

Marion Greiner / Angela Kipp

Werkstoffe und Materialien

- Schutz und Erhaltung von Museumsgut -

Inhalt

Inhalt	2
I. Gemälde.....	4
1. Holz	4
1.1. Holz als Bildträger.....	4
1.2. Holzarten	4
1.3. Untersuchungsmethoden	4
1.4. Holz als Werkstoff.....	6
1.5. Holztafeln	7
2. Leinwand und Grundierung.....	9
2.1. Leinwand als Bildträger	9
2.2. Leinwandarten.....	9
2.3 Der Rahmen.....	10
2.4 Schadensbilder an Leinwand-Gemälden.....	10
2.5. Die Grundierung.....	11
2.6. Imprimitur, Vorzeichnung, Unterzeichnung	12
2.7. Schadensbilder der Leinwand und Grundierung	12
3. Andere Bildträger	13
3.1. Kupfertafel.....	13
3.2. Aluminium.....	13
3.3. Steinplatte	13
3.4. Eternitplatte	13
3.5. Papier / Pappe	14
4. Die Malschicht	14
4.1. Entwicklungsgeschichte der Malschicht	14
4.2. Die Farbe an sich.....	15
5. Exkursion in die Neue Nationalgalerie	17
5.1. Holzskulpturen	17
5.1.1 Fassung.....	17
5.1.2. Die Verzierungen der Fassung	18
5.1.3. Vergoldung	18
5.1.4. Schäden an Holzskulpturen.....	19
5.2. Rembrandt	19
5.3. Peter Paul Rubens	19
5.4. Probleme bei der Restaurierung von Leinwänden.....	19
5.5. Der Einfluß der Niederlanden auf die Malerei.....	19
6. Der Rahmen – Zierrahmen und Gemälderahmen.....	21
6.1. Der Rahmen allgemein	21
6.2. Grundtypen des Rahmens	21
6.3. Schutz des Rahmens	22
II. Klimakunde.....	24
1. Einführung in die Klimakunde	24
1.1. Allgemeine Einführung	24
1.2. Gefahren für museale Objekte durch Licht und Temperatur	24
1.3. Temperaturregelung in Sammlungen.....	26
1.4. Luft und Luftfeuchtigkeit	26
1.5. Festlegung eines Sollwertes für das Museum	28
1.6. Kontrolle der relative Luftfeuchtigkeit.....	30
1.7. Be- und Entfeuchten eines Raumes	30
2. Lichtschutz in Sammlungen.....	31

2.1. Allgemeines	31
2.2. Licht.....	31
2.3. Licht in Ausstellungen und Museen.....	32
3. Luftverschmutzung.....	35
3.1. Staub	35
3.2. Chemische Verbindungen als Schädlinge	35
3.3. Schäden durch Luftverschmutzung	37
4. Objektschutz in Ausstellung und Aufbewahrung.....	38
4.1. Vitrinen allgemein	38
4.2. Klimatisierung in Vitrinen.....	38
4.3. Schädigungen durch Werkstoffe im Bereich von Ausstellung und Aufbewahrung..	39
5. Gummi	40
6. Metall.....	41
6.1. Metalle allgemein	41
6.2. Korrosion.....	41
6.3. Schadensbilder an Metallen.....	42
6.4. Schutz von Metallobjekten.....	42
7. Papier	44
7.1. Papierherstellung	44
7.2. Schädigende Einflüsse	46
7.3. Vorbeugende Maßnahmen.....	46
7.4. Papier in der Ausstellung.....	46
III. Register	35
IV. Impressum	52

Ein Wort zuvor...

Die Hauptziele des Faches „Werkstoffe und Materialien“ können wie folgt umrissen werden:

- Einblick in die Technologien zur Erhaltung von Objekten
- Erkennen der Herstellungsweise von Objekten
- Erkennen von Erhaltungszuständen von Objekten
- Schadenerkennung an Objekten

I. Gemälde

Ein Bild besteht aus Bildträger, Grundierung, Malschicht, Firnis

1. Holz

1.1. Holz als Bildträger

Vorteile:

- überall verfügbar
- stabil
- auftragen von glatter Kreidegrundierung möglich
- gut zum Vergolden geeignet (wichtig in Gotik, Renaissance)

Tafelbilder ab 1300 in Italien (Giotto)

1.2. Holzarten

Die verwendeten Holzarten lassen Rückschlüsse auf die Entstehungsgebiete der Tafelbilder zu: Die Künstler verwenden das Holz, das in ihrer Heimat wächst.

Grundsätzlich gilt: Im Norden v.a. Eiche, im Süden Nadelbäume.

Beispiele:

Niederlande; England; Norwegen: Eiche

Polen: Eiche, Linde

Italien: Pappel, Kastanie, Walnuß, Linde, Weide

Spanien: Kiefer

Katalanien: Pappel

Deutschsprachiger Raum:

Alpen, Süden, Mitte: Fichte

Süden, Mitte: Tanne

Überall, v.a. Oberrhein, Mittelrhein, Schwaben: Linde

Norden, Westfalen, Mittelrhein: Eiche

Selten, bei Cranach und in Österreich: Buche

Köln in der Spätgotik und niederrheinische Skulpturen: Walnuß

1.3. Untersuchungsmethoden

1. Mikroskopische Analyse der Zellstruktur
Stecknadelgroßes Holzteil entfernen, Untersuchung eines tangentialen Schnittes, eines radialen Schnittes und eines Querschnitts.
2. Dendrochronologie zur Bestimmung des Alters des Holzes
Bei Eiche, Tanne und Fichte
Jahresringe werden vermessen, daraus eine Kurve erstellt und mit der Standardkurve für das jeweilige Holz für die jeweilige Region verglichen. Die Mitteleuropäische Eichenchronologie ist die bisher längste Chronologie.
3. Radio-Carbon-Methode (C14-Methode)

1.4. Holz als Werkstoff

Splintholzbäume: Bestehen nur aus saftführendem Splintholz, sehr Wurmfraß-anfällig

Kernholzbäume: Außen Splintholz, innen stabiles, tragendes Holz (Eiche, Weide, Kirschbaum, Walnuß)

Reifholz: Übergang nicht klar

Holz besteht aus

40-60% Zellulose \Rightarrow Zellwände

15-25% Hemizellulose und Kohlenhydrate

15-40% Lignin \Rightarrow füllt Zellwände

Holz ist hygroskopisch, d.h. es nimmt Wasser aus der Umgebungsluft auf.

Relative Luftfeuchtigkeit = bei höherer Raumtemperatur wird mehr Feuchtigkeit von der Luft aufgenommen, d.h. 100 % relative Luftfeuchtigkeit = Maximale von der Luft aufgenommene Feuchtigkeit bei dieser Temperatur, bei Überschreiten erfolgt Kondensation.

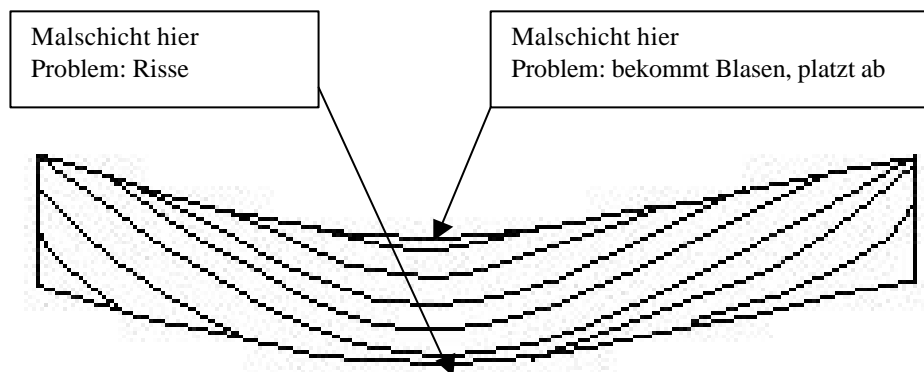
Holz arbeitet, d.h. es zieht sich zusammen und dehnt sich aus Anisotrope Eigenschaft: Ändert sich in unterschiedliche Richtungen in unterschiedlichem Ausmaß:

0,1-0,3% in Faserrichtung

5% in Richtung Kern

10% tangential, d.h. in Richtung der Jahresringe

Wenn das Holzobjekt nicht in konstanter Raumfeuchte belassen wird kommt es zu Feuchtigkeitsaufnahme, mit der das Holz den Gleichgewichtszustand wieder herstellt, und somit zu Wölbung:

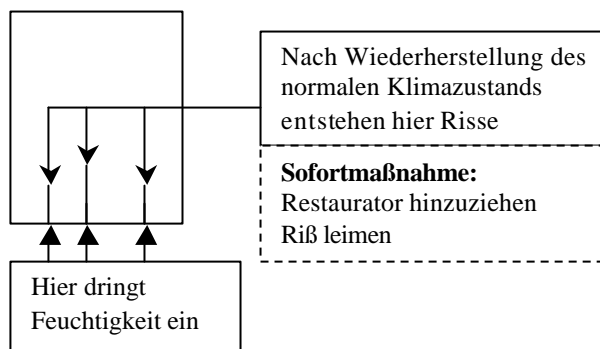


Man unterscheidet zwischen zwei Verformungsarten:

elastischer Verformung: das Objekt dehnt sich aus oder schrumpft ohne daß sich das innere Gebilde verändert.

plastischer Verformung: Die Veränderung ist erst nicht sichtbar, sie tritt erst bei Überführung in den normalen Klimazustand zu Tage.

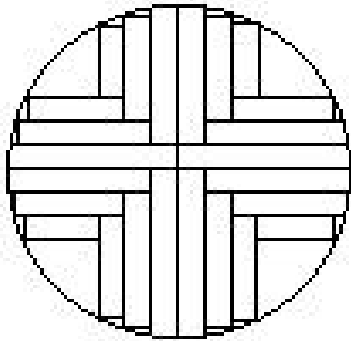
Die Feuchtigkeitsaufnahme erfolgt vor allem über die Stirnseite.



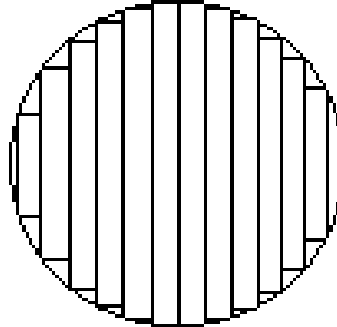
1.5. Holztafeln

Die Malerei auf Holztafeln kommt im Mittelalter (Romanik, Gotik) auf. Für das verarbeitete Holz gilt die allgemeine Zunftverordnung, daß nur gutes Holz verwendet werden darf, das astrein und ohne Splint ist. In Italien ab 13. Jahrhundert Tafelbilder.

Möglichkeiten der Bretterherstellung:



Sehr gute Bretter mit stehenden Jahresringen an Stirnseite
⇒ geringe Verformung
Nachteil: großer Holzverlust



Weniger gute Bretter mit liegenden Jahresringen an Stirnseite ⇒ starke Verformung
Vorteil: Wenig Holzverlust

Im Mittelalter erfolgte die Herstellung der Bretter mit dem Beil, ab dem 14. Jahrhundert auch mit der Säge. Die Glättung erfolgte mit dem Ziehmesser.

Um mehrere Bretter zu einer Tafel zusammenzubringen wurden sie mit Hilfe von Dübeln oder mit der „Schwalbenschwanz-Technik“ (siehe Abbildung) verfügt. Diese Fugen wurden mit Pergament überklebt um nicht zu stören. Bretter wurden auch in Längsrichtung verleimt. Um gegen die Wölbung vorzugehen wurden die Holztafeln mit Querleisten stabilisiert oder (ab 1400) mit Nutrahmen fixiert. Dieser wurde übrigens mitgründiert.

Die Stärke und die Verarbeitung der Bretter und die Stützrahmenkonstruktion können Hinweise auf die regionale Herkunft geben.

Maßnahmen gegen Wölbung im 19. Jahrhundert:

Im 19. Jh. Verfielen die Restauratoren darauf, die Tafelbilder zu dünnen und dann mit einer sogenannten Parkettierung (siehe Abbildungen) zu versehen, d.h. Stützleisten aufzuleimen und Querleisten einzuschieben, was auf die Dauer zwar die Wölbung verhindert, aber dem Bild schadet.

Heutige Maßnahmen:

Säurefreien Karton auf die nicht bemalte Seite (⇒ nimmt mehr Feuchtigkeit auf) aufbringen. Bei nicht mehr originalen Rückseite kann auch eine Schutzlackschicht aufgebracht werden.

