

LÖSUNGSMITTEL IN DER RESTAURIERUNG

*Herausgegeben von
Gerhard Banik
und
Gabriela Krist*



VERLAG DER APFEL

LÖSUNGSMITTEL IN DER RESTAURIERUNG



ICCROM

Herausgegeben von
Gerhard Banik und Gabriela Krist

© Verlag Der Apfel
Wien 1984

Reihe:

RESTAURIERUNG - KONSERVIERUNG - TECHNOLOGIE

Herausgeber: Gerhard Banik und Gabriela Krist

Band I

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Lösungsmittel in der Restaurierung / [hrsg.
von Gerhard Banik u. Gabriela Krist]. –
Wien : Verlag Der Apfel, 1984.

ISBN 3-85450-001-7

NE: Banik, Gerhard [Hrsg.]

Gedruckt mit Unterstützung des Bundesministeriums für
Wissenschaft und Forschung in Wien.

© 1984 © 1996 Verlag Der Apfel

© 1984 © 1996 Gerhard Banik und Gabriela Krist

Graphische Gestaltung und Herstellung: Stefan Wassák

ISBN 3-85450-001-7

VORWORT ZUR 1. AUFLAGE

Die vorliegende Materialsammlung zum Thema »Lösungsmittel in der Restaurierung« entstand im Rahmen eines Seminars an der Akademie der Bildenden Künste, Wien, im Dezember 1982. Das Seminar sollte zunächst nur der Erarbeitung der einschlägigen Fachliteratur dienen. Nach Abschluß des Seminars entstand der Gedanke, die gesammelte Literatur, insbesondere das Buch »Solubility and Solvents for Conservation Problems« von Giorgio Torraca und Teile des Buches »Les Solvants« von Liliane Masschelein-Kleiner, zu einem Lehrmaterial für Studenten der Restaurierung zu verarbeiten. Die Herausgeber danken zunächst Giorgio Torraca und Liliane Masschelein-Kleiner für die Erlaubnis, ihre Manuskripte in deutscher Übersetzung herauszubringen. Beide Autoren übernahmen dankenswerter Weise auch die Korrektur und Überprüfung der übersetzten Texte. Den beteiligten Studenten Carmen Chizzola, Sebastian Dobrusskin, Pia Geusau, Doris Heckermann, Ilse Pischinger, Karl Scherzer und Wolfgang Schwahn ist für ihre Bemühungen bei der Literaturbeschaffung und ihre Mitarbeit bei der Übersetzung zu danken. Besonderen Dank schulden wir Sebastian Dobrusskin für seine Beiträge zur praktischen Anwendung des Lösungsmitteldiagramms und Doris Heckermann für die Korrektur des Manuskripts. Ebenfalls zu danken ist Raja Reichmann für ihre Mitarbeit bei der Betreuung des Seminars.

Wertvolle Hinweise für die Erstellung des Manuskripts verdanken wir Thomas C. Cubasch, Firma Wilh. Raunegger, Wien. Für die kritische Durchsicht des Manuskripts sowie für zahlreiche Anregungen und Hinweise danken wir Prof. Dr. Hans Peter Schramm und Dr. Bernd Hering, Hochschule für Bildende Künste in Dresden, sowie Prof. Dr. Herbert Stachelberger und Dr. Hans Mikosch, Technische Universität Wien. Werner Prohaska schulden wir Dank für die sorgfältige Anfertigung der Zeichnungen.

Wien, im Sommer 1984

Gerhard Banik
Gabriela Krist

VORWORT ZUR 2. AUFLAGE

Die starke Nachfrage nach der Materialsammlung »Lösungsmittel in der Restaurierung« hat gezeigt, daß im deutschen Sprachraum ein Bedarf nach einschlägigen Unterlagen für die Aus- und Fortbildung von Restauratoren besteht.

Für die Herausgeber ergab sich somit nach sehr kurzer Zeit die Notwendigkeit, eine zweite Auflage vorzubereiten. Neben der kritischen Durchsicht und Aktualisierung des Textes sowie der Diagramme wurde auf Grund von Anregungen aus dem Kollegenkreis der zweiten Auflage ein Stichwortverzeichnis hinzugefügt, um die Benützbarkeit des Buches zu verbessern.

Für die intensive Mitarbeit am Register danken wir besonders Sebastian Dobruskin, für die Überarbeitung der Lösungsmitteldiagramme Hans-Michael Putz.

Wien, im Jänner 1986

Gerhard Banik
Gabriela Krist

VORWORT ZUR 3. AUFLAGE

Die unverändert starke Nachfrage nach dem Band I der Reihe RESTAURIERUNG – KONSERVIERUNG – TECHNOLOGIE „LÖSUNGSMITTEL IN DER RESTAURIERUNG“ hat nun die Produktion einer 3. Auflage erforderlich gemacht. Diese Auflage ist im wesentlichen ein Nachdruck der bereits überarbeiteten 2. Auflage des Buches, wobei allerdings einige Druckfehler dank der Hinweise aus dem Kollegenkreis korrigiert werden konnten.

Wien, im August 1989

Gerhard Banik
Gabriela Krist

INHALTSVERZEICHNIS

EINFÜHRUNG 15

EINIGE DEFINITIONEN UND BEGRIFFE 17

Lösungsmittel, Lösungen, Lösevorgang, echte Lösungen,
kolloidale Lösungen, Dispersionen, aktives Lösungsmittel,
latentes Lösungsmittel, Nichtlöser, Physikalische Auflösung 17

Chemische Auflösung, Verdünnungsverhältnis, Verschneidbarkeit,
Mischbarkeit, Mischungslücke, azeotrope Gemische 18

Verdunstungszeit, Verdunstungszahlen, Weißanlaufen, Flammpunkt,
Zündtemperatur 19

HINWEISE ZUM UMGANG
MIT LÖSUNGSMITTELN UND CHEMIKALIEN 20

GIORGIO TORRACA, LÖSUNGSMITTEL
UND DEREN LÖSUNGSEIGENSCHAFTEN
FÜR RESTAURATORISCHE PROBLEME 23

G. Torraca, Teil I

1. STRUKTUR VON FESTKÖRPERN –
KRISTALLE 25

1.1. Elektronegativität 25

1.2.	Ionenbindung, Ionenkristalle	25
1.3.	Kovalente Bindung, Kovalente Kristalle	26
1.4.	Metallbindung, Metallkristalle	27

BEMERKUNGEN ZUR NATUR DER CHEMISCHEN BINDUNG 28

2. MOLEKÜLE UND MOLEKULARE ANZIEHUNGSKRÄFTE 31

2.1.	Bildung von Molekülen	31
2.2.	Dipole	31
2.3.	Molekulare Anziehungskräfte	33
2.3.1.	Dipol-Dipol-Wechselwirkungen	33
2.3.2.	Wasserstoffbrückenbindungen	33
2.3.3.	Van der Waals'sche Kräfte – Dispersionskräfte	34

3. GASE, FLÜSSIGKEITEN UND MOLEKULARE FESTSTOFFE 35

3.1.	Gase	35
3.2.	Flüssigkeiten	35
3.3.	Verdampfung	36
3.4.	Molekulare Festkörper	37

4. LÖSLICHKEIT 38

5. UNLÖSLICHKEIT 41

6. LÖSLICHKEIT VON SUBSTANZEN MITTLERER POLARITÄT 42

THEORETISCHE GRUNDLAGEN DES LÖSUNGSPROZESSES 43

G. Torraca, Teil II

1.	KOHLLENWASSERSTOFFE	47
1.1.	Aliphatische Kohlenwasserstoffe	47
1.2.	Doppelbindungen – Olefine	50
1.3.	Ringförmige Kohlenwasserstoffe – Naphthene	52

1.4.	Der Benzolring, aromatische Kohlenwasserstoffe	53
1.5.	Polarität von Kohlenwasserstofflösungsmitteln	54
1.6.	Industriell erzeugte Kohlenwasserstofflösungsmittel	55
2.	CHLORIERTE KOHLENWASSERSTOFFE	56
3.	FUNKTIONELLE GRUPPEN	57
3.1.	Alkohole	57
3.2.	Ketone	57
3.3.	Säuren	58
3.4.	Amine, organische Basen	60
3.5.	Ester und Amide	62
3.6.	Äther	64

NOMENKLATUR EINFACHER ORGANISCHER VERBINDUNGEN	66
--	----

HINWEISE ZU EINIGEN IN DER RESTAURIERUNG VERBREITETEN LÖSUNGSMITTELGRUPPEN	71
--	----

Aliphatische Kohlenwasserstoffe: Shellsol A, Kristallöl 30 – Testbenzin. Spezialbenzin 62/82 – Feinbenzin	71
--	----

Ketone	71
Äther	72
Ester	72

G. Torraca, Teil III

1. MISCHBARKEIT VON FLÜSSIGKEITEN	73
2. OBERFLÄCHENAKTIVE SUBSTANZEN	74
3. KONZENTRATIONSANGABEN VON LÖSUNGEN	77
4. SAURE UND BASISCHE LÖSUNGEN, PH-WERT	79
5. ANWENDUNG VON LÖSUNGSMITTELN, VERDUNSTUNGSZAHL	81
6. GEFÄHRLICHKEIT VON LÖSUNGSMITTELN, GIFTIGKEIT, BRENNBARKEIT	82

7. LÖSUNGSMITTELMISCHUNGEN	82
8. TABELLEN	84
LÖSUNGSMITTELPARAMETER – GEBRAUCH DES LÖSUNGSMITTELDREIECKS	91
Definition der Lösungsmittelparameter	91
Lage der einzelnen Lösungsmittelgruppen im Dreiecksdiagramm	94
Löslichkeitsparameter wichtiger Lösungsmittel	95
Graphische Ermittlung der Lage von Zweikomponentenmischungen im Dreiecksdiagramm	97
Graphische Ermittlung der Löslichkeitsparameter von Dreikomponentenmischungen	98
Löslichkeitsbereiche von Bindemittelstoffgruppen im Dreiecksdiagramm	101
Quellbereich von Ölfilmen	103
Löslichkeitsbereich von Firnissen	104
Lösungstests am Objekt	106
Lage geeigneter Testlösungsmittelmischungen im Dreiecksdiagramm	107
Lösungsmittelparameter ausgewählter Testlösungsmittelmischungen	109
Löslichkeit von natürlichen und synthetischen filmbildenden Substanzen	110
Lösungsverhalten von Kunststoffen	112
Spezielle Lösungsmittelsysteme zur Reinigung von Papierobjekten	113
LILIANE MASSCHELEIN-KLEINER, DIE LÖSUNGSMITTEL, KAPITEL III	115
L. Masschelein-Kleiner, Teil I	
1. DAS KUNSTWERK	117
2. DER RESTAURATOR	117
3. DAS ZIEL	118
LÖSUNGSMITTELINKLUSION	119
BEMERKUNGEN ZUR REINIGUNG VON TEXTILIEN UND PAPIER	122
TOXIZITÄT VON LÖSUNGSMITTELN	124

L. Masschelein-Kleiner, Teil II

1. EINDRINGVERMÖGEN UND RETENTION	125
2. SPEZIFISCHE WECHSELWIRKUNGEN	127
3. PRAKTISCHE ANWENDUNGEN	129
Zusammenstellung von Testlösungsmittelmischungen für die Reinigung von Gemälden und Skulpturen	131
PENETRATIONSVERHALTEN VON LÖSUNGSMITTELN IN PORÖSEN KÖRPERN	133
LÖSUNGSMITTELRETENTION	136
RE-FORMING	138

L. Masschelein-Kleiner, Teil III

1. ENTFERNUNG VON VERSCHMUTZUNGEN AN DER OBJEKTOBERFLÄCHE	139
1.1. Gemälde	139
1.2. Skulpturen	140
1.3. Wandmalerei, koloriertes Papier, Leder	140
1.4. Objekte aus Stein	141
2. FIRNISABNAHME	141
2.1. Gemälde	141
2.2. Skulpturen	142
3. ABNAHME VON ÜBERMALUNGEN	143
3.1. Ölhaltige Übermalungen	143
3.2. Proteingebundene Übermalungen	144
3.2.1. Gemälde	144
3.2.2. Skulpturen	144
4. DIVERSES	144
4.1. Bitumenflecken	144
4.2. Schwefelsäureflecken	145
4.3. Proteinleime	145
4.4. Klebstoffe auf Cellulosebasis	145
SPEICHEL ALS REINIGUNGSMEDIUM	146
LITERATURVERZEICHNIS	147
REGISTER	151

EINFÜHRUNG

Lösungsmittel spielen in der restauratorischen Praxis eine bedeutende Rolle. Wesentliche Einsatzgebiete sind die Reinigung von Objekten oder die Abnahme von Firnissen und Übermalungen. Darüber hinaus dienen Lösungsmittel zur Lösung und Verdünnung von Festigungsmaterialien, die zur Konsolidierung morbider Malschichten in die Objekte eingebracht werden.

Die Reinigung bzw. die Abnahme von Firnissschichten stellt sicherlich das bedeutendste Einsatzgebiet für Lösungsmittel in der Restaurierung dar. Öl-, viele Temperagemälde und auch polychrome Skulpturen sind mit Firnisüberzügen versehen, deren Aufgabe es ist, die Malschichten zu schützen bzw. besondere optische Effekte hervorzurufen. Eine Identifizierung der verwendeten Materialien mit Hilfe moderner analytischer Methoden ist häufig schwierig. Allerdings lassen sich die meisten dieser Überzüge in die folgenden vier Gruppen einordnen:

Wasserlösliche Substanzen, z. B. Eiweiß, Gummen, Leime.

Substanzen, die in organischen Lösungsmitteln, z. B. Alkohol oder Terpentin, löslich sind. Dazu gehören die natürlichen Harze wie Dammar, Mastix, Sandarac und die Wachse.

Substanzen, die in heißen Ölen gelöst werden, z. B. Copal oder Bernstein.

Trocknende Öle, z. B. Leinöl oder Mohnöl.

Häufig sind Firnisüberzüge unbeständig und verändern sich durch natürliche Alterung. Die Veränderung kann den originalen Eindruck des Objektes so stark verfälschen, daß z. B. eine Abnahme erforderlich ist.

In der Vergangenheit wurden für die Reinigung von Gemälden und Skulpturen vielfach wenig schonende Methoden angewandt. E. H. Jones beschreibt diese Verfahrensweisen in einer ihrer Arbeiten /1/. So wurden Gemälde mit einem Gemisch von Wasser und Pottasche abgerieben, eine Vorgangsweise bei der man sich wundert, daß die Objekte die Behandlung überstanden haben. Bevor moderne organische Lösungsmittel verfügbar waren, wurde eine Anzahl von Flüssigkeiten für die Reinigung von Gemälden verwendet; Wasser oder wässrige Seifenlösungen zur Entfernung von Staub und Ruß, Butter oder verschiedene Öle, um hartnäckige Verschmutzungen oder Verfärbungen zu entfernen bzw. um, wenn auch nur mit vorübergehendem Erfolg, den Oberflächenglanz wiederherzustellen. Ab dem 18. Jahrhundert finden sich in der Literatur Hinweise zur Anwendung von Weingeist für Reinigungszwecke. Häufig wurde Weingeist mit Terpentin gemischt, um bestimmte Löseeigenschaften zu erzielen (sog. Putzwasser).

Heutzutage kann der Restaurator aus etwa hundert Lösungsmitteln wählen. Es stehen ihm bei Kombination der verschiedenen Lösungsmittel eine Unzahl von Möglichkeiten zur Verfügung. In der einschlägigen Literatur finden sich viele materialtechnische Hinweise zur Reinigung. Viele mit Erfolg verwendete Lösungsmittelsysteme sind angeführt; Mißerfolge werden bedauerlicherweise im allgemeinen nicht publiziert.

Eine ideale Lösungsmittelmischung, die für alle Zwecke Anwendung finden kann, wurde allerdings bisher nicht entwickelt. Dies erscheint auch verständlich, da z. B. Gemälde oder polychrome Skulpturen einen außerordentlich komplexen Materialaufbau aufweisen. Wichtige Parameter für eine sinnvolle und problemorientierte Lösungsmittelauswahl sind zumeist unbekannt (dazu gehören Kenntnisse zur Materialzusammensetzung, sowohl der farbgebenden Bestandteile als auch der Bindemittelsysteme, die Alterungsbedingungen, denen die Objekte ausgesetzt waren, sowie Informationen über frühere restauratorische Eingriffe bzw. Konservierungsmaßnahmen). Infolgedessen müssen im allgemeinen Vorversuche am Objekt durchgeführt werden, damit ein geeignetes Lösungsmittelsystem ausgewählt werden kann. Der Umgang mit organischen Lö-

sungsmitteln erfordert Kenntnisse in der Lösungsmittelchemie. Da viele Lösungsmittel toxisch sind, sollte der Restaurator über die notwendigen Vorsichtsmaßnahmen informiert sein.

Im englisch- und im französischsprachigen Raum liegen ausführliche Materialsammlungen zur Problematik der Verwendung von Lösungsmitteln in der Restaurierung vor (Feller, Stolow, Jones, 1971, Torraca, 1978, Masschelein-Kleiner, 1981, *Science for Conservators*, Band I und II, herausgegeben vom Crafts Council, London, 1982 bzw. 1983, /2–6/). Im deutschen Sprachraum fehlen Überblicksdarstellungen, die fremdsprachigen Materialien sind nicht immer leicht zugänglich. Die vorliegende Materialsammlung stellt einen Versuch dar, diesem Umstand abzu- helfen.

Die Auswahl der Literatur wurde so getroffen, daß sowohl der theoretische, als auch der praktische Aspekt erfaßt werden. Eine ausgezeichnete Einführung in die Grundlagen der Lösungsmittelchemie, soweit sie für Restauratoren von Interesse ist, bietet das Buch »Solubility and Solvents for Conservation Problems« von G. Torraca /3/. Die Darstellung besticht durch ihre Klarheit, sowie das konsequente Weglassen nicht unbedingt notwendiger theoretischer Ausführungen. Der praktische Aspekt ist in exemplarischer Weise im Kapitel III des Buches »Les Solvants« von L. Masschelein-Kleiner /4/ berücksichtigt. Die Autorin stellt darin ihre langjährigen Erfahrungen auf dem Gebiet der Reinigung von Gemälden und polychromen Skulpturen vor. Von besonderem Interesse für die Praxis erscheint die Einteilung der verschiedenen Lösungsmittelgruppen in Wirkungskategorien, sowie die Angabe von Rezepturen für zahlreiche Anwendungen.

Diese beiden Darstellungen wurden aus den angeführten Gründen in den Mittelpunkt der vorliegenden Materialsammlung gestellt und liegen als Übersetzungen vor. Eine Kombination von zwei so verschiedenartigen Texten führt naturgemäß fallweise zu Wiederholungen, andererseits fehlen Bezüge und manche notwendige Erklärungen. Das vorhandene Material der beiden Autoren wurde aus diesem Grund durch zusätzliche Literaturhinweise ergänzt. Die von den Herausgebern hinzugefügten Anmerkungen und Ergänzungen zu den übersetzten Texten von G. Torraca und L. Masschelein-Kleiner sind zur eindeutigen Trennung in der vorliegenden Materialsammlung mit Ausnahme der Tabellen und Formelzeichen *kursiv* gesetzt.

EINIGE DEFINITIONEN UND BEGRIFFE

Die Definitionen zur Theorie der Lösung und einiger physikalischer Kennzahlen von Lösungsmitteln wurden aus den beiden nachfolgend angeführten Darstellungen zusammengestellt. Es konnten nur die wichtigsten Begriffe angeführt werden, Näheres kann den nachfolgend zitierten Arbeiten entnommen werden:

G. Duve, O. Fuchs, H. Overbeck, »Lösungsmittel Hoechst«, 6. Aufl., Hoechst AG, Frankfurt 1976, /7/.
D. Stoye, »Lösemittel«, in: Ullmanns Encyclopädie der technischen Chemie, 4. Aufl., Band 16, Verlag Chemie, Weinheim, New York, 1978, p. 279–311, /8/.

Lösungsmittel sind in der Regel bei Raumtemperatur und unter Normaldruck flüssige Verbindungen, die andere Stoffe ohne chemische Veränderung zu lösen vermögen. Die flüssige Mischung, die durch das Lösen eines Stoffes in einem Lösungsmittel entsteht, wird als **Lösung** bezeichnet. Zwischen den Molekülen der Komponenten einer Lösung (gelöster Stoff und Lösungsmittel) besteht eine Wechselbeziehung.

Lösungen erhält man durch Mischen von flüssigen, festen oder gasförmigen Komponenten mit Flüssigkeiten, wobei stets die Flüssigkeit als Lösungsmittel bezeichnet wird. Bei der Mischung zweier flüssiger Komponenten wird immer die im Überschuß vorliegende Komponente als Lösungsmittel bezeichnet.

Beim **Lösevorgang** wird der zu lösende Stoff durch die Einwirkung des Lösungsmittels in einen Zustand größerer Verteilung übergeführt. Je nach Größe der gebildeten Teilchen des gelösten Stoffes unterscheidet man zwischen echten sowie kolloidalen Lösungen und Dispersionen.

In **echten Lösungen** beträgt der Durchmesser der gelösten Teilchen ca. 10^{-8} cm und liegt damit in der Größenordnung freier Moleküle. Im allgemeinen werden echte Lösungen von den meisten anorganischen und organischen Molekülen mit niedriger Molmasse gebildet. Es handelt sich um klare, physikalisch homogene Flüssigkeiten.

In **kolloidalen Lösungen** beträgt der Durchmesser der gelösten Teilchen ca. 10^{-5} bis 10^{-6} cm. Kolloidale Lösungen sind klare bis schwach opalisierende Flüssigkeiten, die jedoch in manchen physikalischen Eigenschaften Inhomogenitäten aufweisen.

In **Dispersionen** ist der Durchmesser der Teilchen noch größer als in kolloidalen Lösungen. Dispersionen sind trübe oder milchige Flüssigkeiten, die aus mindestens zwei Phasen bestehen (vgl. dazu p. 73 f.).

Beim **Lösen** eines Stoffes in einem Lösungsmittel werden bei den hier behandelten Problemstellungen die Bindungskräfte zwischen den Molekülen des zu lösenden Stoffes gesprengt, zugleich bilden sich Wechselwirkungen zwischen Lösungsmittel und Stoffmolekülen aus. Die Auflösung eines Stoffes ist also direkt mit einer Umhüllung der gelösten Stoffmoleküle durch die Lösungsmittelmoleküle verbunden – der **Solvatation**. Ein Stoff löst sich zumeist dann gut in einem Lösungsmittel, wenn die Anziehungskräfte im reinen Stoff von der gleichen Größenordnung sind wie im reinen Lösungsmittel. In erster Näherung läßt sich daher die Regel aufstellen, daß Ähnliches in Ähnlichem löslich ist. Eine Zusammenstellung der wirksamen zwischenmolekularen Kräfte gibt Tabelle 1.

Das Lösevermögen eines Lösungsmittels gegenüber einem zu lösenden Stoff wird häufig qualitativ mit Begriffen wie: »sehr gut, gut, mittel, schlecht« u. a. beschrieben. Vielfach finden sich in diesem Zusammenhang die Ausdrücke – **aktives Lösungsmittel**, **latentes Lösungsmittel** oder **Nichtlöser** –. Diese Abstufungen gelten immer nur in Bezug auf den zu lösenden Stoff. Für andere Stoffe kann ein aktives Lösungsmittel zu einem Nichtlöser werden und umgekehrt.

Stillschweigend wird bei solchen Löslichkeitsbeschreibungen im allgemeinen vorausgesetzt, daß die Komponenten im Falle der Lösung chemisch unverändert bleiben (**Physikalische Auflösung**).

Es wird mitunter aber auch dann von »Lösen« gesprochen, wenn die eine oder andere Komponente chemisch umgewandelt wird. In diesem Fall spricht man richtigerweise von **Chemischer Auflösung** (z. B. Auflösung von Natrium-Metall in Wasser oder das Lösen eines proteinhaltigen Bindemittels in einem sauren Lösungsmittelsystem). Diese Ausdrucksweise ist streng genommen nicht korrekt und sollte grundsätzlich vermieden werden.

Tabelle 1: Zusammenstellung der zwischenmolekularen Kräfte
aus: D. Stoye, »Lösemittel« /8/.

Art der Kräfte	Wechselwirkung zwischen	Temperaturabhängigkeit
Ionenkräfte	Ionen	schwach
Ionen-Dipol-Kräfte	Ionen u. Dipolen	schwach
Richtkräfte	permanenten Dipolen	stark
Induktionskräfte	permanenten und induzierten Dipolen	schwach
Dispersionskräfte	atomaren Dipolen	schwach

In der Praxis werden neben lösenden Lösungsmitteln häufig auch Nichtlöser verwendet. Das Mengenverhältnis Nichtlöser zu Löser, das in der Lösung noch ohne Entmischung toleriert wird, bezeichnet man als **Verdünnungsverhältnis**. Mischungen zweier Lösungsmittel besitzen häufig ein höheres Verdünnungsverhältnis als die reinen Komponenten, so ist Äthylacetat ein besseres Lösungsmittel für Cellulosenitrat-Kunstharz-Kombinationen, wenn Ethanol anteilmäßig enthalten ist. Der Begriff **Verschneidbarkeit** ist im wesentlichen identisch mit dem Begriff Verdünnungsverhältnis.

Lösungsmittel, die in jedem Mischungsverhältnis miteinander einphasig vorliegen, bezeichnet man als **mischbar**. Einige Lösungsmittelpaare sind aber nur oberhalb oder unterhalb einer kritischen Lösungstemperatur miteinander mischbar. Der Bereich im Konzentrations/Temperatur-Diagramm, in dem die Komponenten nicht mischbar sind, wird als **Mischungslücke** bezeichnet. Bei einer idealen Mischung ergeben sich die physikalischen Eigenschaften der Mischung aus dem arithmetischen Mittelwert der physikalischen Eigenschaften der Einzelkomponenten. Ideale Mischungen liegen aber nur bei physikalisch und chemisch sehr ähnlichen Einzelkomponenten vor. Es gibt Fälle, bei denen Molekülassoziationen zwischen den Komponenten der Mischung auftreten. Dabei können sich bei bestimmten Konzentrationen Systeme mit konstantem Siedepunkt bilden, der niedriger oder höher ist als der der Einzelkomponenten. Solche Gemische werden **azeotrope Gemische** genannt.

Lösungsmittel werden nach ihren Siedebereichen eingeteilt in:

Niedrigsieder: Siedebereich unter 100°

Mittelsieder: Siedebereich 100°–150°

Hochsieder: Siedebereich über 150°

Es besteht keine Korrelation zwischen den Verdunstungszeiten und den Siedepunkten von Lösungsmitteln. Die Verdunstungszeit eines Lösungsmittels ist von den folgenden Parametern abhängig:

Dampfdruck bei Verarbeitungstemperatur	Luftturbulenz
Spezifische Wärme	Grad der Molekülassoziation
Verdampfungsenthalpie	(Bildung von Azeotropen)
Oberflächenspannung	Geschwindigkeit der Wärmezufuhr
Molmasse des Lösungsmittels	Zusammensetzung der Umgebungsluft
Relative Luftfeuchtigkeit	(Vorhandensein weiterer Lösungsmitteldämpfe)

Wegen der Abhängigkeit der Verdunstungsgeschwindigkeit von allen angeführten Parametern ist in der Praxis eine Voraussage über die Verdunstungsgeschwindigkeit kaum möglich.

Die **Verdunstungszeit** läßt sich allerdings experimentell ermitteln, wobei eine bestimmte Menge Lösungsmittel unter gleichen äußeren Bedingungen verdampft, und die Verdunstungszeit mit jener von Äther (Verdunstungszeit = 1) verglichen wird. Bezogen auf Äther erhält man die **Verdunstungszahlen**. Die Verdunstungsgeschwindigkeit verringert sich bei Lösung eines höhermolekularen Stoffes in einem Lösungsmittel. Sie ist abhängig von der Art des gelösten Stoffes.

Beim Verdunsten von Lösungsmitteln aus Polymerfilmen wird Wärme verbraucht, die dem Film oder der Umgebung entzogen wird. Bei schnell flüchtigen Lösungsmitteln kühlt der Film so stark ab, daß bei hoher Luftfeuchtigkeit Kondensation eintritt und Wasser abgeschieden wird. Dabei kommt es zum sogenannten **Weißanlaufen** (bleaching). Dieses Phänomen kann durch Zusätze von Glykoläther oder aromatischen Kohlenwasserstoffen vermieden werden.

Mit Ausnahme der chlorierten Kohlenwasserstoffe sind alle organischen Lösungsmittel brennbar. Die niedrigste Temperatur eines Lösungsmittels, bei der unter atmosphärischem Druck so viel Lösungsmittel verdampft, daß dieser Dampf im Gemisch mit Luft durch Fremdentzündung entflammt werden kann, wird **Flammpunkt** genannt. Dieser liegt für die einzelnen Lösungsmittel bei verschiedenen Temperaturen.

Ein Lösungsmitteldampf wird nicht nur durch eine offene Flamme entzündet, sondern entzündet sich selbst, wenn das Gemisch aus Lösungsmitteldampf und Luft eine bestimmte Temperatur erreicht. Diese Temperatur wird als **Zündtemperatur** bezeichnet.

HINWEISE ZUM UMGANG MIT LÖSUNGSMITTELN UND CHEMIKALIEN

Bei vielen in der Restaurierungswerkstatt verwendeten Materialien handelt es sich um gesundheitsgefährdende Stoffe, bei deren Handhabung Vorsichtsmaßnahmen und Sicherheitsvorschriften zu beachten sind. Im Rahmen des vorliegenden Materials ist es nicht möglich, die einzelnen Substanzen detailliert zu behandeln. Speziell für die in der Restaurierung verwendeten Chemikalien und Lösungsmittel liegen Karteien vor, in denen die entsprechenden Angaben zu finden sind:

DRV, »Kartei der Gesundheitsgefährdenden Arbeitsstoffe in der Restaurierungswerkstatt«, herausgegeben von E. Jägers, Rheinisches Amt für Denkmalpflege, Bonn, 1981 /9/.
A. Clydesdale, »Chemicals in Conservation, A Guide to Possible Hazards and Safe Use«, Scottish Society for Conservation and Restauration, Edinburgh, 1982 /10/.

Eine Zusammenstellung der gefährlichen Arbeitsstoffe speziell für den Bereich der Papierrestaurierung und umfangreiche Hinweise zu Arbeitstechnik und Sicherheitsmaßnahmen finden sich in der Zeitschrift »The Paper Conservator« Vol. 5/6 (1981/82) /11/.

Diese Literatur gehört in jede Werkstatt und jedes einschlägig arbeitende Laboratorium. Bezüglich der physiologischen Wirkung von Lösungsmitteln wird auf den Abschnitt »Toxizität von Lösungsmitteln« p. 125 verwiesen.

Zur Aufbewahrung der in der Werkstatt gebrauchten Chemikalien dienen in den meisten Fällen Glasflaschen. Lichtempfindliche Stoffe – dazu gehören Äther, die unter Lichteinwirkung zur Peroxidbildung neigen und explosiv werden können – müssen unbedingt in dunkel gefärbten Glasgefäßen aufbewahrt werden.

Auf keinen Fall dürfen sich Chemikalien oder Lösungsmittel in Gefäßen befinden, die normalerweise zur Aufbewahrung von Lebensmitteln oder Speisen dienen. Sämtliche Gefäße müssen deutlich und dauerhaft beschriftet werden. Es sei darauf hingewiesen, daß Tinten und Filzschreiber unter dem Einfluß von Chemikalien- und Lösungsmitteldämpfen ausbleichen können, es ist daher zweckmäßig, die Beschriftung mit Bleistift oder Tusche durchzuführen und die Etiketten mit durchsichtigen Klebebandern zu schützen. Alte Etiketten sollten nicht überklebt werden, da das Abfallen der oberen Etiketten zu Verwechslungen führen kann.

Leicht entflammare Lösungsmittel müssen, sofern sie in größerer Menge vorhanden sind, in einem, vom Arbeitsbereich getrennten, gut durchlüfteten Raum gelagert werden. Die einschlägigen Bestimmungen schreiben vor, daß leicht brennbare Lösungsmittel nur in geringen Mengen am Arbeitsplatz dauernd aufgestellt werden dürfen (Näheres siehe in o. a. Literatur).

