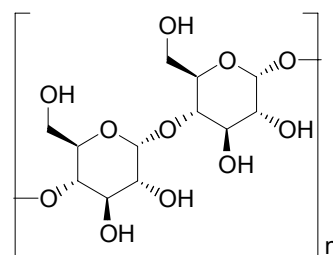
Im Folgenden werden, um den Rahmen nicht zu sprengen, nur die Aquarellfarben, die Ölfarben und die Pastelle behandelt.

### 13.5.1 Aquarellfarben

Die typische Anmutung von Aquarellen entsteht durch die Lasurwirkung der Aquarellfarben, die sehr dünn aufgetragen werden. Der Malgrund, in der Regel spezielles Aquarellpapier, der rein weiß und beim Farbauftrag möglichst unveränderlich sein soll, trägt maßgeblich zum Farbeindruck bei. Um die Lasurwirkung zu erreichen, verwendet man sehr feinteilige Pigmente, die das Licht nicht streuen, sondern durchstrahlt werden. Dies ist der Fall, wenn die Teilchen kleiner als ein Viertel der Lichtwellenlänge sind. Bei der Herstellung muss deshalb auf gute Dispergierung und Stabilisierung der Pigmente geachtet werden. In historischen Aquarellfarben werden Bindemittel verwendet, wie Gummi Arabicum, Dextrin, Tragant (4%), Fischleim und andere Leimlösungen. Heute wird als Bindemittel häufig Polyvinylalkohol eingesetzt, das ähnlich wie Gummi Arabicum wasserlöslich ist und Hydroxygruppen-tragendes Polymer ist.



Gummi Arabicum  
R = L-Arabinose, L-Rhamnose, D-Glucuronsäure



Dextrin

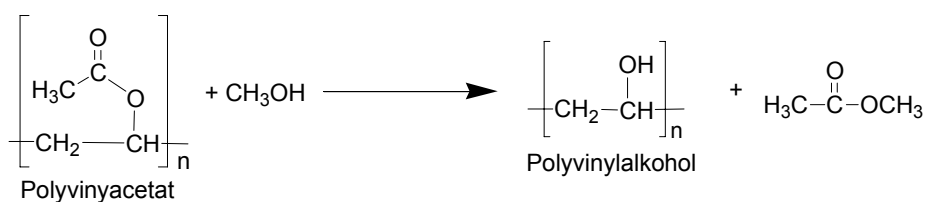


Abbildung 13-20: Idealisierte Struktur von Gummi Arabicum, von Dextrin und Herstellung des Polyvinylalkohol aus Polyvinylacetat.

Das Bindemittel soll zum einen die Pigmente im Näpfcchen des Aquarellfarbenkastens als kompakten-feste Masse zusammenhalten, in wässriger Lösung die Pigmente stabilisieren und nach dem Verma-len die Pigmente auf dem Papier stabilisieren. Die Bindemittelmenge soll so niedrig wie möglich sein, da die Farbe sonst auf dem Papier glänzt.

Daneben setzt man Glyzerin, Kandiszucker, Sirup oder Honig ein, um die Wasserannahme der Pig-mente zu verbessern [2] und die Geschmeidigkeit der Farbe zu erhöhen (in festem Zustand, weich und leicht anlösbar). Für die Verbesserung der Benetzung des Malgrundes und zur Stabilisierung der Pig-mente in der wässrigen Aquarellfarbe setzt man in alten Rezepturen Ochsen-galle ein, in modernen Aquarellfarben ist diese häufig durch tensidartige Netzmittel oder Dispergiermittel ein. Verzichtet man auf Dispergiermittel und Stabilisatoren, so kann es im Malprozess zur Flockung der Pigmente kommen und die Farbtöne erscheinen wegen der dann höheren Teilchengröße schmutzig und weniger brillant.