Vorbeugende Maßnahmen:

1. Gleichbleibende, nicht zu niedrige, relative Luftfeuchtigkeit
Bei Holz 55-65%
Sicherheitsgrenze: 45-65%
Darüber kann es zur Schimmelbildung kommen, die die Zellstruktur zerstören kann.
Daranter kann es zum Reißen des Holzes kommen.
2. Keine Zentralheizung, außer der Ausstellungsraum wird künstlich befeuchtet.

3. Nicht in der Nähe von Wärmequellen wie Scheinwerfern, Sonne, Heizkörpern lagern, bei Filmaufnahmen keine künstliche Beleuchtung verwenden.
4. Gemäldeschutz: Kartonrückseite oder Schutzanstrich, dem Holz immer Raum geben, z.B. durch Kartonrückwand, die mit Hilfe von Balsaholzleisten und Federklammern nachgeben kann. Rückseite muß immer aus hygroskopischen Material sein.
5. Beachtung der spezifischen Eigenschaften des Holzes:
Holz wird durch Licht dunkel, einzelne Arten bleichen aber auch aus
Eichenholz enthält Gerbsäure, deshalb korrodiert eingefügtes Metall (z.B. Nägel) und das Holz wird angegriffen.

2. Leinwand und Grundierung

2.1. Leinwand als Bildträger

Leinwand als Gemäldeträger wird ab dem 15. Jahrhundert in Italien mit Giorgione und Tintoretto populär.

Vorteile gegenüber sonstigen Bildträgern:

- Größere Bildformate werden möglich
- Leinwand ist leicht
- Stilistischer Wechsel in der Malerei: „schneller, schöner, dauerhafter“

2.2. Leinwandarten

Im Gegensatz zu Holz lassen sich bei den verwendeten Fasern für die Leinwände kaum Rückschlüsse auf die Regionen ziehen.

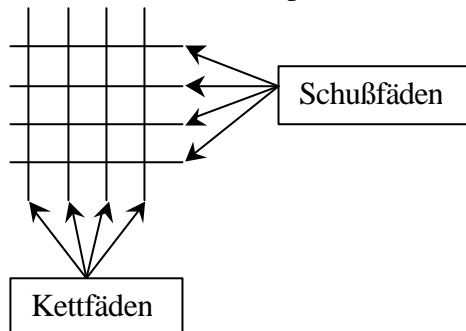
- *Leinen = Flachs:*
 - Hauptanbaugebiete: Niederlande, Polen, Rußland, Frankreich, Norden
 - Bis zu 100 cm hoch
 - 65-80 % Zellulose ⇒ sehr reißfest
 - Herstellung sehr aufwendig (brechen, hecheln)
- *Hanf:*
 - ähnlich Flachs
 - Nesselgewächs
 - Süden
 - bis zu 3 m. hoch
 - sehr reißfeste Fasern
 - komplizierter Herstellungsprozeß
- *Jute:*
 - ab Mitte des 19. Jahrhunderts
 - aus tropischen Anbaugebieten
 - 1,5 – 5 cm lange Fasern, die nicht trennbar sind, sondern nur in Bündeln vorliegen und verarbeitet werden können
 - sehr lichtempfindlich
 - spröde
 - schwierig zu spinnen
 - Hauptverwendung bei den Expressionisten (Abkehr von den inzwischen industriell hergestellten Leinwänden, außerdem bot die rauhe Oberflächenstruktur neue malerische Möglichkeiten).
- *Baumwolle:*
 - ab dem 19. Jahrhundert
 - Fasern der Samenkapseln ⇒ kürzer und weniger stabil
 - sehr feuchtigkeitsempfindlich, neigen zu Deformationen, es kann zu Wellen- oder Beulenbildung kommen
 - Verwendet bei Munch und Picasso
 - billiger Werkstoff
- *Seide:*
 - Kokons der Seidenspinnerraupe
 - lange Fäden, die nicht mehr gesponnen werden müssen
 - ergibt glatte Oberfläche
 - hitzeempfindlich
 - lichtempfindlich

- sehr hygroskopisch
- altert schnell
- Zucht in Indien, China, Mittelmeerländer
- Sonstige Leinwandarten:
 - ab 1897: Viskoseverfahren = Umwandlung von Zellstoff in Viskose
 - ab 1941: Polyesterfaser (Triolen, Trevira)
 - ab 1942: Polyacrylnitrit

Wissenswertes zur Verarbeitung:

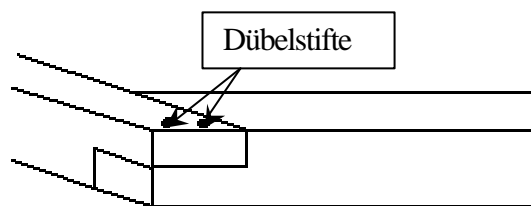
Wird der Faden gesponnen, spricht man von Garn

Wird der Faden verdreht, spricht man von Zwirn



2.3 Der Rahmen

Spannrahmen:



Die Leinwand wird einmal gespannt und bleibt so, kann also nicht nachgespannt werden. Nur handgeschmiedete *Nägel* nennt man auch so, industriell gefertigte nennt man *Drahtstifte*.

Keilrahmen:

Ab Mitte des 18. Jahrhunderts. Durch Keile im Rahmen kann die Leinwand nach Bedarf immer wieder nachgespannt werden.

Heute wird der Stoff meist aufgetackert

Am häufigsten wurden als Materialien Fichten- und Tannenholz verwendet, da dieses billig ist. Stabiler sind Eiche und Buche.

2.4 Schadensbilder an Leinwand-Gemälden

Verfallserscheinungen entstehen durch oxidative Prozesse, hervorgerufen durch

- Wärme
- Licht (UV-Anteil)
- Luftverunreinigung
- Feuchtigkeit

Probleme des Rahmens

Ideale Bedingungen für Holzrahmen:

- Temperatur 18-20°C

- kein Tageslicht / keine Sonne
- keine Lampen mit hohem UV-Anteil (kurzwellig)
- Klimaanlage
- Luftfeuchtigkeit von 50-60%

Als günstig erweist sich ein Rückseitenschutz aus säurefreiem Karton aus hygroskopischem Material:

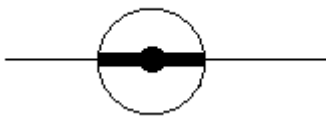
- Stoßschutz
- Staubschutz
- dämpft Vibrationen während Transport
- im Idealfall entsteht ein Luftpolster, daß Temperaturschwankungen und Vibrationen ausgleicht. Dazu muß der Schutz möglichst dicht auf Rückseite sitzen, darf allerdings auch nicht ganz dicht abschließen, da es dann zu Schimmelbildung kommen kann.
- Klimaschutz

Probleme der Leinwand:

- Im Staub enthaltene Metallionen und Schwefelteilchen bilden zusammen mit der Luftfeuchtigkeit Säure, die das Material angreift.
- Leinwand ist weniger hygroskop als Holzrahmen, sobald sie Feuchtigkeit aufnimmt, kann es zu Volumenänderung kommen. Die Folge sind Risse in der Grundierung, sogenannte Alterscraquellets (siehe Abbildungen).
- Wird die Leinwand zu fest aufgespannt, kommt es zur Deformation der Fäden

Restauration der Leinwand:

- Früher: Dublierung/Befestigung einer Zweiten Leinwand auf der Rückseite, um einer beschädigten oder alternden Leinwand neue Stabilität zu verleihen
- Heute Fadenverklebung



2.5. Die Grundierung

Zeit: seit dem Mittelalter, bis heute gebräuchlich.

Bestandteile:

- Kreidepulver: Kreide sind Ablagerungen von Calciumcarbonat (z.B. Champagnerkreide, Rügenkreide) oder gemahlener Kalkstein (Jurakreide, Schlämmkreide), v.a. im Norden verwendet
Oder:
- Gipspulver: entweder natürlicher oder gebrannter Gips, welcher noch eingesumpft werden muß, vor allem in Italien verwendet
Und:
- Leim: Glutinleim, den man durch das Kochen von Knochen oder Häuten gewinnt
- Öl: oft verwendete man trocknende Öle als Bindemittel, wodurch der Grund flexibler wurde, seltener reine Ölfarbe.

Zweck technisch:

- Isolierschicht zwischen Leinwand und Farbe
- Ölfarbe wird nicht von Leinwand aufgesogen
- ergibt einen gleichmäßig saugenden Grund
- gleicht Unebenheiten der Leinwand aus

Zweck künstlerisch:

- Sandeinemischungen ergeben einen Effekt, ähnlich Putz
- man kann die Oberfläche gestalten
- weiße Grundierung wirkt als Lichtreflektor, läßt Licht durchdringen und wirft es zurück, ergibt brillante, leuchtende Farben.
- Farbige Grundierung wird ab dem 16. Jahrhundert von Italien ausgehend verbreitet.
Helle, gelbliche
Braune, rötliche: schnelleres malen möglich (fa-presto-Malerei). Im Norden verläuft die Entwicklung der farbigen Grundierung langsamer. Hier besteht auch noch länger die Trennung zwischen Grundierer und Maler.

Typisch für das 19. Jahrhundert sind die industriell gefertigten Leinwände, die man an ihrer kompletten Grundierung und oft Fertigungstempeln auf der Rückseite erkennt. Diese waren zwar billig, aber nicht so qualitativ und wenig alterungsbeständig.

2.6. Imprimatur, Vorzeichnung, Unterzeichnung

Imprimatur: Vor allem im Italien des 16. Jahrhunderts wird eine dünne, halbtransparente Farbschicht auf die Grundierung aufgetragen, um die Grundierung einheitlich zu machen.

Vorzeichnung: Außerhalb des Bildes angefertigter Entwurf oder Skizze

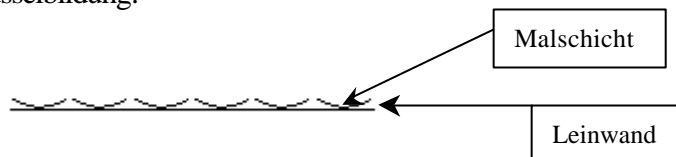
Unterzeichnung: Direkt auf dem Bild aufgetragene Zeichnung. Dazu wurde Kohle, Röteln, Silberstift oder diverse Federn verwendet. Dabei wurde meistens mit einer Quadratur, die über das Bild gelegt wurde, gearbeitet. Manchmal wurde auch eine Lochpause verwendet, auf der das Motiv durch Löcher in einer Pappe vorgegeben waren, welche durch Kohlestaub mit einem Pausbeutel durchgepaust wurden.

Viele Unterzeichnungen können durch Infra-Rot sichtbar gemacht werden.

2.7. Schadensbilder der Leinwand und Grundierung

Alterungserscheinungen:

- Craquelettbildung (siehe Abbildungen):
 - Ährensprung, Diagonalsprung, Spiralsprung
 - geht durch Grundierung und Malschicht
 - im Unterschied dazu Frühschwundrisse: treten nur auf der Malschicht auf, direkt nach dem Malen kann es bei falscher Mischung passieren, daß sich die Ölfarbe an der Oberfläche zurückzieht
- Schüsselbildung:



- Transportschäden: Risse und Beulen
- Wasserschäden:
Treten bei zu hoher Luftfeuchtigkeit auf: Durch Kondensation läuft die Leinwand ein und die Farbe springt ab. Diese Schäden können auch im Nachhinein noch auftreten.



Schutz der Grundierung und Malschicht:

- Je kühler, desto spröder wird die Malschicht, deshalb keine Temperaturen unter 10°C
- Bild nicht längere Zeit mit Schaumstoff unter dem Bild lagern, wegen Elektrostatik

3. Andere Bildträger

3.1. Kupfertafel

- kleinformatic
- extrem glatte Oberfläche
- minutiöse, detailreiche Malerei
- Manierismus (Übergang zur Renaissance)
- Leonardo da Vinci

Schäden:

- Farbe kann grünstichig werden
- Stoßempfindlich, Beulen nicht restaurierbar

3.2. Aluminium

- Ab Beginn des 20. Jahrhunderts
- Günter Förd

3.3. Steinplatte

- Manierismus

3.4. Eternitplatte

- ab 1910
- asbesthaltig
- Gustav Klimt

3.5. Papier / Pappe

- Ölmalerei

4. Die Malschicht

4.1. Entwicklungsgeschichte der Malschicht

Mittelalter: Wäßrige Bindemittel; Hühnerlei, Leim, Pflanzengummi. Man spricht von Temperamalerei.