Es versteht sich von selbst, daß in Arbeitsbereichen, in denen mit giftigen Substanzen gearbeitet wird – und dazu gehören fast alle Lösungsmittel –, Lebensmittel weder gelagert oder zubereitet, noch genossen werden dürfen. Das gleiche gilt für das Rauchen in Räumen, die mit Lösungsmitteln kontaminiert sind. Abgesehen von der Brandgefahr, können sich in der Glühzone der Zigarette entscheidende chemische Veränderungen an den Substanzen vollziehen, die ihre Toxizität außerordentlich steigern. So werden z. B. chlorierte Kohlenwasserstoffe beim Passieren der Glühzone einer Zigarette in das sehr giftige Phosgen gas umgewandelt.

Chemikalienabfälle bzw. lösungsmittelgetränkte Materialien wie Wattestäbchen u. ä. gehören keinesfalls in den Papierkorb. Sie sind in gesonderten, geschlossenen, metallischen Abfallgefäßen zu sammeln. Es ist grundsätzlich verboten, unbrauchbare bzw. gebrauchte Lösungsmittel oder Chemikalien, die mit Wasser nicht mischbar sind, in die Abflußleitung zu geben. Das gilt auch für leicht brennbare oder gar selbstentzündliche Stoffe. Gebrauchte Lösungsmittel sollten grundsätzlich in separaten Sammelbehältern gesammelt und einer Entsorgungsstelle zur Vernichtung übergeben werden.

Es empfiehlt sich, beim Umgang mit Chemikalien und Lösungsmitteln Schutzkleidung (Arbeitsmäntel) zu tragen. Ebenfalls wichtig ist ein Augenschutz (Schutzbrillen).

Da viele Lösungsmittel durch die Haut resorbiert werden, sollten, wenn Hautkontakt nicht zu vermeiden ist, Schutzhandschuhe getragen werden. Gute Dienste leisten Handschuhe aus Polyvinylalkohol, die Schutz gegen viele Lösungsmittel, eingeschlossen aromatische und chlorierte Kohlenwasserstoffe, bieten. Sie sind aber durchlässig gegenüber Wasser, Aceton und anderen Ketonen, sowie gegenüber Lösungsmitteln, die mit Wasser mischbar sind. In diesem Fall sollten Handschuhe aus Butylgummi verwendet werden. Eine genaue Aufstellung der verschiedenen Handschuhmaterialien und ihrer Beständigkeit gegen Lösungsmittel und Chemikalien findet sich in Vol. 5, 6 der Zeitschrift »The Paper Conservator« /11/ p. 54. Weniger empfehlenswert für die Anwendung im restauratorischen Bereich ist die Verwendung von Schutzcremes, da die Gefahr der Verschmutzung der behandelten Objekte besteht. Prinzipiell gibt es drei verschiedene Sorten, nämlich eine gegen Staub schützende Creme auf Seifenbasis, eine lösungsmittelabweisende und eine wasserabweisende Creme.

Bei der Verwendung von größeren Lösungsmittelmengen müssen leistungsfähige Abzugsanlagen vorhanden sein, damit der Verarbeiter keine Gesundheitsschäden erleidet. Es empfiehlt sich fallweise, wenn die Verwendung stark giftiger Lösungsmittel unvermeidlich ist, Schutzmasken zu tragen.

LÖSUNGSMITTEL UND DEREN
LÖSUNGSEIGENSCHAFTEN FÜR
RESTAURATORISCHE
PROBLEME

Giorgio Torraca

© ICCROM, Rom, 1978 (II. Auflage) und ICCROM, Rom, 1984 (III. Auflage).

Deutsche Übersetzung: G. Banik, G. Krist, unter Mitarbeit von Studenten der Meisterschule für Konservierung, Akademie der Bildenden Künste, Wien, mit freundlicher Genehmigung des Autors.

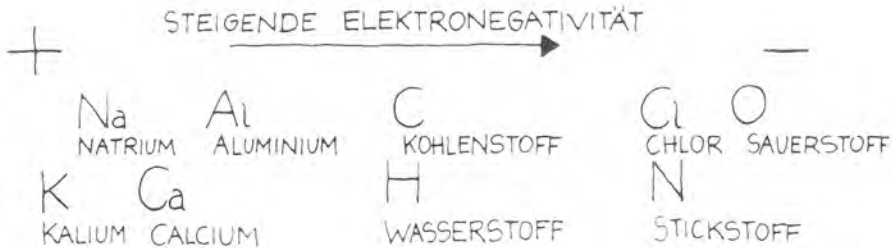
1. STRUKTUR VON FESTKÖRPERN – KRISTALLE *

1.1. Elektronegativität

Die Materie ist aus Atomen aufgebaut, die durch chemische Bindungen miteinander verbunden sind. Atome bestehen aus einem positiv geladenen Kern, der von einer Hülle negativ geladener Elektronen umgeben ist. Die Zahl der positiven Ladungen des Kerns und die Anzahl der ihn umgebenden Elektronen ist gleich.

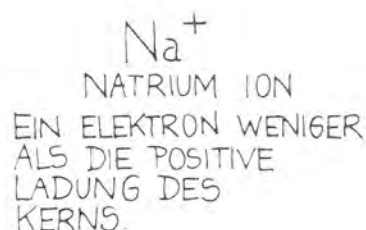
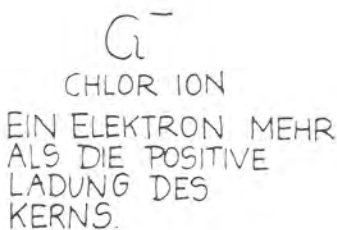
Die chemische Bindung zwischen verschiedenen Atomen kommt dadurch zustande, daß Atome in der Lage sind, Elektronen aufzunehmen oder abzugeben. Atome, die dazu neigen, Elektronen aufzunehmen, werden als elektronegativ bezeichnet. Atome, die das Bestreben haben, Elektronen abzugeben, sollten elektropositiv genannt werden – werden aber normalerweise als Atome mit geringer Elektronegativität bezeichnet (der Begriff elektropositiv wird kaum verwendet).

SKALA DER ELEKTRONEGATIVITÄT



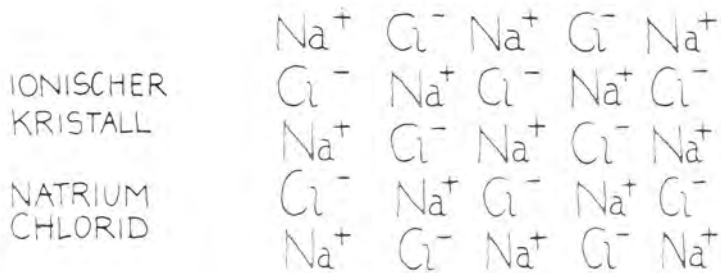
1.2. Ionenbindung, Ionenkristalle

Wenn ein elektronegatives Atom (z. B. Chlor) mit einem anderen Atom mit schwacher Elektronegativität (also einem elektropositiven Atom, z. B. Natrium) zusammentrifft, so kann das elektronegative Atom dem elektropositiven ein Elektron entziehen. Das hat zur Folge, daß sowohl das Chlor wie das Natrium nach diesem Elektronenaustausch eine elektrische Ladung tragen,



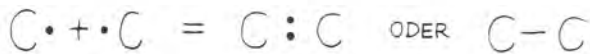
* Die verwendete Literatur wurde von G. Torraca nicht im Text durch Zitierung angeführt. Diese Vorgangsweise wurde von den Übersetzern beibehalten. Die Literatur zum Manuskript von G. Torraca findet sich im Literaturverzeichnis unter den Nummern 12, 12–20/.

Atome, die eine elektrische Ladung tragen, werden **Ionen** genannt. Negativ geladene Ionen ziehen positiv geladene Ionen an und bilden Ionenverbindungen. Auch in einer sehr kleinen Menge von Materie ist eine große Anzahl von Ionen vorhanden ($1 \text{ g Atom} = 6 \cdot 10^{23} \text{ Einzelatome}$). Sie bilden gemäß ihrer elektrostatischen Anziehungskräfte dreidimensionale Anordnungen (Raumgitter) aus. Es bilden sich Kristalle, in diesem Falle Ionenkristalle.

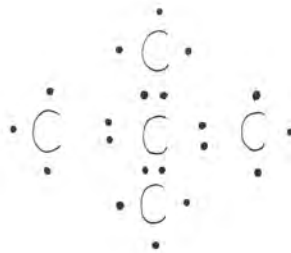


1.3. Kovalente Bindung, Kovalente Kristalle

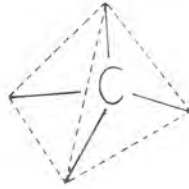
Atome aus der Mitte oder der rechten Hälfte des periodischen Systems können ihre Elektronen miteinander teilen und auf diese Weise eine chemische Bindung miteinander eingehen. Diesen Bindungstyp bezeichnet man als **kovalente Bindung**.



Das Kohlenstoffatom beispielsweise (4. Hauptgruppe des Periodensystems) besitzt 4 Elektronen in seiner äußeren Schale und kann demnach 4 kovalente Bindungen mit anderen Kohlenstoffatomen bilden. Jedes der vier an das Zentralatom gebundenen Kohlenstoffatome kann in weiterer Folge wieder 3 Kohlenstoffatome binden usw.



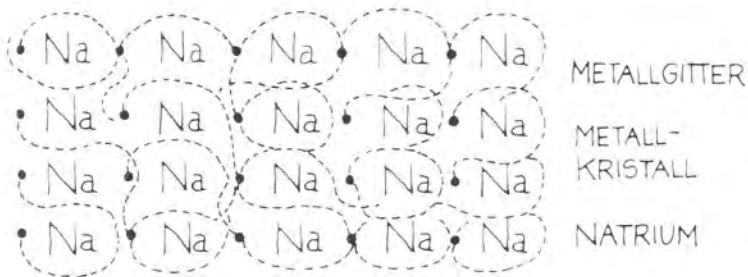
Es entsteht auf diese Weise wieder ein dreidimensionales Raumgitter – ein Kristall – in diesem Fall ein kovalenter Kristall. Eine zweidimensionale, graphische Darstellung eines solchen Kristalles ist insofern schwierig, als die 4 Bindungen eines jeden Kohlenstoffatoms in die Ecken eines Tetraeders weisen, dessen Zentrum das Kohlenstoffatom bildet.



1.4. Metallbindung, Metallkristalle

Atome von der linken Seite des periodischen Systems können mit anderen Atomen des gleichen Elements oder verwandter Elemente Elektronen teilen.

In diesem Fall sind die gemeinsamen Elektronen nicht zwischen zwei Atomen fixiert (wie es bei der kovalenten Bindung der Fall ist), sondern sie bewegen sich frei zwischen allen miteinander verbundenen Atomen als sogenanntes Elektronengas. Auch in diesem Fall wird ein dreidimensionales Raumgitter gebildet, und der resultierende Kristall wird als Metallkristall bezeichnet. Aufgrund der Beweglichkeit der Elektronen innerhalb des Kristallverbands leiten Metalle den elektrischen Strom.



BEMERKUNGEN ZUR NATUR DER CHEMISCHEN BINDUNG

Das Bestreben von Atomen verschiedener Elemente, miteinander chemische Bindungen einzugehen, beruht darauf, daß jedes Element eine stabile Besetzung seiner äußeren Elektronenschale zu erreichen versucht. Es sollen hier nur die Prinzipien der chemischen Bindung behandelt werden, daher werden nur einfache Fälle diskutiert (21, 22). Eine stabile äußere Elektronenschale eines Elements ist im allgemeinen mit acht Elektronen besetzt. Eine solche Schale weisen die chemisch inerten Edelgase auf. Eine wichtige Ausnahme sind Wasserstoff und Helium. Diese beiden Elemente besitzen nur eine Elektronenschale, sehr nahe beim Atomkern, die nur mit maximal zwei Elektronen (Helium) besetzt werden kann.

Tabelle 2: Elektronenanordnung der Elemente 1 bis 20

nach: Science for Conservators, Book I, »An Introduction to Materials« /5/.

Anzahl der Elektronen	Name des Elements	Chemisches Symbol	Bemerkung
1	Wasserstoff	H	erste Schale unvollständig
2	Helium	He	erste Schale voll
3	Lithium	Li	zweite Schale unvollständig
4	Beryllium	Be	
5	Bor	B	
6	Kohlenstoff	C	
7	Stickstoff	N	
8	Sauerstoff	O	
9	Fluor	F	
10	Neon	Ne	erste und zweite Schale voll
11	Natrium	Na	dritte Schale unvollständig
12	Magnesium	Mg	
13	Aluminium	Al	
14	Silizium	Si	
15	Phosphor	P	
16	Schwefel	S	
17	Chlor	Cl	
18	Argon	Ar	erste, zweite und dritte Schale voll
19	Kalium	K	vierte Schale unvollständig
20	Calcium	Ca	

Damit Atome ihre äußere Elektronenschale mit acht Elektronen besetzen können, tauschen sie Elektronen miteinander aus oder teilen sich Elektronen. Zum Verständnis der möglichen chemischen Bindungen ist es nützlich, die verschiedenen Elemente nach deren Vermögen einzuteilen, Elektronen abzugeben, aufzunehmen oder miteinander zu teilen. Grundsätzlich kann festgestellt werden, daß ein Atom umso leichter Elektronen abgeben wird, je geringer die Anzahl seiner Elektronen in der äußeren Schale ist (Natrium z. B. hat ein Elektron in seiner Außenschale und gibt dieses leicht ab). Solche Elemente können als »elektropositiv« bezeichnet werden, allerdings ist dieser Ausdruck wie gesagt nicht gebräuchlich. Wenn die äußere Elektronenschale eines Elements fast aufgefüllt ist (das ist beispielsweise bei Fluor mit sieben Außenelektronen der Fall), so wird dieses Element begierig ein Elektron aufnehmen. Ein solches Element ist elektronegativ. Dazwischen gibt es Elemente, deren äußere Elektronenschale nur zur Hälfte besetzt ist (z. B. bei Kohlenstoff mit vier Außenelektronen). Diese Elemente sind eher bestrebt, Elektronen mit anderen Elementen zu teilen. Die Eigenschaften der Elemente bezüglich ihres Bestrebens, Elektronen abzugeben, aufzunehmen oder zu teilen, lassen sich bei Betrachtung der vorstehenden Tabelle 2 leicht abschätzen.

Die in der Tabelle angeführten Elemente kann man auch entsprechend der Anzahl ihrer Außenelektronen gruppieren. Man erhält dann einen Ausschnitt der Elementanordnung im periodischen System. Die Elemente in jeder Spalte haben dieselbe Anzahl von Außenelektronen und zeigen ähnliche chemische Eigenschaften.

Anzahl der Elektronen in der äußeren Elektronenschale								
0	1	2	3	4	5	6	7	8
He	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
inert	geben	ab	teilen		nehmen		auf	inert
Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
Ar	K	Ca						

nach: Science for Conservators, Book I, »An Introduction to Materials« /5/.

In dieser Darstellung eines Teils des periodischen Systems der Elemente ist der Wasserstoff wegen seiner besonderen Elektronenstruktur nicht berücksichtigt. Zweimal angeführt sind die chemisch inerten Edelgase, denn sie stellen für eine Folge von sieben Elementen mit acht Außenelektronen das Ende der Reihe dar, für die nächstfolgenden Elemente stehen sie mit Null Außenelektronen in der nächstmöglichen Elektronenschale am Anfang der Reihe. Bei Elementen, die schwerer sind als Calcium, sind die Verhältnisse wegen zusätzlich auftretender Elektronenniveaus wesentlich komplexer. Aus dem Diagramm läßt sich leicht ersehen, welche Elemente Elektronen

abgeben, welche Elektronen aufnehmen und welche Elektronen teilen. Damit ist eine Auskunft über die Art der chemischen Bindung möglich.

Verschiedene Atome, die Elektronen miteinander teilen oder Elektronen aufnehmen bzw. abgeben, bleiben miteinander verbunden und bilden Verbindungen, entweder in Form von Molekülen oder in Form von Ionen.

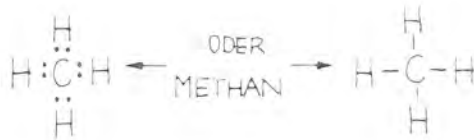
2. MOLEKÜLE UND MOLEKULARE ANZIEHUNGSKRÄFTE

2.1. Bildung von Molekülen

Eine Anzahl von Elementen kann durch kovalente Bindungen zu Gruppen verbunden werden.



Eine solche Formation wird als **Molekül** bezeichnet. Ein Molekül wird von einer definierten Anzahl von Atomen gebildet; die Anzahl der Atome in einem Kristall ist hingegen nicht definiert und kann nur abgeschätzt werden.

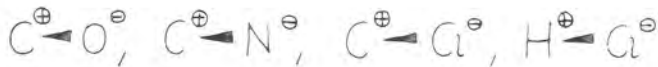


2.2. Dipole

Verschiedene Elemente mit unterschiedlicher Elektronegativität können ebenfalls kovalente Bindungen miteinander eingehen. Das Bindungselektronenpaar wird dabei nicht genau von den beiden Atomen geteilt. Infolge der stärkeren Elektronenanziehung durch das stärker elektronegative Atom, ist das Bindungselektronenpaar zu diesem hin verschoben. Daher trägt es eine geringe negative Ladung; in identer Weise verbleibt das elektropositive Atom schwach positiv geladen.



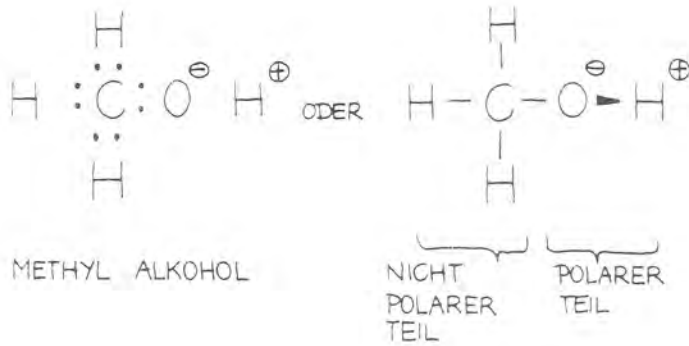
Man nennt eine solche Bindung leicht **polarisiert**, da das Molekül elektrische Pole aufweist. Dazu einige Beispiele:



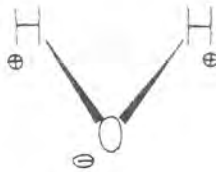
Ladungsverschiebungen in einem Molekül werden in der einschlägigen Literatur gewöhnlich mit δ^+ und δ^- gekennzeichnet. Außerdem ist es möglich, das bindende Elektronenpaar mit einem Keil \blacktriangleleft zu symbolisieren, dessen Spitze zum elektropositiven Bindungspartner zeigt. In dem Manuskript von G. Torraca fehlen diese Symbole. Um eine Unterscheidung zwischen polarisierten Molekülen und geladenen Teilchen (Ionen) zu ermöglichen, wurden daher in den Zeichnungen Ladungsverschiebungen mit \oplus bzw. \ominus bezeichnet. Ionen sind nur mit + und - gekennzeichnet. Zusätzlich wurde in polaren Molekülgruppen das bindende Elektronenpaar mit einem Keil \blacktriangleleft in Richtung zum elektropositiven Bindungspartner hervorgehoben.

Moleküle mit polarisierten Bindungen werden **Dipole** genannt (d. h. Polpaare mit entgegengesetzter Ladung). Moleküle, die Dipole enthalten, heißen **polar**, solche ohne Dipole, werden **unpolar** genannt.

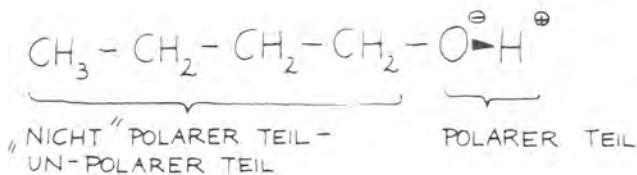
Nun gibt es größere molekulare Gebilde, die sich aus einem polaren und aus einem unpolaren Teil zusammensetzen.



Ein Molekül ist dann stark polar, wenn der polare Teil wesentlich größer als der unpolare Teil ist. Ein Beispiel für ein stark polares Molekül ist Wasser.



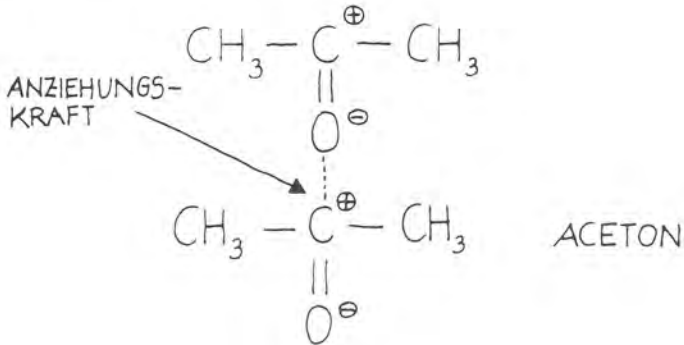
Andere Moleküle weisen nur eine geringe Polarität auf, weil ihr polarer Teil im Vergleich zum unpolaren Teil sehr klein ist.



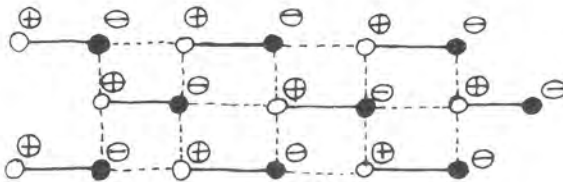
n-BUTYLALKOHOL

2.3. Molekulare Anziehungskräfte

2.3.1. Dipol – Dipol – Wechselwirkungen



Der positive Teil eines Dipols zieht den negativen Teil des Dipols eines anderen Moleküles an. Im Fall eines Zusammentreffens mehrerer Moleküle mit einem Dipolmoment tritt eine Orientierung zwischen den Molekülen gemäß der nachfolgenden Darstellung ein,

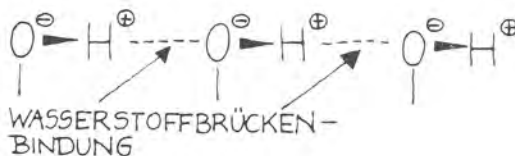


2.3.2. Wasserstoffbrückenbindungen

Der Dipol $[-\text{O}^{\ominus} - \text{H}^{\oplus}]$ zeigt ein außergewöhnliches Verhalten, da das Wasserstoffatom nur ein Elektron aufweist, und dieses durch das Sauerstoffatom angezogen wird.



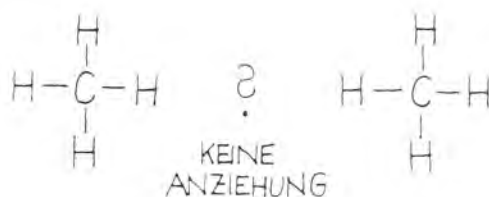
Der positive Kern des Wasserstoffatoms bleibt daher ohne Abschirmung und kann starke Anziehungskräfte gegenüber negativ polarisierten Atomen ausbilden. Dieses Phänomen wird als **Wasserstoffbrückenbindung** (oder *Protonenbrücke*) bezeichnet.



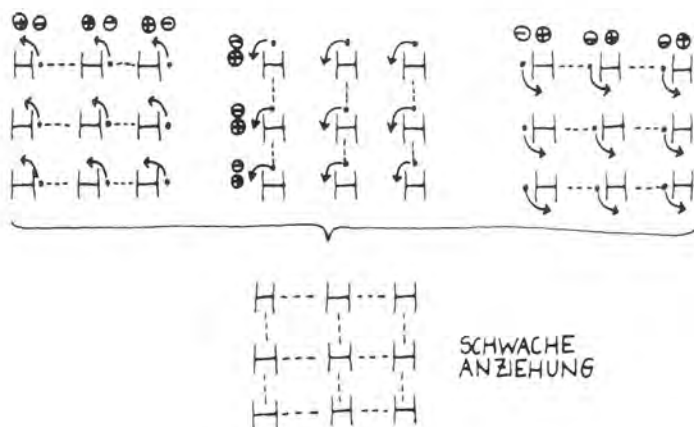
Die Wasserstoffbrückenbindung stellt im Prinzip einen Sonderfall einer Dipol-Dipol-Wechselwirkung dar. Die Bindungskraft ist allerdings größer als die einer normalen Dipol-Dipol-Wechselwirkung. Alle Moleküle, die OH-Gruppen enthalten, können solche Wasserstoffbrückenbindungen untereinander ausbilden, aber auch mit anderen Molekülen, die OH-Gruppen enthalten (z. B. auch mit Wasser).

2.3.3. Van der Waals'sche Kräfte – Dispersionskräfte

Nun stellt sich die Frage, ob bei unpolaren Molekülen (Moleküle ohne Dipolmoment) eine molekulare Wechselwirkung besteht.



Auch in diesem Fall existieren – allerdings sehr schwache – Anziehungskräfte zwischen den Molekülen. Sie entstehen aufgrund von Elektronenbewegungen im Molekül. Durch die kreisende Bewegung der Elektronen um den positiv geladenen Kern werden sogenannte **fluktuierende Dipole** ausgebildet (**van der Waals'sche Kräfte** oder **Dispersionskräfte**).

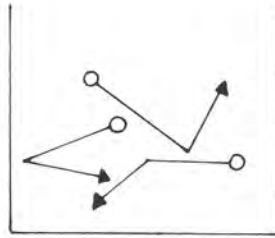


Diese zwischenmolekularen Kräfte sind wesentlich schwächer als die Dipol-Dipol-Wechselwirkungen.

3. GASE, FLÜSSIGKEITEN UND MOLEKULARE FESTSTOFFE

3.1. Gase

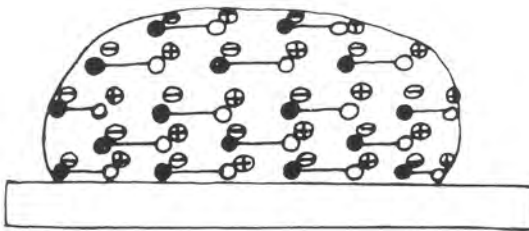
Wenn die molekularen Kräfte zwischen den Molekülen sehr schwach sind, so bewegen sich die Einzelmoleküle geradlinig und mit konstanter Geschwindigkeit im Raum. Die Geschwindigkeit ihrer Bewegung steigt mit der Temperatur an. Wenn die Moleküle einander berühren oder auf Behälterwände prallen, werden sie gemäß des Prinzips des elastischen Stoßes von ihrer Bahn abgelenkt.



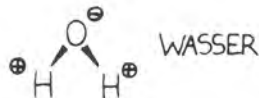
3.2. Flüssigkeiten

Wenn die molekulare Bewegung schwächer wird, beispielsweise durch eine Temperaturniedrigung oder bei stärkeren zwischenmolekularen Kräften, prallen die Einzelmoleküle bei Berührung nicht mehr voneinander ab, sondern bilden einen Molekülverband. Eine Masse von Molekülen, die eine gewisse gegenseitige Anziehungskraft aufweisen, aber noch Bewegungsfreiheit besitzen, nennt man eine **Flüssigkeit**.

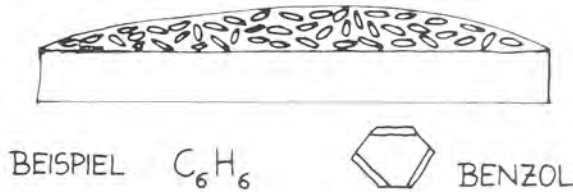
Flüssigkeiten, die aus polaren Molekülen gebildet werden, sind **polar**. Die gegenseitige Anziehungskraft zwischen den Einzelmolekülen in der flüssigen Phase ist groß, und die Flüssigkeit neigt dazu, hohe Tropfen auszubilden (d. h. sie besitzt eine große Oberflächenspannung).



BEISPIEL H_2O



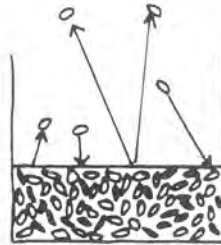
Eine Flüssigkeit, die aus nichtpolaren Molekülen besteht, ist **unpolar**. Hier sind die zwischenmolekularen Anziehungskräfte in der flüssigen Phase gering, und die Flüssigkeit neigt daher dazu, sich in dünnen Filmen auf Oberflächen auszubreiten (d. h. sie besitzt eine niedrige Oberflächenspannung).



3.3. Verdampfung

Wenn Moleküle trotz ihrer zwischenmolekularen Anziehungskräfte aus einer Flüssigkeit austreten und in die Atmosphäre übergehen, spricht man von **Verdampfung**.

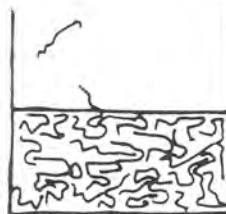
Unpolare Flüssigkeiten, die kleine Moleküle enthalten, verdampfen verhältnismäßig leicht, da die zwischenmolekularen Anziehungskräfte gering sind. Für eine bestimmte Temperatur herrscht zwischen den aus einer Flüssigkeit austretenden Molekülen (den verdampfenden Molekülen) und den wieder in die Flüssigkeit eintretenden Molekülen (den kondensierenden Molekülen) ein **Gleichgewicht**.



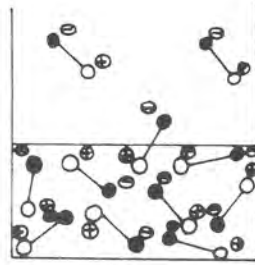
Größere Moleküle weisen stärkere zwischenmolekulare Anziehungskräfte auf als kleine Moleküle.



Das bedeutet, daß Flüssigkeiten, die große Moleküle enthalten, nur schwer verdampfen.

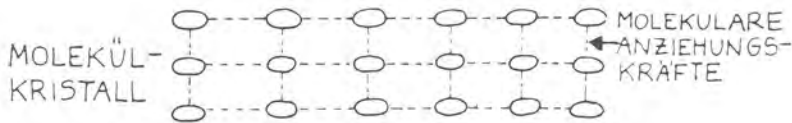


Polare Flüssigkeiten verdampfen im Vergleich zu unpolaren langsamer, auch dann, wenn sie aus Molekülen gleicher oder ähnlicher Größe gebildet werden.

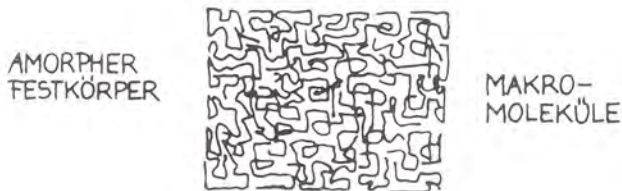


3.4. Molekulare Festkörper

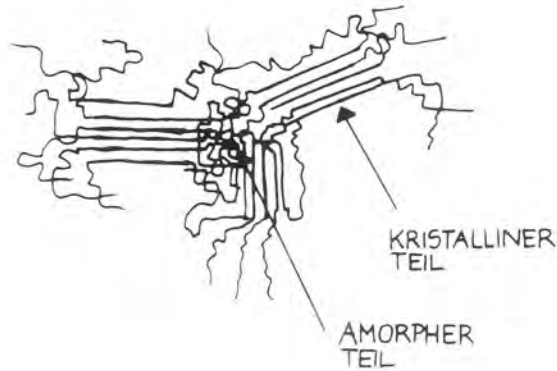
Wenn die zwischenmolekularen Anziehungskräfte sehr groß sind, oder die Temperatur sehr niedrig ist, können Moleküle Festkörper ausbilden. Molekulare Festkörper können eine geordnete Struktur aufweisen. Dabei sind die Moleküle so angeordnet, daß sie dreidimensionale Raumgitter ausbilden und durch zwischenmolekulare Anziehungskräfte (Dipol-Dipol-Kräfte, van der Waals'sche Kräfte und Wasserstoffbrückenbindungen) in ihrer Position fixiert werden. Es handelt sich dann um eine kristalline Struktur (sogenannte **Molekülkristalle**), die bei kleinen Molekülen häufig anzutreffen ist.