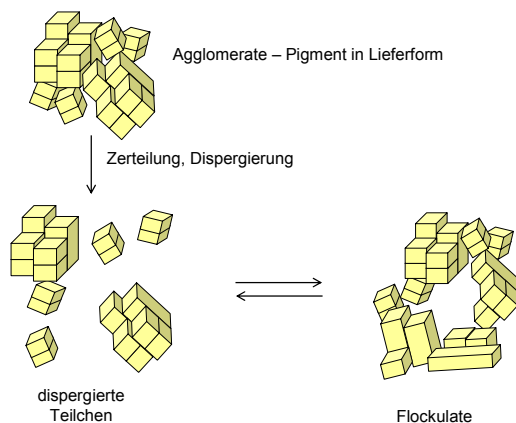


Abbildung 13-21: Bei der Farbherstellung wird das in Lieferform agglomerierte Pigment (relativ fest verbackene Teilchen) dispergiert, in der flüssigen Farbe stellt sich ein Gleichgewicht zwischen dispergierten Teilchen und Flockulat (locker aneinander hängende Teilchen) ein.

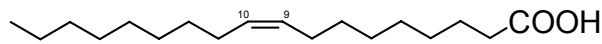
Von den Aquarellfarben unterscheiden sich die Deckfarben (das sind eigentlich Guachen), wie sie in Schulen verwendet werden, durch die Teilchengröße der verwendeten Pigmente und die Mitverwen-dung des stark Licht streuenden und damit deckenden Weißpigmentes Titandioxid. Große Teilchen streuen das Licht stärker und decken deshalb den Untergrund besser ab. Nach DIN 5023 muss ein Malkasten die zwölf Farbtöne Gelb, Orange, Zinnoberrot, Violett, Ultramarinblau, Cyanblau, Blaugrün, Gelbgrün, Ockergelb, Gebrannte Siena, Schwarz, Magentarot sowie Deckweiß enthalten (DIN 5023, Ausgabe:1989-02 Deckfarben-Malkasten).

Farbton	Farbton
Gelb	Ultramarinblau
Ockergelb	Cyanblau
Orange	Blaugrün
Zinnoberrot	Gelbgrün
Magentarot	Gebrannte Siena
Violett	Schwarz

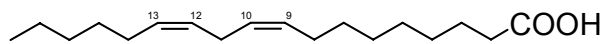
Abbildung 13-22: Farbzusammenstellung eines Deckfarben-Malkstens nach DIN 5023.

### 13.5.2 Ölfarben

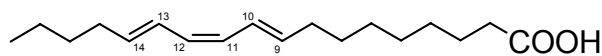
Öllacke auf der Basis von trocknenden Pflanzenölen waren in China bereits vor 5000 Jahren bekannt. Die Ölmalerei entstand im 15. Jahrhundert in Europa, zuvor wurde hauptsächlich mit Temperafarben gemalt. Ölfarben bestehen aus trocknenden Ölen und Pigmenten. Gegebenenfalls können auch Weich- oder Hartharze enthalten sein. In modernen Ölfarben werden außerdem trocknende Alkydharze eingesetzt. Die Öle sind nachwachsende Rohstoffen die auch die Basis der Alkydharze sind.



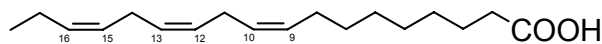
Ölsäure (Z)



Linolsäure (Z,Z)



Eläostearinsäure (E,Z,E)



Linolensäure (Z,Z,Z)

Die in Ölfarben und Alkydharzen verwendeten trocknenden Öle sind Leinöl, Mohnöl, Walnussöl, Hanf-öl, Sonnenblumenöl, Safloröl, Rizinusöl. Das sind Triglyceride, die unter anderem ungesättigte Fettsäuren wie Ölsäure, Linolsäure, Linolensäure oder Eläostarinsäure in unterschiedlichen Zusammensetzungen enthalten. Je nach Ihrem Gehalt an Doppelbindungen trocknen sie schnell oder langsamer, wodurch die Zeit der Verarbeitbarkeit gesteuert werden kann. Der oxidative Trocknungsprozess ist eines der ältesten Vernetzungsprinzipien bei Lacken. Die Vernetzungsreaktion gehorcht komplexen Reaktionsmechanismen, bei denen zunächst Sauerstoff aus der Luft aufgenommen wird und die gebildeten Zwischenprodukte meist durch Sikkative (Trockenstoffe) katalysiert vernetzen.

Während früher die Maler die Ölfarben selbst angerieben haben, dabei werden die Pigmente auf einem Reibstein im Leinöl fein zerrieben, werden heute zum überwiegenden Teil Ölfarben in Tuben eingesetzt. Dies dispergiert man auf einem Dreiwalzenstuhl, ähnlich wie die pastösen Druckfarben (Abbildung 13-17). Zur Verdünnung der Ölfarben wird meist Terpentinöl eingesetzt, ein Naturprodukt, das aus den Harzausflüssen von Koniferen durch Wasserdampf-Destillation gewonnen wird. Der Destillationsrückstand dabei ist Kollophonium, das man als Rohstoff zur Herstellung der Harze für pastöse Druckfarben einsetzt.