In Italien herrscht noch die reine Temperamalerei vor, man mischt die Pigmente vor allem mit Eidotter, blau mit Leim. Eigenschaften dieser Malerei: Farbe kann nicht zügig vermalt werden, Farbauftrag erfolgt nur Strichelweise.

Im Norden wird ab 1500 mit Ölzusätzen experimentiert. Vereinzelt entstehen Ölmalereien (van Eyck).

Vorteil dieser Malerei:

- flächige Malerei möglich
- weg von der Stricheltechnik
- stufenlose Übergänge möglich
- besserer Einsatz von Licht/Schatten und hell/dunkel
- keine Farbtonverschiebung beim Trocknen

Der Impuls kommt aus den Niederlanden. Ab den 1460er Jahren beginnt die langsame Entwicklung von Ei zu Öl. Die Vermittler sind hierbei Justus van Gent, Hugo van de Goes. Italien nimmt den Impuls auf und ab 1500 verbreitet sich auch hier die Ölmalerei. Durch das neue Verfahren der Destillation konnten nun reine Öle hergestellt werden und durch die Erfindung der Terpentine diese etwas zähflüssigen Öle verdünnt werden.

Giorgione, Tizian und Tintoretto sind typisch für den neuen Malstil.

Nun kommt es auch zur Auflösung des bisherigen Werkstattbetriebs, in dem zum Teil die Gewänder von den Schülern und nur die Gesichter vom Meister gemalt wurden. Insgesamt wird dadurch die Individualität des Malers hervorgehoben (Tizian!).

Allerdings werden die Bilder nun auch zum Teil auf Kosten der Stabilität gemalt. Durch zu schnelles Arbeiten entstehen Frühschwundrisse. Es wird Mode, Bilder in einem Zug zu malen, sogenannte *Primamalerei*. Den Höhepunkt erreicht diese im Impressionismus. Im Norden entwickeln Brueghel, Bosch, Altdorfer und Grünewald ihren eigenen Stil. Die Niederlande und Italien waren maßgeblich, alle anderen Länder waren für die Entwicklung unbedeutend.

Im 17. Jahrhundert erlebt die Niederländische Malerei ihre Blütezeit:

- Rubens, Rembrandt, Vermeer
- Umfangreichere Farbenproduktion, bedingt durch die Einführung neuer Materialien aus Übersee
- Alle Möglichkeiten, die Ölbietet werden ausgeschöpft

Ab dem letzten Drittel des 18. Jahrhunderts ergeben sich Neuerungen:

- Rückbesinnung auf die Gotik
- Klassizismus
- Wieder Lokaltorientierung (reine Farben)
- weißer Bilduntergrund
- auffallend ist die Glätte der Oberfläche
- technisch: wie die Mittelaltervorbilder, Tempera-Techniken
- Arnold Böcklin, Hans von Marées

Ab dem 19. Jahrhundert beginnt die Entwicklung zum Impressionismus, in dem die Ölfarbe in freierer Weise eingesetzt wird, z.B. durch direkte Malerei von der Palette oder durch die pastose Malerei

4.2. Die Farbe an sich

Die Farbe besteht aus Pigment und Bindemittel.

Pigment:

- optisch sichtbare Farbe
- bildet die Konsistenz
- feines Pulver oder Körnchen

Bindemittel:

- hält Pigmente zusammen
- bindet die Pigmente an den Untergrund

- Unterschiede der Bindemittel:

Vor allem Öl ist ein Bindemittel, daß einen gesättigten Farbton ergibt, an der Oberfläche entsteht ein Glanz, der auch vom eingedrungenen und reflektierten Licht (Tiefenlicht) herrührt



Bei anderen Bindemitteln, z.B. Leim, die nur eine dünne Farbschicht zulassen, ergibt sich ein matter Eindruck.

- Verschiedene Bindemittel:
 - Hühnerei (Eigelb oder ganz)
 - Kasein (ausgefälltes Eiweiß aus Magerquark), ergibt eine stabile und resistente Farbe
 - Leim
 - Pflanzengummi (Kirsche, gummi arabicum)
 - Leinöl
 - Mohnöl (hell, gut für weiß, häufig verwendet bei Impressionisten)
 - Nußöl (in Italien häufig)

Bis zum 20. Jahrhundert werden fast ausschließlich Naturstoffe verwendet, erst dann kommen künstliche Stoffe wie Acryl auf.

- Das Trocknen des Öls ist ein chemischer Vorgang: Es ist keine Verdunstung (wie bei z.B. Wasserfarben) sondern das Öl oxidiert mit Sauerstoff und bildet so einen Film. Die Beimischung von Blei oder Cadmium wirkt beschleunigend auf den Trockenvorgang.
- Wenn man Ölmalereien in völliger Dunkelheit aufbewahrt kann es zu einem vergilben der Farben kommen, das allerdings reversibel ist. Man spricht von *Primärgilben*.

Die Pigmente müssen mit dem Bindemittel angerieben werden. Dies war bis Mitte des 19. Jahrhunderts Handarbeit, dann wird diese durch Mühlen ersetzt. Dadurch entstehen Fertigfarben wie wir sie heute kennen. Nachteil: Die Pigmente werden nicht mehr optimal angerieben, sondern sie werden alle gleich fein gerieben. Dadurch entstehen weniger brillante Farben als in Handarbeit. Einige Farben, wie z.B. Smalte (blau), werden weiterhin von Hand angerieben, weil der Qualitätsverlust zu groß wäre.

Organische Farben:

- Pflanzen
- Pflanzensäfte
- Beeren
- Läuse
- Purpurschnecke
- ...

Aus den Stoffen muß zunächst ein Lack hergestellt werden, aus dem dann ein Substrat gemacht wird.

Verschiedene Pigmente:

Weiß: Bis zum 19. Jahrhundert Bleiweiß (unter Röntgenstrahlen erkennbar), heute: Zinkweiß und Titanweiß (besitzt hohe Deckfähigkeit)

Rot: roter Ocker (kommt in der Natur häufig vor, von der Höhlenmalerei bis ins 20. Jahrhundert). Ende des 19. Jahrhunderts: Zinnober und Cadmiumrot. Für Lasuren (heller, transparenter Effekt, erreichbar durch Pigmente mit geringem Deckgrad) verwendet man Krapplack oder Koschinel.

Gelb: gelber Ocker (eine Tonart), intensiver ist das Bleizinnigelb. Ab dem 18. Jahrhundert kommt Neapelgelb auf, ab Ende des 19. Cadmiumgelb.

Grün: Intensives Grün seit dem 15./16. Jahrhundert durch Kupferverbindungen (Grünspan). Erst seit dem 19. Jahrhundert gibt es andere Grünarten (z.B. Schweinfurter Grün).

Blau: Aus Azurit und Lapislazuli (Mineralien), Smalte (blaues Glas)

Schwarz: Entsteht durch das Verkohlen von Pflanzen (Pflanzenschwarz) und Knochen (Beinschwarz) oder durch Ruß, d.h. die Unvollständige Verbrennung von Stoffen (z.B.: Acetyl).

Veränderungen an Malschichten:

- **Trocknen:**
 - Runzelbildung: Fehler im Pigment-Bindemittel-Gehalt: zuviel Bindemittel
 - Frühschwundrisse: Malschicht wurde im frischen Zustand übermalt. Die Farbe bekommt dadurch Spannung und reißt. Ergebnis: Der Grund wird sichtbar.
- **Alterung:**
 - Transparenzerhöhung: Die Farbschicht wird an manchen Stellen transparent. Folge: bei dunkler Grundierung wird das Bild dunkler.
 - Bleiweiß verseift mit Öl und wird transparent
 - Bindemittel verbräunt Farben werden dunkler
 - Farben bleichen im Licht aus, Hauptproblem bei Pflanzenextrakten
- **Krepierung:**
 - Malschicht wird blind: es bilden sich feine Risse, Farbe geht verloren, Bild läuft an
 - Entsteht durch die Einwirkung von Feuchtigkeit
 - Andere Ursache: Restauratorische Festigung der Firnis
- **Verputzung:**
 - bei der restauratorischen Firnisabnahme kann es dazu kommen, daß die Malschicht angegriffen wird.
 - Lösung: Nach Möglichkeit sollten keine Firnisabnahmen vorgenommen werden, bei Originalfirnissen überhaupt keine, da es bei dieser Tätigkeit auch noch zu Spätschäden kommen kann.

Nach Möglichkeit sollten Gemälde als Dauerbeleuchtung nur 150 Lux ausgesetzt sein und verglast werden (schwierig wegen Spiegelung).

5. Exkursion in die Neue Nationalgalerie

5.1. Holzskulpturen

Fast alle Holzskulpturen wurden in frisches Holz geschnitzt, weil das Holz sich dann leichter bearbeitet werden kann. Eichenholz läßt sich beispielsweise im trockenen Zustand überhaupt nicht mehr bearbeiten. Das Problem dabei ist, daß das Holz von außen nach innen trocknet, d.h. die Hauptschwundrichtung liegt innen und es besteht die Gefahr, daß das Holz reißt.

Maßnahmen:

- Skulptur aushöhlen und Rückseite verblenden
 - Verleimen des frischen Holzes mit trockenem Holz zu einem sogenannten Werkblock
- In Deutschland wird vor allem Lindenholz verwendet, welches sehr weich ist. Selten tritt im Norden auch Eiche auf.

5.1.1 Fassung

Die Bemalung von Holzskulpturen nennt man *Fassung*. Die Fassung ist ähnlich aufgebaut wie die Malschicht auf Tafelbildern. In der Blütezeit der Holzskulpturen um 1500 wird sehr viel Aufwand in die Grundierung gesteckt: es wird versucht plastische Details durch Modellierung in der Grundierung zur Geltung zu bringen. Zum Beispiel werden Schnüre zur Darstellung von Adern verwendet oder kleine Holzkügelchen als Perlen verarbeitet. Oft ist die Fassung aufwendiger gearbeitet als die Schnitzerei selbst.

Im 19. Jahrhundert wurde im Zuge der Romantik und des Klassizismus die Fassungen der Skulpturen oft abgelaut. Man glaubte, damit dem antiken Ideal näherzukommen, was jedoch historisch nicht richtig ist (die antiken Steinskulpturen waren ursprünglich auch bemalt). Ein Hinweis auf Ablaugung geben die Holzwürmer (Anobien): Liegen die Fraßgänge frei

sichtbar, kann von Ablaugung ausgegangen werden. Wurde die Skulptur dagegen ohne Fassung hergestellt, sind nur die Ausflugslöcher sichtbar.

5.1.2. Die Verzierungen der Fassung

Tremolierung: Mit einem Stecheisen werden durch Halbdrehung Kerben in das Holz gebracht.

Trassierung: Das Holz wird eingedrückt, um ein Muster zu erzeugen.

Gravierung: Das Holz wird ausgeschabt, um ein Muster zu erzeugen.

Pastiglia: meist florale Muster werden mit dem Kreidegrund modelliert.

Applikationen: Einsetzen von Glasperlen etc.

Pressbrokate: Kleidungsstoffe (v.a. Brokat) nachahmen durch

- Nachgravieren in Kreidegrund
- Man erstellt ein Model für das Muster, füllt eine Masse aus Leim, Kreide und Harz hinein und klebt die so entstandene dünne Folie auf die Skulptur auf (üblich 1440 - 1530).

Zwischgold: eine Spartechnik für die Vergoldung: Silber wird auf ein Goldblatt gelegt und mit ihm zusammen ausgeschlagen, wodurch ein noch dünneres Blatt entsteht. Erkennbar ist Zwischgold heute daran, daß das Silber verschwärzt und das Gold nicht mehr sichtbar ist.

Lüster, Lüsterung: Silber, das mit Farblack überzogen ist.

Punzen: Stempel, die in die fertige Goldierung gedrückt werden.

Kompositionsgold: alle goldähnlichen Metalle, die appliziert werden, z.B. Kupfer oder Legierung.

5.1.3. Vergoldung

Grundsätzlich unterscheidet man drei Arten von Vergoldung:

1. Polimentglanzvergoldung:

Hier wird auf den glattgeschliffenen Kreidegrund Bolus (Ocker oder ein tonartiges Mineral; rot, gelb, schwarz) aufgetragen, auf den das Gold dann appliziert wird. Das Gold erhält dadurch einen wärmeren Ton. Das Gold wird bei dieser Methode mit Wasser und Leim angeschossen, wenn es getrocknet ist, wird es noch poliert. Diese Art der Vergoldung ist sehr Wasserempfindlich.