Große Moleküle bilden häufig Festkörper, die keine wie immer gearteten Ordnungsprinzipien aufweisen (**amorphe Festkörper**). In einem solchen Festkörper werden die Einzelmoleküle durch starke gegenseitige Anziehungskräfte zusammengehalten.

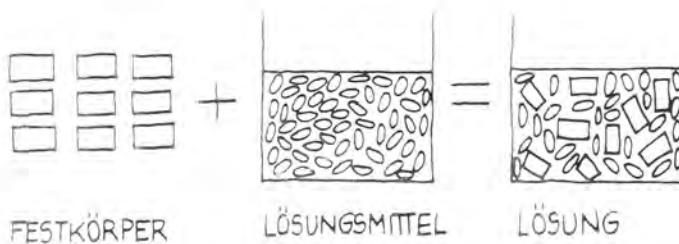


Festkörper, die aus Makromolekülen gebildet werden, weisen manchmal eine zum Teil hochgeordnete (kristalline) Struktur auf, während der andere Teil amorph ist. Diese Phänomene werden bei Kunststoffen und auch bei hochpolymeren Naturstoffen – z. B. Cellulose – beobachtet.



4. LÖSLICHKEIT

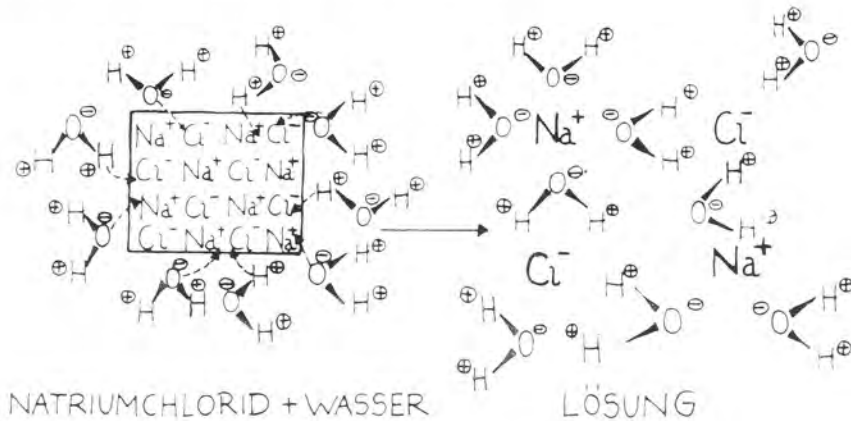
Ein Feststoff löst sich dann in einer Flüssigkeit, wenn alle Atome oder Moleküle des Feststoffes durch die Moleküle der Flüssigkeit voneinander getrennt werden. Die Flüssigkeitsmoleküle dringen zwischen den Atomen bzw. Molekülen des Festkörpers ein, wodurch Bindungen oder Anziehungskräfte zwischen diesen gebrochen werden.



Wenn die Flüssigkeit aus der Lösung verdunstet, scheidet sich der Feststoff unverändert wieder ab.

Es ist nicht möglich, kristalline Substanzen, deren Atome durch kovalente Bindungen oder Metallbindung gebunden sind, mit Hilfe von Lösungsmitteln zu lösen (physikalische Auflösung). Die Überführung dieser Stoffe in den gelösten Zustand kann nur durch ein Brechen der chemischen Bindung mittels einer chemischen Reaktion erreicht werden. Allerdings ist es dann nicht mehr möglich, durch Abdampfen der Flüssigkeit den Feststoff unverändert zurückzugewinnen.

Demgegenüber lassen sich **Ionenkristalle** und einige **stark polare, molekulare Festkörper** mit Hilfe **stark polarer Lösungsmittel** lösen. Ein sehr wichtiges Lösungsmittel für diese Substanzgruppen ist Wasser, das am stärksten polare Lösungsmittel.



Die Löslichkeit eines Natriumchloridkristalls in Wasser läßt sich auf Grund zweier Phänomene leicht erklären:

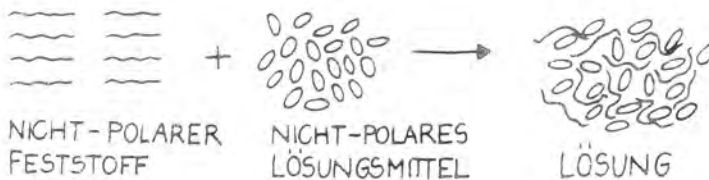
Elektrostatische Anziehungskraft

Die Wassermoleküle und die Natrium- bzw. Chloridionen weisen eine gegenseitige Anziehungskraft auf, die zumindest so groß ist, wie die Anziehungskraft der Ionen im Festkörper.

Unordnung

Unter der Voraussetzung, daß die elektrostatische Anziehungskraft zwischen den Lösungsmittelmolekülen und den Ionen des zu lösenden Feststoffes gleich ist, tritt der ungeordnete Zustand (Lösung) bevorzugt ein. Der ungeordnete Zustand tritt ebenfalls bevorzugt ein, wenn die Temperatur des Systems erhöht wird.

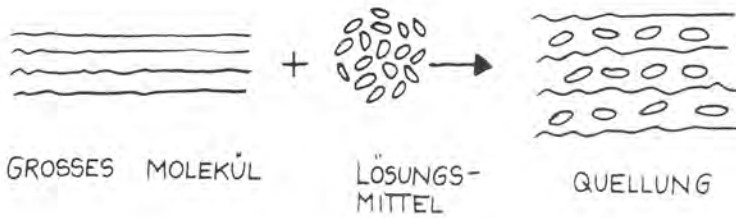
Es ist möglich, **unpolare molekulare Feststoffe** in **unpolaren Lösungsmitteln** zu lösen



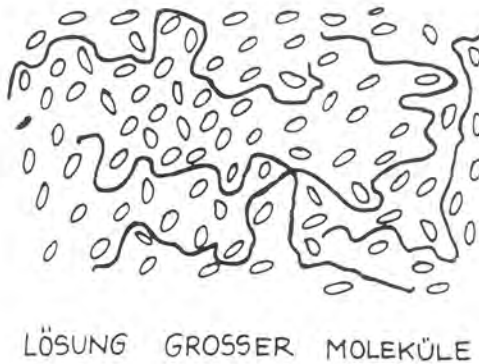
In diesem Fall bestehen nur schwache elektrostatische Anziehungskräfte (van der Waals'sche Kräfte) zwischen den Molekülen des Festkörpers und jenen der Flüssigkeit. Dieselben gegenseitigen Anziehungskräfte liegen in der Lösung zwischen den Flüssigkeitsmolekülen und den Molekülen des gelösten Feststoffes vor. Auch in diesem Fall tritt der ungeordnete Zustand (die Lösung) bevorzugt ein, da es sich um molekulare Anziehungskräfte ähnlicher Größenordnung handelt.

Die Lösung von Festkörpern, die aus großen Molekülen gebildet werden, ist im allgemeinen

schwierig, auch dann, wenn das geeignetste Lösungsmittel dazu herangezogen wird. Die Lösungsmittelmoleküle brauchen eine lange Zeit, um zwischen die großen Moleküle des Feststoffes einzudringen. Wenn Lösungsmittel in einen derartigen Feststoff eingedrungen ist, so quillt er und wird weicher.

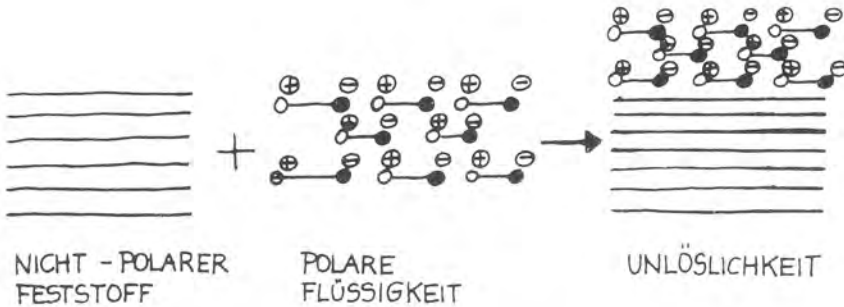


Eine Auflösung eines solchen Festkörpers tritt nur dann ein, wenn die Moleküle vollständig voneinander getrennt werden. Dieser Trennvorgang kann für sehr große Moleküle lange Zeiträume in Anspruch nehmen und fallweise nicht erreichbar sein.

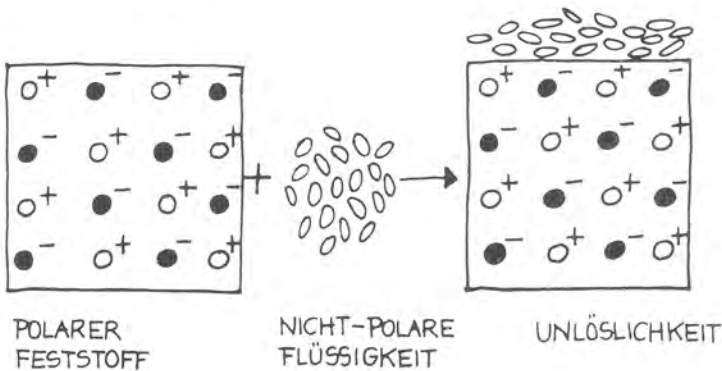


5. UNLÖSLICHKEIT

Im ungeordneten Zustand (das entspricht dem Zustand in einer Lösung) sollten polare Moleküle voneinander getrennt werden. Allerdings können von einem unpolaren Festkörper keine elektrostatischen Anziehungskräfte zu einem polaren Lösungsmittel ausgebildet werden. In diesem Fall sind die molekularen Anziehungskräfte im reinen Feststoff bzw. im reinen Lösungsmittel verschieden von jenen zwischen Feststoff- und Lösungsmittelmolekülen, sodaß ein ungeordneter Zustand – d. h. Lösung – nicht eintreten kann.



MISCHUNG – „UNORDNUNG“ SETZT SICH NICHT DURCH



MISCHUNG – „UNORDNUNG“ SETZT SICH NICHT DURCH

6. LÖSLICHKEIT VON SUBSTANZEN MITTLERER POLARITÄT

In der Regel wird ein Feststoff dann von einer Flüssigkeit gelöst, wenn diese gegenüber dem Feststoff ähnliche Eigenschaften aufweist.

Das bedeutet, daß die molekularen Anziehungskräfte der Flüssigkeitsmoleküle in der reinen Flüssigkeit gleich groß sind, wie die gegenseitigen Anziehungskräfte der Moleküle im reinen Feststoff. In diesem Fall ist es möglich, die herrschenden Anziehungskräfte zwischen Flüssigkeits- und Feststoffmolekülen zu vertauschen, sodaß schließlich ein ungeordneter Zustand (Lösung) eintritt.

Zur Erleichterung der Auswahl von Lösungsmitteln für Feststoffe müssen sowohl die Lösungsmittel als auch die zu lösenden Feststoffe gemäß der jeweils herrschenden Anziehungskräfte klassifiziert werden.

Bei den meisten Feststoffen, die in der Konservierungstechnologie Anwendung finden, handelt es sich um molekulare Feststoffe. Diese Materialien können gemäß dreier verschiedener Arten von Anziehungskräften klassifiziert werden:

- Dipol-Dipol-Wechselwirkungen oder Trockene Polarität
- Wasserstoffbrückenbindungen oder Nasse Polarität
- van der Waals'sche Kräfte oder keine Polarität

Es erscheint wesentlich, eine Unterscheidung zwischen Dipol-Dipol-Wechselwirkungen und Wasserstoffbrückenbindungen vorzunehmen. Festkörper, die Wasserstoffbrückenbindungen aufweisen, sind gut mit Flüssigkeiten mischbar, die OH-Gruppen enthalten (Wasser selbst miteinander geschlossen). Aus diesem Grund wird diese Form der Polarität hier als »Nasse Polarität« bezeichnet. Das ist eine nicht gebräuchliche Bezeichnung, die nur in Verbindung mit Konservierungsproblemen verwendet wird. Demgegenüber werden Dipol-Dipol-Wechselwirkungen von Molekülen, die keine OH-Gruppen enthalten, als »Trockene Polarität« (auch hier handelt es sich um einen ungebräuchlichen Terminus) bezeichnet.

Die angeführten drei Arten der molekularen Wechselwirkung lassen sich für Lösungsmittelmoleküle mit hinreichender Genauigkeit berechnen. In Tabellenwerken sind die Daten als Prozentanteil der Gesamtanziehungskraft zwischen den Molekülen des Lösungsmittels angeführt.

Diese Daten erlauben die graphische Darstellung der herrschenden Wechselwirkungskräfte in Lösungsmitteln und Lösungsmittelgemischen in einem **Dreiecksdiagramm** (vgl. Abb. 1, p. 84).

Eine analoge Berechnung für Feststoffe ist wesentlich schwieriger durchzuführen, es gibt derzeit keine Daten in den entsprechenden Tabellenwerken.

Dennoch ist es möglich, das Lösungsverhalten von Feststoffen experimentell abzuschätzen, indem man das zu untersuchende Material gegen verschiedene Lösungsmittel testet, deren Positionen im Dreiecksdiagramm bekannt sind (vgl. p. 91 f.).

Ein positives Resultat (*also eine Lösung des Feststoffes im Lösungsmittelsystem*) findet sich üblicherweise in einem mehr oder weniger großen Bereich des Dreiecksdiagrammes, der als Löslichkeitsbereich des Feststoffes bezeichnet wird (vgl. p. 100 f.).

THEORETISCHE GRUNDLAGEN DES LÖSUNGSPROZESSES

Es wurde erwähnt, daß zwischen den Molekülen der reinen Komponenten, aber auch zwischen den verschiedenen Molekülen in einer Lösung Anziehungskräfte wirken. Grundsätzlich wurde festgestellt, daß Substanzen in erster Näherung dann miteinander mischbar bzw. ineinander löslich sind, wenn ihre molekularen Anziehungskräfte von vergleichbarer Größe sind. Wenn man sich noch einmal vor Augen hält, wie ein Auflösungsprozeß verläuft, so wird deutlich, daß es sich um einen komplexen Vorgang handelt. Der Löseprozeß bei Auflösung eines Feststoffes in einer Flüssigkeit verläuft in mehreren Stadien. Zunächst dringen die Flüssigkeitsmoleküle in den Feststoff ein. Die Penetration wird umso eher vonstatten gehen, je schneller die Flüssigkeitsmoleküle sind, d. h., je größer ihre kinetische (Bewegungs-) Energie ist. Die Temperatur ist in diesem Zusammenhang eine wichtige Größe. Eine Temperaturerhöhung führt zu einer stärkeren Molekülbewegung bei beiden Komponenten und damit zu einer Erhöhung ihrer kinetischen Energie. Neben der kinetischen Energie spielen allerdings auch andere Parameter eine Rolle, z. B. Molekülgröße, Oberflächenspannung, Viskosität und andere (vgl. p. 133 f.).

Durch das Eintreten von Flüssigkeitsmolekülen in den Feststoff quillt dieser an, so lange, bis die einzelnen Feststoffteilchen (Atome, Ionen, Moleküle) den Kontakt zueinander verlieren und in Lösung gehen. Voraussetzung ist, daß die Lösungsmittelmoleküle entsprechende Wechselwirkungen mit den zu lösenden Teilchen eingehen. Bei einer konstanten Temperatur ist der Gesamtinhalt der kinetischen Energie der vorhandenen Teilchen (Feststoff- und Flüssigkeitsteilchen) konstant. Bei Lösung tritt eine Veränderung der potentiellen Energie zwischen den Molekülen des reinen Lösungsmittels und denen des Feststoffes ein. Wenn die Feststoffteilchen starke Bindungen untereinander aufweisen, so ist für das Brechen der Bindungen (durch das Auflösen) eine große Energie notwendig.

Die im Verlauf eines Lösungsprozesses eintretenden Änderungen der energetischen Zustände können Grundlage für eine theoretische Betrachtung des Lösungsvorganges sein (12, 22–25). Der Naturwissenschaftler bezeichnet diese Betrachtungsweise als Thermodynamik. Die Thermodynamik behandelt den Energieaustausch, der im Verlauf eines Prozesses (z. B. der Auflösung von einem Feststoff in einem Lösungsmittel oder der Verdampfung eines Lösungsmittels) zwischen einem System und seiner Umgebung stattfindet. Als System definiert man einen Teil des Universums (also z. B. Lösungsmittel und Feststoff), den man sich von der Umgebung getrennt vorstellt. In der klassischen Thermodynamik gelten zwei grundsätzliche Prinzipien:

Der Gesamtenergieinhalt eines abgeschlossenen Systems ist konstant, gleichgültig welche Veränderungen die einzelnen Energiebestandteile (chemische Energie, Wärmeenergie etc.) erleiden. Man bezeichnet ein System als abgeschlossen, wenn keine Wechselwirkung zwischen ihm und seiner Umgebung besteht. Nun ist aber der normale Fall, daß eine solche Wechselwirkung zwischen einem System und seiner Umgebung vorhanden ist. Der Energieinhalt (die sogenannte innere Energie) eines Systems kann dadurch verändert werden, daß das System entweder von der Umgebung Energie aufnimmt oder Energie an die Umgebung abgibt (in Form von Wärme und Arbeit).

Der energetisch begünstigte Zustand ist der Zustand der Unordnung. Wenn man zum Beispiel zwei mit verschiedenen Gasen gefüllte Behälter betrachtet, und zwischen diesen beiden Behältern eine Verbindung schafft, so vermischen sich die beiden Gase. Dieser Vorgang ist irreversibel, und erst dann beendet, wenn der Zustand der Unordnung sein Maximum erreicht hat. Das Maß für die Unordnung wird in der Thermodynamik als Entropie bezeichnet. Jede Entropieänderung bedeutet daher eine Veränderung eines (Un-) Ordnungszustandes.

Es wurde bereits festgestellt, daß bei Lösung eines Feststoffes in einem Lösungsmittel die Moleküle des Feststoffes voneinander getrennt werden, ebenso aber auch die Moleküle des Lösungsmittels. Zur Ermöglichung einer Lösung müssen also die Anziehungskräfte, die zwischen den Molekülen herrschen, überwunden werden, und andere zwischenmolekulare Anziehungskräfte im resultierenden Gemisch entstehen. Die bei diesem Vorgang ausgetauschte Energie wird als Enthalpie oder Mischungswärme bezeichnet.

Eine weitere thermodynamische Größe, die für die Betrachtung eine Rolle spielt, ist die sogenannte freie Energie. Sie hängt von der Enthalpie (der Mischungswärme) und der Entropie ab. Der Wert der freien Energie zeigt an, ob bei Mischung der Komponenten Lösung eintritt oder nicht. In Symbolen geschrieben lautet die Beziehung wie folgt:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

In dieser Gleichung bedeuten die einzelnen Symbole:

- Δ die Veränderung von ... (= Differenz von Endzustand minus Anfangszustand)
- G die freie Energie
- S die Entropie
- H die Enthalpie (Mischungswärme)
- T die absolute Temperatur (gemessen vom absoluten Nullpunkt -273°)

Mathematische Formeln wirken häufig abschreckend. In diesem Fall handelt es sich um eine einfache Beziehung von Zustandsgrößen. Die Aussage ist nicht komplizierter als der folgende Satz: Die Summe die man einem Verkäufer übergibt, abzüglich des Kaufpreises der erworbenen Waren ist gleich dem zurückerhaltenen Betrag. Je nach Größe der einzelnen Beträge wird man entweder Geld zurückbekommen, etwas nachbezahlen müssen oder das Ergebnis ist Null – Kaufpreis und übergebene Summe sind gleich. Ähnlich läßt sich die Formel bezüglich des Verhaltens eines Feststoffes gegenüber einem Lösungsmittel anwenden. Die wesentliche Frage ist: wie muß das Ergebnis lauten, damit der Lösungsprozeß spontan abläuft?

Nach J. H. Hildebrand /12/ gilt, daß die Veränderung der freien Energie bei Lösung eines Stoffes in einem Lösungsmittel negativ sein muß. Mit anderen Worten bedeutet das, daß die Bedingung für das Eintreten des gelösten Zustandes eine Verringerung der freien Energie ist.

Das ist analog zur Energieumwandlung in mechanischen Systemen. Dort verlaufen Prozesse spontan, wenn die Differenz der potentiellen Energie einen negativen Wert annimmt. Das ist z. B. der Fall, wenn ein Ziegel zu Boden fällt, oder sich eine gespannte Feder entspannt. Prozesse, bei denen die Veränderung der potentiellen Energie einen positiven Wert annimmt, verlaufen nicht ohne äußere Einwirkung, anderenfalls müßte ein Ziegel herauffallen, oder eine Feder sich selbst zusammenziehen.

Bezüglich der in der Gleichung aufscheinenden Zustandsgrößen bedeutet es folgendes:

Die Änderung der Entropie, welche ein Maß für die Änderung des Unordnungsstandes des Systems ist, muß positiv sein, denn die Entropie (die Unordnung) einer Lösung oder Mischung ist immer größer als die Entropie der reinen Komponenten. Der Ausdruck $-[T\Delta S]$ ist daher bei Löslichkeit der Komponenten negativ. Anhand eines Beispiels lassen sich diese Aussagen verdeutlichen. Wenn man polymere Stoffe (z. B. Bindemittel oder einen Firnis) molekular betrachtet, so handelt es sich um amorphe (nicht kristalline) Materialien. Wenn man diese Stoffe löst, so stellen sie eine einfache Mischung dar. Im gelösten Zustand ist die Unordnung (= Entropie; S) größer als im festen Zustand. Die Moleküle können aneinander abgleiten und besitzen eine gewisse Bewegungsfreiheit. Je größer die Moleküle werden, desto geringer wird ihre Bewegungsfreiheit infolge ihrer Größe und ihres Molekülbaus. Bei einer Mischung von großen Polymeren mit kleinen Lösungsmittelmolekülen erfahren die Polymermoleküle eine Vergrößerung der Entropie. Sie fließen

entsprechend ihrer Viskosität, zusätzlich kann sich die Anordnung der Moleküle wegen der unbehinderten Rotation der C-C Bindungen (Entropie der Konfiguration) ändern.

Ebenso sind die Verhältnisse bei der Auflösung kristalliner Substanzen. Natriumchlorid z. B. kristallisiert in einem kubischen Raumgitter. In dieser Anordnung sind die Lagen der Ionen eindeutig festgelegt, die Abstände zwischen den Ionen sind immer gleich, die Bindungswinkel sind immer rechtwinklig. Es ist evident, daß diese strenge Ordnung in wässriger Lösung nicht mehr vorliegt; das System geht in einen Zustand größerer Unordnung über, die Entropie wird größer.

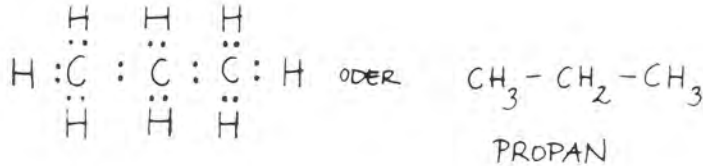
Die zweite Zustandsgröße, die den Wert der freien Energie beeinflusst, ist die Enthalpie. Da festgestellt wurde, daß bei Lösung oder Mischung zweier Stoffe, die Entropie (S) immer größer werden muß ($-[T\Delta S]$ ist daher auf jeden Fall negativ), verläuft ein Prozeß dann spontan, wenn die Änderung der Enthalpie ebenfalls negativ ist. In diesem Fall ist das Resultat der Gleichung ein negativer Wert von ΔG . Das ist der Fall, wenn die Anziehungskräfte der verschiedenen Moleküle in der Lösung größer sind als die zwischenmolekularen Anziehungskräfte der reinen Komponenten. Eine solche Reaktion verläuft unter Absenkung der inneren Energie des Systems, und es wird Wärme frei. Man nennt so einen Vorgang exotherm.

Bei den meisten Löseprozessen handelt es sich um endotherme Vorgänge. Das bedeutet, daß die Wechselwirkungskräfte zwischen den Molekülen der reinen Komponenten größer sind als zwischen jenen in der Lösung. In einem abgeschlossenen System verläuft der Vorgang unter Abkühlung, bei nicht geschlossenen Systemen wird Wärme aus der Umgebung aufgenommen. Ein Lösevorgang kann daher nur dann spontan eintreten, wenn ΔH kleiner ist als $-[T\Delta S]$. Ist ΔH größer oder gleich $-[T\Delta S]$, so kann keine Mischung oder Lösung eintreten, es sei denn, die Temperatur (T) wird so erhöht, daß die Bedingung ΔG ist negativ erfüllt ist. Es ist ein bekanntes Phänomen, daß die Löslichkeit von vielen Stoffen in bestimmten Lösungsmitteln durch Temperaturerhöhung ermöglicht oder vergrößert werden kann. Die Enthalpie stellt ein Maß für die zur Trennung der Moleküle eines Stoffes notwendige Energie dar. Nach J. H. Hildebrand [12] läßt sich die Energie, die zur Trennung der Moleküle eines Stoffes durch Lösung benötigt wird, aus der Verdampfungswärme abschätzen, da auch für die Verdampfung eine Überwindung der molekularen Anziehungskräfte notwendig ist. Wenn die notwendige Energie zur Trennung der Moleküle einer Substanz A deutlich verschieden ist von der, die bei einer Substanz B benötigt wird, so ist der Wert von ΔH groß. Der große Energieunterschied bedeutet auch, daß sich beide Molekülararten bevorzugt mit gleichen Molekülen umgeben. Andererseits, wenn die entsprechende Energie zur molekularen Trennung der beiden Stoffe von einer ähnlichen Größenordnung ist, werden sich die Moleküle der Substanz A mit denen der Substanz B umgeben. Es tritt also eine Mischung ein. In diesem Fall ist der Wert von ΔH klein und die Bedingung für eine spontane Reaktion (ΔG ist negativ) ist wegen des negativen Ausdrucks $[T\Delta S]$ erfüllt. Unter Bezug auf die eingangs erwähnte Näherung »Ähnliches löst sich in Ähnlichem« bedeutet ein kleiner Wert für die Enthalpieänderung eine »Ähnlichkeit« der beiden Substanzen.

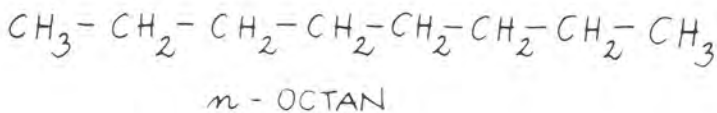
1. KOHLENWASSERSTOFFE

1.1. Aliphatische Kohlenwasserstoffe

Moleküle, die nur Wasserstoff- und Kohlenstoffatome enthalten, werden **Kohlenwasserstoffe** genannt.



Größere Moleküle entstehen durch Aneinanderreihung mehrerer Kohlenstoffatome zu Kettenmolekülen. Kettenförmige Kohlenwasserstoffe werden **aliphatisch** genannt.

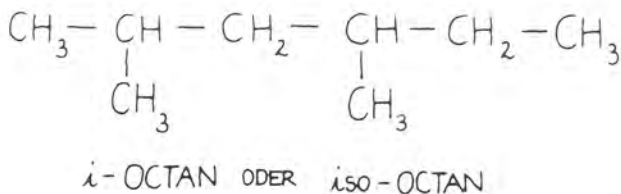


Die Endgruppen der Kettenmoleküle sind immer CH_3 -Gruppen, die **Methylgruppen** genannt werden. Die im Inneren der Kette vorhandenen CH_2 -Gruppen werden **Methylengruppen** genannt.

Verbindungen aus kleinen Kohlenwasserstoffmolekülen sind bei Normalbedingungen gasförmig (z. B. Methan und Propan). Solche aus mittellangen Molekülen liegen flüssig vor (z. B. Octan). Langkettige Kohlenwasserstoffverbindungen bilden Feststoffe (Paraffinwachs), weil die Anziehungskräfte zwischen den einzelnen Kettenmolekülen mit deren Länge größer werden.

Kohlenwasserstofflösungsmittel umfassen Verbindungen mit einer Kettenlänge von sechs bis zehn Kohlenstoffatomen. Verbindungen aus kleineren Molekülen sind zu flüchtig, während solche aus größeren Molekülen zu langsam verdampfen. Unverzweigte Kohlenwasserstoffketten (z. B. *n*-Octan) heißen **Paraffine** oder **Alkane**.

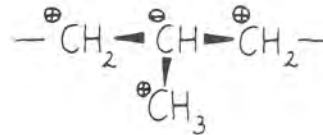
Allerdings gibt es auch verzweigte Kettenmoleküle.



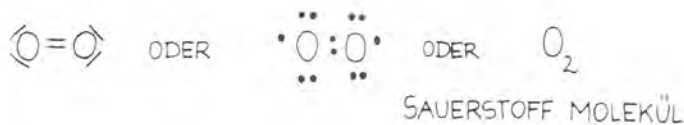
Verzweigte Kohlenwasserstoffverbindungen heißen **Isoparaffine**. Das Kohlenstoffatom am Verzweigungspunkt hat besondere Eigenschaften und wird **tertiärer Kohlenstoff** genannt.



Ein tertiäres Kohlenstoffatom ist an drei andere Kohlenstoffatome gebunden. Eine Bindung ist mit einem Wasserstoffatom abgesättigt. Tertiäre Kohlenstoffatome sind bezüglich des restlichen Kettenmoleküls schwach negativ polarisiert. Sie reagieren daher leichter mit Molekülen, die Elektronen aufnehmen.



Sauerstoff ist ein Beispiel für ein Molekül, das einen Elektronenmangel aufweist und Elektronen aufnehmen kann.

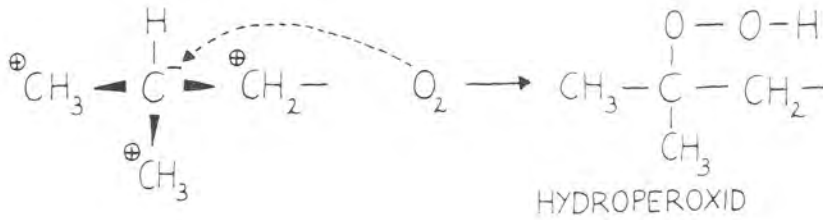


Das Sauerstoffmolekül weist zwei einzelne Elektronen auf. Moleküle sind dann stabil, wenn die Elektronen paarweise auftreten, und die äußere Elektronenschale mit acht Elektronen besetzt ist. Da Luft hauptsächlich aus Stickstoff (ca. 75%) und aus Sauerstoff (ca. 25%) besteht, sind alle Substanzen in unserer Atmosphäre einer Reaktion mit Sauerstoff ausgesetzt.

Stickstoff ist demgegenüber sehr stabil und nicht reaktionsfähig.

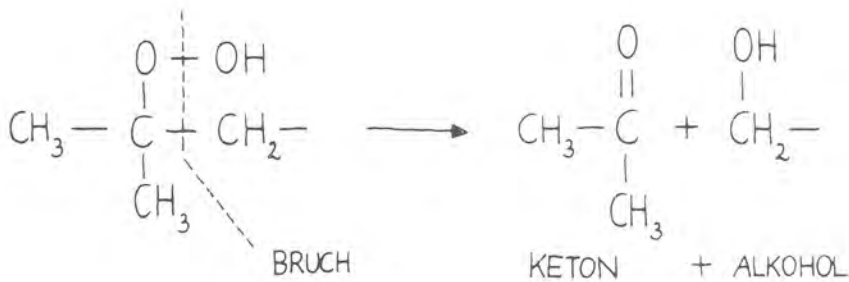


Eine Reaktion einer Substanz mit Sauerstoff wird **Oxidation** genannt. Ein tertiäres Kohlenstoffatom oxidiert wesentlich leichter als andere Teile der Kohlenwasserstoffkette.