### 13.5.3 Pastelle

Das Zeichnen und Malen mit Pastellfarben ist die ursprünglichste Art der Malerei. Die Ursprünge der Pastellmalerei finden sich bereits in den Höhlenmalereien der Steinzeit. Anteigungen von Erdpigmenten wurden in Röhrenknochen getrocknet und dann als primitive Pastellstifte verwendet. Das Wort Pastell selbst stammt vom italienischen Begriff für Teig, nämlich „pasta“. Von der höfischen Malerei des Rokoko bis hinein in die Moderne bleibt die Pastellmalerei eine wichtige künstlerische Technik. Ein besonders bedeutender Vertreter der Pastellmalerei ist der Franzose Edgar Degas, dessen Zeichnungen heute noch oft als Lehrbeispiele herangezogen werden.

Die Pigmente haften bei der Pastellmalerei ohne Bindemittel allein durch Adhäsion auf dem Untergrund. Die unverfälschte, kräftige Farbwiedergabe und die durch das lockere Aufliegen der Farbteilchen auf dem Untergrund entstehende Tiefenwirkung begründen den besonderen Reiz der Pastellmalerei.

Pastellfarben lassen sich in drei Hauptgruppen unterteilen:

- traditionelle Pastellkreiden
- Ölpastellkreiden
- Ölstifte

Die traditionellen Pastellkreiden lassen sich in weiche bis harte Pastellkreiden unterteilen. Da diese Unterteilung jedoch nicht von der Zusammensetzung des Malmaterials, sondern allein von der Festigkeit der Kreiden abhängt, kann keine eindeutige Grenze gezogen werden. Die traditionellen Pastellkreiden setzen sich meist aus Pigmenten und Füllstoffen zusammen die mit einem Bindemittel aus Pflanzengummi, Leim oder Zuckerlösung in Stiffform gepresst werden. Weiche Pastellkreiden sind wasserlöslich, sehr weich im Auftrag, d.h. sie geben sehr viel Farbsubstanz ab. Auch das Verreiben ist mit weichen Pastellkreiden leicht möglich. Harte Pastellkreiden werden im Gegensatz zu den weichen nicht zum Ausfüllen von Flächen, sondern eher zum Zeichnen und Skizzieren verwendet.

Weiche und harte Pastellkreiden setzen sich in der Regel lediglich aus Pigmenten, Füllstoffen und Bindemittel zusammen. Der Hauptbestandteil der Pastelle ist das Pigment. Die Füllstoffe verhelfen den Pastellen zu ihrer notwendigen Weichheit und erfüllen auch Abbindefunktionen. Das wasserlösliche Bindemittel wird dabei in kleinstmöglichen Mengen eingesetzt, es dient lediglich dazu die Stiffform der Pastellkreide zu erhalten. Hilfsstoffe wie Netzmittel werden nur wenn unbedingt erforderlich zugesetzt.

Für Pastellkreiden werden zumeist stark verdünnte Lösungen von Pflanzengummi, Leim oder Gelatine verwendet. In früheren Zeiten wurden oft Haferschleim oder Zuckerlösungen als Bindemittel eingesetzt. Für Pastellkreiden mit Ton oder Zinkweiß wurde auch abgerahmte Milch als Bindemittel verwendet. Als Bindemittel auf Pflanzengummibasis wird meist Gummi Tragant eingesetzt, aber auch die Verwendung von Gummi Arabicum und Kirschgummi ist möglich. Pastelle mit Gummi Tragant werden samtig weich, während Gummi Arabicum und speziell Kirschgummi als härtere Binder gelten. Die als Bindemittel verwendeten Leime sind häufig stark verdünnte Lösungen von Methyl- oder Carboxymethylcellulose. Auch Glutin-Warmleime wie Knochen- oder Hautleim sind als Bindemittel geeignet. Hautleim wird, wie der Namen verrät aus dem Kollagen tierischer Haut gewonnen.