2. Ölvergoldung

Diese Methode wurde hauptsächlich bei Außenvergoldungen und der Tafelmalerei des 14. und 15. Jahrhunderts angewendet. Auf den Grund wird trocknendes Öl aufgetragen, z.B. wird die feine Ornamentik auf Gewändern damit aufgemalt. Dann wird das Gold aufgelegt, es haftet an den Stellen mit Öl, der Rest kann einfach wieder abgekehrt werden.

3. Vergolden mit Pudergold:

Diese Methode wird fast ausschließlich bei Buchmalerei verwendet. Sie besteht darin, daß ganz feine Goldpartikel aufgebracht werden.

5.1.4. Schäden an Holzskulpturen

Holzskulpturen sind sehr klimaempfindlich, es entstehen die gleichen Probleme wie bei Holztafelbildern, z.B. kann die Fassung reißen.

Maßnahmen zum Schutz:

- Relative Luftfeuchtigkeit 55-65%
- Kein direktes Sonnenlicht

5.2. Rembrandt

Ein Merkmal der Malerei Rembrandts ist die *Sprezzatura*, d.h. der Pinselstrich ist sichtbar, dies gilt als besonders künstlerisches Merkmal. Rembrandt malt nicht mehr in Schichtenmalerei sondern naß in naß, man spricht hierbei von *Primamalerei*. Er benutzt deckende Farben, es gibt keine Lokalfarbe, kein Tiefenlicht und keine Lasur mehr.

5.3. Peter Paul Rubens

Merkmale:

- diagonaler Imprimiturauftrag
- plastische Modellierung
- oft Vorzeichnungen/Skizzen erhalten
- benutzt häufig Eiche
- Pentimenti (Reuezüge) sind z.T. noch sichtbar und gelten als künstlerischer Ausdruck

5.4. Probleme bei der Restaurierung von Leinwänden

Bei Leinwandmalereien, die im 19. Jahrhundert restauriert wurden zeichnen sich meist die Nähte und die Flicker, die aufgesetzt wurden, ab. Deshalb sollten nie Flicker oder Etiketten verwendet werden. Sinnvoller ist die Fadenverleimung (*siehe*: „Restauration der Leinwand“). Auch auf Doublierung, wie sie im 19. Jahrhundert üblich war, sollte verzichtet werden, sie ist meist unnötig.

5.5. Der Einfluß der Niederlanden auf die Malerei

Im Vergleich zu Tizian in Italien wirkt die Malerei nördlich der Alpen um 1550 (z.B. Peter Brueghel d.Ä.) noch rückständig. Dennoch wird in den Niederlanden mit Hugo van der Goes eine neue Technik entwickelt, die die Malerei nachhaltig verändern sollte: Die Verbindung der althergebrachten Temperafarben mit Öl. Sie machten es möglich, nicht mehr nur in Stricheltechnik zu malen, sondern auch flächig zu malen.

Die Malweise sieht dann bei van der Goes so aus:

1. weiße Grundierung
2. Figuren einzeichnen
3. Details im Lokaltönen mit deckender Farbe und Bleiweiß malen
4. Eine transparentere Lasur darüber legen
5. Farbblack auftragen, wodurch emaillehafte, leuchtende Farben entstehen

Diese Technik macht auch das Unterlegen eines Grisaille (zur hell-dunkel-Modellierung) unnötig, was in Italien noch üblich war.

6. Der Rahmen – Zierrahmen und Gemälderahmen

6.1. Der Rahmen allgemein

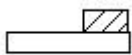
Funktion:

- Dem Gemälde halt und Schutz bieten
- Ästhetische Funktion: zierendes Einrahmen des Gemäldes

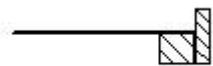
Bis ins 20. Jahrhundert bilden Bild und Rahmen eine Einheit. Es kann davon ausgegangen werden, daß der Maler auch immer einen nicht unwesentlichen Einfluß auf den Rahmenschnitzer ausübte, damit der Rahmen optimal mit dem Gemälde korrespondierte. Deshalb ist ein Rahmen nicht beliebig austauschbar und sollte nicht ohne zwingenden Grund ausgetauscht werden. Zum Beispiel sollte er nicht, wie im 19. Jahrhundert üblich, dem Zeitgeschmack entsprechend, gewechselt werden.

6.2. Grundtypen des Rahmens

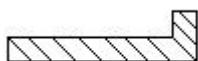
- Leistenrahmen:
Die früheste Form des Rahmens (erstmal Mitte d. 15. Jahrhunderts)
Der Rahmen wird auf die Tafelbilder aufgenagelt oder aufgeleimt und wird zusammen mit der Tafel grundiert:



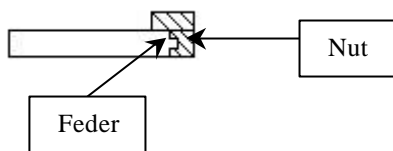
- Keilrahmen:
Moderne Art des Rahmens



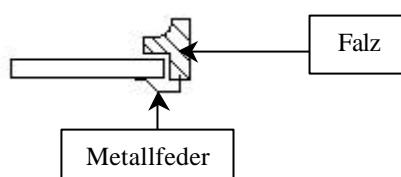
- Bilderrahmenplatten:
Seltene Art des Rahmens, er wird zusammen mit der Malfläche aus einem Werkblock gearbeitet:



- Nutrahmen:
Verwendet vom 15. bis ins 16. Jahrhundert.



- Falzrahmen:
Ab 16. Jahrhundert, heute gängigste Befestigungsart.



Natürlich gibt es noch zahlreiche Unterarten, wie Stuckrahmen (mit Gipsornamenten besetzt) oder Schnitzrahmen (mit Ornamenten aus Holz).

Einzelne Rahmenarten:

Hohlkehle:



Halbstabprofil:



Karnies:

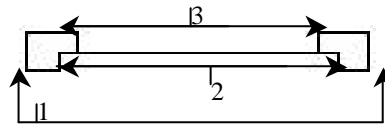


Die verschiedenen Rahmenmaße:

Außenmaß: Von der äußersten Rahmenkante zur äußersten Rahmenkante.

Falzmaß: vom Ende des Falz bis Ende des Falz.

Lichtes Maß: Rahmeninnenkante bis Rahmeninnenkante.



6.3. Schutz des Rahmens

Ein besonderes Problem stellt hierbei dar, daß dem Zierrahmen noch viel zu wenig Beachtung geschenkt wird. Das äußert sich z.B. auch darin, daß bei kaum einem Bild der Originalrahmen erhalten ist. Er wurde einfach dem Zeitgeschmack entsprechend ausgetauscht!

Grundsätzliche konservatorische Überlegungen zum Thema „Rahmen“:

- Der Rahmen ist oft empfindlicher als das Gemälde selbst (z.B. Holz klimaanfälliger als Leinwand). Deshalb sollte bei Leihgaben genau nachgeprüft werden, ob nicht das Bild ohne Rahmen verliehen werden kann.
- Applikationen aus Stuck, Metall, Papier oder Abformmasse machen den Rahmen noch anfälliger, weil jedes dieser Materialien unterschiedlich hygroskopisch ist.
- Bei Transport sollten Glasscheiben auf jeden Fall herausgenommen werden (Bruchgefahr, Zerstörung des Gemäldes!). Am Besten Glas separat verschicken, oder Plexiglas einsetzen.
- Auf jeden Fall immer ein Zustandsprotokoll auch für den Rahmen anfertigen.
- Gemälde und Rahmen sollten immer vom selben Restaurator betreut werden.
- Falzrahmen müssen immer genug Spiel haben. Mit Einlegen von Filzstreifen und Kork zwischen Gemälde und Falzrahmen können viele Beschädigungen vermieden werden. (siehe Abbildung)
- Beim Transport kann ein Rückseitenschutz aus hygroskopischem Material (z.B. säurefreie Wellpappe) bedingten Schutz bieten:
 - Luftpolster dämpft Schwingungen
 - Stoßdämpfer
 - kein Staub
 - kein unsachgemäßes Anfassen
 - bedingte Klimabarriere
- Bei empfindlicher Oberfläche und bekannten Gemälden kann eine Verglasung in Erwägung gezogen werden.

II. Klimakunde

1. Einführung in die Klimakunde

1.1. Allgemeine Einführung

Gleiche Objekte können unterschiedlich gut erhalten sein. Warum?

- Günstigere Klimabedingungen
- keine oder wenige Spuren bzw. Schwefelrückstände von „Schweißhänden“

Da das Ziel ist, ein Objekt möglichst lange zu erhalten, muß die Veränderung durch Sonnenlicht und Luftverschmutzung möglichst gemieden werden. Eine Kontrolle der **äußeren Einflüsse** ist notwendig.

Die wichtigste museale Aufgabe ist die Schaffung günstiger äußerer Bedingungen. Dies beinhaltet:

- kein/wenig Licht
- keine Schadstoffe (Rauch, Nikotin)
- Reinhalten der Oberfläche
- Regulierung der Temperatur und Beleuchtung
- Konservierungsmittel z. B. als Überzug

1.2. Gefahren für museale Objekte durch Licht und Temperatur

Temperaturerhöhung:

- hygroskopisches Material schwindet
- chemische Vorgänge laufen schneller ab

Wärme und Licht:

Sie beschleunigen die Oxidation. Dieser Vorgang wird allgemein als Korrosion bezeichnet. Er ist alterungsbedingt und unabwendbar. Schadensbilder:

- Papier wird porös
- Stoff zersetzt sich
- Gemälde:
 - bekommen Risse
 - Verspröden
 - die Elastizität sowie die allgemeine Festigkeit nimmt ab
 - Materialien verlieren Transparenz
 - Farbveränderungen treten ein
 - Volumenänderung: Vergrößerungen und/oder Verkleinerungen

Direktes Sonnenlicht:

- Objekt trocknen aus
- Ausbleichen

Scheinwerfer:

- Schäden durch Erwärmung

1.3. Temperaturregelung in Sammlungen

Problem: Der Temperaturregelung sind nicht nur technisch und finanziell sondern auch durch das menschliche Wohlbefinden enge Grenzen gesetzt.

Optimale bzw. akzeptierte Temperaturen für das menschliche Wohlbefinden liegen zwischen 20 und 25 Grad.

Zwischen Innen- und Außenräumen muß ein Mittelwert gefunden werden.

Temperaturen zwischen 18 - 20 Grad sind für Depots optimal; tiefere Temperaturen sind nur sinnvoll, wenn die Luftfeuchtigkeit nicht ansteigt.

Es ist auch zu beachten, daß Objekte bei zu geringen Temperaturen verspröden.

Temperaturschwankungen von mehr als 10 Grad sind zu vermeiden, da Spannungen im Material auftreten und einen Bruch hervorrufen können.

1.4. Luft und Luftfeuchtigkeit

Zusammensetzung der Luft: 78 % Stickstoff
 21% Sauerstoff
 1 % Edelgase

Außerdem hat Luft die Aufnahmefähigkeit bis 4 Volumenprozent Wasserdampf. Vor allem wenn Luft eine hohe Temperatur (g/m^3) besitzt, kann sie mehr bzw. viel Wasserdampf aufnehmen.

Der absolute Feuchtegehalt wird gemessen in absoluter Feuchte g/m^3

Der Wert der relative Feuchte gibt an wieviel Wasser sich bei einer bestimmten Temperatur in der Luft befindet. **Die relative Luftfeuchtigkeit gibt den Sättigungsgrad der Luft mit Wasserdampf an, bei 100 % ist der Taupunkt erreicht** (d.h. das Wasser aus der Luft fängt an zu kondensieren), diese Feuchte nennt man **Sättigungsfeuchte**.

Die relative Luftfeuchtigkeit berechnet sich aus absoluter Feuchte und Sättigungsfeuchte nach der Formel:

$$\text{Relative Feuchte in Prozent (\%)} = \frac{\text{absolute Feuchte in Gramm pro Kubikmeter (g/m}^3\text{)}}{\text{geteilt durch Sättigungsfeuchte (g/m}^3\text{)}}$$

Oder anders ausgedrückt:

$$\text{RF} = \text{AF} / \text{SF}$$

Beispiel: Ein Innenraum mit einer Raumtemperatur von 20 Grad wird im Winter mit Luft von außen abgekühlt, folglich **sinkt** die relative Luftfeuchtigkeit. Fenster oder kalte Oberflächen beschlagen, wenn der Taupunkt erreicht ist.