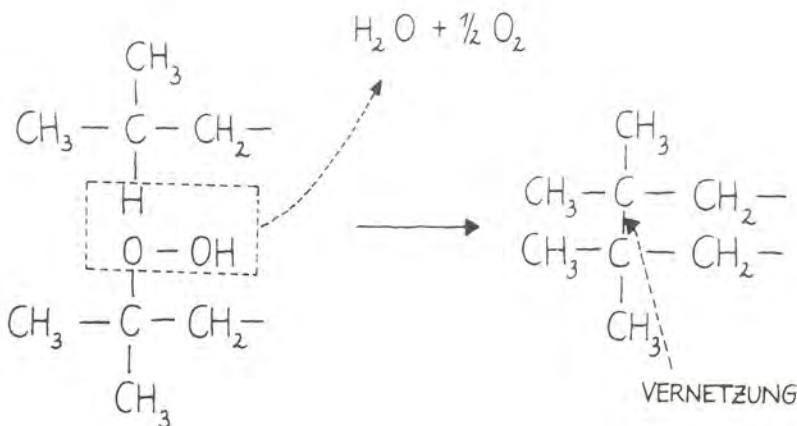


Das Zwischenprodukt der Oxidationsreaktion (Hydroperoxid) ist instabil und kann auf zwei verschiedenen Reaktionswegen abgebaut werden:

Das Hydroperoxid zerfällt.

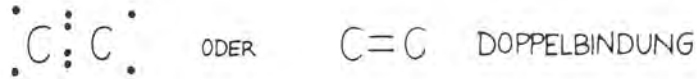
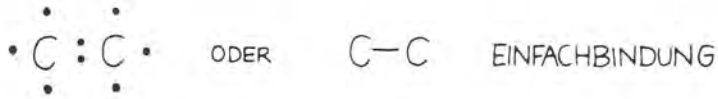


Eine chemische Bindung wird zwischen zwei Molekülen gebildet, und ein größeres Molekül entsteht.

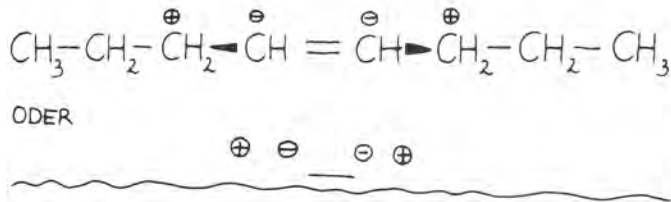


1.2. Doppelbindungen – Olefine

Zwei benachbarte Kohlenwasserstoffatome können unterschiedliche kovalente Bindungen miteinander eingehen: Einfachbindungen und Doppelbindungen.



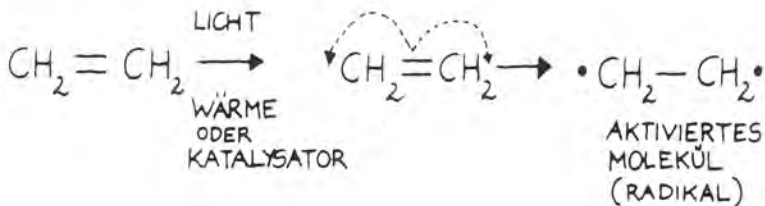
Eine Doppelbindung ist im Vergleich zu einer Einfachbindung eine stärkere Bindung. Sie stellt aber auch, gemessen am Restmolekül, einen Bereich höherer Elektronenkonzentration dar.



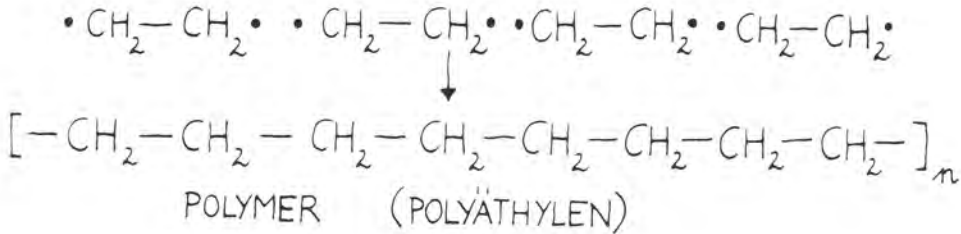
Eine Doppelbindung ist ein besonders reaktionsfähiger Teil des Moleküls, reaktionsfähiger als z. B. ein tertiäres Kohlenstoffatom. Kohlenwasserstoffe, die Doppelbindungen enthalten, werden **Olefine** oder **Alkene** genannt. Sie können folgende chemische Reaktionen eingehen:

Polymerisation

Der erste Schritt einer Polymerisationsreaktion, die Aktivierung, führt zur Aufspaltung der Doppelbindung. Die Aufspaltung der Bindung kann durch Licht (besonders UV-Strahlung), Hitzeeinwirkung oder Katalysatoren (das sind Substanzen, die eine Reaktion auslösen oder beschleunigen, ohne dabei verbraucht zu werden) verursacht werden.

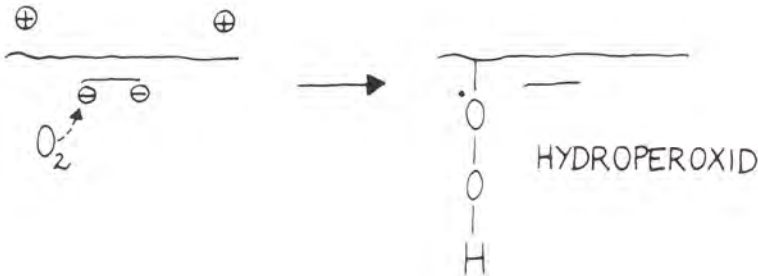


Im zweiten Schritt einer Polymerisationsreaktion verbinden sich mehrere aktivierte Moleküle und bilden lange Ketten, die **Polymer**e genannt werden.

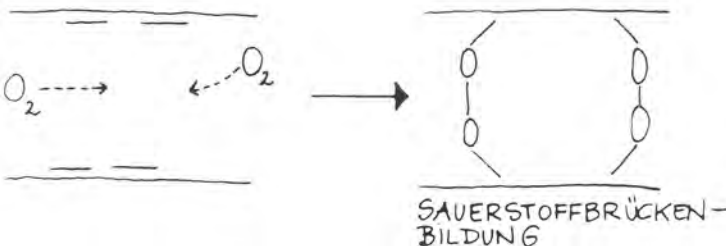


Oxidation

Die Oxidation von Doppelbindungen verläuft leichter als die eines tertiären Kohlenstoffatoms. Der erste Schritt ist dabei immer die Bildung eines Hydroperoxides an der Stelle des Moleküls, die die größte negative Ladung aufweist.

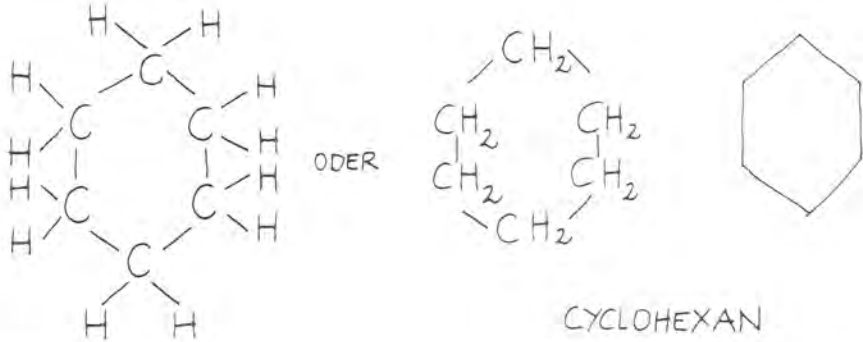


Hydroperoxide sind instabil und können zerfallen oder unter Bildung größerer Moleküle eine chemische Bindung mit einem zweiten Molekül eingehen (vgl. p. 49). Eine besondere Reaktion der Olefine ist die Ausbildung von Sauerstoffbrücken durch Reaktion von Sauerstoff mit den Doppelbindungen. Diese Sauerstoffbrücken werden bei Molekülen mit zwei oder mehreren Doppelbindungen gebildet.

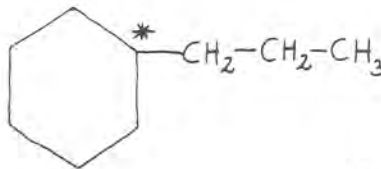


1.3. Ringförmige Kohlenwasserstoffe – Naphthene

Sechs Kohlenstoffatome können eine cyclische Verbindung bilden. Ebenso sind ringförmige Verbindungen mit fünf Kohlenstoffatomen möglich, während andere Ringbildungen in ihrer Formation behindert sind.

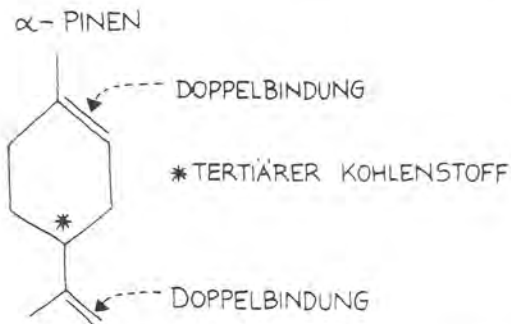


Ringförmige Kohlenwasserstoffe werden **Naphthene** oder **Cycloalkane** genannt. Die Ringverbindungen können Seitenketten aufweisen.



* VERZWEIGUNGS PUNKT

Am Verzweigungspunkt befindet sich im Ring ein tertiäres Kohlenstoffatom. Terpentin beispielsweise besteht aus Cycloalkanen mit Seitenketten und Doppelbindungen.



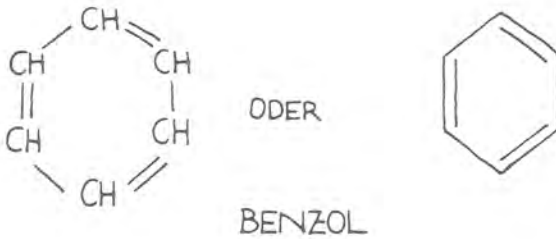
(KOHLENWASSERSTOFFE DES TERPENTINS)

Aus diesem Grund ist Terpentin leicht polar (die Verzweigungspunkte und die Doppelbindungen weisen eine schwache negative Ladung auf) und daher ziemlich reaktionsfähig (es kann polymerisieren oder oxidiert werden).

Terpentin ist ein gutes Lösungsmittel für frische natürliche Harze. Es kann aber heutzutage durch geeignete Mischungen von Paraffinen und aromatischen Kohlenwasserstoffen ersetzt werden, die wesentlich stabiler sind (vgl. p. 55 und p. 71).

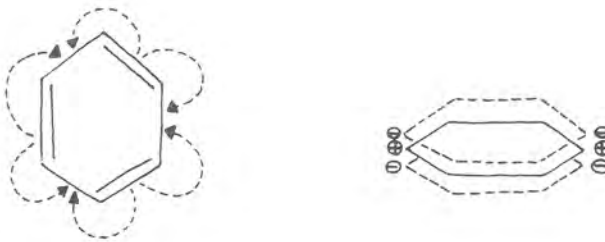
1.4. Der Benzolring, aromatische Kohlenwasserstoffe

Eine ringförmige Verbindung aus sechs Kohlenstoffatomen, die drei Doppelbindungen enthält, weist besondere Eigenschaften auf. Die Verbindung heißt **Benzol**. Alle Kohlenwasserstoffe, die einen solchen Ring in ihrem Molekül enthalten, werden als **aromatische Kohlenwasserstoffe** bezeichnet.

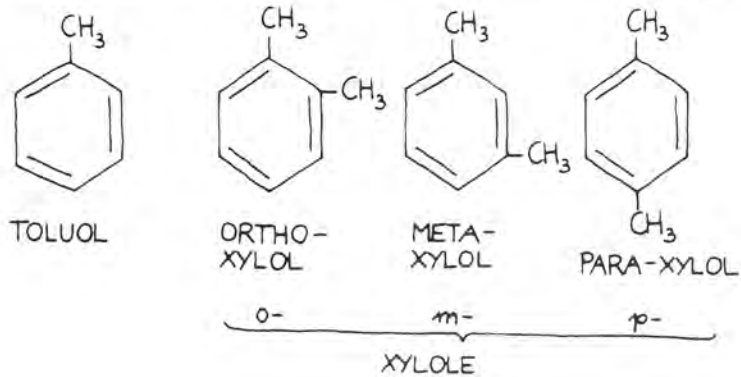


Die konjugierten Doppelbindungen bewirken die Ausbildung einer »Elektronenwolke«, die oberhalb und unterhalb der Kohlenstoffatome der Ringverbindung lokalisiert ist.

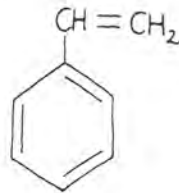
Die besondere Elektronenverteilung verursacht eine leichte Polarität dieser Verbindungs-kategorie und auch einige andere Eigenschaften der aromatischen Kohlenwasserstoffe (Geruch, Giftigkeit).



Benzol ist ein gut verwendbares Lösungsmittel. Eine Reihe weiterer Lösungsmittel – z. B. Toluol, Xylol – entsteht, wenn an den Benzolring eine Seitenkette addiert wird (angehängt wird).

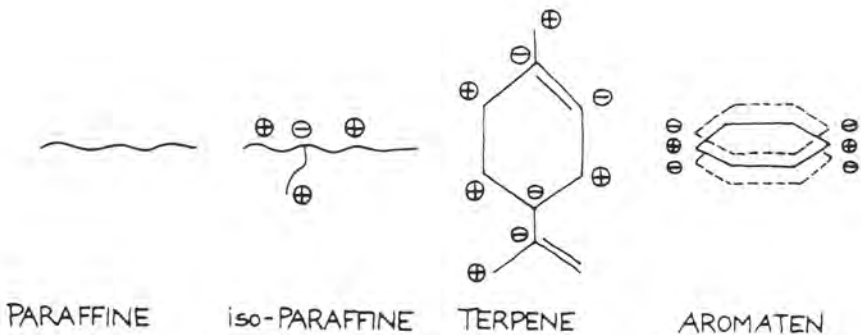


Styrol hat zusätzlich eine Doppelbindung in der Seitenkette.



1.5. Polarität von Kohlenwasserstofflösungsmitteln

Ungesättigte Kohlenwasserstoffe (Olefine) werden normalerweise nicht als Lösungsmittel verwendet. Sie sind nicht stabil und neigen, wie erwähnt, zu Oxidation oder Polymerisation. Terpentin stellt hinsichtlich der Verwendung eine Ausnahme dar. Gemäß ihrer zunehmenden Polarität können die verschiedenen Kohlenwasserstofflösungsmittel, wie nachfolgend dargestellt, angeordnet werden.



1.6. Industriell erzeugte Kohlenwasserstofflösungsmittel

Alle Kohlenwasserstofflösungsmittel außer Terpentin (das ist der flüssige Anteil von bestimmten Baumharzen) und den aromatischen Lösungsmitteln (sie werden durch Destillation von Kohle-
teer gewonnen), werden aus Mineralöl hergestellt. Im Handel sind verschiedene Mischungen er-
hältlich, die jeden Grad der Polarität zwischen Paraffinen und Aromaten erfassen. Tabelle 3 stellt
diese Lösungsmittel, ihre Zusammensetzung und ihren Siedebereich zusammen.

Tabelle 3: Zusammensetzung und Siedebereich einiger Mischlösungsmittel aus Mineralölfrak-
tionen

Handelsname	Paraffine	Iso- Paraffine	Naphtene	Aromaten	Siedebereich °C
Shellsol T (Shell)	100	–	–	–	180–190
Isopar G (Esso)	–	93	7	–	160–175
Shellsol B (Shell)	89	–	11	–	140–160
Shellsol B. 8 (Shell)	82	–	10	8	150–190
V.M. & P.N. (Shell)*	45	–	42	13	120–135
V.M. & P.N. (Esso)*	49	–	40	11	120–135
Testbenzin (Esso)	81	–	3	16	180–200
Shellsol E (Shell)	15	–	3	82	160–185
Shellsol A (Shell)	1	–	–	99	160–180
Solvesso. 100 (Esso)	1	–	–	99	155–170

alle Angaben in %

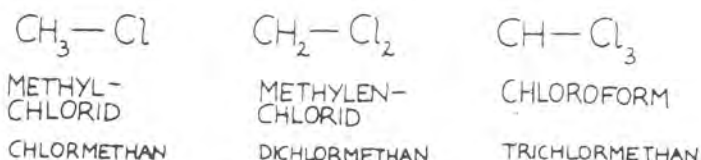
* Varnish Makers and Painters Naphta – Mineralölfraktion im Siedebereich 100°–160°

2. CHLORIERTE KOHLENWASSERSTOFFE

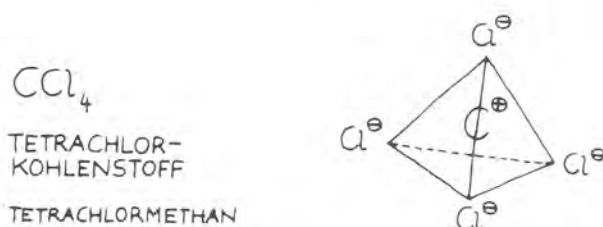
Die Einführung von Chlor in Kohlenwasserstoffmoleküle bewirkt eine *Polarität im Sinne einer Dipol-Dipol-Wechselwirkung* (Trockene Polarität).



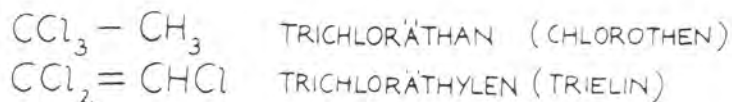
Da die Anziehungskräfte zwischen den Molekülen höher sind, können Verbindungen mit kleineren Molekülen als Lösungsmittel mit geeigneter Verdunstungszahl verwendet werden.



In dieser Reihe stellt Tetrachlorkohlenstoff die am wenigsten polare Verbindung dar, weil sich infolge des symmetrischen molekularen Aufbaues die Dipolkräfte gegenseitig aufheben.



Andere chlorierte Lösungsmittel sind Abkömmlinge von Äthan und Äthylen.



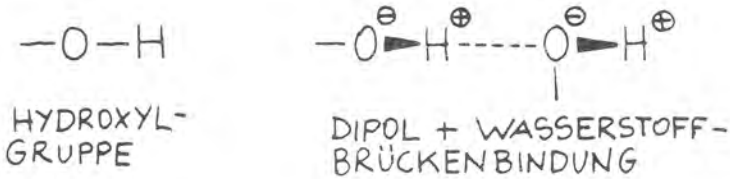
Trichloräthan ist weniger giftig als Trichloräthylen und andere chlorierte Kohlenwasserstoffe. Es ist daher für konservatorische Zwecke besser einsetzbar. Chlorierte Kohlenwasserstoffe sind nicht entflammbar, die anderen gängigen organischen Lösungsmittel sind dagegen brennbar.

3. FUNKTIONELLE GRUPPEN

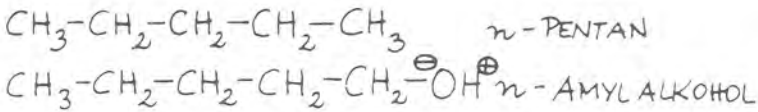
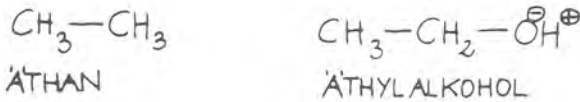
Verschiedene Lösungsmittel enthalten eine sauerstoff- oder stickstoffhaltige Gruppe. Diese Gruppen heißen **funktionelle Gruppen**, sie beeinflussen die Polarität des Moleküls.

3.1. Alkohole

Alkohole enthalten zumindest eine Hydroxylgruppe. Die Hydroxylgruppe ist polar und kann Wasserstoffbrücken bilden.



Eine Hydroxylgruppe bewirkt die Zunahme der Nassen Polarität (*Ausbildung von Wasserstoffbrückenbindungen*).



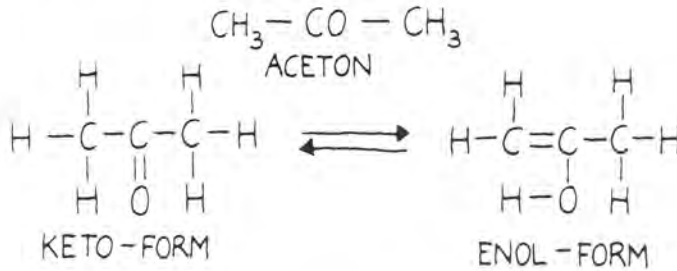
Mit zunehmender Kettenlänge des Kohlenwasserstoffmoleküls sinkt die Naßpolarität und die Mischbarkeit der Substanz mit Wasser. So ist z. B. Äthylalkohol vollständig, d. h. in jedem Mischungsverhältnis mit Wasser mischbar, während sich n-Amylalkohol nur mit einer begrenzten Wassermenge mischt.

3.2. Ketone

Ketone enthalten eine Carbonylgruppe. Diese Gruppe ist polar und bewirkt eine Zunahme der Trocken Polarität der Verbindung.



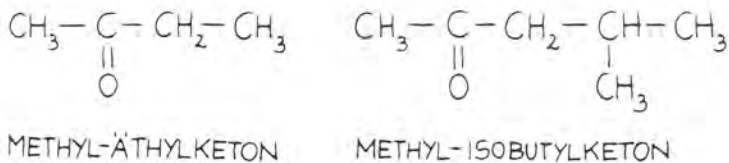
Wenn allerdings die Carbonylgruppe von einer Methyl- oder einer Methylengruppe benachbart ist, weist die Verbindung auch eine Naßpolarität auf, da durch Platzwechsel von Bindungen eine Hydroxylgruppe entstehen kann (*Keto-Enol-Tautomerie*).



(Beide Formen befinden sich im Gleichgewicht, z. B. bei Acetessigester: Ketoform 93%, Enolform 7%).

Einige Moleküle des Ketons formen sich zu einer Struktur um, die eine Hydroxylgruppe beinhaltet. Sie wird **Enol-Form des Ketons** genannt. Anhand der Pfeile in der Reaktionsgleichung wird deutlich, daß die Reaktion in beiden Richtungen verläuft. Es handelt sich um eine **Gleichgewichtsreaktion**.

Andere für den Restaurator interessante Ketone sind:

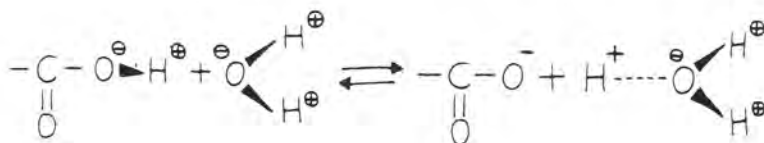


Diese beiden Verbindungen verdampfen deutlich langsamer als Aceton. Sie sind häufig für die Anwendung in der Konservierung besser geeignet als Aceton. Außerdem weisen sie eine Nasse Polarität auf, da sich Methyl- und Methylengruppen in direkter Nachbarschaft zur Carbonylgruppe befinden.

3.3. Säuren

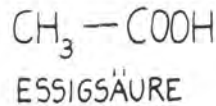
Einige funktionelle Gruppen bewirken außer einer Veränderung der Polarität der Moleküle auch noch besondere chemische Eigenschaften der Verbindungen.

Die **COOH-Gruppe** ist eine **Säuregruppe (Carboxylgruppe)**. Sie kann mit Wasser gemäß der folgenden Gleichung reagieren (*Dissoziation*):

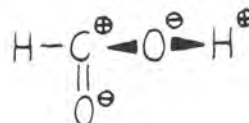
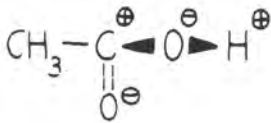


Die Säuregruppe wird durch Wasser ionisiert, wodurch **Wasserstoffionen** bzw. **Protonen** entstehen. Wie die Pfeile in der Reaktionsgleichung zeigen, handelt es sich hier wieder um eine Gleichgewichtsreaktion. Es werden in einer wässrigen Lösung einer solchen Verbindung nur eine beschränkte Anzahl von Wasserstoffionen gebildet (etwa ein Wasserstoffion pro tausend Moleküle). Definitionsgemäß sind Verbindungen, die in wässriger Lösung Wasserstoffionen abspalten, **Säuren**. Wässrige Lösungen, die Wasserstoffionen enthalten, schmecken nach Zitrone (also sauer). Solche Lösungen, die eine saure Reaktion zeigen, verursachen eine Reihe von chemischen Reaktionen, so z. B. Metallkorrosion, Lösung von Calciumcarbonat und anderen Salzen und den Abbau von Protein- und Cellulosemolekülen.

Organische Verbindungen, die COOH-Gruppen enthalten, heißen **organische Säuren**. Es handelt sich (*mit Ausnahme von Ameisensäure*) um **schwache Säuren**, da in wässriger Lösung wenige Wasserstoffionen gebildet werden.



Wasserfreie organische Säuren verhalten sich wie sehr polare Lösungsmittel, weil der unpolare Teil des Moleküls klein ist und wegen der COOH-Gruppe sowohl Wasser, als auch Trockene Polarität wirksam ist.*



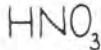
Die **anorganischen Säuren** oder **Mineralsäuren** enthalten weder Kohlenwasserstoffmoleküle noch COOH-Gruppen.



SALZSÄURE



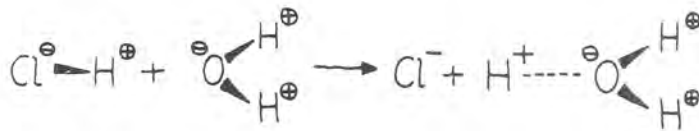
SCHWEFELSÄURE



SALPETERSÄURE

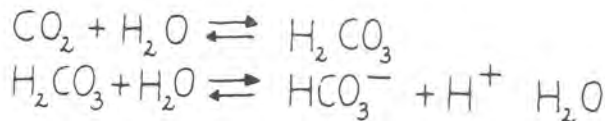
* Diese Feststellung bezieht sich nur auf lineare, kurzkettige, organische Säuren (Ameisensäure, Essigsäure, Propionsäure). Langkettige organische Säuren sind ölig oder fest. Es sei an die trocknenden Öle erinnert, die Gemische verschiedener, zum Teil ungesättigter Fettsäuren sind.

Hier handelt es sich um **starke Säuren**, da diese Verbindungen in wässriger Lösung viele Wasserstoffionen abspalten.



Die Reaktion von Salzsäure mit Wasser verläuft, wie die Reaktionsgleichung zeigt, nur in eine Richtung und führt zur **vollständigen Dissoziation** (d. h. pro Molekül Salzsäure entsteht ein Wasserstoffion). Genauso verläuft die Reaktion mit Salpetersäure; Schwefelsäure bildet zwei Wasserstoffionen in wässriger Lösung. Anorganische Säuren können nicht als Lösungsmittel betrachtet werden, auch dann nicht, wenn sie wasserfrei vorliegen.

Eine sehr schwache anorganische Säure entsteht – Kohlensäure – durch Lösung von Kohlendioxid in Wasser.



Da Kohlendioxid in der Atmosphäre immer vorhanden ist, wird immer ein Teil in Wasser gelöst sein (bis zur Sättigung). Das ist auch der Grund dafür, daß destilliertes Wasser immer leicht sauer reagiert (pH ca. 5,5).

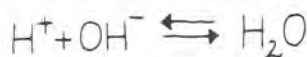
3.4. Amine, organische Basen

NH₂-Gruppen heißen **Aminogruppen**. In wässriger Lösung reagieren diese Gruppen gemäß der nachfolgenden Gleichung:



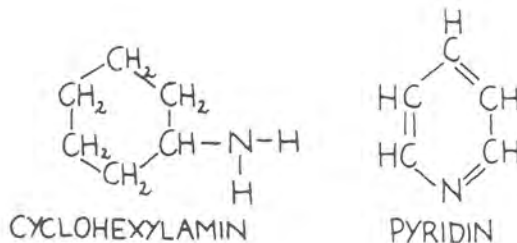
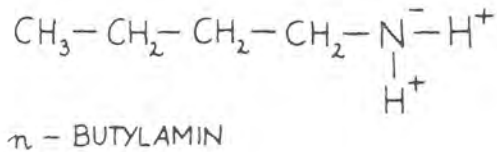
Das heißt, daß Amine durch Wasser ionisiert werden, wobei OH⁻-Ionen (Hydroxylionen) entstehen. Aus der Reaktionsgleichung kann entnommen werden, daß es sich hier wieder um eine Gleichgewichtsreaktion handelt. In wässrigen Aminlösungen liegt daher nur eine bestimmte Menge von Hydroxylionen vor, etwa ein Hydroxylion pro tausend Aminmoleküle.

Definitionsgemäß sind Verbindungen, die in wässriger Lösung Hydroxylionen bilden, **Basen**. Wässrige Lösungen, die Hydroxylionen enthalten, schmecken bitter. Basische Lösungen zeigen typische Reaktionen – sie spalten Fettsäuremoleküle und neutralisieren Säuren.

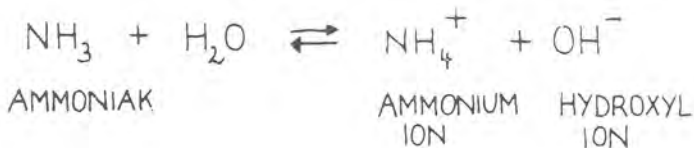


NEUTRALISATION EINER SÄURE DURCH
EINE BASE
(UND VICE-VERSA)

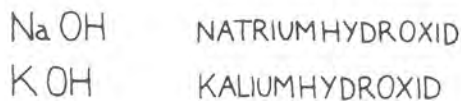
Amine sind **schwache Basen**. In wässriger Lösung bilden sie nur eine kleine Anzahl von Hydroxylionen. Wasserfreie Amine verhalten sich als ziemlich polare Lösungsmittel, sie können Wasserstoffbrücken bilden und weisen daher eine Naßpolarität auf.



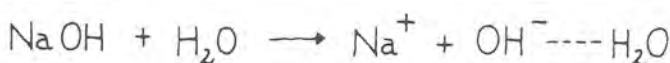
Ammoniak weist eine noch geringere Basizität auf als die Amine. Seine basische Reaktion ist auf eine, den Aminen analoge, Ionisierungsreaktion mit Wasser zurückzuführen.



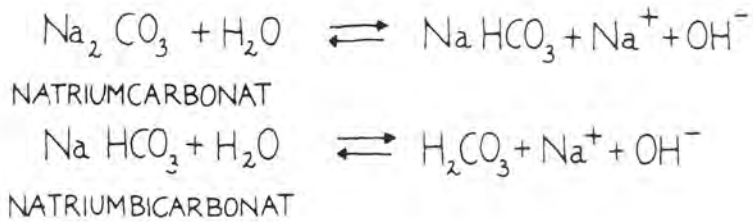
Anorganische Basen enthalten weder ein Kohlenwasserstoffmolekül noch eine Amino-
gruppe.



Es handelt sich um **starke Basen**, da sie in wässriger Lösung vollständig dissoziiert werden. Sie werden **Alkalien** bzw. Alkalilaugen genannt.



Allerdings gibt es im Vergleich zu den Alkalilaugen, auch schwächere anorganische Basen:

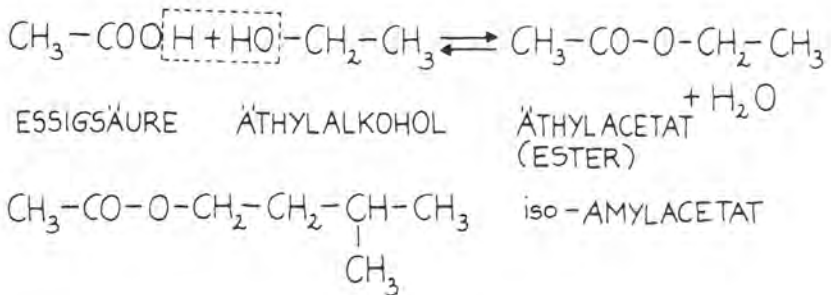


Natriumcarbonat (Soda) ist eine schwächere Base als Natronlauge (Ätznatron), weil aufgrund der Gleichgewichtsreaktion mit Wasser nur wenige Hydroxylionen entstehen. Natriumhydrogencarbonat (Speisesoda) ist eine noch schwächere Base.

Ammoniak und anorganische Basen können nicht als Lösungsmittel betrachtet werden. Trotzdem werden sie infolge ihrer chemischen Reaktionsfähigkeit für Reinigungszwecke fallweise in der Restaurierung eingesetzt (vgl. *L. Masschelein-Kleiner, die Ammoniakzusätze zur Abnahme ölhaltiger Übermalungen empfiehlt, p. 132 und p. 137*).