Die Ölpastellkreiden wurden erst nach dem zweiten Weltkrieg entwickelt und erlangten erst ab den 60er Jahren Beliebtheit bei Künstlern. Die Pigmente sind meist identisch mit denen traditioneller Pastellkreiden, zusätzlich ist aber auch die Herstellung von fluoreszierenden und metallischen Farbtönen möglich. Ölpastellkreiden enthalten neben der Mischung von Pigmentstoffen Wachse, Öle oder tierische Fette als Bindemittel. Im Unterschied zu den traditionellen Pastellkreiden sind die Ölpastellkreiden deshalb wasserabweisend und dafür terpeninlöslich. In ihren Eigenschaften ähneln die Ölpastellkreiden eher den Ölfarben. Sie bilden einen zusammenhängenden Malfilm, dicker als bei normalen Pastellkreiden, aber nicht so dick wie bei pastösen Ölfarben. Wegen der Aushärtung der Bindemittel ist ihre Lagerfähigkeit begrenzt. Auch das Fixieren ist im Gegensatz zur traditionellen Pastellmalerei nicht notwendig. Der bei der Pastellmalerei entstehende lästige Staub tritt bei der Verwendung von Ölpastellkreiden nicht auf.

Als Bindemittel für Ölpastellkreiden werden in der Regel terpeninlösliche Wachse, wie beispielsweise gebleichtes Bienenwachs oder Paraffin verwendet. Pigmente und Füllstoffe werden auch nicht in Wasser, sondern in Terpentinöl angerieben. Um das Haftungsvermögen dieser Pastelle zu erhöhen, werden natürliche, trocknende Öle, wie z.B. Leinöl, hinzugefügt.

#### 14 Farbdesign – Farbenlehre für den Farb- und Lackingenieur (Gröne)

Begriffsbestimmung „Farbe“ nach Lexikon – Farbe als „optischer Sinneseindruck“ definiert. Dadurch wird Farbe ein Teilbereich der Visuellen Wahrnehmung – auch der Visuellen Kommunikation.

Thematik: Farbreize lösen Farbempfindungen aus. Allein durch diese Definition werden die unterschiedlichen Naturwissenschaftsbereiche, die sich mit dem Thema „Farbe“ auseinandersetzen angesprochen.

Farbphysik, Farbphysiologie, Farbchemie und Farbwirkung (Farbpsychologie)

##### 14.1 Physiologischer Zusammenhang

Physiologie ist die Lehre darüber, wie der menschl. Körper geschaffen ist, um z. B. Farben wahrzunehmen.

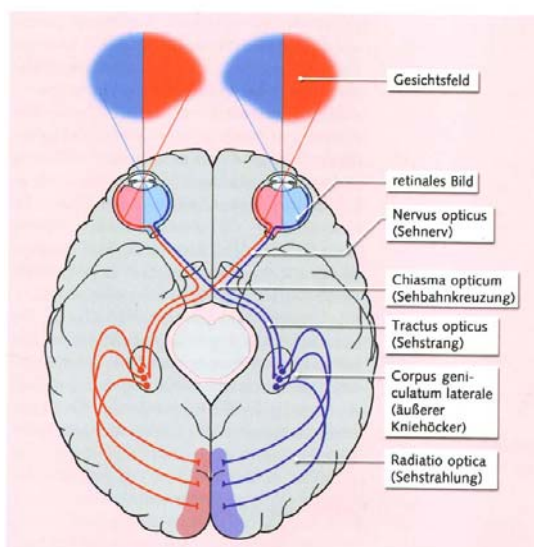


Abbildung 14-1: Visuelle Wahrnehmung

Das Auge ist das Visuelle Wahrnehmungsorgan des Menschen – über das Auge läuft eine ungeheure Zahl von Informationen, das Sehen gehört zu einem der 5 Sinne des Menschen.

Das menschliche Auge kann theoretisch ca. 10 Millionen Farbtöne unterscheiden.

Der Aufbau des menschl. Auges gliedert sich wie folgt:

Hornhaut – bietet Schutz vor Umwelteinflüssen und gleichzeitig den Lichtdurchlass

Iris und Pupille – dienen zur Helligkeitsregulierung (Pupille wird kleiner, bei starkem Lichteinfall, wird größer bei wenig Lichteinfall – Vergleich Kamera)

Linse – bringt das gesehene Bild auf die Netzhaut um 180 ° gedreht und reguliert die Schärfe eines Bildes.