Rechenbeispiel: Die Temperatur in einer Vitrine erwärmt sich von 20 ° auf 30 °. Die ursprüngliche relative Luftfeuchtigkeit beträgt 60 %. Wie verändert sich die relative Luftfeuchtigkeit? Die Sättigungsfeuchte beträgt bei 20 ° $17,28 \text{ g/m}^3$

Lösung:

$$\text{AF} = \text{RF} \times \text{SF}$$

$$\text{AF} = 60 \% \times 17,28 \text{ g/m}^3 = 60/100 \times 17,28 \text{ g/m}^3$$

$$\text{AF} = 10,37 \text{ g/m}^3$$

$$\text{RF} = \text{AF} / \text{SF}$$

$$\text{RF} = 10,37 \text{ g/m}^3 \times 100 / 30 \text{ g/m}^3$$

$$\text{RF} = 34,5 \%$$

(siehe hierzu auch Abbildung)

1.5. Festlegung eines Sollwertes für das Museum

Die absolute Luftfeuchtigkeit sagt nichts über einen konkreten Wert aus und hat keine Bedeutung.

Wichtig ist die Angabe der relativen Luftfeuchtigkeit, die im Museum 45 - 65 % betragen sollte. Der endgültig festgelegte Wert muß absolut **konstant** eingehalten werden.

Bei der Festlegung des Sollwerts müssen folgende Faktoren bedacht werden:

1. Faktoren, die sich aus den Materialien und der Art der Sammlungsgegenstände ergeben:
 - Metalle unterliegen bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von über 55 % Oxidationsprozessen (Korrosion). Optimal sind 20 - 30 %.
 - Papier verträgt weniger relative Luftfeuchtigkeit als Möbel; grundsätzlich gilt für alle organischen Materialien: bei einer relative Luftfeuchtigkeit unter 45 % treten Schädigungen auf.
 - Die Provenienz/Vorgeschichte/Herkunft des Objekts ist wichtig und sollte immer beachtet werden. In einer Kirche ist z.B. die relative Luftfeuchtigkeit sehr hoch und sollte bei der Neuplazierung **konstant** gehalten werden.
 - Die Zusammensetzung der Sammlung spielt eine große Rolle: Viele Holzobjekte? Holzobjekte mit Metallbeschlägen? Gemälde?
2. Faktoren, die sich aus dem Museumsgebäude ergeben
 - Eine Spannweite von 45 - 60 % ergibt sich durch eine unterschiedliche Umgebung der Sammlung, bei Seeklima z. B sollte ein höherer Wert gewählt werden.
 - Die physikalische Möglichkeiten des Museums müssen mitbedacht werden, z.B. können keine Elektroleitungen in den Altbau gelegt werden.
 - Die Art des Museums spielt eine Rolle: Ein Kunstgewerbemuseum (viel Holz mit Metall) wird einen anderen Sollwert festlegen als ein Technikmuseum (viel Metall)
 - Das Klima in Altbauten mit kleinen Fenstern und mehr hygroskopischen Material als Bausubstanz reguliert sich besser als in Neubauten, in denen eine Klimaanlage notwendig ist.
3. Faktoren, die außerdem mitbedacht werden müssen:
 - Eine Anpassung an eine andere relative Luftfeuchtigkeit muß stufenweise erfolgen.
 - Falls Klimaanlage im Einsatz sind, müssen die Objekte möglichst an ein mittleres Klima angepaßt werden, da sonst ein gigantischer Aufwand entsteht. Es ist nicht möglich, in einem Raum eine Tropenklima zu erzeugen und dauerhaft konstant zu halten. Die Kosten wären immens, der Aufwand unverhältnismäßig und die Besucher würden sich vermutlich nicht wohl fühlen.
 - Im Interesse der Besucher sollte das Klima auch auf das Wohlbefinden des Menschen abgestimmt sein. Als normal betrachtet wird vom Menschen 60 % relative Luftfeuchtigkeit im Winter und 45 % relative Luftfeuchtigkeit im Sommer.

1.6. Kontrolle der relative Luftfeuchtigkeit

- *Thermohygrographen*: bestehend aus zwei Teilen: aus einem Bimetall für die Temperaturmessung und Haaren für den *Hygrometer* zur Feuchtigkeitsmessung.
- *Psychrometer*: mechanisch betriebenes Gerät zur Messung der relativen Luftfeuchtigkeit. Der abgelesene Wert muß mit einer Temperaturkurve verglichen werden, um die relative Feuchte zu erhalten. Zur genauen Funktionsweise siehe Abbildung.
- *Data-Locker*: bestehend aus einem PC und einer Schnittstelle für einen Sensor, der die Daten ermittelt.

☞ **Merke:** Das Messen der relative Luftfeuchtigkeit und der Temperatur kann zu verschiedenen Ergebnissen an unterschiedlichen Stellen in der Sammlung führen, dies ist abhängig von der Sonneneinstrahlung und der Luftströmung. Deshalb sollten mehrere *Hygrographen* benutzt werden, um an den verschiedensten Plätzen der Objekte messen zu können.

1.7. Be- und Entfeuchten eines Raumes

Die üblichen Methoden zur Luftbefeuchtung wie Verdunstungsbehälter an der Heizung oder Pflanzen sind fürs Museum zu uneffektiv, da zuwenig Wasser in der Luft zirkuliert. Deshalb müssen Verdunster benutzt werden.

Es gibt verschiedene Funktionsprinzipien bei den Verdunstern:

1. Zerstäuberprinzip:

Funktionsweise: mittels Ultraschall wird H₂O geteilt und verteilt

Vorteil: sehr effektiv

Nachteile:

- elektrostatische Luft entsteht und läßt die Objekte sehr schnell verschmutzen
- Salzablagerung
- auch Kalk im Wasser kann sich im Raum verteilen und die Objekte schädigen

Konsequenz: nicht im Museum verwenden

2. Wasserdampfprinzip:

Funktionsweise: Prinzip wie bei großen Klimaanlage

Vorteile: keine

Nachteil: in einzelnen Räumen kann die Temperatur sehr stark steigen

Konsequenz: nicht im Museum verwenden

3. Verdunstungsprinzip:

Funktionsweise: H₂O wird auf einer möglichst großen Oberfläche verteilt und mittels Luft zur Verdunstung gebracht

Vorteile:

- optimale und effektive Luftbefeuchtung
- mit Filter ausgestattet wird auch eine Luftreinigung durchgeführt

Nachteil: ist die relative Luftfeuchtigkeit niedrig und die Temperatur hoch, arbeitet das Gerät möglicherweise zu langsam und muß eingestellt werden.

Konsequenz: Im Museum einsetzbar, allerdings muß die Luftfeuchtigkeit kontrolliert werden und dementsprechend das Gerät eingestellt werden?

Zur Entfeuchtung eines Raumes eignet sich ein Gerät, daß ähnlich wie Nr.3 arbeitet: auf einer großen Kühlfläche wird Luft abgekühlt, wodurch kondensiertes H₂O niederschlägt, das gesammelt wird.

Sowohl zur Be- als auch zur Entfeuchtung eignen sich anorganische oder chemische Substanzen wie z.B. Silika-Gel. Es besteht aus Silikaten (Silicium) mit einer großen Oberfläche. Das hygroskopische Material nimmt entweder Wasser aus der Luft auf, oder gibt

es ab. Leider funktioniert das nur bei sehr hoher bzw. geringer relative Luftfeuchtigkeit und auch nur in relativ kleinen, abgeschlossenen Räumen, weshalb Silikatpulver nur für Vitrinen geeignet ist; Silikat-Matten sind als Bildhinterlegung für Holztafeln o.ä. sehr praktisch. Das Silikatpulver muß vor dem Einsatz konditioniert werden, indem man es zunächst trocknet und dann durch Zuführung von Wasser mit Hilfe von Tabellen auf eine bestimmte relative Luftfeuchtigkeit (z.B. 50%) eicht.

2. Lichtschutz in Sammlungen

2.1. Allgemeines

Das Wissen um die Schädigungen, die Licht hervorrufen kann ist für die Betrachtung von und den Umgang mit den Objekten unabdingbar.

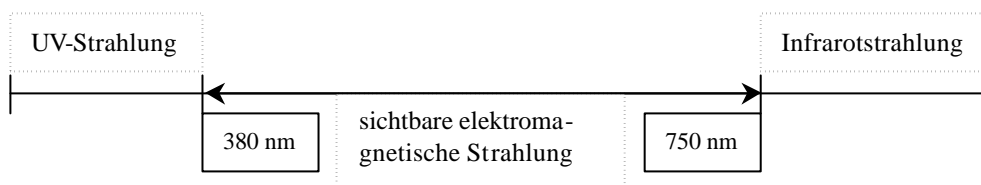
Alterungserscheinungen, hervorgerufen durch Licht:

- Papier: verbleichen und vergilben, brüchig werden durch Dehydrierung
- Farben: Anilinhaltige Farben bleichen aus. Bei manchen Farben kann es zu Farbveränderungen kommen, z.B. aus grün wird blau, das Gelb bleicht aus.
- Holz: nachdunkeln

Durch die Wärme, die beim Einsatz von Scheinwerfern entsteht, kann es zu Schäden an hygroskopischem Material durch Ausbleichen kommen.

2.2. Licht

Licht besteht aus elektromagnetischer Strahlung.



Je weiter links wir auf dieser Skala kommen, desto energiereicher wird die Strahlung. Was bedeutet das konkret?

Der blau/violette Teil des Lichts ist am energiereichsten, ruft also auch die meisten Schädigungen hervor.

Die Gefährdung der Objekte durch Licht hängt von der Lichtmenge ab, die sich folgendermaßen aus der Strahlungsquelle und der Zeit der Bestrahlung zusammensetzt:

Belichtungsstärke mal Zeit ist Lichtmenge/Belichtung (H)

noch mal anders ausgedrückt:

Belichtungsstärke x Zeit (t) = H (Belichtung)

2.3. Licht in Ausstellungen und Museen

Das *kurzwellige* Tageslicht bezeichnen wir als kühles Licht. Glühlampen senden einen hohen Anteil an Wärmestrahlen aus. Hingegen erwärmt Neonlicht nicht.

Es ist nicht sinnvoll, die maximale Beleuchtungsstärke anzugeben, statt dessen sollte man die Beleuchtungszeit begrenzen. Dies ist bei Grafiken schon üblich. Gut ist es z.B. die Grafiken in Schubladen aufzubewahren, so daß nur während der Betrachtung Licht darauf fällt.

Die Beleuchtungsstärke (E) wird in Lux (lx) angegeben.

Beispiel für die Stärke von Tageslicht:

Bei 40° Sonneneinfallswinkel um die Mittagszeit, horizontale, unverbaute Fläche:

Klarer Himmel, Sommer: 59500 lx

Bedeckter Himmel, Winter: 5900 lx

In Ausstellungen sollte nur eine Beleuchtungsstärke von 150-200 lx herrschen.

Besonders empfindliche Materialien sind:

- Grafik
- Seide
- Fotos
- Schwach gebundene Farben (Aquarellfarben, Wasserfarben)

Dagegen sind folgende Materialien wenig anfällig:

- Stein
- Metall
- Keramik
- anorganisches Material

Die Ausmaße der Schädigung sind auch von der Vorbeleuchtung abhängig, da sich die Beleuchtungszeiten addieren, d.h. wenn das Objekt wieder ins Dunkle kommt „speichert“ es die Beleuchtung. Die Schädigung des Objekts durch Beleuchtung verläuft in einer Kurve, die bei zunehmender Beleuchtungszeit immer schwächer wird und schließlich relativ konstant bleibt.

Konsequenz: Es ist sinnvoll und weniger schädlich, Objekte auszustellen, die schon einmal längere Zeit gezeigt wurden. Besonders gut geschützte Objekte sind also anfälliger für Lichtschädigungen.

Der Bestrahlungswert, bei dem aus unsichtbaren Schädigungen sichtbare werden nennt man *Schwellenbestrahlung*.

Es gibt Möglichkeiten, die Belichtung der Objekte auch in Ausstellungen relativ gering zu halten, ohne dabei auf das Zeigen der Objekte zu verzichten:

- Schleuse vom hellen Tageslicht ins Dunkle
- Eine getönte Wand bringt die Bilder bei geringerer Belichtung zur Geltung
- Kühles Licht schlägt auf das Farbempfinden, warmes Licht bewirkt, daß die Farben kräftiger wirken
- Einsatz von VEROSOL: Stoff, der von einer Seite Aluminiumbedampft ist. Licht reduziert, v.a. Infrarotstrahlung, wird durch ihn reduziert, die Wärme wird reflektiert.

Schutz der Objekte vor Ultravioletter Strahlung:

Tageslicht-Fenster, die UV-Strahlung filtern. Normales Fensterglas ist UV-durchlässig, besser ist Verbundglas mit integriertem UV-Schutz. Polycarbonatgläser sind sehr stark UV-durchlässig. Es gibt Lacke und Folien, die UV-filternd sind, sie sind aber ästhetisch fragwürdig. Eine weitere Idee sind Vorhänge vor den Bildern, die vom Betrachter gelüftet werden können.