3.5. Ester und Amide

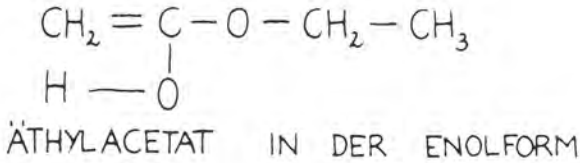
Säuren und Alkohole können Verbindungen bilden, die als **Ester** bezeichnet werden.



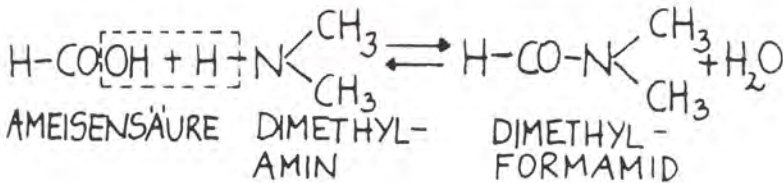
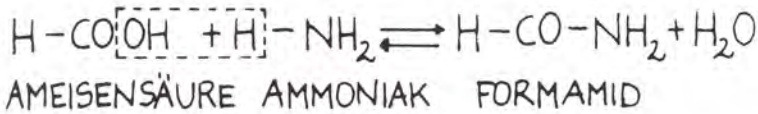
Ester enthalten immer die folgende funktionelle Gruppe



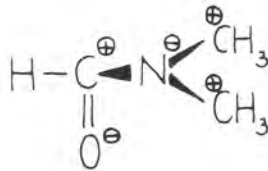
Sie weisen eine Trockene Polarität auf. Allerdings ist auch hier die Bildung von Wasserstoffbrücken (z. B. mit Wasser) möglich, besonders dann, wenn die Carbonylgruppe von Methyl- oder Methylengruppen benachbart ist, weil in diesem Fall die Bildung einer Enol-Form möglich ist (*Keto-Enol-Tautomerie*).



Organische Säuren können mit Ammoniak oder Aminen Verbindungen bilden. Die resultierenden Verbindungen heißen **Amide**.



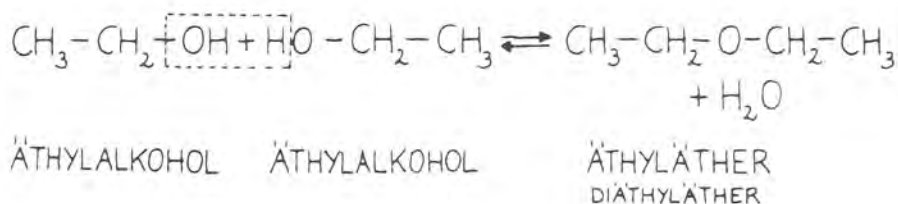
Dimethylformamid (DMF) ist ein stark polares Lösungsmittel, das ein hohes Dipolmoment aufweist (Trockene Polarität).



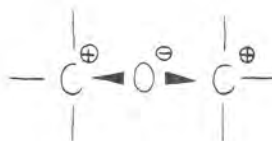
Es ist ein gutes Lösungsmittel für oxidierte Naturharze, da auch diese Verbindungen Trockene Polarität aufweisen.

3.6. Äther

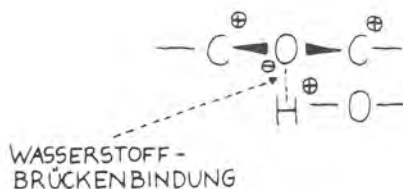
Äther entstehen durch Verbindung von zwei Alkoholmolekülen unter Wasserabspaltung



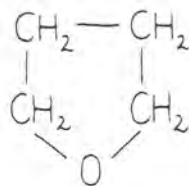
Die Äthergruppe weist überwiegend Trockene Polarität auf.



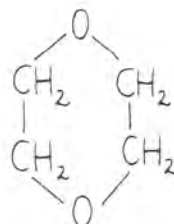
Allerdings sind am Sauerstoffatom der Äthergruppe Wechselwirkungen zu solchen Verbindungen möglich, die Wasserstoffbrückenbindungen bilden können. Diäthyläther ist außerordentlich flüchtig und leicht brennbar. Er ist daher kaum für restauratorische Zwecke verwendbar (eine Ausnahme bildet die Behandlung von stark vermorschtem Feuchtholz).



Andere, für konservatorische Zwecke interessante Lösungsmittel dieser Gruppe, sind die cyclischen Äther, Tetrahydrofuran (THF) und Dioxan.

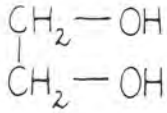


TETRAHYDROFURAN



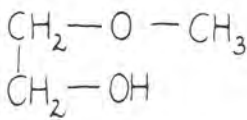
DIOXAN

Einige wichtige Lösungsmittel dieser Gruppe werden von zweiwertigen Alkoholen abgeleitet (Alkohole mit zwei OH-Gruppen).



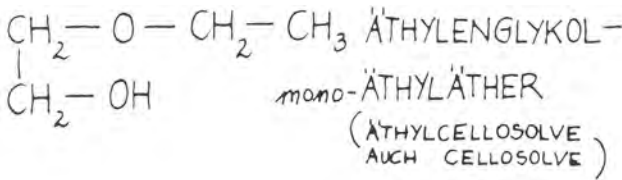
ÄTHYLENGLYKOL

Aus Äthylenglykol lassen sich Verbindungen erzeugen, in denen nur eine alkoholische OH-Gruppe veräthert ist, z. B. entweder durch Reaktion mit Methanol, wobei die resultierende Verbindung Methylcellosolve ist



ÄTHYLENGLYKOL-
mono-METHYLÄTHER
(METHYLCELLOSOLVE)

oder durch Reaktion mit Ethanol, wobei Cellosolve gebildet wird.



ÄTHYLENGLYKOL-
mono-ÄTHYLÄTHER
(ÄTHYLCELLOSOLVE
AUCH CELLOSOLVE)

Methylcellosolve bzw. Cellosolve haben besondere Löseeigenschaften, weil die Moleküle dieser Lösungsmittelgruppe sowohl Trockene Polarität als auch Nasse Polarität aufweisen.

NOMENKLATUR EINFACHER ORGANISCHER VERBINDUNGEN

Die hier besprochenen Regeln zur Benennung organischer Verbindungen müssen sich auf einige wenige, wichtige Verbindungsgruppen beschränken. Ausführliche Darstellungen finden sich in den unter /26–28/ im Literaturverzeichnis zitierten Arbeiten.

Die einfachsten organischen Lösungsmittel fallen in die Gruppe der aliphatischen Kohlenwasserstoffe. Die kleinste Verbindung dieser Gruppe, das Methan (CH_4) besitzt nur ein Kohlenstoffatom. Es ist bei Normalbedingungen gasförmig. Die Namen einiger aliphatischer Kohlenwasserstoffe werden nachfolgend zusammengefaßt:

Zahl der C-Atome	Formel	Name
1	CH_4	Methan
2	C_2H_6	Äthan
3	C_3H_8	Propan
4	C_4H_{10}	Butan

Verbindungen mit mehr als 4 Kohlenstoffatomen werden entsprechend der Anzahl der Kohlenstoffatome mit griechischen Zahlwörtern bezeichnet:

5	C_5H_{12}	Pentan
6	C_6H_{14}	Hexan
7	C_7H_{16}	Heptan

Lineare Kettenmoleküle (normale) werden durch ein **n** vor dem Verbindungsnamen bezeichnet, z. B. n-Hexan.

Kohlenwasserstoffverbindungen, die nicht linear sind, also Kettenverzweigungen aufweisen, werden durch ein **i** vor dem Verbindungsnamen gekennzeichnet (z. B. i-Hexan ist eine Verbindung mit sechs Kohlenstoffatomen, davon fünf linear angeordnet).

In analoger Weise werden Molekülreste (Radikale) bezeichnet. Das sind Gruppen, bei denen ein Wasserstoffatom nicht vorhanden ist. Die freie Bindung wird durch einen Strich gekennzeichnet.

Zahl der C-Atome	Formel	Name
1	CH_3-	Methyl-
2	C_2H_5-	Äthyl-
3	C_3H_7-	Propyl-
4	C_4H_9-	Butyl-
5	$\text{C}_5\text{H}_{11}-$	Pentyl-*

* Die Pentylgruppe wird auch als Amylgruppe bezeichnet.

Diese Gruppen werden **Alkyl-Radikale** genannt. In einer allgemeinen Formel werden Alkylgruppen, aber auch andere organische Molekülgruppen nicht spezifiziert, sondern durch ein **R-** gekennzeichnet.

Funktionelle Gruppen sind nachfolgend zusammengefaßt; die Symbole **R-** bzw. **R'**- bedeuten, daß es sich um verschiedene Radikale handeln kann.

Name	Funktionelle Gruppe	Formel	Beispiel
Alkohol	-OH	R-OH	Ethanol C ₂ H ₅ OH
Amin	-NH ₂	R-NH ₂	Methylamin CH ₃ NH ₂
Alkylhalid	-F	R-F	Trichloräthan CH ₃ -CCl ₃
	-Cl	R-Cl	
	-Br	R-Br	
	-J	R-J	
Äther	-O-	R-O-R'	Diäthyläther C ₂ H ₅ OC ₂ H ₅
Keton	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{-C-} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R-C-R'} \end{array}$	Methyläthylketon CH ₃ -CO-C ₂ H ₅

Organische Säuren enthalten eine **COOH-Gruppe**. Viele Säuren, denen man häufiger begegnet (siehe unten) kennt man unter ihren Trivialnamen, die auf ihr natürliches Vorkommen (Ameisensäure) oder auf besondere strukturelle Kennzeichen zurückgehen.

Zahl der C-Atome	Name
1	Ameisensäure
2	Essigsäure
3	Propionsäure
4	Buttersäure
4	Isobuttersäure
5	Valeriansäure
5	Trimethylelessigsäure

Die bekanntesten in der Konservierung verwendeten organischen Säuren sind Ameisen- und Essigsäure (Ameisensäure zur Reinigung von korrodiertem Silber, Essigsäure zur Fixierung nicht waschfester Textilfarbstoffe vor dem Waschprozeß). Beide Säuren sind Teil einer Gruppe wichtiger Verbindungen, in deren Namen die Begriffe »Form-« oder »Acet-« auftauchen.

Salze von organischen Säuren, bzw. deren Ester sind erkennbar, weil der Säurename auf -at endet. So heißt das Natrium Salz der Essigsäure Natriumacetat oder das Natrium Salz der Stearinsäure Natriumstearat (Seife). Ester, Verbindungen aus einem Alkohol und einer Säure, werden analog bezeichnet. Ein Ester gebildet aus Äthylalkohol und Essigsäure, heißt demnach Äthylacetat (auch Essigsäureäthylester).

Form –			Acet –		
Gruppe	Verbindungs-Name	Struktur-Formel	Verbindungs-Name	Struktur-Formel	Verb.-Klasse
H	Formaldehyd	$\text{H}-\text{C}\begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{H} \end{array}$	Acetaldehyd	$\text{CH}_3-\text{C}\begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{H} \end{array}$	Aldehyd
OH	Ameisensäure	$\text{H}-\text{C}\begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{OH} \end{array}$	Essigsäure	$\text{CH}_3-\text{C}\begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{OH} \end{array}$	Säure
NH ₂	Formamid	$\text{H}-\text{C}\begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{NH}_2 \end{array}$	Acetamid	$\text{CH}_3-\text{C}\begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{NH}_2 \end{array}$	Amid
O-C ₂ H ₅	Äthylformiat	$\text{H}-\text{C}\begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{O}-\text{C}_2\text{H}_5 \end{array}$	Äthylacetat	$\text{CH}_3-\text{C}\begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{O}-\text{C}_2\text{H}_5 \end{array}$	Ester
ONa	Natriumformiat	$\text{H}-\text{C}\begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{O}^- \text{Na}^+ \end{array}$	Natriumacetat	$\text{CH}_3-\text{C}\begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{O}^- \text{Na}^+ \end{array}$	Salz
CH ₃	_____	_____	Aceton	$\text{CH}_3-\text{C}\begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{CH}_3 \end{array}$	Keton

nach: Science for Conservators, Book I, »An Introduction to Materials« /5/.

Amide sind Verbindungen des Typs $\text{R}-\text{C}\begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{O} \end{array}-\text{NH}_2$.

Entsprechend der Zahl der Substituenten am Stickstoffatom unterscheidet man:

primäre Amide $\text{R}-\text{CO}-\text{N}\begin{array}{l} \text{H} \\ \text{H} \end{array}$ z. B. Formamid $\text{H}-\text{C}\begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{O} \end{array}-\text{N}\begin{array}{l} \text{H} \\ \text{H} \end{array}$

sekundäre Amide $\text{R}-\text{CO}-\text{N}\begin{array}{l} \text{H} \\ \text{R} \end{array}$ z. B. *n*-Methylformamid $\text{H}-\text{C}\begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{O} \end{array}-\text{N}\begin{array}{l} \text{H} \\ \text{CH}_3 \end{array}$

tertiäre Amide $\text{R}-\text{CO}-\text{N}\begin{array}{l} \text{R}' \\ \text{R}'' \end{array}$ z. B. Dimethylacetamid $\text{CH}_3-\text{C}\begin{array}{l} \text{=O} \\ \text{O} \end{array}-\text{N}\begin{array}{l} \text{CH}_3 \\ \text{CH}_3 \end{array}$

cyclische Amide heißen Lactame z. B. *N*-Methylpyrrolidon.

Amine sind Verbindungen des allgemeinen Typs $R-NH_2$.

Analog zu den Amiden unterscheidet man sie entsprechend der Zahl der Substituenten R- am Stickstoffatom:

primäre Amine $R-NH_2$ z. B. Äthylendiamin $NH_2-CH_2-CH_2-NH_2$

sekundäre Amine $R-N \begin{matrix} H \\ \diagup \\ R' \end{matrix}$ z. B. Diäthylamin $(CH_3-CH_2)_2-NH$

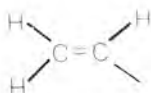
tertiäre Amine $R-N \begin{matrix} R' \\ \diagup \\ R'' \end{matrix}$ z. B. Triäthylamin $(CH_3-CH_2)_3-N$

Organische Verbindungen, die eine oder mehrere Doppelbindungen enthalten, heißen ungesättigte Kohlenwasserstoffe. Das gilt natürlich auch für Verbindungen mit Dreifachbindungen, die allerdings für den Restaurator von nur geringer Bedeutung sind und nicht behandelt werden.

Die ersten Glieder der Reihe einfacher Verbindungen mit einer Doppelbindung (Alkene, Äthylen-Verbindungen) haben Trivialnamen. Die Lage der Doppelbindung wird bei längeren Molekülen durch eine am Ende des Namens angefügte Zahl gekennzeichnet. Sie bezeichnet die Stellung des ersten der beiden ungesättigten C-Atome. Im Zweifelsfall wählt man die Zahl so klein wie möglich.

Zahl der C-Atome	Name	Struktur	Formel
2	Äthylen Äthen	$C=C$	C_2H_4
3	Propylen Propen	$C-C=C$	C_3H_6
4	Buten-1	$C-C-C=C$	C_4H_8
4	Buten-2	$C-C=C-C$	C_4H_8

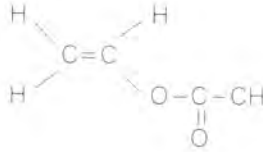
Das von Äthylen abgeleitete Radikal heißt Vinyl-Gruppe.



Wenn an der freien Bindung ein Cl hängt, so heißt die Verbindung Vinylchlorid, wenn es sich um ein OH- handelt, Vinylalkohol. Diese Namen tauchen häufig mit der Vorsilbe Poly- (viele) auf und bezeichnen Kunststoffe oder Kleber wie Polyvinylchlorid (PVC), Polyvinylalkohol (PVA) oder

Polyvinylacetat (PVAc). Diese Verbindungen entstehen durch Polymerisation einer Verbindung vieler Einzelmoleküle (**Monomere**) zu einem Großmolekül (**Polymer**).

Vinylacetat ist das Monomer von Polyvinylacetat (PVAc).



Doppelbindungen, die nur durch eine C-C-Einfachbindung getrennt sind, bezeichnet man als **konjugierte Doppelbindungen**. Ein Beispiel dafür ist Butadien-1,3 mit der Strukturformel: $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$.

Verbindungen mit mehreren konjugierten Doppelbindungen können besondere Eigenschaften aufweisen, wie etwa Benzol, das besonders stabil ist. Der Benzolring findet sich in einer Reihe von Verbindungen, die als aromatische Kohlenwasserstoffe bezeichnet werden. Das Strukturelement, der Phenyl-Rest (C_6H_5-), wird häufig mit dem Symbol  (auch **R-**) gekennzeichnet.

Die hier gegebenen Hinweise zur Nomenklatur organischer Verbindungen erheben natürlich keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern sollen nur erste Hilfen beim Gebrauch der Verbindungsnamen geben, bzw. das Auffinden von bestimmten Verbindungen in Tabellenwerken oder Katalogen erleichtern.

Abschließend noch ein Hinweis: Verbindungen, in denen der Begriff -ÄTH- vorkommt, werden auf Englisch bzw. auf Französisch -ETH- geschrieben. In jüngster Zeit wurde diese Schreibweise auch im deutschen Sprachraum vorgeschrieben. In diesem Buch wurde diese Änderung nicht berücksichtigt (mit Ausnahme von Ethanol), da vielfach noch die alte Schreibweise gebraucht wird.

HINWEISE ZU EINIGEN IN DER RESTAURIERUNG VERBREITETEN LÖSUNGSMITTELGRUPPEN

Zu den erwähnten Lösungsmitteln seien noch einige zusätzliche Informationen für die praktische Anwendung angeführt:

Aliphatische Kohlenwasserstoffe

Die aliphatischen Kohlenwasserstoffe sind, wie schon erwähnt, gute Lösungsmittel für Verbindungen, die ebenfalls überwiegend Kohlenwasserstoffgruppen enthalten. Das sind Fette, Öle, Wachse, Paraffine, Bitumen, natürlicher Kautschuk u. a. Als gute Fettlöser eignen sie sich unter anderem für die Trockenreinigung von Textilien, besonders dann, wenn Färbungen nicht stabil gegenüber Behandlungen in wässrigen Systemen sind. Von der Mineralölindustrie werden einige Lösungsmittel mit bestimmten Löseeigenschaften angeboten.

Shellsol A /29/ (gilbt, wird heute häufig durch Xylol ersetzt); es handelt sich um ein hocharomatisches Lösungsmittel. Das Produkt ist farblos und mit den meisten organischen Flüssigkeiten mischbar. Es besitzt ein gutes Lösungsvermögen für viele Öle, Fette, Wachse, Natur- und Kunstharze, Äthylcellulose, Polystyrol, Chlorkautschuk, Bitumen. Siedebereich 166°–185°, Aromatengehalt 98 Vol%, kein MAK-Wert (Empfehlung des Herstellers Shell, 250 mg/m³).

Kristallöl 30, Testbenzin /29/; es handelt sich um eine spezielle Benzinfraktion mit mildem Geruch und niedrigem Schwefelgehalt. Kristallöl 30 ist ein gutes Fettlösungsmittel. Es wird vielfach als Lösungs- und Verdünnungsmittel in der Lackindustrie eingesetzt. Siedebereich 161°–197°, Aromatengehalt 19 Gew.%, kein MAK-Wert (Empfehlung des Herstellers Shell, 600 mg/m³). In der Praxis kann Testbenzin durch Isooctan substituiert werden.

In der einschlägigen Literatur finden sich für Testbenzin eine Reihe weiterer Bezeichnungen, die nachfolgend angeführt sind:

- Lackbenzin
- Petroläther
- White Spirit
- Mineral Spirits
- Terpentinersatz

Bei Terpentinersatz handelt es sich zumeist um Gemische aus Testbenzin und Nitroverdünnung.

Nitroverdünnung ist ebenfalls eine Lösungsmittelmischung, die aus niedrigsiedenden (Aceton, Methanol oder Äthylacetat), mittelsiedenden (Ethanol, Benzol, Toluol oder Butylacetat) und hochsiedenden Komponenten (Glycolderivate und ähnliche) zusammengesetzt ist.

Terpentinersatz ist daher ein komplexes Lösungsmittelsystem. Bei seiner Verwendung für restauratorische Zwecke ist Vorsicht geboten, da die Löseeigenschaften nicht abzuschätzen sind.

Spezialbenzin 62/82, Feinbenzin /29/; schnell verdunstendes, wasserhelles Siedegrenzenbenzin mit äußerst geringem Aromatengehalt. Lösungsmittel für Fette und verschiedene schnell trocknende Klebstoffe. Siedebereich 66°–76°, Aromatengehalt weniger als 0,1 Gew%, kein MAK-Wert (Empfehlung des Herstellers Shell, 350 mg/m³). Sehr leicht entflammbar.

Ketone /30, 31/

Unter den Ketonen ist Aceton eines der bekanntesten Lösungsmittel. Aceton ist mit Wasser mischbar. Es ist ein gutes Lösungsmittel für Substanzen, die Wasserstoffbrückenbindungen aufweisen, z. B. Klebstoffe auf Nitrocellulosebasis. Infolge seiner Mischbarkeit mit Wasser kann Aceton zur Trocknung feuchter Objekte verwendet werden. Aceton verdampft sehr schnell. Das führt

zu einer starken Abkühlung der Objekt Oberfläche und kann zur Abscheidung von Kondenswasser führen, wenn die relative Luftfeuchtigkeit hoch ist. Ein dadurch häufig auftretender negativer Effekt ist das Weißanlaufen (bleaching) der behandelten Oberfläche. In vielen Fällen werden daher Ketone mit größerer Molekülmasse bevorzugt verwendet. Ein in der Restaurierung gut einsetzbares Lösungsmittel dieser Gruppe ist Diacetonalkohol (4-Hydroxy-4-Methyl-Pentan-2-on). Dieses Lösungsmittel verdampft relativ langsam und kann infolge einer vorhandenen OH-Gruppe Wasserstoffbrückenbindungen bilden. Es ist ein gutes Lösungsmittel für eine Anzahl natürlicher Harze.

Äther /30, 31/

Niedermolekulare Äther sind sehr flüchtig. Sie sind nur in geringem Umfang mit Wasser mischbar. Die Mischbarkeit mit Wasser steigt an, wenn Alkohol zugesetzt wird. Äther weisen ein gutes Lösevermögen für eine große Anzahl von Stoffen auf. Für Firnisabnahmen sind sie aber nicht geeignet, weil sie zu flüchtig sind. In manchen Fällen kann die Flüchtigkeit für die Verwendung in der Restaurierung vorteilhaft sein, und zwar dann, wenn außerordentlich empfindliche Oberflächen zu behandeln sind. Das Lösungsmittel penetriert dann kaum in die Malschichten, sodaß ein Quellen der Malschicht oder Lösungserscheinungen vermeidbar sind. Wegen der leichten Entflammbarkeit der Äther und ihrer narkotischen Wirkung sind die entsprechenden Sicherheitsvorschriften unbedingt einzuhalten.

Ester /30/

Ester bilden keine Wasserstoffbrückenbindungen mit eigenen Molekülen. Sie sind aber polar und mit Wasser mischbar. Mit Wasser kommt es zur Ausbildung von Wasserstoffbrückenbindungen. In der Restaurierung werden folgende Ester häufig verwendet:

Methylacetat	leicht flüchtig
Äthylacetat	↓
n-Butylacetat	
Amylacetat	
2-Äthoxy-äthylacetat	

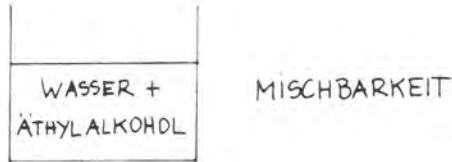
Ester sind die besten Lösungsmittel für Nitrocellulose. Ester mit größerer Molekülmasse sind gute Lösungsmittel für Polyvinylacetat und Polymethacrylat.

Zwei wichtige Lösungsmittel für spezielle Anwendungen seien noch erwähnt: N-Methyl-2-pyrrolidon ist ein selektives Lösungsmittel für Stärke, löst aber nicht Cellulose. Morpholin ist ein gutes Lösungsmittel für Schellack, Kasein und oxidiertes Leinöl /30/.

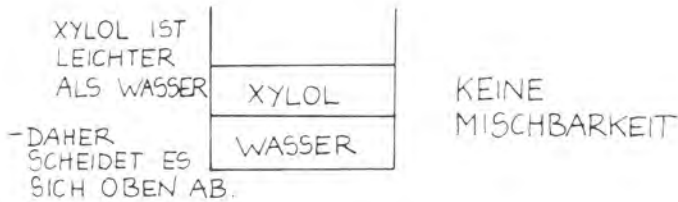
Eine Zusammenstellung der in der Konservierung verbreitet angewandten Lösungsmittel mit den wichtigsten physikalischen Kennzahlen und den Löslichkeitsparametern findet sich in Tabelle 4, p. 85 f. Hinweise zur praktischen Anwendung können Tabelle 10, p. 110 f., Tabelle 11, p. 112, Tabelle 12, p. 113 und Tabelle 16, p. 131 f. entnommen werden.

1. MISCHBARKEIT VON FLÜSSIGKEITEN

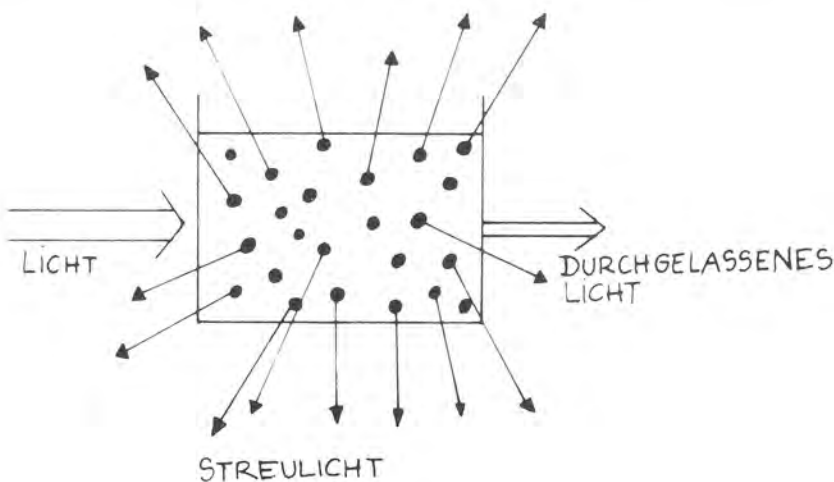
Wenn zwei Flüssigkeiten miteinander gemischt werden, so können sie eine einzige **flüssige Phase** bilden. In diesem Fall läßt sich nach dem Vermischen der Flüssigkeiten keine Trennung der beiden Komponenten feststellen. Dies ist z. B. der Fall, wenn Wasser mit Ethanol gemischt wird. Derartige Flüssigkeitssysteme werden als **mischbar** bezeichnet.



In anderen Fällen trennen sich die beiden flüssigen Komponenten voneinander und bilden zwei flüssige Phasen. Die Trennung dieser beiden Phasen ist eindeutig erkennbar. Dies ist z. B. der Fall, wenn Wasser und Xylol gemischt werden.



Wenn die beiden Flüssigkeitsschichten durch äußere Einwirkung miteinander vermischt werden (z. B. durch *Schütteln* oder *Rühren*), so wird zwar der äußere Anschein von zwei klar getrennten flüssigen Phasen gestört, trotzdem bleiben die beiden Flüssigkeiten voneinander getrennt. Man erhält eine **Suspension** von feinen Xyloltröpfchen in Wasser oder umgekehrt.



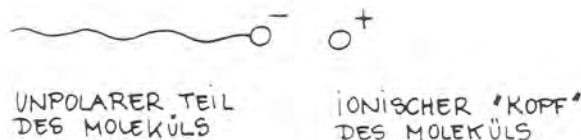
Auch wenn die Tropfengröße außerordentlich klein ist, läßt sich ihre Existenz durch die resultierende Lichtstreuung zeigen. Die Transparenz einer Suspension ist stark vermindert, und die Suspension erscheint milchig weiß, da das eingestrahlte Licht weiß ist. Suspensionen sind instabil. Man beobachtet nach einer gewissen Zeit eine völlige Trennung der beiden flüssigen Phasen, es sei denn, die Suspension wird durch oberflächenaktive Substanzen (*Netzmittel*) stabilisiert.

Für die Mischbarkeit zweier Flüssigkeiten gelten prinzipiell die gleichen Regeln, die schon für das Lösungsvermögen eines Lösungsmittels gegenüber einer Substanz angeführt wurden. Flüssigkeiten werden also dann gut mischbar sein, wenn ihre molekularen Wechselwirkungen ähnlich sind, weil dann die Moleküle der Komponenten ähnliche Wechselwirkungen miteinander eingehen können; d. h. der ungeordnete Zustand tritt bevorzugt ein. Flüssigkeiten mit deutlich verschiedenen molekularen Wechselwirkungen mischen sich schlecht, da zwischen den Molekülen der Komponenten keine bzw. nicht ausreichende Anziehungskräfte wirksam werden können. Es gibt eine Reihe von Zwei-Komponenten-Systemen, die zwischen diesen beiden Extremfällen (*völlige Mischbarkeit*, *völlige Unmischbarkeit*) angesiedelt sind. In diesen Fällen kann das Lösungsmittel-diagramm Hinweise bezüglich des Mischungsverhaltens der beiden flüssigen Komponenten geben.

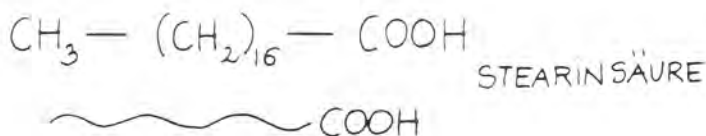
2. OBERFLÄCHENAKTIVE SUBSTANZEN

Wie schon erwähnt, lassen sich Suspensionen von nicht mischbaren Flüssigkeiten durch Zusatz von **oberflächenaktiven Substanzen** (*Netzmittel*, *Waschmittel*) stabilisieren (vgl. p. 134 f.).

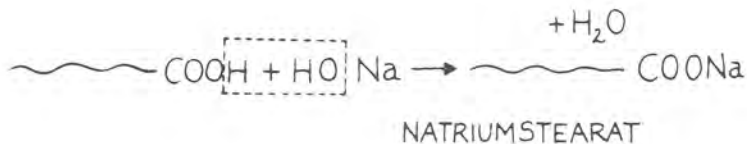
Die Moleküle oberflächenaktiver Substanzen enthalten einen langen unpolaren Teil und einen kurzen polaren »Kopf«. Der gängigste Fall ist, daß der polare Teil aus einem großen negativen Ion und einem kleinen positiven Ion besteht.



Solche Substanzen können aus langkettigen organischen Säuren hergestellt werden (z. B. aus Stearinsäure).

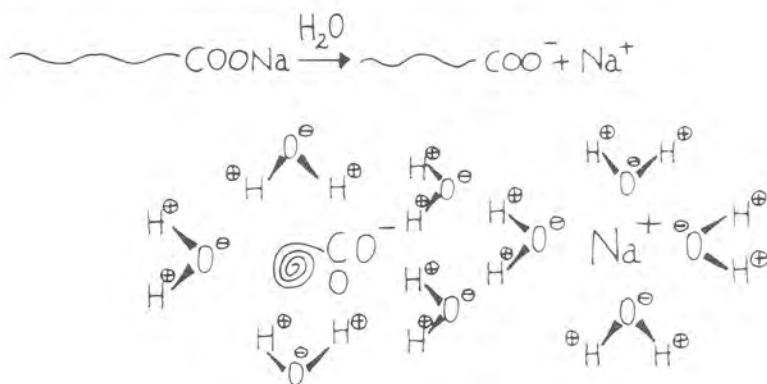


Wenn man Stearinsäure mit Natronlauge zur Reaktion bringt (*»neutralisiert«*), so wird das Natriumsalz der Säure gebildet.



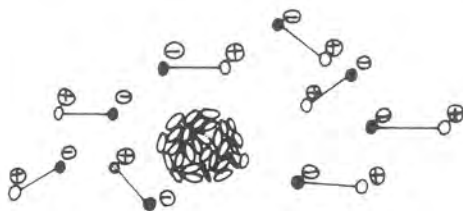
NATRIUMSALZ DER STEARINSÄURE

In wässriger Lösung wird dieses Salz ionisiert, und die Wassermoleküle umhüllen sowohl das positive Ion als auch den negativ geladenen Säurerest.