Netzhaut – gleich Aughintergrund, auf ihm sind Zapfen und Stäbchen verteilt

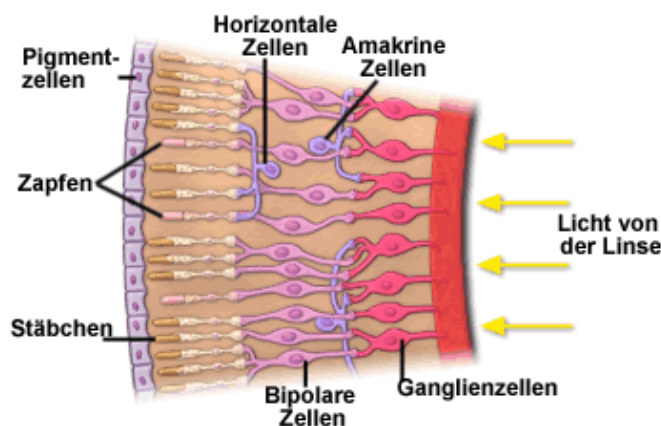


Abbildung 14-2 Aughintergrund

Stäbchen – ca. 130 Millionen sind zuständig für das Hell-Dunkel Sehen

Zäpfchen – ca. 7 Millionen sind zuständig für die Farbwahrnehmung (hier befinden sich 3 Rezeptoren, die fürs Farbsehen verantwortlich sind – Violett, Grün und Orange)

Farbblindheit – erklärt sich durch das Fehlen eines der Rezeptoren

Blinder Fleck – Ausgang vom Sehnerv aus dem Aughintergrund – hier fehlen die Sehzellen

Sehnerv – gibt die Informationen ans menschl. Gehirn weiter, hier wird Information decodiert.

Gesichtsfeld – Blickrichtung mit unbewegtem Auge (siehe Extra Info Blatt)

## 14.2 Physikalischer Zusammenhang

Physik ist definiert als die Lehre von der unbelebten Natur – der Teilbereich, welcher sich mit der Thematik Farbe auseinandersetzt ist die Optik, Optik ist die Lehre vom Licht.

Zunächst sollte nun der Begriff Licht definiert werden – ohne Licht gibt es keine Farbe.

Licht ist eine Energiestrahlung, welche sich wellenförmig ausbreitet, Licht ist nicht sichtbar – wird auch als weiß bezeichnet, wird aber erst zum Licht, wenn es mit Dunkel konfrontiert wird. Die Wellenlänge des Lichtes wird in Nanometer = 1 millionstel Millimeter gemessen. Der Bereich des sichtbaren Lichtes liegt zwischen 380nm und 720nm.

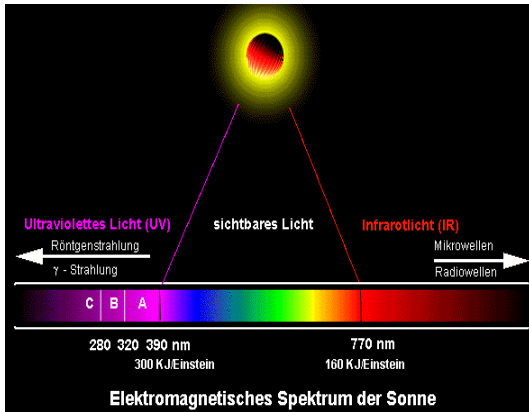


Abbildung 14-3: sichtbares Licht

Lichtquellen – werden in natürliche Lichtquellen (Sonne – Entstehung durch Kernreaktionen) und künstliche Lichtquellen (Kerze – chemischer Prozess, Glühlampe – physikalischer Prozess und Leuchtstoffröhren) unterschieden.

Lichtbrechung - wurde nachgewiesen durch Isaac Newton 1676 – Zerlegung des weißen Sonnenlichtes in seine Spektralfarben, dabei ist die Stärke der Brechung abhängig von der Energie der Lichtstrahlen. Prisma – Glaskörper für den Nachweis. (Weiterführung durch Goethe)

Reflexion, Absorption und Transmission werden durch Skizzen erklärt.