Verschiedene Lichtquellen:

Worauf muß geachtet werden?

- Lichtausbeute (möglichst hoch)
- Wärmeerzeugung (möglichst gering)
- Lichtspektrum (möglichst sollen alle Farben sichtbar gemacht werden)

Typen:

1. *Glühlampen/Halogenglühlampen*: relativ viel Wärme, schlechte Lichtausbeute
2. *Leuchtstofflampen*:
Aufbau: Innen Gemisch aus Edelgas und Quecksilberdampf, außen Luminiszenzschicht.
Funktionsweise: Es wird eine Spannung angelegt, Ladung und Entladung führen zum Leuchten. UV-Strahlung wird in sichtbares Licht umgewandelt.
Eignung: sehr geeignet, kaum Wärmeentwicklung, kaum Infrarotanteil, allerdings bleibt immer ein gewisser UV-Anteil und die Farbwiedergabe ist schlecht.
3. *Halogen-Metaldampf lampen*:
Funktionsweise: Unter erhöhtem Druck kommt es zu Gasentladungen in einem Quecksilbergemisch.
Eignung: sehr geeignet, geringe Wärmeentwicklung, gute Lichtausbeute, wenig UV-Strahlung, wenig Infrarotstrahlung, gute Farbwiedergabe, Farbwirkung ähnlich dem Tageslicht.
Probleme: Nach dem Ausschalten der Lampe muß sie 20 Minuten auskühlen, bevor sie wieder in betrieb genommen werden kann. Anschaffungspreis sehr hoch.

3. Luftverschmutzung

Schäden aus der Luft für Exponate drohen durch

- feste Partikel (Staub, in München 5-10t Staub pro 1 km²)
- schädliche Gase (Industrie, Verbrennung von Heizöl, Kohle, PKW- und LKW-Abgase)

3.1. Staub

Zusammensetzung:

- Rußpartikel
- Abrieb von Kleidung, Fasern
- Sand
- Pollen
- Sporen
- Zementstaub
- Kalk
- Ton
- Salz
- Metalle

Die Partikelgröße variiert zwischen 0,5 µm und 1000 µm (1 µm = ein Tausendstel Millimeter)
Staub sorgt für eine Verschmutzung der Oberfläche. Folge: Objekte werden unansehnlich.

Besonders schwierig zu reinigen:

- Objekte, die durch feinteilige Ruße verschmutzt werden
- Objekte mit poröser Oberfläche (Stein, Papier, Textilien)
- feine Stäube können nicht mehr abgenommen werden

Grundregel: je kleiner der Durchmesser, desto stärker haftet der Schmutz am Objekt.

3.2. Chemische Verbindungen als Schädlinge

Schmutz kann wie eine ätzende Kompresse wirken. Ruß bindet z.B. Gase wie Schwefeldioxyd, das mit Feuchtigkeit die stark ätzende Schwefelsäure bildet, welche sogar Stein zerfrißt.

Wichtig für den Museumsbetrieb: Kalkstein/Gips ist besonders anfällig. Das Material ist stark hygroskopisch und bildet somit den idealen Nährboden für Mikroorganismen.

Schwefeloxide + Feuchtigkeit + Sauerstoff ⇒ Schwefelsäure = Schwefeldioxyd

Von Schwefeldioxyd werden fast alle organischen und anorganischen Materialien angegriffen.

Die Belichtung spielt zusätzlich eine schädigende Rolle. Es kann als Katalysator bei chemischen Reaktionen wirken, z.B. bei:

- der Umwandlung von Stickoxyden in Salpetersäure
- der Entstehung von Ozon: Ozon ist der dreiwertige (schwere) Sauerstoff O₃
O₃ ist ein sehr instabiles Molekül. Unter der Einwirkung von Licht spaltet es sich auf in O₂ (normaler Sauerstoff) und das sehr reaktive O₁, das sich mit allem verbinden will.
Ozon kann in Räumen mit alten Kopierern zum Problem werden.

3.3. Schäden durch Luftverschmutzung

- Zersetzung von Papier, Büchern
- Zersetzung von Textilien
- schwärzen und braun anlaufen von Silber

Wie kann man die Objekte schützen?

- Luft durch Klimaanlage filtern. Dies geht bei grobem Staub leichter als bei feinem. Die Geräte haben einen erheblichen Wartungsaufwand.
- In historischen Räumen ohne Klimaanlage:
 - Gezielte, regelmäßige Reinigung
 - Fenster abdichten
 - Staubansammlungen entfernen

4. Objektschutz in Ausstellung und Aufbewahrung

4.1. Vitrinen allgemein

Vorteile:

- konstantes Klima
- Umgebung frei von Schadstoffen aus der Atmosphäre
- Diebstahlschutz für kleine Objekte

Nachteile:

- kein Luftaustausch
- Schadstoffe, die aus manchen Materialien ausdünsten, werden nicht durch Luftaustausch eliminiert
- das kleine Luftvolumen heizt sich schnell und stark auf

Grundsätzlich muß bei Vitrinen folgendes beachtet werden:

- In Vitrinen herrscht ein Binnenklima, da ein Luftaustausch fehlt. Deshalb sind diese nur klimatisiert zu verwenden.
- Lampen in Vitrinen bewirken, daß die Luft im Innern erwärmt wird. Folglich sinkt die relative Luftfeuchtigkeit und es kann zum Austrocknen der Objekte und zu Wärmeschädigungen kommen. Deshalb:
 - kein direktes Sonnenlicht
 - keine starken Spots
 - der Kasten für die Beleuchtung sollte möglichst von der Vitrine abgesetzt sein
 - auch Spulen sollten getrennt von der Vitrine sein, da in Spulen elektromagnetische Energie und dadurch Wärme erzeugt wird
 - Licht muß dimmbar sein (50 Lx bei empfindlichen Objekten)
- die Objekte und die Vitrine sollten als erstes immer vermessen werden, um die Objekte zu schützen. Typisches Problem: Bücher, die nie im aufgeschlagenen Zustand vermessen werden
- in den Vitrinen sollte immer ein Thermograph vorhanden sein, um die Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit zu messen
- Ersatzbirnen sollten von außen zugänglich erneuert werden können, da die Vitrinen oft „amtlich“ geschlossen werden und damit für Reparaturen nicht zugänglich sind

4.2. Klimatisierung in Vitrinen

Um das Klima in Vitrinen konstant zu halten kann man Silikagel einsetzen. Es besteht hauptsächlich aus Silizium, das eine sehr große Oberfläche hat, nicht reagieren und nicht altern kann. Ein bekanntes Produkt nennt sich ART SORP. Allerdings ist der Einsatz räumlich begrenzt.

Das Silikagel kann auf eine bestimmte Luftfeuchtigkeit konditioniert werden. Es kann dann Feuchtigkeitsschwankungen durch Aufnahme und Abgabe von Feuchtigkeit ausgleichen. Wenn allerdings lange Zeit ungünstige Bedingungen in der Vitrine herrschen sollte das Gel neu konditioniert werden.

Ein besonderes Problem von Vitrinen ist, daß die Luftzirkulation nie ganz abgeriegelt werden kann. Was für Vitrinen gilt, gilt übrigens auch für gerahmte Bilder, da sie ähnlich abgeschlossen sind. Auch hier kann eine Matte aus ART SORP hilfreich sein.

4.3. Schädigungen durch Werkstoffe im Bereich von Ausstellung und Aufbewahrung

Schädigende Materialien:	Statt dessen lieber:
<ul style="list-style-type: none">• fast alle Klebstoffe, auch Silikonkleber• bestimmte Holzarten, z.B. Eiche • Lösungsmittelhaltige Stoffe:<ul style="list-style-type: none">- Faserplatten- Spanplatten- lackierte Stoffe• Stoffe, die Weichmacher enthalten wie Tesa, normale Klebebänder, Etiketten, Plastikfolien (PVC-Folien), Klarsichthüllen Besondere Schwierigkeit hier: auf die Angabe „Weichmacherfrei“ des Herstellers kann man sich selten verlassen. Tip: Walter Klug, Archivierungsmaterialien. Nicht billig, aber verlässlich• Wolle, bildet Schwefel • säurehaltige Papiere <p>Vitrineneinrichtung:</p> <ul style="list-style-type: none">• Silber nicht mit Wollstoffen oder Fell in eine Vitrine, auch nicht mit Objekten aus Eichenholz. Kunststoff ist möglich.• Vitrinen vollständig einrichten und dann abschließen, damit keine unnötigen Klimaschwankungen auftreten.• Objekte wie z.B. Bücher sorgfältig vorher messen, damit sichergestellt ist, daß sie auch wirklich in die Vitrine passen.	<ul style="list-style-type: none">• Klebstoffe auf Acrylbasis• abgelagertes Material (v.a. Holz), ca. 1-2 Jahre• Formaldehydfreie Stoffe• Einbrennlackierung (Lösungsmittelfrei)• Farben, Lacke, Spachtelmasse, Klebstoffe auf Wasserbasis• Folien u.ä. aus Polyvenylacetat (Weichmacherfrei) • Stoffbespannung aus Baumwolle, Nessel, Seide, Viskose, nicht eingefärbt• säurefreie Papiere

5. Gummi

- Aufbewahrung möglichst kühl
- Schutz vor Luftschadstoffen
- bei Ausstellung darf keine Wärme auf der Oberfläche entstehen, sonst bleibt eine Beschädigung und vorzeitige Alterung zurück.
- keine UV-Strahlung

6. Metall

6.1. Metalle allgemein

Der Begriff „Metall“ stammt von lateinisch „metallum“ = „Grube“. Der überwiegende Teil der Metalle liegt als Verbindung mit anderen Elementen, also als Erz vor. Nur Gold, Silber und Kupfer kommt in gediegener, also in reiner Form, auch in der Natur vor. Die Gewinnung der Metalle aus den Erzen ist mit einem erheblichen Energieaufwand verbunden: Durch Reduktion muß das Metall aus dem Erz geschieden werden.

Man kann Metalle nach folgenden Gesichtspunkten unterscheiden und einordnen:

- **Reaktionsvermögen:** Man unterteilt die Metalle in edle und unedle Metalle.
 - Edle Metalle sind wenig reaktionsfreudig, zu ihnen zählen Gold, Silber und Kupfer.
 - Unedle Metalle sind sehr reaktionsfreudig, zu ihnen zählen Eisen, Zink und Aluminium, sie liegen in der Natur auch nie rein vor.Man sortiert die Metalle nun in einer Reihe, beginnend mit dem Unedelsten (Lithium) und endet beim Edelsten (Gold). Die Korrosion hängt mit dem Reaktionsvermögen zusammen, da sich unedle Metalle leichter mit anderen Elementen verbinden, korrodieren sie auch schneller.
- elektrochemische **Spannungsreihe**: Man sortiert die Metalle nach ihrer Leitfähigkeit. Die Reihe beginnt bei Lithium (schlechtester Leiter) und endet bei Gold (bester Leiter).
- **Dichte**: Nach der Dichte unterscheidet man:
 - Leichtmetalle (Aluminium, Beryllium, Cadmium,...)
 - Schwermetalle (Blei, Eisen,...)

Grundsätzlich sind allen Metallen folgende Eigenschaften gemein:

- metallischer Glanz
- noch in sehr dünnen Schichten Lichtundurchlässig (Grund: kompakte Struktur)
- hohes Reflektionsvermögen
- bei Raumtemperatur kristallin (außer Quecksilber)
- Wärmeleiter
- Stromleiter
- Korrosion

6.2. Korrosion

Grundsätzlich streben alle Elemente immer einen möglichst energiearmen Zustand an. Um diesen zu erreichen, verbinden sie sich mit anderen Elementen. Diesen natürlichen Prozeß nennt man *Korrosion* (von lateinisch „corrodere“ = zerstören). Dabei ist der Begriff Korrosion nicht auf Metalle beschränkt, auch Baustoffe und Kunststoffe korrodieren (z.B. Beton-Korrosion).

Wissenschaftliche Definition:

Korrosion ist die von der Oberfläche ausgehende, unerwünschte Zerstörung von Werkstoffen.

Korrosionsformen von Metall:

- Korrosion durch direkte Einwirkung durch z.B. Luftfeuchtigkeit, Salz,...
- elektrochemische Korrosion: entsteht an den Berührungspunkten zweier Metalle. Die Feuchte der umgebenden Atmosphäre wirkt als Katalysator. Beispiel: Eisenarmierung einer Bronzestatue.