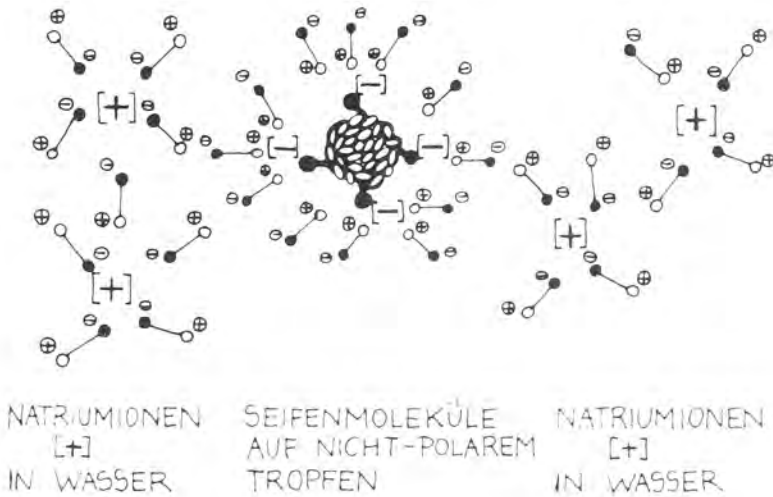


SEIFE IN WASSER

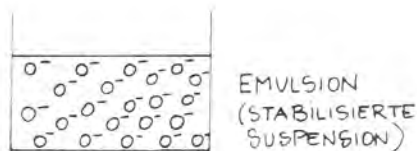
Eine solche Verbindung wird als **Seife** bezeichnet. Die Oberflächenaktivität von Seife läßt sich darauf zurückführen, daß der unpolare Teil des Moleküls an unpolaren Materialien haftet, während der polare »Kopf« mit den Wassermolekülen Wasserstoffbrückenbindungen ausbildet. Wenn man einen Tropfen einer unpolaren Substanz betrachtet, die mit Wasser eine instabile Suspension bildet,



so läßt sich aus den schematischen Darstellungen erkennen wie durch den Seifenzusatz die Suspension stabilisiert werden kann.

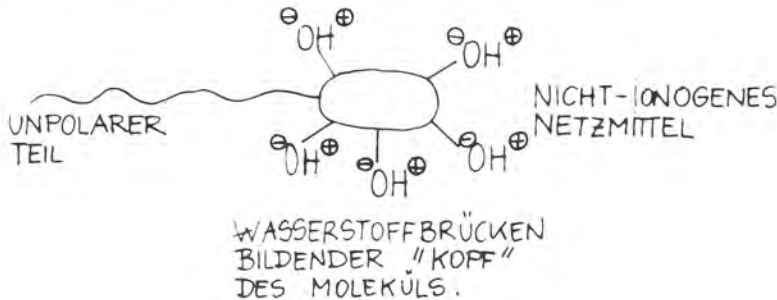


Die Tropfen der unpolaren Substanz können sich nicht mehr zusammenballen, weil sie durch die Anlagerung der oberflächenaktiven Substanz (Säurerest mit negativer Ladung) eine negative Ladung tragen und daher einander abstoßen. Eine **stabilisierte Suspension** wird als **Emulsion** bezeichnet.

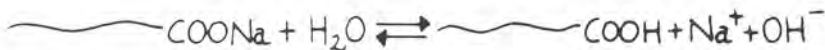


Emulsionen können von Lösungen leicht unterschieden werden, da sie infolge der Lichtstrahlung milchig weiß sind (Milch ist eine natürliche Emulsion). Echte Lösungen sind demgegenüber klar. Die reinigende Wirkung von Seifen und anderen oberflächenaktiven Substanzen (allgemein als Detergentien bezeichnet) beruht auf einer feinen Verteilung von schwer löslichen Schmutzpartikeln infolge der Bildung einer stabilen Suspension (vgl. Abb. 16, p. 135).

Nichtionische Netzmittel bestehen aus einem langkettigen unpolaren Molekül, dessen »Kopf« verschiedene Alkoholgruppen ($-OH$) oder andere Gruppen enthält, die zur Ausbildung von Wasserstoffbrückenbindungen mit Wassermolekülen befähigt sind.



Nichtionische Netzmittel besitzen die gleiche Wirksamkeit wie Seifen. Es entstehen aber keine Natriumionen und die Lösung weist daher keine Alkalität auf. Bei Seifen handelt es sich um Natriumsalze schwacher organischer Säuren, die gemäß der folgenden Reaktionsgleichung in wässriger Lösung basisch reagieren.



Diese Reaktion heißt **Hydrolyse**. Im vorliegenden Fall entstehen Hydroxylionen (OH^-). Aus diesem Grunde können Seifen Schäden an den behandelten Objekten verursachen, wenn diese empfindlich gegen Basen sind (z. B. Farbstoffe bei Textilien, vgl. p. 123).

3. KONZENTRATIONSANGABEN VON LÖSUNGEN

Bei der Herstellung einer Lösung durch Mischung einer Flüssigkeit mit einer oder mehreren Substanzen, kann die Zusammensetzung der resultierenden Lösung durch die Menge des gelösten Stoffes in einer definierten Lösungsmenge beschrieben werden. Diese Angabe ist die **Konzentration** der gelösten Substanz in der Lösung.

Bei Lösung von Feststoffen in Flüssigkeiten wird die Konzentration häufig in Gramm Feststoff pro 100 ml Lösungsmittel angegeben. Da im allgemeinen eine nur geringe Differenz zwischen dem Volumen der Lösung und jenem des Lösungsmittels vorhanden ist, kann der entsprechende Fehler in der angegebenen Definition vernachlässigt werden.

BEISPIEL : 10 GRAMM NaCl WERDEN IN
500 MILLILITER WASSER GELÖST
KONZENTRATION VON NaCl IN WASSER $\frac{10}{500} = 2\%$ ($\%$)

Das Symbol G / V bedeutet Gewicht / Volumen % und bezeichnet die Einheiten, die für die Berechnung herangezogen werden. Gewichts / Gewichts % bzw. Volums / Volums % sind ebenfalls gebräuchlich, letztere im Falle von Flüssigkeitsmischungen.

BEISPIEL : ACETON WIRD 1 ZU 4 MIT WASSER
VERDÜNNT

(D.H.) 3 TEILE WASSER WERDEN MIT 1 TEIL
ACETON GEMISCHT (3+1)

KONZENTRATION VON ACETON $\frac{1}{4} = 25\%$ (%)

Bei der Angabe von Konzentrationen in Prozenten müssen die entsprechenden Einheiten (G / V, G / G oder V / V) genannt werden. Falls die Berechnungsgrundlage geändert wird, können sich die Resultate verändern, sodaß die Angaben nicht mehr vergleichbar sind.

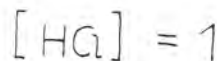
Der Chemiker drückt Konzentrationen in vielen Fällen in **mol pro Liter** aus. Ein mol ist definiert als das Molekulargewicht in Gramm.

BEISPIEL : SALZSÄURE HCl
MOLEKULARGEWICHT = 36
1 MOL = 36 g

LÖSUNG 1 mol = 1 MOL/LITER = 36g/LITER = 3,6g/100ml = 3,6% (g/v)

LÖSUNG 0,5 mol = 0,5 MOL/LITER = 18g/LITER = 1,8g/100ml = 1,8% (g/v)

Eine Lösung mit der Konzentrationsangabe 1 mol wird **1 molar** genannt (abgekürzt 1 mol bzw. 1 M); eine Lösung mit der halben Konzentration ist daher 0,5 molar bzw. 0,5 mol oder 0,5 M



Die eckigen Klammern in der oben angegebenen Gleichung bezeichnen molare Konzentrationen. Die Gleichung bedeutet daher in einfachen Worten, daß es sich hier um eine Lösung von Salzsäure mit der Konzentration 1 mol / l (1 molar) handelt.

Man findet häufig den Begriff «Gesättigte Lösung». Feste Stoffe haben in Flüssigkeiten eine Löslichkeitsgrenze, die man als Löslichkeit bezeichnet. Eine Lösung, welche die maximale Menge des gelösten Stoffes enthält, heißt gesättigt. Ihre Konzentration ist temperaturabhängig. Jeder Stoff hat in jedem Lösungsmittel eine andere Löslichkeit (Sättigung).

4. SAURE UND BASISCHE LÖSUNGEN, PH-WERT

In der Praxis ist es von Bedeutung, ob eine wässrige Lösung sauer oder alkalisch reagiert.

Definitionsgemäß ist eine Lösung:

sauer, wenn die Konzentration der Wasserstoffionen größer ist als die der Hydroxylionen

$$[H^+] > [OH^-]$$

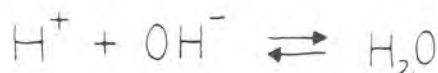
neutral, wenn die Konzentration der Wasserstoffionen und der Hydroxylionen gleich ist

$$[OH^-] = [H^+]$$

basisch, wenn die Konzentration der Hydroxylionen größer ist als die der Wasserstoffionen.

$$[OH^-] > [H^+]$$

Auch Wasser ist, wenn auch nur in geringem Maße, dissoziiert.



Es handelt sich um eine Gleichgewichtsreaktion. Der dissoziierte Teil ist gegenüber den undissoziierten Wassermolekülen sehr klein. Die Konzentration des undissoziierten Anteils kann daher als konstant betrachtet werden, und man kann folgende Gleichung aufstellen:

$$[H^+] \times [OH^-] = \text{KONSTANT} = 10^{-14}$$

$$\text{KONSTANTE} = 10^{-14}$$

Die Konstante (das Ionenprodukt des Wassers) beträgt bei 22° 10^{-14} . Diese Zahl ist außerordentlich klein und besitzt dreizehn Nullen nach dem Komma.

Entsprechend der angeführten Gleichung läßt sich die Konzentration der Hydroxylionen be-

rechnen, wenn man die Wasserstoffionenkonzentration kennt. Üblicherweise wird die Wasserstoffionenkonzentration gemessen, um zu bestimmen, ob eine Lösung sauer oder alkalisch ist.

Wenn eine Lösung neutral ist und die folgenden Gleichungen erfüllt sind,

$$\begin{array}{l} [H^+] = [OH^-] \quad \text{UND} \quad [H^+] \times [OH^-] = 10^{-14} \\ \text{DAHER} \quad [H^+] = 10^{-7} \quad [OH^-] = 10^{-7} \end{array}$$

so ergibt sich die Wasserstoffionenkonzentration als 10^{-7} . Aus Gründen der Vereinfachung wird dieser Wert als negativer dekadischer Logarithmus ausgedrückt (= 7). Dies ist die Definition des **pH-Wertes**, d. h.:

$$\text{pH EINER NEUTRALEN LÖSUNG} = 7$$

Eine stark alkalische Lösung kann die Hydroxylionenkonzentration von 1 aufweisen (dies ist der Fall bei einer 1 molaren NaOH-Lösung). Gemäß der bereits angeführten Definition ergibt sich der pH-Wert dieser Lösung als:

$$\begin{array}{l} \text{WENN } [OH^-] = 1 \quad \text{UND} \quad [H^+] \times [OH^-] = 10^{-14} \\ [H^+] \times 1 = 10^{-14} \quad [H^+] = 10^{-14} \\ \text{REZIPROKER WERT} = 10^{14} \quad \text{LOGARITHMUS} = 14 \quad \text{pH} = 14 \end{array}$$

$$\text{pH EINER STARK BASISCHEN LÖSUNG} = 14$$

Entsprechend kann die Wasserstoffionenkonzentration einer stark sauren Lösung 0,1 betragen (z. B. im Falle einer 0,1 molaren HCl-Lösung). In diesem Fall ergibt sich der pH-Wert der Lösung wie folgt:

$$\begin{array}{l} \text{WENN } [H^+] = 0,1 = 10^{-1} \quad \text{UND} \quad [H^+] \times [OH^-] = 10^{-14} \\ [OH^-] = 10^{-13} \quad [H^+] = 10^{-1} \\ \text{REZIPROKER WERT} = 10^1 \quad \text{LOGARITHMUS} = 1 \quad \text{pH} = 1 \end{array}$$

$$\text{pH EINER STARK SAUREN LÖSUNG} = 1$$

Wenn die Wasserstoffionenkonzentration 1 ist (im Fall einer 1 molaren HCl-Lösung), ist der pH-Wert nicht 1 sondern 0, weil:

$$[H^+] = 1 = 10^0 \quad \text{REZIPROKER WERT} = 10^0 \quad \text{LOGARITHMUS} = 0$$

pH EINER ÄUSSERST SAUREN LÖSUNG = 0

Mit Hilfe von Indikatoren lassen sich pH-Wert-Messungen durchführen. Indikatoren sind Farbstoffe, die bei einem bestimmten pH-Wert einen Farbumschlag zeigen (ein Beispiel dafür ist die Veränderung der Farbe von Tee bei Zugabe von Zitrone).

Der pH-Wert läßt sich auch mit elektrischen Meßgeräten, sogenannten pH-Metern messen.

5. ANWENDUNG VON LÖSUNGSMITTELN, VERDUNSTUNGSZAHL

Für eine bestimmte Aufgabenstellung muß ein Lösungsmittel sinnvoll gemäß seiner **Verdunstungszahl** ausgewählt werden. Dies soll am Beispiel der Reinigung von Gemälden aufgezeigt werden. Ein Lösungsmittel, das sehr rasch verdunstet, wie z. B. Aceton, erschwert die Abnahme eines oxidierten Firnisüberzuges. In diesem Fall verdunstet das Lösungsmittel bevor die Firnissschicht ausreichend erweicht ist und entfernt werden kann. Andererseits, im Falle einer zu langsamen Verdunstung des Lösungsmittels, kann die lange Einwirkungsdauer zu einer Erweichung der originalen Malschichten führen, die dann durch die mechanische Beanspruchung bei der Firnisabnahme beschädigt werden. Außerdem werden feuchte Oberflächen (wie sie bei langsam verdampfenden Lösungsmitteln über längere Zeiträume vorliegen) sehr schnell durch Staub wieder verschmutzt. Beispiele für sehr langsam verdampfende Lösungsmittel sind Glycerin und Triäthanolamin.

Bei Festigungen von Malschichten werden Lösungsmittel zur Verdünnung des Festigungsmittels bzw. Klebstoffes eingesetzt und sollen die Penetration des Festigungsmittels erleichtern. In solchen Fällen können Lösungsmittel, die eine hohe Verdunstungszahl aufweisen, das Eindringen des Festigungsmittels verhindern, während Lösungsmittel mit niedrigen Verdunstungszahlen dazu führen, daß das behandelte Objekt lange Zeit klebrig bleibt.

Die Verdunstungszahlen lassen sich leicht abschätzen, wenn der **Dampfdruck** eines Lösungsmittels bei Raumtemperatur bekannt ist. Er wird in mm Quecksilbersäule angegeben (mm Hg). Man erinnere sich, daß eine Lösung kocht, wenn ihr Dampfdruck dem der Atmosphäre gleich ist, also 760 mm Hg beträgt.

Lösungsmittel, deren Dampfdruck bei Raumtemperatur zwischen 2 und 5 mm Hg beträgt, sind im allgemeinen für konservatorische Zwecke gut geeignet. In einem größeren Bereich von 1 bis 20 mm Hg sind sie für spezielle Anwendungen in der Konservierung geeignet. Leider ist häufig der Dampfdruck für verschiedene Lösungsmittel bei Raumtemperatur nicht angegeben (*einige Daten sind in Tabelle 4, p. 85 f. angeführt*).

In solchen Fällen kann der Siedepunkt des Lösungsmittels einen nützlichen Hinweis geben. Kohlenwasserstoff-Lösungsmittel mit einem Siedebereich zwischen 130° und 170° erscheinen für restauratorische Arbeiten gut geeignet. Der Siedepunkt von polaren Lösungsmitteln kann niedriger liegen, da in diesem Fall der Dampfdruck stärker mit der Temperatur abfällt.

Wasser (Siedepunkt 100°) ist ein brauchbares Lösungsmittel, Ethanol (Siedepunkt 78°) ist etwas zu »schnell«, aber immer noch brauchbar.

6. GEFÄHRLICHKEIT VON LÖSUNGSMITTELN, GIFTIGKEIT, BRENNBARKEIT

Viele Lösungsmittel sind giftig und verursachen Vergiftungserscheinungen, wenn man ihren Dämpfen längere Zeit ausgesetzt ist. Die Gefährlichkeit von Lösungsmitteln wird am deutlichsten, wenn man die maximal zulässigen Konzentrationen am Arbeitsplatz in Betracht zieht (in der Bundesrepublik Deutschland als MAK-Werte publiziert, in anderen Ländern wird die maximale Arbeitsplatzkonzentration als TLV bezeichnet). Die Konzentrationsangaben bei diesen Daten werden in parts per million (ppm) gemacht. Sehr niedrige Werte, beispielsweise 25, bedeuten eine relativ starke Giftigkeit. Werte zwischen 25 und 100 entsprechen einer mittleren Giftigkeit (es ist zu beachten, daß eine Reihe gängiger Lösungsmittel in diesen Bereich fällt), während Werte zwischen 100 und 1000 eine nur geringfügige Giftigkeit bedeuten.

Lösungsmittel, deren MAK-Wert über 1000 liegt, können als ungiftig betrachtet werden.

Man sollte im Auge behalten, daß die Daten der maximalen Arbeitsplatzkonzentration (MAK), also die Giftigkeit von Lösungsmitteln, dauernd überprüft und geändert werden. Im allgemeinen werden sie herabgesetzt, weil auf Grund neuer Forschungsergebnisse niedrigere Konzentrationen bereits als gefährlich erkannt wurden. Es ist daher anzuraten, Lösungsmittel in jedem Fall als potentiell gefährlich zu betrachten und die entsprechenden Vorsichtsmaßnahmen zu beachten.

Besondere Sorgfalt ist bei der Reinigung von Gemälden geboten, da in diesem Fall aufgrund der Arbeitstechnik hohe Konzentrationen von Lösungsmitteldämpfen über längere Zeiträume auf den Organismus des Bearbeiters einwirken. Ebenfalls besondere Vorsicht ist bei der Verwendung brennbarer Flüssigkeiten geboten. Die Entzündbarkeit eines Lösungsmittels wird durch den **Flammpunkt** gemessen. Der Flammpunkt ist die Temperatur, oberhalb der ein Gemisch aus Lösungsmitteldampf und Luft mittels eines Funkens oder einer Flamme entzündet wird. Wenn der Flammpunkt eines Lösungsmittels niedriger ist als die Raumtemperatur, oder nur knapp darüber, müssen die Sicherheitsbestimmungen außerordentlich sorgfältig beachtet werden. Die üblichen Transportbestimmungen bezeichnen Lösungsmittel mit einem Flammpunkt unter 37° als gefährlich. Es wird viel zu selten beachtet, daß die Entzündung üblicherweise in der Gasphase stattfindet und nicht in der Flüssigkeit selber. Daher kann es bei Verwendung leicht flüchtiger Lösungsmittel ab einer bestimmten Sättigung der Raumlüft mit dem Lösungsmitteldampf bereits durch Funkenbildung (z. B. beim Einschalten eines Lichtschalters oder durch eine Zigarette, auch wenn diese weit von der brennbaren Flüssigkeit entfernt ist) zur Entzündung kommen.

7. LÖSUNGSMITTELMISCHUNGEN

Lösungsmittelmischungen werden häufig für konservatorische Zwecke eingesetzt. Die Löseeigenschaften dieser Mischungen können theoretisch abgeschätzt werden, wenn die Lösungsmittelparameter der Komponenten bekannt sind.

Die entsprechenden Parameter einer Mischung lassen sich durch Multiplikation der Daten jeder Komponente mit ihrer Konzentration in der Mischung berechnen, wobei die für die Komponenten erhaltenen Werte addiert den entsprechenden Parameter der Mischung ergeben.

Die Lösungsmittelparameter, die in der Literatur angegeben sind, sind im allgemeinen mit einer solchen Ungenauigkeit behaftet, daß für die Berechnung der Lösungsmittelparameter von Lösungsmittelgemischen Konzentrationsangaben in Vol% (%V / V) bzw. Gew% (%G / G) hinrei-

chende Genauigkeit aufweisen. In einem Beispiel sollen nachfolgend die Daten für eine Mischung von Methylisobutylketon (30% V/V), Methylcellosolve (30% V/V) und Dimethylformamid (40% V/V) berechnet werden.

	PARAMETER		
	N	D	W
METHYLISOBUTYLKETON	58	22	20
METHYL-CELLOSOLVE	39	22	39
DIMETHYLFORMAMID (DMF)	41	32	27

PARAMETER WERDEN MIT KONZENTRATIONSENGANGEN
MULTIPLIZIERT

	N	D	W
METHYLISOBUTYLKETON (30%)	$58 \times \frac{30}{100}$	$22 \times \frac{30}{100}$	$20 \times \frac{30}{100}$
METHYLCELLOSOLVE (30%)	$39 \times \frac{30}{100}$	$22 \times \frac{30}{100}$	$39 \times \frac{30}{100}$
DIMETHYLFORMAMID (40%) (DMF)	$41 \times \frac{40}{100}$	$32 \times \frac{40}{100}$	$27 \times \frac{40}{100}$

PARAMETER DER MISCHUNG

	N	D	W
METHYLISOBUTYLKETON	17,4	6,6	6,0
METHYLCELLOSOLVE	11,7	6,6	11,7
DIMETHYLFORMAMID (DMF)	16,4	12,8	10,8
	<u>45,5</u>	<u>26,0</u>	<u>28,5 = 100</u>

Mit Hilfe der berechneten Daten kann dieses Lösungsmittelsystem im **Lösungsmitteldreieck** eingetragen werden und sein Löseverhalten gegenüber Feststoffen, deren Lösungsbereich bekannt ist, abgeschätzt werden. Für den Fall, daß saure oder basische Komponenten Lösungsmittelsystemen zugemischt werden, lassen sich die Löseeigenschaften der resultierenden Mischungen nicht auf Grund der Lösungsparameter abschätzen, da in diesem Fall mögliche chemische Reaktionen mit in die Betrachtung einbezogen werden müssen.

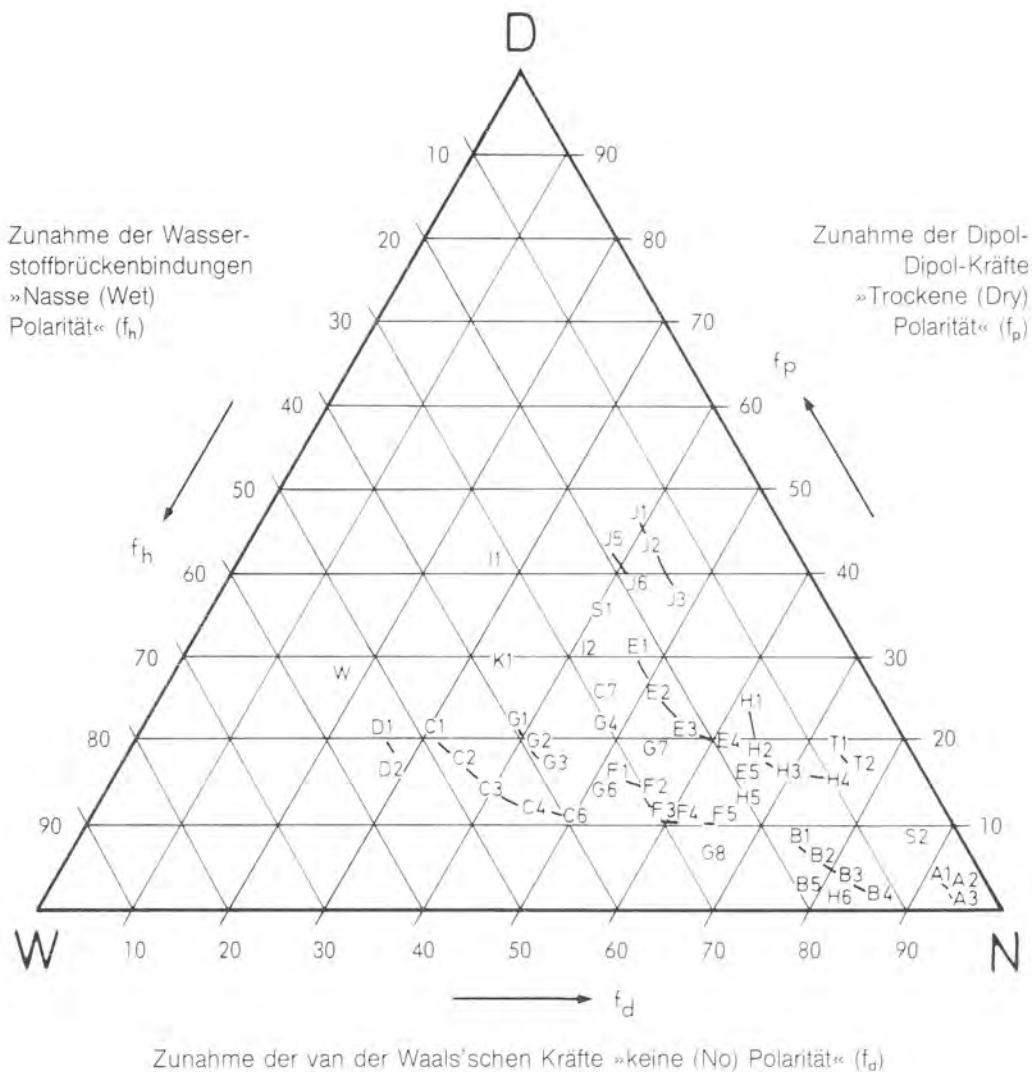


Abb. 1: Lösungsmitteldreieck

Die Daten der eingetragenen Lösungsmittel wurden der Arbeit »Predicting Resin Solubilities« von J. P. Teas (publiziert v. Ashland Chemicals Company, Columbus, Ohio /17/) entnommen. Vgl. auch die Tabelle der Lösungsmittel auf den folgenden Seiten.

- D = Dipol-Dipol-Wechselwirkungen
- W = Wasserstoffbrücken
- N = Dispersionskräfte, van der Waals'sche Kräfte

Tabelle 4: Zusammenstellung der gängigen Lösungsmittel und ihrer wichtigsten Parameter

Bez. im Diagramm	Verbindungsname	Siedepunkt °C	Dampfdruck mmHg °C		spez. Gew. g/cm ³	Toxizität ppm	Flammpunkt °C	Löslichkeitsparameter		
								N f _d	D f _p	W f _h
	Aliphatische Kohlenwasserstoffe									
A 1	Mineralölfraktionen (white spirit)	150-200	14	50	0,77	500	38	90	4	6
A 2	V.M. & P-naphtha (Varnish Makers & Painters Naphtha)	118-139	—	—	0,75	470	-7	94	3	3
A 3	geruchlose Mineralölfraktionen	181-200	—	—	0,76	—	54	98	1	1
—	n-Heptan	99	40	22	0,68	400	-4	100	0	0
	Aromatische Kohlenwasserstoffe									
B 1	Benzol	80	74,6	20	0,88	10	-11	78	8	14
B 2	Toluol	110	22	20	0,86	100	4	80	7	13
B 3	Xylol	138-140	10	30	0,87	100	17	83	5	12
B 4	Äthylbenzol	136	10	25	0,86	100	15	87	3	10
B 5	Styrol	146	6,5	25	0,91	50	31	78	4	18
	Cyclische Kohlenwasserstoffe									
T 1	Dipenten	176	2	20	0,84	100	41	75	20	5
T 2	Terpentin	154-170	4	20	0,85-0,87	100	34	77	18	5
—	Cyclohexan	81	77	20	0,78	300	-20	94	2	4
	Alkohole									
C 1	Methylalkohol (Methanol)	65	95	20	0,79	200	10	30	22	48
C 2	Äthylalkohol (Ethanol)	78	40	20	0,79	1000	12	36	18	46
C 3	Propylalkohol (Propanol)	97	21	25	0,80	200	25	40	16	44
—	Isopropylalkohol (Isopropanol)	82	33	20	0,79	400	12	41	18	41
C 4	Butylalkohol (Butanol)	117	5,5	20	0,81	50	24	43	15	42
—	sekundärer Butylalkohol (s-Butanol)	99	12	20	0,81	50	23	—	—	—

Tabelle 4: Fortsetzung

Bez. im Diagramm	Verbindungsname	Siedepunkt °C	Dampfdruck mmHg °C		spez. Gew. g/cm ³	Toxizität ppm	Flammpunkt °C	Löslichkeitsparameter		
								N f _d	D f _p	W f _n
–	Alkohole									
–	Isobutylalkohol (Isobutanol)	108	9	20	0.80	100	37	–	–	–
–	tertiärer Butylalkohol (t-Butanol)	82	45	25	0.78	100	11	–	–	–
–	n-Amylalkohol	138	1	13	0.82	100	37	46	13	41
C 6	Cyclohexanol	161	1	20	0.95	50	67	50	12	38
D 1	Glycerin (Glycerol)	290	0,0025	30	1,26	–	175	25	23	52
D 2	Äthylenglykol (Glykol)	198	0,06	20	1,11	100	115	30	18	52
–	Äthylenchlorhydrin (2-Chloroäthanol)	128	4,9	20	1,20	1	60	–	–	–
C 7	Diacetonalkohol (4-Hydroxy-4-methylpentanon-2)	168	1	20	0.93	50	65	45	24	31
–	Methylisobutylcarbinol	132	3	20	0.81	25	54	50	10	40
W	Wasser	100	17	20	1	–	–	18	28	54
	Ketone									
E 1	Aceton	56	178	20	0.79	750	19	47	32	21
E 2	Methyläthylketon (Äthylmethylketon)	80	77	20	0.81	200	-6	53	26	21
–	Methyl-n-Propylketon	102	16	20	0.81	200	7	–	–	–
E 3	Methylisobutylketon	117	7,5	25	0.80	50	17	58	22	20
–	Mesityloxid	129	9	20	0.86	15	32	55	24	21
E 4	Methylisoamylketon (2-Hexanon-5-methyl)	144	–	–	0.82	100	35	62	20	18
E 5	Diisobutylketon (4-Heptanon-2,6-dimethyl)	168	1,7	20	0.81	50	49	67	16	17
E 6	Cyclohexanon	156	4,5	25	0.95	25	44	55	28	17
	Ester									
F 1	Äthylacetat	77	73	20	0.90	400	-4	51	18	31

Tabelle 4: Fortsetzung

Bez. im Dia- gramm	Verbindungs- name	Siede- punkt °C	Dampf- druck mmHg °C		spez. Gew. g/cm ³	Toxi- zität ppm	Flamm- punkt °C	Löslichkeits- parameter		
								N	D	W
								f _d	f _p	f _n
	Ester									
F 2	Propylacetat	102	35	25	0,89	200	14	57	15	28
F 3	Butylacetat	126	10	20	0,88	150	22	60	13	27
F 4	Isobutyl- isobutyrat	147	10	38	0,86	–	49	63	12	25
F 5	Amylacetat	149	5	25	0,88	100	25	60	12	28
–	Isoamylacetat	143	6	25	0,88	100	23	60	12	28
	Äther									
–	Diäthyläther (Äther)	35	439	20	0,71	400	-45	67	23	10
G 1	Methyl- cellosolve	125	6	20	0,97	25	38	39	22	39
G 2	Äthyl- cellosolve (Cellosolve)	135	4	20	0,93	100	40	42	20	38
G 3	Butyl- cellosolve	171	0,6	20	0,90	50	60	46	18	36
G 4	Diäthylgly- coläthyläther (Carbitol)	202	0,13	20	0,99	–	96	48	23	29
G 6	Cellosolve- acetat	156	1	20	0,97	25	47	51	15	34
G 7	Tetrahydro- furan (THF)	65	114	15	0,89	200	-17	55	19	26
G 8	Dioxan	101	37	25	1,03	25	11	67	7	26
	Chlorierte Kohlen- wasserstoffe									
H 1	Methylenchlorid (Dichlor- methan)	40	440	25	1,33	100	n.e.*	62	26	12
H 2	Äthylenchlorid (1,2-Dichlor- äthan)	84	78	20	1,26	50	13	67	19	14
H 3	Trichloräthan (Chloroethene/ Genklene)	74	100	20	1,34	350	n.e.	70	19	11
H 4	Chlorbenzol	132	10	22	1,11	75	29	75	17	18
H 5	Trichloräthylen (Trielin)	87	58	20	1,46	50	n.e.	68	12	20