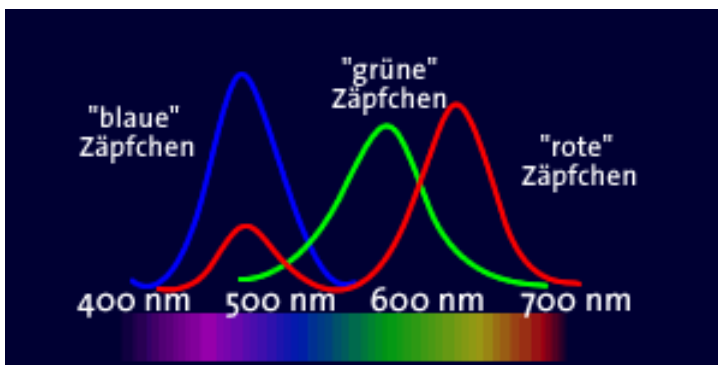


Abbildung 14-4 Wellenlängen des wahrnehmbaren Lichtes

Chemischer Zusammenhang:

Lehre von der Zusammensetzung der Stoffe, hier setzt man sich mit den einzelnen Bestandteilen von Farben auseinander.



Abbildung 14-5: Pigmente

Pigment – als Farbgeber (können organischer oder anorganischer Natur sein – Kohlenstoffverbindungen)

Bindemittel – verkleben die Teilchen miteinander

Lösemittel – dienen zur Verdünnung und Verarbeitung der Farben und Lacke

eine Vielzahl von Additiven sind für andere, spezielle Eigenschaften der Anstrichstoffe nötig.

### 14.3 Farbpsychologischer Zusammenhang

Farben lösen Farbempfindungen aus, diesen Prozess nennt man auch Farbpsychologie (Lehre von der Beschaffenheit der Seele des Menschen) – besser wäre die Bezeichnung Farbwirkung.

Farbdynamik – befasst sich mit eben dieser intensiven Farbwirkung der einzelnen Farbtöne,

Synästhesie – ist die Verknüpfung der menschlichen Sinne – d.h. das gleichzeitige Wahrnehmen zweier Aktionen miteinander.

Farbsymbolik – ist wie in der Formenlehre mit gemeinsamen Übereinkünften bestimmter Kulturkreise zu bestimmten Farbtönen verknüpft.

Decodierung – welche Farbe wird wie gedeutet – z. B. Rot im Straßenverkehr heißt Gefahr!

Farbempfindung – Farben können angenehm oder unangenehm, warm oder kalt oder auch stark oder schwach wirken.

Farbübertragung – Farbe wird mit Zusatzbegriffen versehen – z. B. Knallrot, Zartrosa, Grellygelb oder Quietschgrün und Tiefblau.

### 14.4 Die Ordnung der Farben

Wie bereits gesagt, kann der Mensch theoretisch ca. 10 Millionen Farbtöne unterscheiden. Bei einer solchen Vielzahl von Farben ist es sinnvoll, eine Ordnung in die Begriffe, Farbnamen, Codierungen etc. zu bringen. Jeder Farbe ist zunächst einmal ein Farbname, d.h. ein Farbton zugeordnet. solche Farbnamen können Begriffe wie ROT, GRÜN oder BLAU sein. Der Farbname oder Farbton beschreibt mir zunächst einmal das Aussehen der Farbe. Kombiniere ich zwei solcher Farbnamen miteinander, so entstehen aus dieser Kombination neue Farbtöne oder Farbfamilien wie z.B. GELBORANGE oder BLAUGRÜN etc. Den Farbton BLAUGRÜN kann ich aber evtl. mit dem Begriff TÜRKIS bezeichnen, den Farbnamen GELBORANGE evtl. mit dem Begriff OCKER.



Abbildung 14-6: Zwölfteliger Farbkreis nach Joh. Itten

In der Mode und Fahrzeugindustrie werden diese Kreationen noch erweitert zu Begriffen wie evtl. ARKTIS oder SAHARA..... Schauen wir in die RAL Karte, so werden diese Farbtöne einesteils bezeichnet mit kreativen Schöpfungen wie Erdbeer- oder Himbeerrot andererseits aber auch mit einer Nummer versehen. Um in dieses Chaos ein wenig Ordnung zu bringen ist man – bereits in der Geschichte - dazu übergegangen, Farbe durch geometrische Systeme zu ordnen – vielleicht, um es dem Nutzer einfacher zu machen, mit dieser enormen Fülle von Farbtönen umzugehen.