- chemische Korrosion: Normalerweise bildet der Sauerstoff in der Luft auf dem Metall eine Oxidschicht, die wie eine Schutzschicht wirkt und die Korrosion verhindert. Je nach Metall kann diese Schicht transparent, braun,... sein.
Erst bei einem Wasserstoffangriff kommt es zur
- atmosphärische Korrosion: In der Verbindung mit Wasserstoff aus der Luft (in der Regel erst ab 55% relativer Feuchte) greift der Luftsauerstoff das Metall an. Besonders problematisch sind die Schadstoffe in der Luft, im Wesentlichen Schwefeldioxyd, Stickoxide, Chloride, Chlor, Salzsäure und Ammoniak. Mit ihnen wird aus der atmosphärischen Korrosion eine elektrochemische Korrosion.

6.3. Schadensbilder an Metallen

Die Korrosion kann unterschiedliche Schadensbilder hervorrufen:

- Gleichmäßige Abtragung der Substanz: Von der Oberfläche ausgehend schreitet die Korrosion gleichförmig und in gleicher Dicke fort. Dadurch bleibt die Stabilität des Objekts lange Zeit gewahrt. Selten.
- Lochfraß: Der Angriff erfolgt auf einige Stellen. Es kommt zur Grubenbildung, im fortgeschrittenen Stadium auch zur Lochbildung. Die Stabilität des Objekts sinkt unbemerkt ab, oft wird das Loch durch die Oxidschicht verdeckt. Auslöser dieses Schadensbilds sind meist die Anionen in kohlehaltigen Staubteilchen.
- Spannungsrißkorrosionen (nicht klausurrelevant)
- Spaltkorrosionen (nicht klausurrelevant)
- Durch Handschweiß kann es auf ungeschützten Metallflächen durch Chlorid-Verbindungen (Salze), organische Säuren oder organische Stickstoffverbindungen zu Schäden kommen. Durch den Salzgehalt des Handschweißes wird Feuchtigkeit an der Oberfläche gebunden und es kommt zur atmosphärischen Korrosion.

6.4. Schutz von Metallobjekten

Grundsätzlich gilt:

- Oberflächen immer rein und staubfrei halten
- Metallobjekte nur mit Baumwollhandschuhe anfassen

Korrosionsschutz:

Aktiv:

- Legierungszusätze, z.B. bei nichtrostenden Stählen
- kathodischer oder anodischer Schutz (Opferanode)

Passiv:

- räumliche Trennung des Metalls von seiner Umgebung
- Beschichtung durch ölige Stoffe, Überzüge, lackähnliche Schutzanstriche, Wachsschichten. Vorsicht bei Lack: Korrosion läuft trotzdem ab, weil die meisten Lacke für Wasserdampf durchlässig sind (Beispiel: Autolack)
- schädliche Einflüsse eliminieren

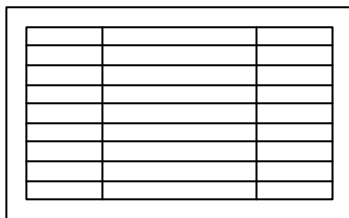
7. Papier

7.1. Papierherstellung

Die Herstellung des Papiers erfolgt in vier Schritten:

1. Zerkleinern und Zerstampfen der Hadern oder des Fasermaterials
2. Aufschlemmen des zerkleinerten Materials
3. Blattbildung
4. Pressen und Trocknen

Als Rohstoff dienten bis ins 19. Jahrhundert Hadern, also Lumpen aus Baumwoll- oder Leinenstoff, Taue und Netze aus Hanf. Diese Stoffe wurden zerstampft, kamen in eine Bütte, wo sie mit Wasser aufgeschlemmt wurden. Dann wurde mit einer Form mit einem feinmaschigen Gitter das Blatt geschöpft. Dieses Blatt wurde auf einen Filz gegautsch. 181 Blätter wurden zusammengelegt und das Wasser ausgepreßt. Dann wurden sie zum Trocknen aufgehängt.



Schöpfform (stark vereinfachte Darstellung)

Ab 1820 wird Papier auch maschinell hergestellt. Hierbei entsteht eine kontinuierliche Papierbahn. Merkmale:

- bestimmte Reißrichtung
- bestimmte Quellrichtung

Die Knappheit des Rohstoffes Hadern bedingt, daß man zur Herstellung des Papiers aus Holzschliff übergeht. Bedingt durch den Ligningehalt des Holzes ist dieses Papier qualitativ sehr schlecht. Holzschliff wird heute noch zur Herstellung von Zeitungen verwendet.

Merkmale:

- rasches Gilben
- schnelle Alterung
- spröde
- lichtempfindlich

Nachdem diese Nachteile erkannt waren, ging man ab den 1850er Jahren dazu über, das Lignin aus dem Holzschliff zu entfernen. Die dadurch entstandenen, längeren Fasern nennt man *Zellulose*.

Die Entwicklung einer rationelleren Papierherstellung setzte voraus, daß man den Leim gleich der Papiermasse zusetzte („Masseleimung“). Hierzu benutzte man in Lauge gelöstes Kolophonium und Alaun, was zu saurem Papier führt. Erst seit 1980 wird zur Masseleimung eine Harzdispersion ohne Alaun verwendet.

Um das Papier weißer zu machen, wurden häufig Füllstoffe, z.B. Titanweiß, Kreide oder Gips zugesetzt. Vereinzelt seit den 1940er, verstärkt ab den 1950er Jahren setzte man sogenannte optische Aufheller zu, die dem Papier ein fluoreszierendes Aussehen verleihen. Dieser Zusatz führt zu schneller Alterung und zu rascher und starker Gelbung.

7.2. Schädigende Einflüsse

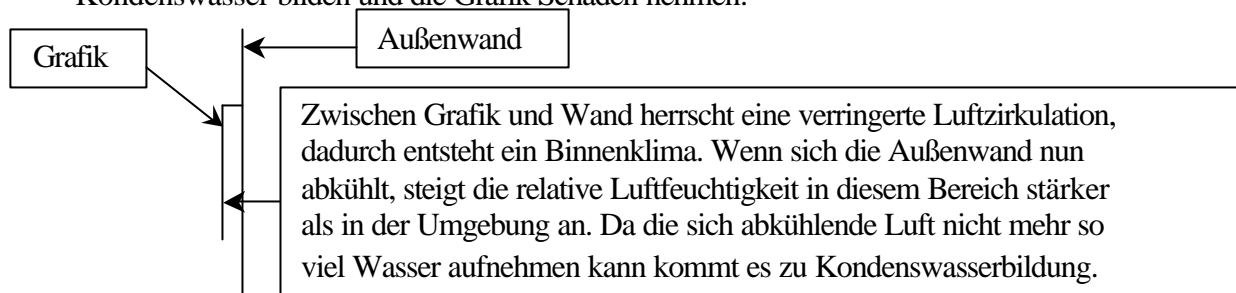
- Oxidationsmittel zerstückeln die Molekülketten der Zellulose, die Fasern büßen ihre Festigkeit ein.
- Säure im Papier baut die Stabilität des Papiers ab. Ein hoher Säuregrad (pH-Wert) führt zur Brüchigkeit und schließlich zum Zerfall des Papiers.
- Umwelteinflüsse wie Schwefeldioxyd, UV-Strahlung und sichtbares Licht schädigen das Papier, wobei Zellulose nur durch kurzwellige Strahlung geschädigt wird.
- Verunreinigungen machen das Papier sensibel und lichtempfindlich
- Holzschliff gilbt schnell
- Oberflächenleimung führt zu ausbleichen, diese Papiere gilben im Dunkeln
- Papier ist sehr hygroskopisch, bei 50% relative Feuchte hat es seine höchste Elastizität, unter 40% wird es spröde, über 50% wird es anfällig für Bakterien und Pilze
- Stockflecken kommen durch Bakterien und Pilze zustande

7.3. Vorbeugende Maßnahmen

- Entsäuern des Papiers
- Begasen des Papiers gegen Milben und Anobien
- Papier nicht dem Licht aussetzen
- konstante Feuchtigkeit halten
- für gute Belüftung sorgen
- nur in trockenen Räumen lagern

7.4. Papier in der Ausstellung

- wenn eine Grafik an eine kalten Wand (z.B. Außenwand) gehängt wird, kann sich Kondenswasser bilden und die Grafik Schaden nehmen:



Fazit: keine Grafiken an Außenwände hängen

- Grafiken u.ä. müssen vor mechanischen Beschädigungen und Luftverunreinigungen geschützt werden. Deshalb müssen sie immer hinter Glas und Rahmen, wenn sie senkrecht aufgehängt werden sollen.
- Soll ein Buch präsentiert werden, muß es natürlich in eine Vitrine, um vor Staub geschützt zu sein. Es darf nur in einem bestimmten Winkel aufgeschlagen werden, damit der Rücken nicht bricht.
- Papier muß vor Licht geschützt werden. Am Besten nimmt man warmtoniges Licht mit einer Beleuchtungsstärke unter 50 lx. Läuft die Ausstellung über 3 Monate müssen Grafiken nach dieser Zeit aus der Ausstellung genommen und durch andere ersetzt werden.
- Die Temperatur sollte zwischen 18 und 20° C liegen.
- Papier muß immer auf einer säurefreien Unterlage präsentiert werden.

III. Register

A

Ablaugung 15
Acryl 14, 30
Alaun 33
Alpen 4, 17
Altbauten 22
Altdorfer 13
Alterung 9, 11, 15, 24, 30, 33
Aluminium 12, 31
Ammoniak 32
Anilin 24
Anionen 32
Anobien 15, 34 *Siehe* Holzwürmer
Applikationen 16
ART SORP 29
Asbest 12
Atmosphäre 29, 31
Aufheller
 optische 33
Ausbleichen 20, 24
Außenräume 21
Außenwand 34
Ausstellung 29, 30, 34
austrocknen 20
Austrocknen 29

B

Bakterien 34
Balsaholz 7
Baumwolle 8, 30, 33
Baumwollhandschuhe 32
Baustoffe 31
Bausubstanz 22
Begasen 34
Beil 6
Beleuchtung 7, 15, 20, 25, 29, 34
Beleuchtungsstärke 24, 25
Beleuchtungszeit 24, 25
Belichtung 24, 25, 27
Belichtungsstärke 24
Belüftung 34
Beryllium 31
Beulen 11, 12
Beulenbildung 8
Bimetall 23
Bindemittel 10, 12, 13, 14, 15
Binnenklima 29
Blei 14, 31
bleichen 24
Bleichung 7, 15
Bleiweiß 14, 15, 17
Bolus 16
Bosch 13
Bretter 6
Bronze 31
Bruch 21
Brüchigkeit 34
Brueghel 13, 17
Buche 4, 9
Bücher 28, 29, 30, 34
Buchmalerei 16
Bütte 33

C

C14-Methode 4
Cadmium 14, 31
China 9
Chlor 32
Chloride 32
Chlorid-Verbindungen 32
Cranach 4
Craquelé 11 *Siehe* : Craqueletts
Craqueletts 11
 - Alterscraqueletts 10

D

da Vinci, Leonardo 12
Data-Locker 23
Deformation 10
Deformationen 8
Dehydrierung 24
Dendrochronologie 4
Depots 21
Destillation 12
Dichte 31
Diebstahlschutz 29
Doublierung 10, 17
Dübeln 6
Dublierung 17 *Siehe* : Doublierung

E

Edelgas 26
Edelgase 21
Ei 12, 14
Eiche 4, 5, 7, 9, 15, 17, 30
 Eichenchronologie 4
Einbrennlackierung 30
Eisen 31
Elastizität 20
Elektrostatik 11
elektrostatisch 23
Energie
 elektromagnetische 29
England 4
Entfeuchtung 23
Erwärmung 20
Erz 31
Eternitplatte 12
Etiketten 17, 30
Expressionisten 8

F

Fabrestomalerei 11
Fäden 8, 10
Fadenverklebung 10
Fadenverleimung 10, 17
Farben 11, 13, 14, 15, 17, 24, 25, 30
 Aquarell 25
 Wasser 14, 25
Farbveränderungen 20, 24
Farbwiedergabe 26
Fasern 8, 27, 33, 34
Faserplatten 30