* n. e. = nicht entflammbar

Tabelle 4: Fortsetzung

Bez. im Dia- gramm	Verbindungs- name	Siede- punkt °C	Dampf- druck mmHg °C		spez. Gew. g/cm ³	Toxi- zität ppm	Flamm- punkt °C	Löslichkeits- parameter		
								N f _N	D f _D	W t _H
	Chlorierte Kohlen- wasserstoffe									
–	Chloroform (Trichlormethan)	61	160	20	1,49	10	n.e.*	67	12	21
H 6	Tetrachlor- kohlenstoff	77	91	20	1,59	5	n.e.*	85	2	13
	Stickstoff- haltige Verbindungen									
I 1	Formamid	211	–	–	1,13	–	154	28	42	30
I 2	Dimethylform- amid (DMF)	153	4	25	0,94	10	67	41	32	27
J 1	Nitromethan	101	28	20	1,13	100	35	40	47	13
J 2	Nitroäthan	115	16	20	1,05	100	28	44	43	13
J 3	Nitropropan	132	7	20	1,00	15	18	50	37	13
J 5	Acetonitril** (Methylcyanid)	80	100	27	0,79	40**	6	39	45	16
J 6	Butyronitril (Propylcyanid)	118	–	–	0,80	–	–	46	38	16
	Basen									
–	n-Butylamin	78	–	–	0,76	5	-12	59	14	27
–	Cyclohexylamin	134	15	30	0,87	10	32	65	11	24
–	Pyridin	115	20	25	0,98	5	20	56	26	18
K 1	Äthanolamin (Monoäthanol- amin)	171	6	60	1,02	3	85	31	29	40
–	Triäthanolamin	343	–	–	1,13	–	179	–	–	–
–	Morpholin	128	–	–	1,00	20	38	53	21	26
	Säuren									
–	Ameisensäure	101	40	24	1,23	5	69			
–	Essigsäure	118	11	20	1,05	10	40			
	Schwefel- haltige Verbindungen									
S 1	Dimethylsulf- oxid	100	0,37	20	1,10	–	95	41	36	23
S 2	Schwefel- kohlenstoff	46	360	20	1,27	10	-30	88	8	4

* n. e. = nicht entflammbar, ** sehr giftig

Tabelle 5: Löslichkeitsparameter von einigen Polymeren und Harzen

	N	D	W
Polymethylmethacrylat	51	27	22
Polyäthylacrylat (Lucite 2042)	55	32	13
Polyvinylacetat (PVAc) (Mowilith 50)	51	27	22
Polyvinylbutyral (Butvar B 76)	46	24	30
Polyvinylchlorid (PVC) (Vipla KR)	54	26	20
Epoxydharz vor der Aushärtung (Epikote 1001)	44	28	28
Polystyrol (Polystyrol LG)	63	22	15
Polyamid (Versamide 930)	56	5	39
Petroleum-Kohlenwasserstoffharz (Piccopale 110)	72	13	15
Nitrocellulose	38	38	24
Äthylcellulose	47	28	25
Harnstoff-Formaldehydharz	48	20	32
Kolophoniumester (Cellolyn 102)	57	19	24

N: keine Polarität, van der Waals'sche Kräfte, f_{\pm}

D: Trockene Polarität, Dipol-Dipol-Wechselwirkungen, f_{\pm}^2

W: Nasse Polarität, Wasserstoffbrückenbindungen, f_{\pm}

LÖSUNGSMITTELPARAMETER – GEBRAUCH DES LÖSUNGSMITTELDREIECKS

Die bisherigen allgemeinen Feststellungen zur Mischbarkeit oder Löslichkeit verschiedener Stoffe beschränkten sich im wesentlichen auf die Tatsache, daß im Falle ähnlicher zwischenmolekularer Wechselwirkungen die Wahrscheinlichkeit der Mischung bzw. der Lösung groß ist. Diese qualitative Feststellung muß quantifiziert werden, damit Voraussagen über die Löslichkeit verschiedener Stoffe gemacht werden können. Dazu ist die Einführung einer meßbaren Größe für die Gesamtheit der zwischen den vorhandenen Molekülen wirkenden Kräfte notwendig. Von J. H. Hildebrand /32/ wurde dazu die sogenannte Kohäsionsenergiedichte eingeführt. J. H. Hildebrand ging von der Überlegung aus, daß für die Trennung der Moleküle durch Verdampfen die vorhandenen Anziehungskräfte zwischen den Molekülen durch Energiezufuhr überwunden werden müssen. Bezogen auf die Volumseinheit (1 cm^3) definierte er den Begriff der Kohäsionsenergiedichte. Die Quadratwurzel der kohäsiven Energiedichte wird als Löslichkeitsparameter (δ) bezeichnet. Der Löslichkeitsparameter ist damit natürlich auch ein direktes Maß für die intermolekularen Anziehungskräfte in Lösungsmitteln und ist für jedes Lösungsmittel eine konstante, temperaturabhängige Größe. Die Bestimmung von δ ist bei niedermolekularen Stoffen relativ einfach und erfolgt durch Messung der Verdampfungswärme und des Molvolumens eines Stoffes.

Mit der Definition des Löslichkeitsparameters hat man eine quantitative Aussage über die wirksamen zwischenmolekularen Kräfte bei Lösungsmitteln. Aufgrund der gemessenen Daten kann man das Löslichkeitsverhalten bzw. die Mischbarkeit von Lösungsmitteln abschätzen. Im allgemeinen sind Lösemittel dann miteinander gut mischbar, wenn $\Delta\delta$ höchstens vier bis sechs Einheiten beträgt. Polymere sind in Lösungsmitteln dann gut löslich, wenn die entsprechenden Löslichkeitsparameter von vergleichbarer Größenordnung sind.

Die Erfolge bei der Verwendung von Löslichkeitsparametern bezüglich der Voraussage des Lösungsverhaltens verschiedener Stoffe sind eindrucksvoll. Es ist aber zu berücksichtigen, daß bei der Definition verschiedene Vereinfachungen vorgenommen wurden, und es gibt zahlreiche Systeme, bei denen der Löslichkeitsparameter versagt. Aufgrund der gemessenen Löslichkeitsparameter von Lösungsmitteln lassen sich die Löslichkeitsparameter von unbekanntem, polymeren Stoffen bestimmen, etwa durch Messung des Quellverhaltens eines Polymeren. Solche Messungen wurden von N. Stolow /33, 34/ zur Bestimmung der Löslichkeitsparameter verschiedener Firnisüberzüge durchgeführt.

Eine einzige Größe reicht aber nicht immer aus, um das Lösungsverhalten eines Stoffes mit genügender Exaktheit vorauszusagen. Die Schwierigkeit liegt darin, daß der Löslichkeitsparameter δ die Summe der unterschiedlichen zwischenmolekularen Anziehungskräfte erfaßt. Das Verhalten eines Lösungsmittels kann aber wesentlich leichter beurteilt werden, wenn der Löslichkeitsparameter die Größenordnung der unterschiedlichen Wechselwirkungskräfte (Dipol-Dipol-Kräfte, Wasserstoffbrückenbindungen, van der Waals'sche- bzw. Dispersionskräfte) berücksichtigt. Nach C. Hansen /35, 36/ wird der Löslichkeitsparameter nach folgender Gleichung in die entsprechenden Komponenten aufgeteilt:

$$\delta^2 = \delta_d^2 + \delta_p^2 + \delta_h^2$$

In dieser Gleichung stehen die Indices d für die unpolaren Dispersionskräfte (van der Waals'sche Kräfte), p für die polaren Dipolkräfte und h für die Wasserstoffbrücken. Mit den entsprechenden Zahlenwerten lassen sich die Lösungsmittel in einem dreidimensionalen Raumdiagramm darstellen, wobei die Lage im Diagramm das Lösungsverhalten beschreibt. Von C. Hansen /35/ wurden die Daten für diese »dreidimensionalen« Lösungsmittelparemeter für viele Lösungs-

mittel berechnet oder empirisch bestimmt. Die Darstellung in einem dreidimensionalen Raumdiagramm ist aber unübersichtlich und führt zu Schwierigkeiten bei der Interpretation. Von J. P. Teas /16/ wurde daher die Darstellung in einem ebenen Dreiecksdiagramm vorgeschlagen. Um die graphische Darstellung zu optimieren, führte J. P. Teas /16/ drei neue Parameter: f_d , f_p und f_h ein, die sich auf Grund der folgenden Beziehungen ergeben:

$$f_d = 100 \frac{\delta_d}{\delta_d + \delta_p + \delta_r}$$

$$f_p = 100 \frac{\delta_c}{\delta_d + \delta_c + \delta_r}$$

$$f_r = 100 \frac{\delta_h}{\delta_c + \delta_c + \delta_r}$$

Mit Hilfe dieser Parameter wird jedem Lösungsmittel in einem Dreiecksdiagramm ein genau definierter Platz zugeordnet. Ein Beispiel für diese Darstellung findet sich in Abb. 2. In dem Dreiecksdiagramm (Lösungsmitteldiagramm) wird der Anteil der einzelnen Wechselwirkungskräfte als Prozentanteil der Gesamtheit der zwischenmolekularen Anziehungskräfte dargestellt. Jede Seite des Dreiecks steht für einen Typ der Anziehungskräfte: Die untere Seite für die unpolaren Dispersionskräfte (f_d), die rechte Seite für die polaren Dipolkräfte (f_p) und die linke Seite für den Anteil der Wasserstoffbrücken (f_h). Aus dem Diagramm in Abbildung 2 läßt sich erkennen, daß die verschiedenen Lösungsmittelfamilien gut voneinander getrennt werden. Die aliphatischen Kohlenwasserstoffe finden sich in der rechten unteren Ecke des Diagrammes, die stärker polaren Lösungsmittel, Ester und Alkohole, finden sich im mittleren Bereich.

Grundsätzlich ist für den Gebrauch des Lösungsmitteldiagramms eine wichtige Einschränkung zu machen. Die Parameter, die die Einteilung der verschiedenen Lösungsmittelgruppen nach ihrem Lösungsvermögen erlauben, wurden mit Hilfe vereinfachender Annahmen entwickelt. Aus diesem Grund kann das Lösungsmitteldiagramm bezüglich des Lösungsvermögens bzw. der Mischbarkeit von Lösungsmitteln nicht immer eine eindeutige Antwort geben. Es gibt eine Reihe von Lösungsmittelsystemen, bei denen das Lösungsmitteldiagramm nicht aussagekräftig ist. Nicht anwendbar ist das Lösungsmitteldiagramm für alle Lösungsmittelsysteme, bei denen der Lösungsprozeß mit einer chemischen Veränderung der zu lösenden Substanz einhergeht. Dies ist z. B. bei der Lösung proteingebundener Übermalungen der Fall. Dazu werden Lösungsmittelsysteme eingesetzt, die einen Säureanteil enthalten (Ameisensäure oder Essigsäure). Die Säure verursacht die Hydrolyse – also den chemischen Abbau – der Proteine. Ähnliches gilt für Lösungsmittelmischungen, die fallweise zur Abnahme von temperagebundenen Malschichten verwendet werden. Diese Lösungsmittelsysteme enthalten basische Komponenten, wie Ammoniak oder organische Amine, und verursachen ebenfalls eine chemische Veränderung der zu lösenden Bindemittel. Trotz dieser genannten Einschränkungen kann das Lösungsmitteldreieck bei kritischer Anwendung dem Restaurator wertvolle Hinweise für die Auswahl geeigneter Lösungsmittelsysteme bieten.

In der einschlägigen Literatur werden die einzelnen Indices der von J. P. Teas vorgeschlagenen Lösungsmittelparameter unterschiedlich bezeichnet. Um Mißverständnisse auszuschließen, sind die Schreibweisen in Tabelle 6 zusammengestellt.

Tabelle 6: Index-Schreibweisen der Lösungsmittelparameter

Dispersionskräfte van der Waals'sche Kräfte	Dipolkräfte	H-Brücken Protonen- brücken	Referenz
U	D	H (nasse Polarität)	HfBK Dresden *
N (nonpolar)	D	W (wetpolar)	Torraca /3/ Teas /16/ Hedley /25/ Feller /2, 39/
d	p	h	

* mündliche Mitteilung von B. Hering, Dresden

Nachfolgend werden die Indices (d, p, h) verwendet, da dies die in weiten Bereichen der technischen Literatur übliche Schreibweise darstellt.

Das Lösungsmitteldiagramm erlaubt die Auswahl von Lösungsmittelsystemen und eine Abschätzung des Löslichkeitsverhaltens eines bestimmten Systems gegenüber den als Bindemittel vorkommenden Stoffgruppen. Die Lage der reinen Komponenten bzw. ähnlicher Lösungsmittelgruppen geht aus der bereits angeführten Abb. 2 hervor. Die Parameter der einzelnen Lösungsmittel, die in dem Diagramm durch Nummern gekennzeichnet sind, sind in Tabelle 7 zusammengestellt.

Die Lage eines reinen Lösungsmittels im Lösungsmitteldreieck läßt sich leicht graphisch ermitteln, wie dies in Abbildung 3 am Beispiel von Wasser gezeigt wird. Bei der Ermittlung der Löslichkeitsparameter von Zweistoffgemischen geht man entsprechend des Beispiels in Abb. 4 (Beispiel 2) vor. Es ist zu berücksichtigen, daß das Mischungsverhältnis der beiden Komponenten sich aus der Verbindungslinie zwischen den reinen Komponenten ergibt. Da die Punktlage der reinen Lösungsmittelkomponente die Konzentration 100% bedeutet, muß ein Gemisch, das eine Komponente im Überschuß enthält (vgl. Abb. 4, Punkt II entspricht 80% Toluol) nahe dieser Komponente liegen. Die Länge der Verbindungslinie zwischen den beiden Reinkomponenten ist ein direktes Maß für die prozentuelle Zusammensetzung des Gemisches. Die Löslichkeitsparameter einer beliebigen Mischung zweier Komponenten können daher mit Hilfe der Verbindungslinien zwischen den beiden Komponenten im Diagramm mühelos graphisch ermittelt werden. Analog können die entsprechenden Löslichkeitsparameter von Dreikomponentengemischen graphisch ermittelt werden, wie Beispiel 3 (Abb. 5 und 6) zeigt, wobei es allerdings nötig ist, die graphische Bestimmung der Löslichkeitsparameter in zwei Schritten, jeweils unter Zugrundelegung eines Zweikomponentensystems, durchzuführen.

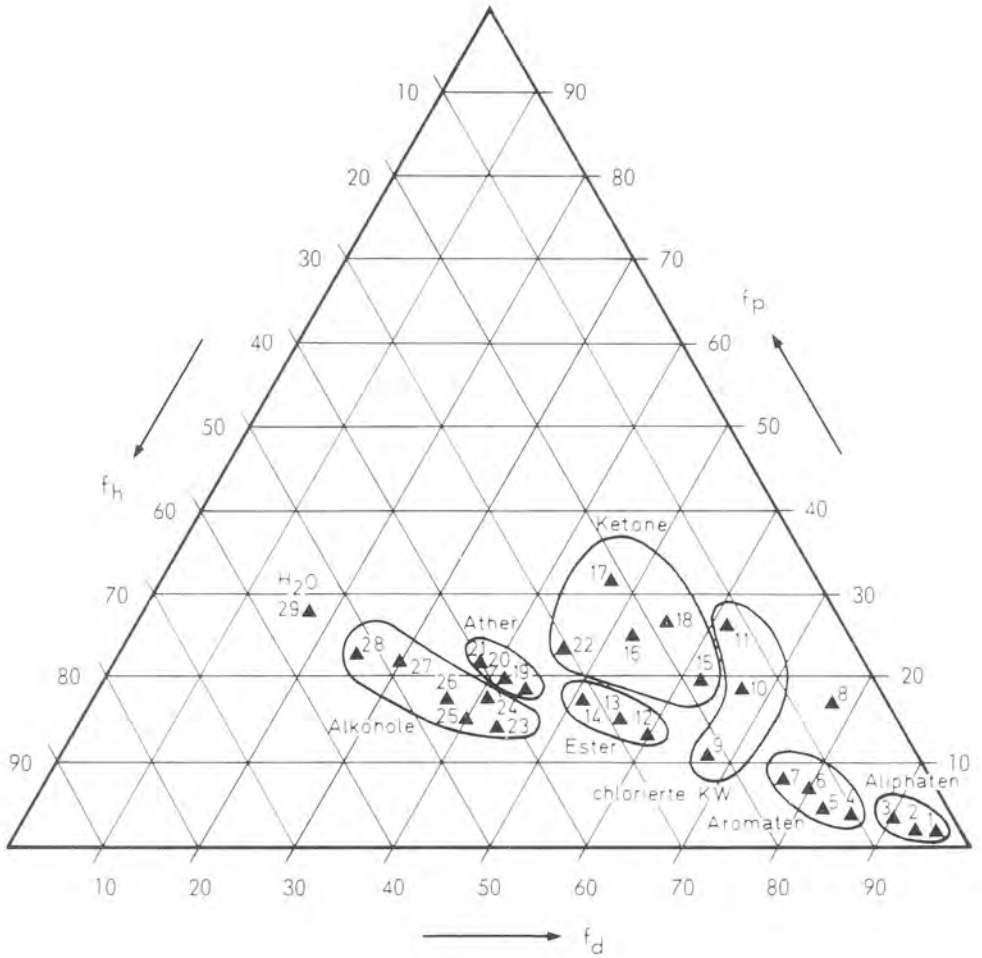


Abb. 2: Lage der einzelnen Lösungsmittel bzw. Lösungsmittelgruppen im Dreiecksdiagramm (nach J. P. Teas /15/). Die entsprechenden Löslichkeitsparameter (f_d , f_p , f_h) der eingetragenen Lösungsmittel (1–29) sind in Tabelle 7 zusammengestellt.

Tabelle 7: Löslichkeitsparameter einiger Lösungsmittel nach J. P. Teas /16/, publiziert auch von G. Hedley /25/. Die einzelnen Lösungsmittel sind in Abb. 2 eingetragen.

Nr.	Lösungsmittel	f_d	f_p	f_n
1	n-Hexan	96	2	2
2	V. M. & P. Naphtha*	94	3	3
3	Testbenzin (White Spirit)	90	4	6
4	Äthylbenzol	87	3	10
5	Xylol	83	5	12
6	Toluol	80	7	13
7	Benzol	78	8	14
8	Terpentin	77	18	5
9	Chloroform	67	11	22
10	Äthylenchlorid	67	19	14
11	Methylenchlorid	62	26	12
12	Butylacetat	60	13	27
13	Propylacetat	57	15	28
14	Äthylacetat	51	18	31
15	Methylisoamylketon	62	20	18
16	Methyläthylketon	53	26	21
17	Aceton	47	32	21
18	Cyclohexanon	55	28	17
19	Tetrahydrofuran (THF)	55	19	26
20	Äthylcellosolve	42	20	38
21	Methylcellosolve	39	22	39
22	Diacetonalkohol	45	24	31
23	1-Butanol (n-Butylalkohol)	43	15	42
24	Isopropanol	41	18	41
25	1-Propanol (n-Propylalkohol)	40	16	44
26	Ethanol (Äthylalkohol)	36	18	46
27	Methanol (Methylalkohol)	30	22	48
28	Glycerin (1, 2, 3-Propantriol, Glycerol)	25	23	52
29	Wasser	18	28	54

* Varnish Makers & Painters Naphtha

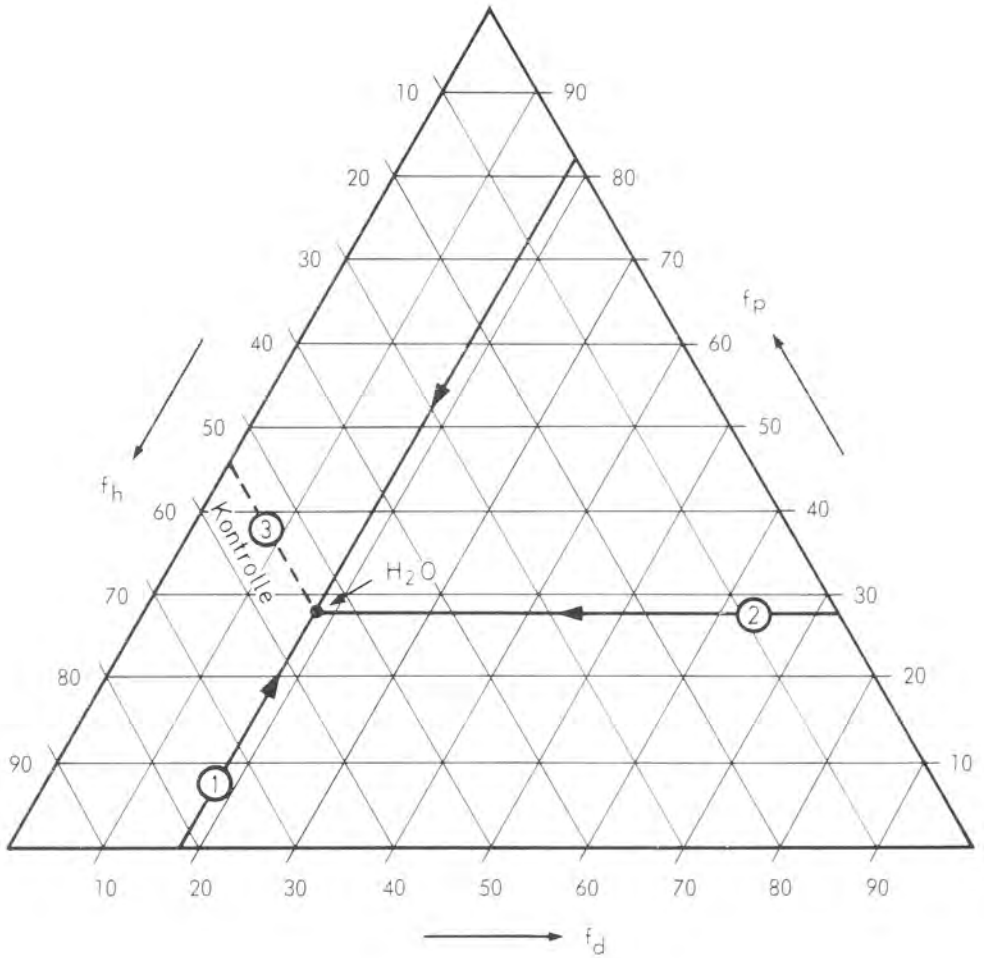


Abb. 3: Beispiel 1: Ermittlung der Lage von Wasser im Dreiecksdiagramm
 Löslichkeitsparameter von H_2O :
 $f_d = 18$, $f_p = 28$, $f_h = 54$

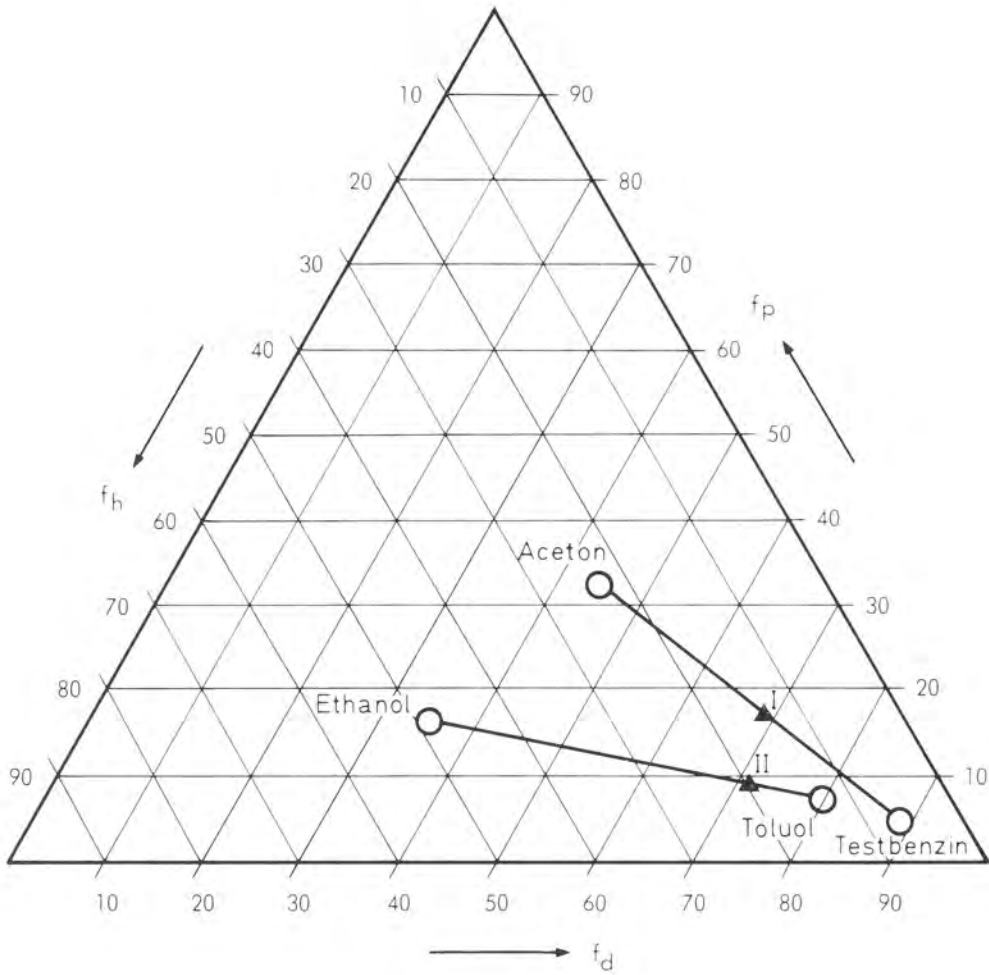


Abb. 4: Beispiel 2: Ermittlung der Lage von Zweikomponentenmischungen im Dreiecksdiagramm.

Punkt I stellt eine Mischung von Aceton-Testbenzin 50 Vol% (1+1) dar,

Punkt II eine Mischung von 80 Vol% Toluol mit 20 Vol% Ethanol.

Man beachte, daß die Verbindungslinie zwischen den beiden reinen Komponenten das Maß für die Konzentration in der Mischung darstellt. An den Endpunkten liegen die Komponenten jeweils rein vor (die Konzentration ist 100%). Eine Mischung Toluol-Ethanol 80%+20% (= 4+1) liegt daher auf der Verbindungslinie Toluol – Ethanol, ein Fünftel der Gesamtlänge von Toluol entfernt.

nach: G. Hedley, »Solubility Parameters and Varnish Removal«, /25/.

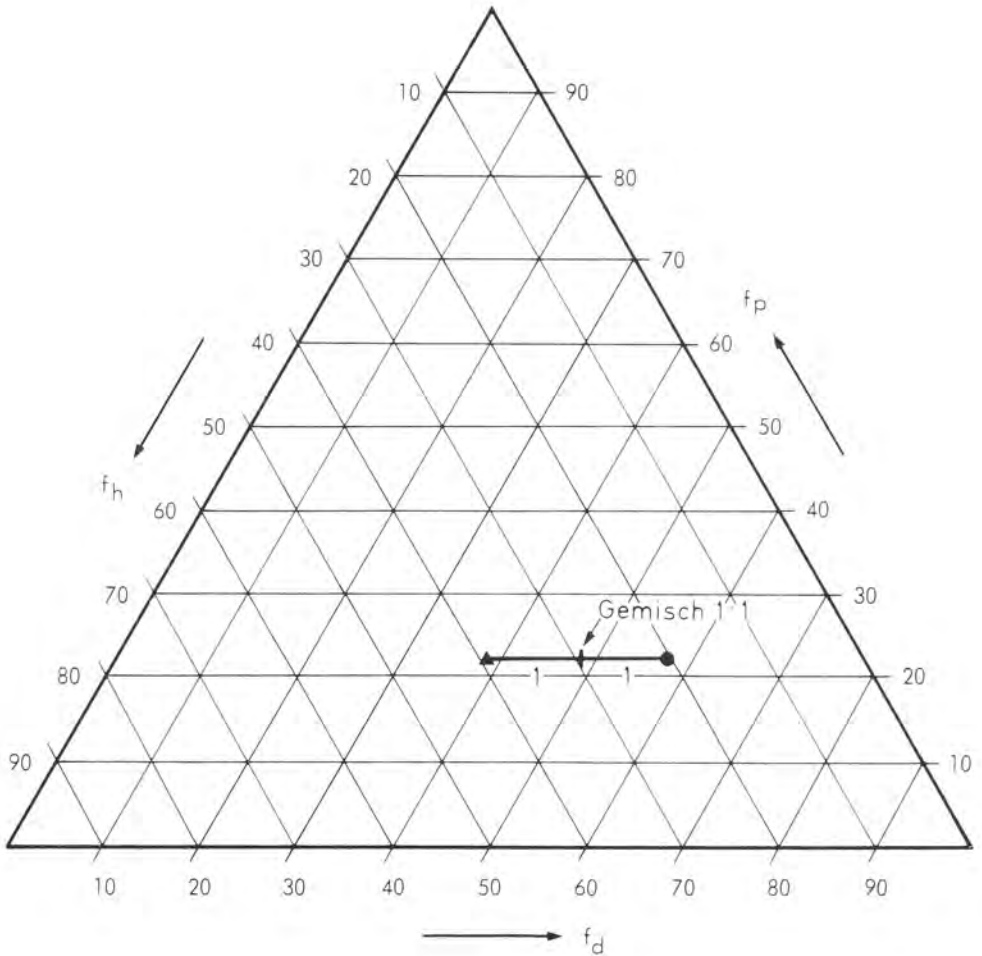


Abb. 5: Beispiel 3: Ermittlung der Löslichkeitsparameter eines Dreikomponentengemisches auf graphischem Weg.

Gemisch nach G. Torraca, p. 82 f.

Methylisobutylketon 30 Vol%

Methylcellosolve 30 Vol%

Dimethylformamid 40 Vol%

1. Schritt: Darstellung des Zweikomponentengemisches 30% Methylisobutylketon + 30% Methylcellosolve (= 1+1 oder 1 : 2)

Methylisobutylketon: $f_d = 58$, $f_p = 22$, $f_h = 20$

Methylcellosolve: $f_d = 39$, $f_p = 22$, $f_h = 39$

Dimethylformamid: $f_d = 41$, $f_p = 32$, $f_h = 27$

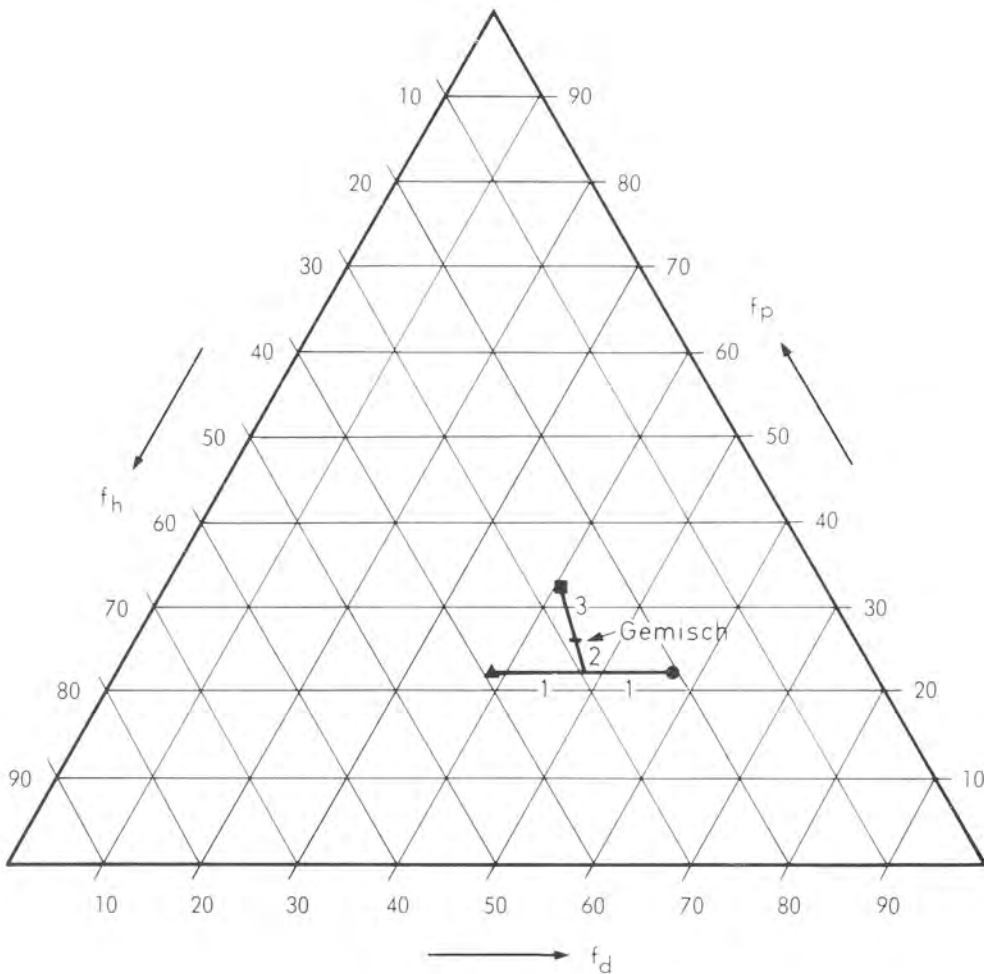


Abb. 6: Beispiel 3: Ermittlung der Löslichkeitsparameter eines Dreikomponentengemisches auf graphischem Weg.