Farbdreieck – Goethe

sechsteiliger Farbkreis– Goethe (Körperfarben) und Newton (Lichtfarben)

zwölfteliger Farbkreis– Itten

Farbsterne und Farbkugeln – Itten und Runge

Farbordnungssysteme wie RAL Design, ACC oder NCS.

An dieser Stelle sollten zunächst einmal die Begriffe Lichtfarben und Körperfarben definiert werden. Außerdem ist hier das Problem der Additiven und subtraktiven Farbmischung zu erörtern.

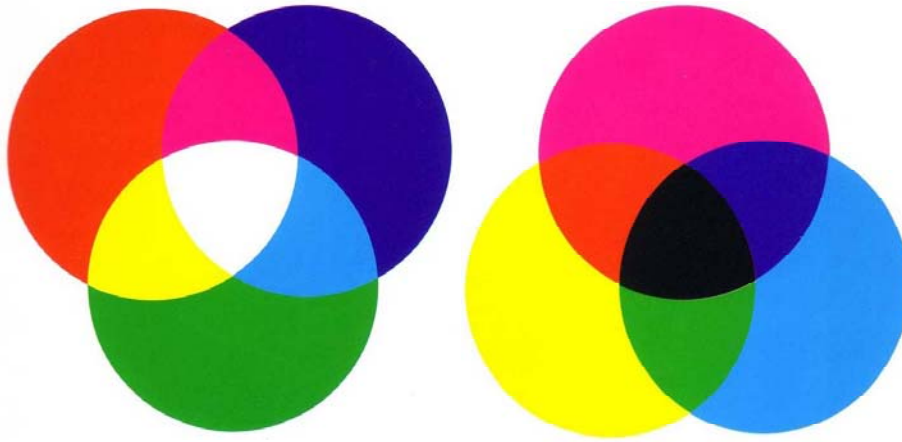


Abbildung 14-7: Additive Farbmischung (links) und subtraktive Farbmischung (rechts)

Anhand des zwölfteiligen Farbkreises von Johannes Itten kann leicht der systematische Aufbau eines Farbkreises als einfaches Farbordnungssystem zu erläutern.

- Primärfarben
- Sekundärfarben 1. Ordnung
- Sekundärfarben 2. Ordnung
- Tertiärfarben (befinden sich nicht im Farbkreis).

#### 14.4.1 Der Farbton

Zur Bezeichnung einer Farbe benötigen wir zunächst einmal einen Farbnamen. Farbnamen, die uns grob einen Hinweis geben, um welchen Farbton es sich handelt, sind Rot, Gelb, Blau....., eine leichtere Differenziertheit ergibt sich bereits beim Zusammensetzen zweier solcher "Familiennamen" zu Gelbgrün, Gelborange, Rotviolett..... Sehr kreativ ergänzt werden diese Farbnamen vor allem durch die Lackhersteller der Fahrzeuglacke durch Namen wie Sahara....., Arktis....., Mars..... . Je weiter wir uns von dem doch sehr eindeutigen Farbnamen entfernen, umso schwieriger fällt uns jedoch in unserer Vorstellungskraft, die Vorstellung von einem bestimmten Farbton. Um hier ein wenig Klarheit und eine gemeinsame Sprache zu schaffen, sind die Farbfirmen dazu übergegangen, ihre Farbtöne mit einer Nummer oder Chiffre zu belegen.

Die Farbtonfolge (von Gelb über Orange zum Blau, Grün und Gelbgrün) ist in sich zurücklaufend und wird deswegen am häufigsten in Kreisform dargestellt. Stellen wir uns den zwölfteiligen Farbkreis nach Johannes Itten vor (er eignet sich didaktisch sehr gut, den Zusammenhang zwischen Primär- und Sekundärfarben darzustellen und zu erläutern), so kann man jeden Farbton mit einer Nummer oder einem Buchstaben kennzeichnen.

Die Töne Schwarz, Weiß und Grau haben keinen Buntanteil, sie verhalten sich neutral, werden deswegen auch "Unbunte Farben" genannt. Ein neutrales Grau sollte keinen Anteil Blau, Grün; Gelb oder Rot besitzen. Versuchen wir hier einen Vorausblick auf ein Farbsystem (Farbdreieck NCS), so sehen wir, dass alle Töne in dem gezeigten Farbdreieck zur gleichen Farbtongruppe oder Farbfamilie gehören.

Der Farbton gibt uns also die ART der Buntheit an.