Fassung 15, 16
 Federklammern 7
 Federn 11
 Fell 30
 Fenster 21, 22, 25, 28
 Feuchtigkeit 5, 6, 9, 10, 15, 21, 23, 27, 29, 31, 32, 34
 Feuchtigkeitmessung 23
 Feuchtigkeitsschwankungen 29
 Fichte 4, 9
 Filmaufnahmen 7
 Filter 23
 Filz 33
 Firnis 4, 15
 abnahme 15
Flachs 8
 Flicker 17
 Fluoreszenz 33
 Folien 25, 30
 Förd, Günter 12
 Formaldehyd 30
 Fotos 25
 Frühschwundrisse 11, 13, 15
 Füllstoffe 33

G

Garn 9
 Gase 27
 gautschen 33
 Gemälde 4, 15, 18, 19, 20, 22
 Gerbsäure 7
 gilben *Siehe* vergilben
 Gilben *Siehe* vergilben
 Gilbung *Siehe* vergilben
 Giorgione 8, 13
 Giotto 4
 Gips 10, 27, 33
 Glas 14, 19, 34
 Glühlampen 24, 26
 Gold 16, 31
 Gotik 4, 13
 - Spätgotik 4
 Grafik 25, 34
 Grafiken 24, 34
Gravierung 16
 Grisaille 17
 Grubenbildung 32
 Grundierung 4, 8, 10, 11, 15, 17
 - Kreide 4
 Grünwald 13
 grünstichig 12
 Gummi 30

H

H₂O *Siehe* Wasser
 Hadern 33
 Halogenglühlampen 26
 Halogen-Metaldampflampen 26
 Handschweiß 20, 32
Hanf 8, 33
 Harz 16
 Harzdispersion 33
 Heizkörpern 7
 Heizung 23
 Hemizellulose 5
 Herkunft *Siehe* Provenienz
 Holz 4, 5, 6, 7, 8, 15, 16, 19, 22, 24, 30, 33

 arten 4
 Holztafeln 24
 Holzschliff 33, 34
 Holzskulpturen 15, 16
 Holztafel 6
 Holztafeln 6
 Holzwürmer 15
Hygrograph 23
Hygrometer 23
 hygroskopisch 5, 7, 9, 10, 19, 20, 22, 23, 24, 27

I

Impressionismus 13
 Imprimitur 11, 17
 Indien 9
 Infrarot 26
 Infra-Rot 11
 Innenräume 21, 26
 Italien 4, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 17

J

Jahresringe 4, 5
Jute 8

K

Kalk 23, 27
 Kalkstein 10, 27
 Kasein 14
 Kastanie 4
 Katalanien 4
 Katalysator 27, 31
 Keramik 25
 Kernholz 5
 Kiefer 4
 Kirche 22
 Kirschbaum 5
 Klarsichthüllen 30
 Klassizismus 13, 15
 Klebebänder 30
 Klebstoffe 30
 Klima 5, 10, 20, 22, 29
 Klimaanlage 10, 22, 28
 Klimaanlagen 22, 23
 Klimaschwankungen 30
 Klimatisierung 29
 Klint, Gustav 12
 Kohle 11
 Kohlenhydrate 5
 Kolophonium 33
 Kondensation 5, 11
 kondensieren 21
 Kondenswasser 34
 Konservierungsmittel 20
 Korrosion 20, 22, 31, 32
 atmosphärische 32
 chemische 32
 elektrochemische 31
 Korrosionsschutz 32
 Kreide 4, 10, 16, 33
 Krepierung 15
 Kunstgewerbemuseum 22
 Kunststoff 30
 Kunststoffe 31
 Kupfer 16, 31
 - Kupfertafel 12

L

Lack 14, 32
Lacke 25, 30
Lampen 10, 29
Lasur 17
Lauge 33
Legierung 32
Leichtmetalle 31
Leim 10, 12, 14, 16, 33
Leinen 8, 33
Leinwand 8, 9, 10, 11, 17
Leitfähigkeit 31
Leuchtstofflampen 26
Licht 7, 9, 11, 12, 13, 15, 20, 24, 25, 26, 27, 29, 34
 empfindlichkeit 8, 33, 34
 warmtonig 34
Lichtmenge 24
Lichtquellen 25
Lichtschutz 24
Lignin 5, 33
Linde 4, 15
Lithium 31
Lochbildung 32
Lochfraß 32
Lochpause 11
Lokalton 13, 17
Lösungsmittel 30
Luft 5, 21, 23, 27, 28, 29, 32
Luftaustausch 29
Luftbefeuchtung 23
Luftfeuchtigkeit 6, 10, 11, 16, 21, 22, 23, 29, 31
 absolute 21, 22
 Feuchtegehalt 21
 relative 5, 21, 22, 23, 24, 29, 34
 Sättigungsgrad 21
 Sollwert 22
 Taupunkt 21
Luftpolster 10
Luftreinigung 23
Luftschadstoffe 30
Luftströmung 23
Luftverschmutzung 20, 27, 28
Luftverunreinigung 9
Luftverunreinigungen 34
Luftzirkulation 29
Luminiszenzschicht 26
Lumpen 33
Lüster 16
Lüsterung 16
Lux 15, 24

M

Malschicht 4, 11, 12, 15
Manierismus 12
Marées, Hans von 13
Masseleimung 33
Metall 7, 10, 19, 22, 25, 31, 32
 edel 31
 unedel 31
Metalle 16, 27
Mikroorganismen 27
Milben 34
Mittelalter 6, 10, 12
Mittelmeerländer 9
Modellierung 15, 17
Munch 8

Museumsgebäude 22

N

nachdunkeln 24
Nadelbäume 4
Nägel 7, 9
Neonlicht 24
Nessel 30
Netze 33
Neubauten 22
Neuplazierung 22
Niederlande 4, 8
Niederlanden 12, 13, 17
Nikotin 20
Norden 4, 8, 10, 11, 12, 13, 15
Norwegen 4

O

Oberflächenleimung 34
Öl 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17
 - malerei 14
 Leinöl 14
 malerei 12
 Mohnöl 14
 Nußöl 14
Ölfarbe 10, 11, 13
Ölmalerei 12
Opferanode 32
Österreich 4
Oxidation 9, 14, 20, 22
Oxidationsmittel 34
Oxydschicht 32
Ozon 27

P

Papier 12, 19, 20, 22, 24, 27, 28, 30, 33, 34
 saures 33
Pappe 11, 12
Pappel 4
Parkettierung 6
Pastiglia 16
pastose Malerei 13
Pausbeutel 11
Pentimenti 17
Pflanzen 14, 23
Pflanzengummi 12, 14
pH-Wert 34
Picasso 8
Pigment 12, 13, 14, 15
Pilze 34
Plastikfolien 30
Polen 4, 8
Pollen 27
Polyacrylnitrit 9
Polyester 9
Polyvenylacetat 30
porös 20
Pressbrokate 16
Primamalerei 13, 17
Primärgilben 14
Provenienz 22
Psychrometer 23
Punzen 16
PVC 30

Q

Quecksilber 26, 31
Quellrichtung 33

R

Radio-Carbon-Methode 4
Rahmen 9, 10, 18, 19, 34
- Keilrahmen 9
- Spannrahmen 9
Rauch 20
Raumtemperatur 21, 31
Reaktionsvermögen 31
Reduktion 31
Reifholz 5
Reißrichtung 33
Rembrandt 13, 17
Renaissance 12
Restauration 10, 17
Restauratoren 6
Restaurierung 17
Reuezüge *Siehe* Pentimenti
Risse 10, 11, 15, 20
Romantik 15
Rötel 11
Rubens, Peter Paul 13, 17
Runzelbildung 15
Ruß 14, 27

S

Salpetersäure 27
Salz 27, 31, 32
Salzablagerung 23
Salzsäure 32
Sand 27
Sättigungsfeuchte 21
Sättigungsgrad 21
Sauerstoff 14, 21, 27, 32
Säure 10, 34
- entsäuern 34
- organische 32
säurefrei 34
- Karton 10
Schadstoffe 20, 29, 32
Schaumstoff 11
Scheinwerfer 20, 24
Scheinwerfern 7
Schichtenmalerei 17
Schimmelbildung 6, 10
Schnitt
- tangential 4
- Querschnitt 4
- radial 4
Schutzlackschicht 6
Schwalbenschwanz-Technik 6
Schwefel 10, 20
Schwefeldioxyd 27, 32, 34
Schwefeloxide 27
Schwefelsäure 27
Schwellenbestrahlung 25
Schwermetalle 31
Schwund 15
Seeklima 22
Seide 8, 25, 30
Silber 16, 28, 30, 31
Silberstift 11

Silicium 23
Silikagel 29
Silika-Gel 23
Silikate 23
Silikat-Matten 24
Silikatpulver 24
Silikonkleber 30
Silizium 29
Skizze 17
Smalte 14
Sommer 22, 25
Sonne 7, 10, 16, 20, 23, 25, 29
Sonneneinstrahlung 23
Sonnenlicht *Siehe* Licht
Spachtelmasse 30
Spaltkorrosionen 32
Spanien 4
Spannung 15
Spannungen
- Material 21
Spannungsreihe
- elektrochemische 31
Spannungsrißkorrosionen 32
Spanplatten 30
Splint 6
Splintholz 5
Sporen 27
Spots 29
Sprezzatura 17
spröde 8, 33, 34
Spulen 29
Staub 10, 19, 27, 28, 32, 34
staubfrei 32
Stecheisen 16
Stein 25, 27
Steinplatte 12
Stickoxide 32
Stickoxyd 27
Stickstoff 21
Stickstoffverbindung
- organische 32
Stirnseite 5
Stoff 9, 20, 25 *Siehe* Textilien
Stoß 10, 12
Strahlung 24, 25, 26
- kurzwellige 34
Strichel
- technik 12, 17
Stromleiter 31
Stützleisten 6
Stützrahmen 6
Süden 4, 8

T

Tafelbilder 15
Tageslicht 10, 24, 25, 26
Tanne 4, 9
Tae 33
Taupunkt 21
Technikmuseum 22
Tempera 12, 13, 17
Temperatur 5, 9, 11, 20, 21, 23, 29, 34
Temperaturerhöhung 20
Temperaturmessung 23
Temperaturregelung 21
Temperaturschwankungen 10, 21
Tesa 30

Textilien 27, 28
Thermograph 29
Thermohygrograph 23
Tiefenlicht 13, 17
Tintoretto 8, 13
Titanweiß 14, 33
Tizian 13, 17
Ton 16, 27
Transparenz 20
Transportschäden 11
Trassierung 16
Tremolierung 16

U

Ultraschall 23
Umwelteinflüsse 34
Unterzeichnung 11
UV 9, 10, 26
UV-Schutz 25
UV-Strahlung 25, 26, 30, 34

V

van de Goes, Hugo 12
van der Goes, Hugo 17
van Gent, Justus 12
verbleichen *Siehe* bleichen
Verbräunung 15
Verdunster 23
Verdunstung 14, 23
Verdunstungsprinzip 23
Verformung 5
- elastische 5
- plastische 5
vergilben 14, 24
vergolden 16
Vergolden 4
Vergoldung 16
- anschießen 16
- Öl- 16
- Polimentglanz- 16
- Pudergold 16
Verleimung 6
Vermeer 13
VEROSOL 25
Verputzung 15
Verseifung 15
verspröden 21

Verspröden 20
Verunreinigungen 34
Vibrationen 10
Viskose 9, 30
Vitrine 21, 29, 30, 34
Vitrinen 24, 29, 30
Volumenänderung 10, 20
Volumenvergrößerungen 20
Volumenverkleinerungen 20
Vorgeschichte *Siehe* Provenienz
Vorzeichnung 11, 17

W

Walnuß 4, 5
Wärme 9, 20, 24, 25, 26, 29, 30
Wärmeentwicklung 26
Wärmeleiter 31
Wärmequellen 7
Wärmeschädigungen 29
Wärmestrahlung 24
Wasser 5, 16, 21, 23, 24, 33
Wasserdampf 21, 32
Wasserschäden 11
Wasserstoff 32
Weichmacher 30
Weide 4, 5
Werkblock 15
Winter 21, 22, 25
Wohlbefinden
 menschliches 21
Wölbung 5, 6
Wolle 30
Wurmfraß 5

Z

Zeitung 33
Zellstruktur 4, 6
Zellulose 5, 8, 33, 34
Zementstaub 27
Zentralheizung 6
Zerfall 34
Zerstäuberprinzip 23
Ziehmesser 6
Zink 31
Zwirn 9
Zwischgold 16

IV. Impressum

Diesem Heft liegen die Vorlesungen von Herrn Most im Fach „Materialien und Werkstoffe“ für den Studiengang Museumskunde an der FHTW Berlin zugrunde.

Autoren:

Greiner, Marion

Kipp, Angela

Gesamtredaktion:

Angela Kipp