#### 14.4.2 Die Farbhelligkeit

Die Farbhelligkeit bezeichnet den Grad des Unterschiedes einer Farbe zu Schwarz bzw. Weiß..... Einige Farbhersteller geben auf ihren Farbtonkarten einen sog. Hellbezugswert an. Es handelt sich hierbei um eine prozentuale Bezugsgröße des jeweiligen Farbtones in Bezug zu Weiß bzw. zu Schwarz.

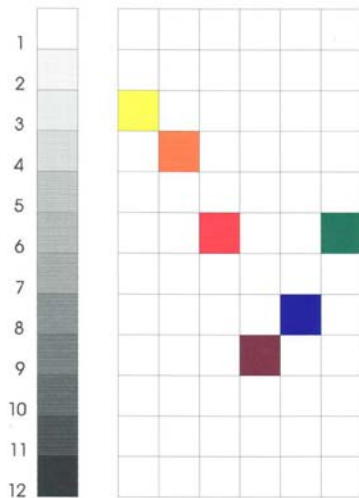


Abbildung 14-8: die Lichtwerte der Farben

Weiß hat bekanntlich den höchsten Reflexionsgrad vom Licht, strahlt also die meisten auftreffenden Lichtstrahlen zurück, Schwarz absorbiert d.h. verschluckt das meiste Licht, es gilt also, je größer die Prozentangabe des Hellbezugswertes, um so heller der Farbton, je kleiner, desto dunkler der Ton. Jedem Farbton ist somit also ein Grauton = Helligkeitwertton zugeordnet. Rot und Grün reflektieren beispielsweise die gleiche Menge der auftreffenden Lichtstrahlen, wodurch sich auch der Flimmerkontrast erklärt.

Der Helligkeitwert eines Farbtones ist in den Farbsystemen immer empfindungsgemäß festgelegt, d.h. ein Farbton "Hellblau" mit einem Hellbezugswert 50% wird nicht im Mischungsverhältnis 50% Weiß + 50% Blau hergestellt, er reflektiert lediglich 50% des auffallenden Lichtes. Bedingt durch den Aufbau unseres Auges (Zapfen und Stäbchen), haben wir im Helligkeitsbereich eine größere Differenzierungssensibilität, so dass es uns leichter fällt, helle Töne zu unterscheiden oder nach Helligkeit zu ordnen als dunkle Farbtöne.

Die Farbhelligkeit gibt also Stellung einer Farbe zu den beiden Nichtfarben Weiß bzw. Schwarz an.

#### 14.4.3 Die Farbsättigung

Die Stellung einer Farbe zur unbunten Farbe Grau wird durch den Reinheitsgrad oder die Sättigung einer Farbe ausgedrückt. Im Farbtonkreis stehen die Farbtöne einer jeweiligen Farbfamilie in vollster Sättigung. Analog zur chemisch- physikalischen Beschaffenheit einer Farbe drückt dieser Begriff aus, wie hoch die Konzentration eines bestimmten Farbstoffes in einer Lösung ist,- je höher der Farbtonpigmentanteil z.B. eines Rottones ist, umso höher ist die Sättigung und damit auch die Intensität und Leuchtkraft einer Farbe.

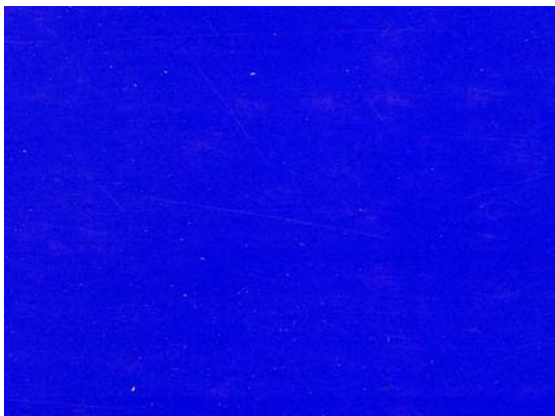


Abbildung 14-9: Yves Klein Blau

Als bestes experimentelles Beispiel von Sättigungsversuchen stehen die Bilder von Yves Klein, wir sprechen sogar von einem Yves Klein Blau und haben eine ganz bestimmte "Blau Vorstellung" im Kopf.

Die Sättigung drückt also den GRAD der Buntheit eines Farbtones aus.