2. Schritt: Darstellung eines Systems aus Methylisobutylketon gemischt mit Methylcellosolve (= 60%) und der dritten Komponente Dimethylformamid (= 40%) (Mischungsverhältnis: 3+2 oder 3 : 5)

Die Löslichkeitsparameter der Mischung ergeben sich etwa als: $f_d = 46$, $f_p = 26$, $f_h = 28$
gerechnet: $= 45,5$; $= 26$; $= 28,5$

Zur Berechnung der Löslichkeitsparameter siehe p. 82 f.

Die Löslichkeitsbereiche einzelner Bindemittelstoffgruppen lassen sich empirisch aufgrund von Testversuchen abschätzen. In Abb. 7 sind die entsprechenden Löslichkeitsbereiche von Proteinen (tierische Leime, Kasein, Eiklar, etc.), Polysacchariden (Gummen, Stärke u. a.), Harzen (Mastix, etc.), Wachsen und getrockneten Ölen eingetragen. Frische Ölfilme weisen einen wesentlich größeren Löslichkeitsbereich auf als getrocknete Öle. Der Bereich ist ebenfalls eingetragen. Es soll ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß es sich hier um eine schematische Darstellung empirischer Daten handelt. Das Lösungsverhalten der in Abb. 7 eingetragenen Stoffgruppen kann durchaus außerhalb der eingetragenen Bereiche liegen, denn es hängt vom Schichtaufbau und von den Alterungsbedingungen, denen das Material ausgesetzt war, ab. Deshalb darf diese Darstellung nur als Anhaltspunkt verwendet werden und kann nicht als Ersatz für Testversuche gelten.

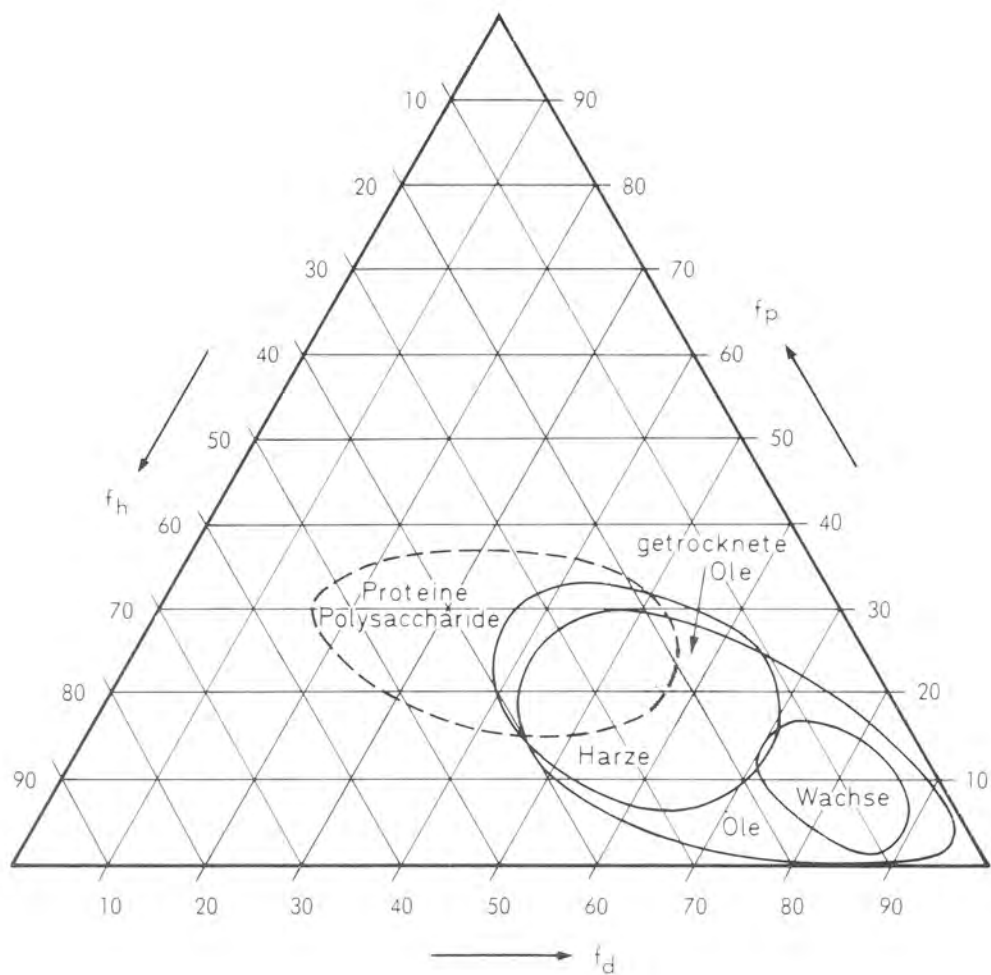


Abb. 7: Löslichkeitsbereiche von Bindemitteln,
 nach: L. Masschelein-Kleiner, »Les Solvants«, /4/.

Anschließend sollen einige interessante Beispiele aus einer Arbeit von G. Hedley /25/ erwähnt werden.

Am genauesten untersucht ist der Löslichkeitsbereich der getrockneten Öle durch Bestimmungen des Quellverhaltens pigmentierter Ölfilme von N. Stolow /33, 34/. Dieser Bereich ist in Abb. 8 dargestellt. Die Region ist nicht eindeutig definiert. Aus der Abbildung wird weiter deutlich, daß weder Aceton noch Testbenzin in reiner Form in den Quellbereich getrockneter Öle fallen. Als ungefähren Richtwert kann man Lösungsmittel mit einem ζ_a -Wert von 68 als solche bezeichnen, die Ölfilme stark quellen. Bei diesen Lösungsmitteln ist zu erwarten, daß auch Malschichten angelöst werden. Ihre Anwendung sollte daher möglichst vermieden werden.

Für typische Naturharzfirmisse sind keine derartigen Daten bekannt. Man kann aus der Erfahrung feststellen, daß der Löslichkeitsbereich für diese Materialien glücklicherweise meistens größer ist als der einer ölgebundenen Malschicht. In Abb. 9 ist der Löslichkeitsbereich von Harzfirmissen durch die strichlierte Linie angedeutet. Der Quellbereich getrockneter Ölfilme ist gestrichelt. Natürlich wird der Löslichkeitsbereich einer Firmisschicht durch ihre Zusammensetzung sehr stark beeinflußt, wodurch sich die eingetragenen Löslichkeitsgrenzen stark verschieben können. Ein Firmis, der ein hartes Harz enthält oder einen bedeutenden Ölgehalt aufweist, wird einen sehr viel kleineren Löslichkeitsbereich aufweisen, der beinahe dem Quellbereich getrockneter Ölfilme entspricht. Analog können Malschichten, deren Bindemittel Harzanteile enthalten, wesentlich größere Löslichkeitsbereiche aufweisen, als man aufgrund des Quellbereiches von getrockneten Ölen erwarten sollte. Ein Beispiel für die Auswahl eines Lösungsmittelsystems zur Firmisabnahme findet sich in Abb. 10 (H. Ruhemann /37/).

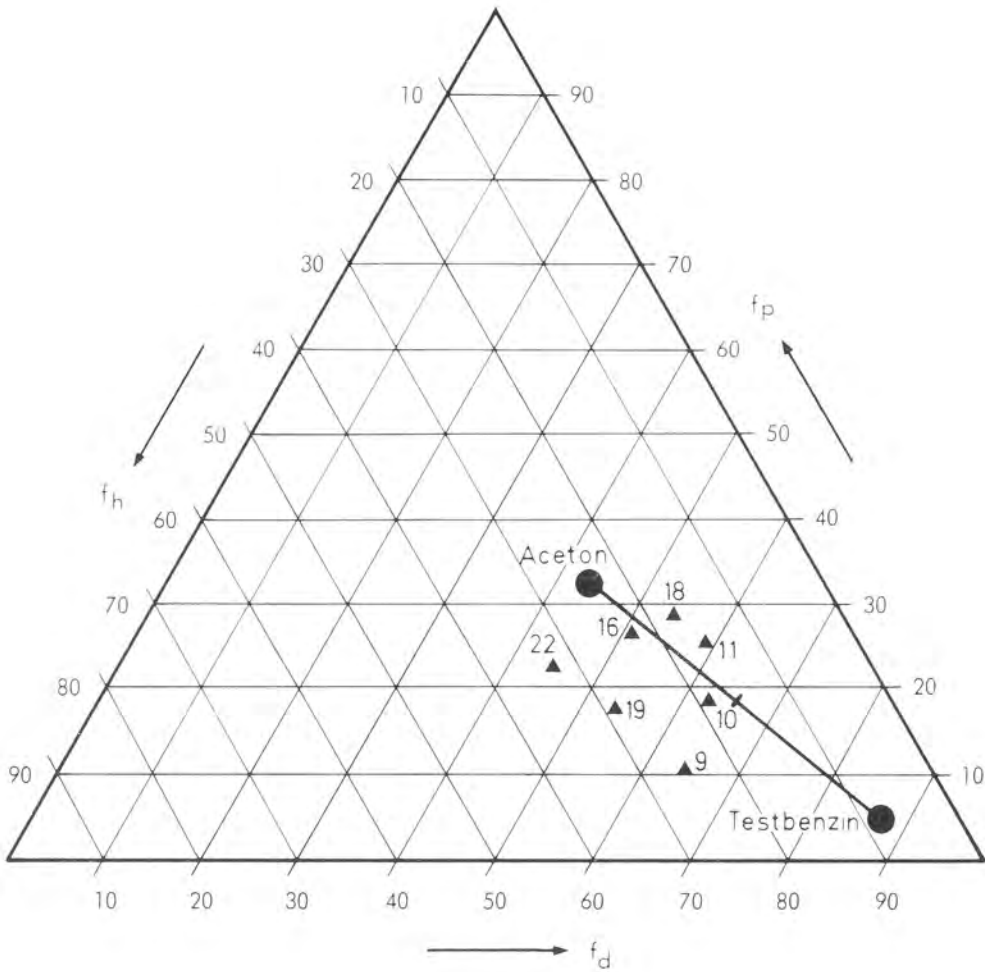


Abb. 8: Ungefäher Quellbereich von getrockneten Ölfilmen (nach N. Stalow /33, 34/). Der Bereich (Raster) ist nicht eindeutig definiert und kann natürlich für verschiedene Objekte unterschiedliche Ausdehnung haben. Aceton und Testbenzin liegen außerhalb des Quellbereiches getrockneter Ölfilme. Die numerierten Punkte stellen die Lage der Lösungsmittel dar, die in diesen Bereich fallen.

		f_d
9	.. Chloroform	67
10	.. Äthylchlorid	67
11	.. Methylchlorid	62
16	.. Methyläthylketon	53
18	.. Cyclohexanon	55
19	.. Tetrahydrofuran (THF)	55
22	.. Diacetonalkohol	45

nach: G. Hedley, »Solubility Parameters and Varnish Removal«, /25/.

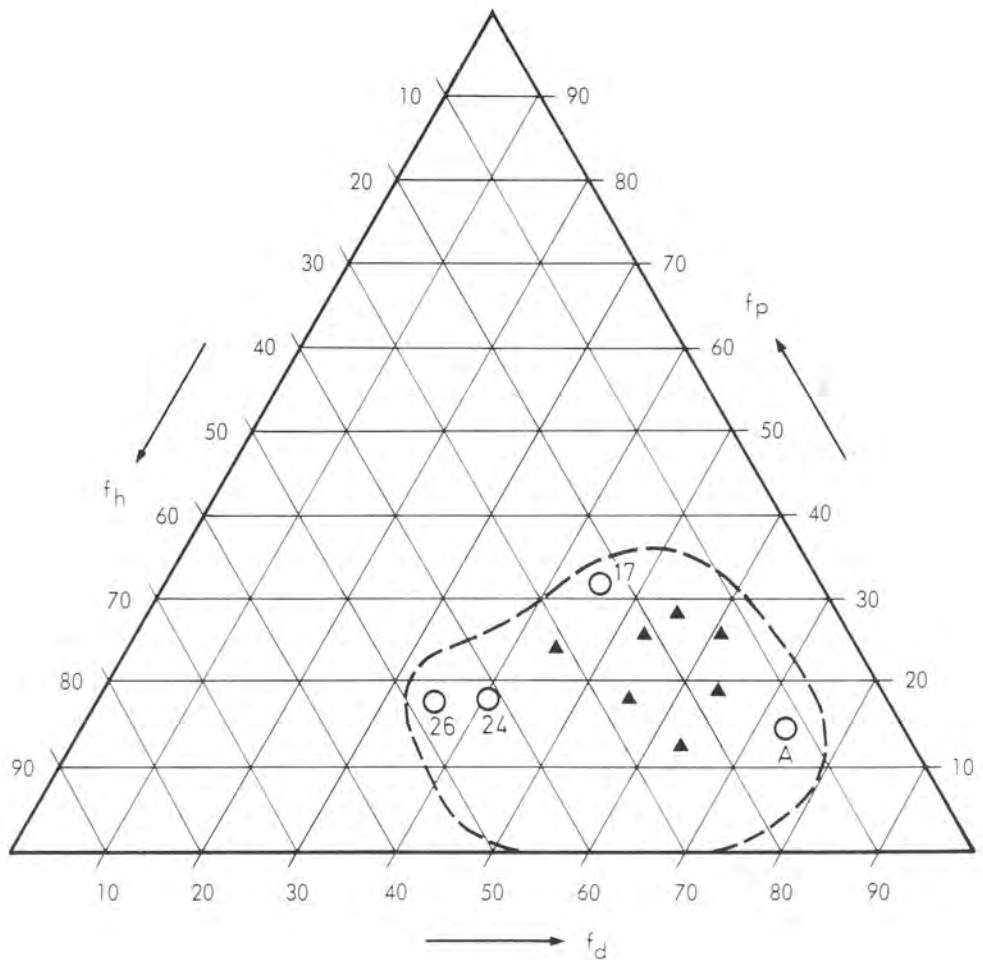


Abb. 9: Der Bereich, in dem eine Firnisabnahme möglich ist, ist im allgemeinen größer als der Quellbereich der Ölfilme.

--- ungefähre Löslichkeitsbereich für Firnisse

— Raster: ungefähre Quellbereich von Ölfilmen

Die für Firnisabnahmen einzusetzenden Lösungsmittel sollten außerhalb des Quellbereiches von Ölfilmen liegen, damit Malschichten nicht angelöst werden.

A	Aceton-Testbenzin-Mischung	f_a 76
17	Aceton	47
24	Isopropanol	41
26	Ethanol	36

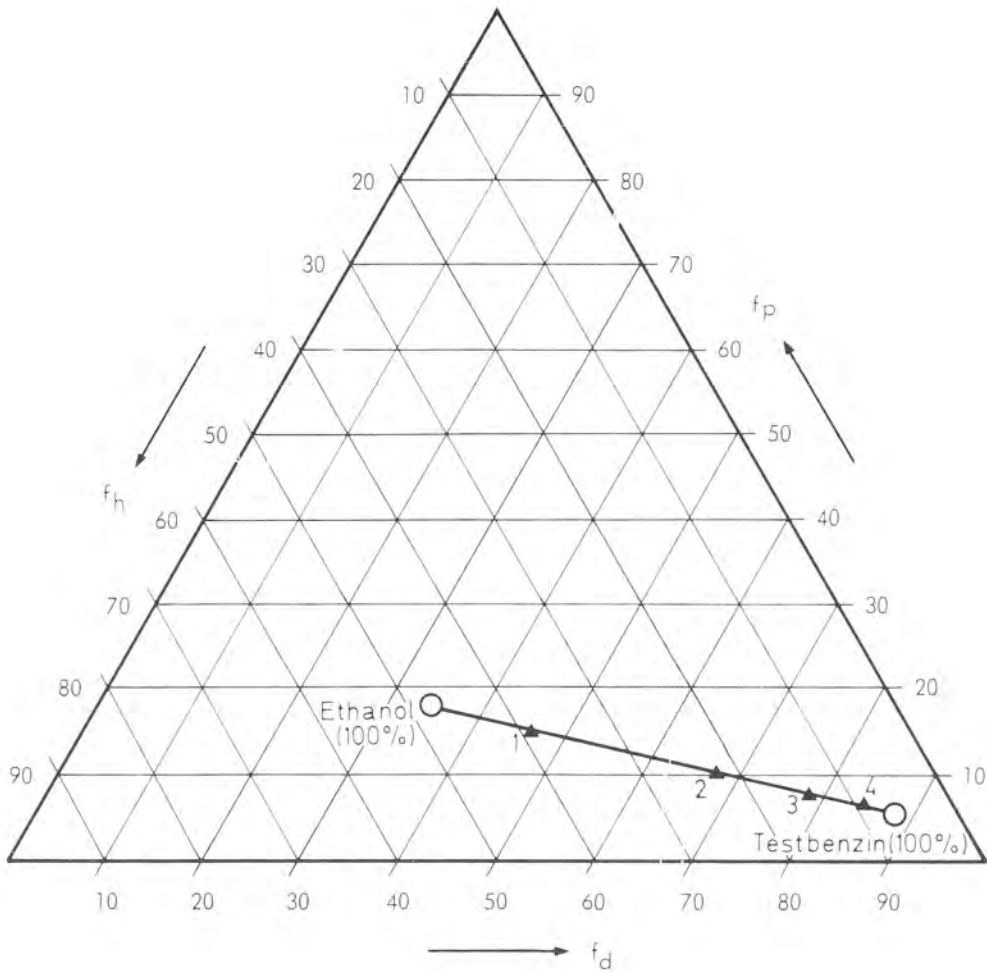


Abb. 10. Beispiel für eine Firnisabnahme mit Ethanol-Testbenzin-Mischungen (nach H. Ruhemann /37/, Objekt: A. Renoir, »Place Cléchy«).

Ruhemann fand, daß eine Mischung mit 23% Ethanol (Punkt 3) die Malschicht gerade anlöste, eine Mischung mit 4,75% Ethanol (nicht eingetragen) erlaubte nur eine sehr langsame Firnisabnahme, eine Mischung mit 9% Ethanol (Punkt 4) war gut geeignet.

Raster: ungefähre Quellbereich von Ölfilmen.

- 1 ... Ethanol 80 Vol%, Testbenzin 20 Vol%
- 2 ... Ethanol 40 Vol%, Testbenzin 60 Vol%
- 3 ... Ethanol 23 Vol%, Testbenzin 77 Vol%
- 4 ... Ethanol 9 Vol%, Testbenzin 91 Vol%

Für die Durchführung der Testversuche abschließend einige Hinweise:

Vor einer Durchführung von Lösungsmitteltests unter Zuhilfenahme des Lösungsmitteldreiecks sind Wachsschichten (z. B. nach Doublierung) zu entfernen.

Es ist zweckmäßig, für die Tests eine Reihe von abgestuften Lösungsmittelmischungen vorzubereiten, welche die zu erwartenden Löslichkeitsbereiche der Stoffgruppen erfassen. Die Mischungen sollten stets unmittelbar vor den Testversuchen frisch zubereitet werden. Um über längere Zeiträume vergleichbare Ergebnisse zu erzielen, sollten zur Herstellung der Testgemische immer Lösungsmittel gleicher Reinheit herangezogen werden. Derartige Lösungsmittelsysteme wurden von R. L. Feller /39/ bzw. vom Bundesdenkmalamt Wien, Werkstätten /40/, publiziert und sind in Abb. 11 und Tabelle 8 angeführt.

Die Testversuche müssen nach Entfernung des Oberflächenschmutzes an mehreren Stellen des Objektes durchgeführt werden. Sinnvoll ist die Auswahl nach L. Masschelein-Kleiner /4/ (vgl. p. 129 f.), bei der eine helle Partie, eine rote Position und eine dunkle Stelle des Objektes getestet werden. Partien, die durch Zierrahmen verdeckt waren, sollten nicht zu diesen Tests herangezogen werden, da ihr Lösungsverhalten meist infolge milderer Alterungsbedingungen besser ist. Um das Risiko zu minimalisieren, beginnt man mit den mildesten Lösungsmitteln. Man kann Reinigungsproben mittels eines Wattestäbchens durchführen. Die jeweilige Testfläche hat ca. zwei bis fünf Millimeter Durchmesser. Die Reinigungsdauer beträgt 10–30 Sekunden. L. Masschelein-Kleiner schlägt für die Testversuche das Aufbringen eines Lösungsmitteltropfens auf die Objekt Oberfläche mittels eines Kapillarröhrchens vor (vgl. p. 130).

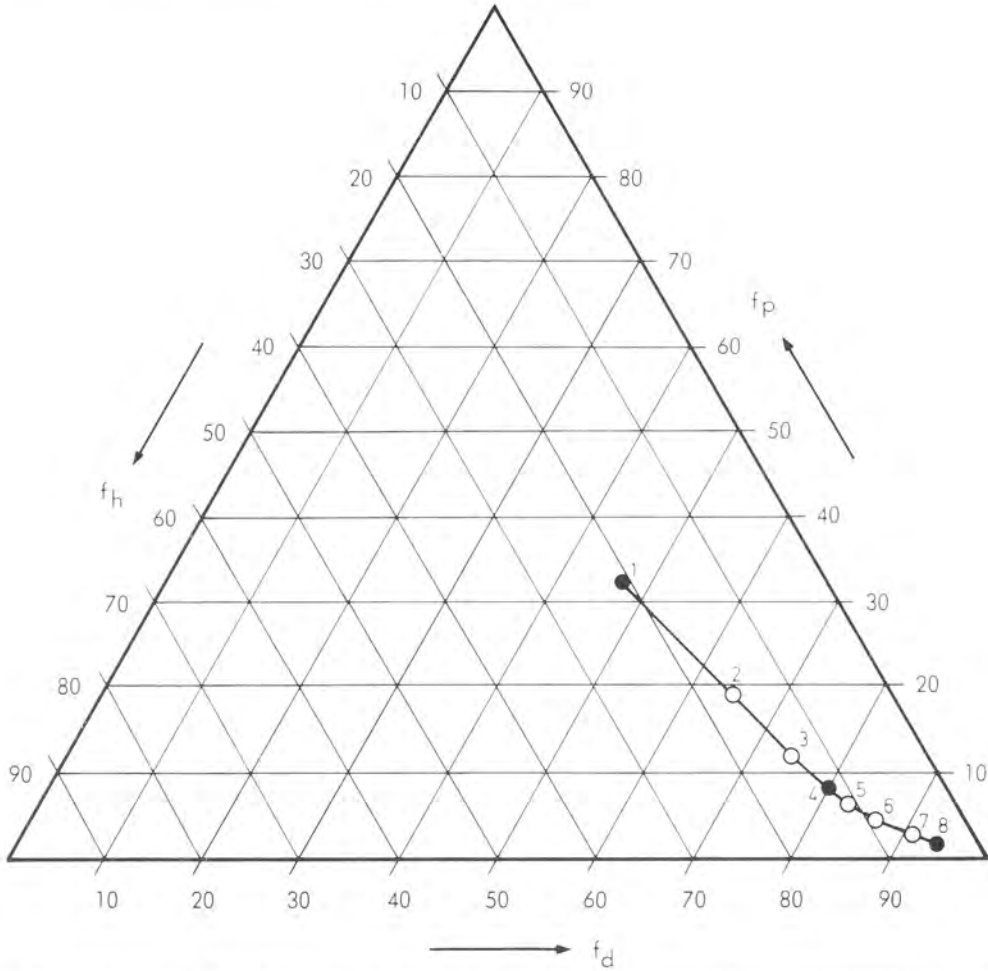


Abb. 11: Lage der von R. L. Feller /39/ zu Testzwecken vorgeschlagenen Lösungsmittelmischungen aus Cyclohexan, Toluol und Aceton.

nach: R. L. Feller, »The Relative Solvent Power Needed to Remove Various Aged Solvent-Type Coatings«, /39/.

Näherungswert		Volumen in % (Mischungsverhältnis)		
f_d	Pkt.	Cyclohexan	Toluol	Aceton
94	● 8	100	—	—
90	○ 7	75	25	—
88	○ 6	50	50	—
84	○ 5	25	75	—
80	● 4	—	100	—
76	—	—	87,5	12,5
72	○ 3	—	75	25
68	—	—	62,5	37,5
64	○ 2	—	50	50
55	—	—	25	75
47	● 1	—	—	100

Tabelle 8: Lösungsmittelsysteme für Löslichkeitstests am Objekt

nach: R. L. Feller /39/ und G. Dimitriadis, publ. v. Bundesdenkmalamt Wien, Werkstätten /40/ (von den Herausgebern überarbeitet)

Nr.	Lösungsmittel (Mischung)	% V/V	f _d	f _p	f _n
1	Cyclohexan	100	94	2	4
2	Cyclohexan	75	90	3	7
	Toluol	25			
3	Cyclohexan	50	88	5	7
	Toluol	50			
4	Cyclohexan	25	84	6	10
	Toluol	75			
5	Toluol	100	80	7	13
6	Toluol	87,5	76	10	14
	Aceton	12,5			
7	Toluol	75	72	13	15
	Aceton	25			
8	Toluol	62,5	68	16	16
	Aceton	37,5			
9	Toluol	50	64	19	17
	Aceton	50			
10	Toluol	25	55	26	19
	Aceton	75			
11	Aceton	100	47	32	21
12	Toluol	87,5	75	8	17
	Isopropanol	12,5			
13	Toluol	75	70	10	20
	Isopropanol	25			
14	Toluol	62,5	65,5	11	23,5
	Isopropanol	37,5			
15	Toluol	50	60,5	12,5	22
	Isopropanol	50			
16	Toluol	37,5	55	14	31
	Isopropanol	62,5			
17	Isopropanol	100	41	18	41

Lösungsvermögen der Lösungsmittel (-mischungen) Nr.:

1–4: Wachsüberzüge

5–9: Harzfirnisse

8–9: Quellbereich getrockneter Öle

Mit Hilfe der angeführten Testlösungsmittelmischungen läßt sich das Lösungsverhalten von Firnissen und Übermalungen beurteilen. Das Lösungsvermögen eines Lösungsmittelsystems stellt aber nur einen, wenn auch sehr wichtigen, Gesichtspunkt für die Auswahl von Lösungsmitteln in der Restaurierung dar. Die in Tabelle 8 bzw. Abb. 11 angeführten Mischungen dienen zunächst nur zu Testzwecken. Das eigentliche Lösungsmittelgemisch für die durchzuführende Behandlung muß vom Restaurator unter Berücksichtigung der besonderen Gegebenheiten des Objektes ausgewählt werden. Außer dem Lösungsvermögen sind das Penetrationsvermögen eines Lösungsmittels, seine Viskosität, die Retention und die Giftigkeit entscheidende Parameter für die Auswahl eines geeigneten Lösungsmittelsystems. Fallweise können die angeführten Testmischungen durch die von L. Masschelein-Kleiner vorgeschlagenen Lösungsmittelsysteme substituiert werden (vgl. Tabelle 16, p. 131 f.). Einige dieser Mischungen und die errechneten Lösungsmittelparameter finden sich in Tabelle 9.

Tabelle 9: Löslichkeitsparameter einiger von L. Masschelein-Kleiner /4/ vorgeschlagenen Lösungsmittelsysteme (vgl. Tabelle 16, p. 131 f.)

Nr.	Lösungsmittel (Mischung)	% V/V	f_d	f_p	f_n
10	Äthylacetat	50	52	21	27
	Methyläthylketon	50			
11	Isopropanol	50	49	19	32
	Methylisobutylketon	50			
12	Dichloräthan	50	48,5	20,5	31
	Methanol	50			
13	Toluol	75	70,3	13,2	16,5
	Dimethylformamid (DMF)	25			
14	Trichloräthan	75	64	20	16
	Diacetonalkohol	25			
15	Trichlormethan	50	55,5	25,5	19
	Dimethylformamid (DMF)	50			
16	Äthylacetat	50	46	25	29
	Dimethylformamid (DMF)	50			
20	Toluol	38,5	53	14	33
	Isopropanol	50			
	Wasser	11,5			
21	Methyläthylketon	25	27	27	46
	Wasser	75			
22	Äthylacetat	6	35	24	41
	Tetrahydrofuran (THF)	41			
	Wasser	53			

In den nachfolgenden Tabellen 10 bis 12 ist das Löslichkeitsverhalten von natürlichen und synthetischen Materialien angeführt, bzw. sind einige Lösungsmittelsysteme für spezielle Problemstellungen zusammengestellt.

Tabelle 11: Löslichkeit von Kunststoffen /41/

Zur Lösung von Klebern, Klebebändern und Folien, benützt man je nach Art des vorliegenden Kunststoffes verschiedene Lösungsmittel. Grundsätzlich sind Duroplaste im allgemeinen unlöslich, thermoplastische Materialien häufig leicht löslich.

Kunststofftyp	Lösungsmittel
Celluloseäther Methylcellulose	Wasser, Chlorierte Kohlenwasserstoffe
Celluloseester Cellulose-2, 4-acetat Cellulosetriacetat Cellulosenitrat	Aceton Chloroform Aceton, Alkohol/Äther
Polyvinylchlorid (PVC)	Tetrahydrofuran (THF)
Copolymerisate Acrylnitril / Butadien / Styrol Styrol / Butadien Vinylchlorid / Vinylacetat	Methylenchlorid Äthylacetat, Methylenchlorid Tetrahydrofuran (THF), Methylenchlorid
Naturkautschuk	Chlorierte Kohlenwasserstoffe
Polyacrylsäureester	Aceton
Polymethacrylsäureester	Isopropanol, Chloroform, Methyläthylketon
Polyamide	Ameisensäure (nicht bei Papier verwenden!)
Polycarbonate (z. B. Makrolon-Typen)	Dimethylformamid (DMF) Methylenchlorid
Polyester	Hexafluorpropanol
Polyisopren	Toluol
Polyolefine Polyäthylen Polypropylen Polyisobutylen	Dekalin, Tetralin, Trichlorbenzol wie oben Trichloräthylen
Polystyrol	Methylenchlorid, Chloroform, Tetrahydrofuran (THF)
Polyurethane	Dimethylformamid (DMF)
Polyvinylacetale Polyvinylbutyral	Ester, Ketone, Tetrahydrofuran (THF), Chloroform/Methanol (9 : 1)
Polyvinylacetat (PVAc)	Aceton, Chloroform
Polyvinylalkohol (PVA)	Wasser

Tabelle 12: Lösungsmittel zur Entfernung von Flecken auf Papierobjekten (41, 42)

Wasserränder	entfernbar mit kaltem Wasser unter Zusatz von Essigsäure; durch Aufstreuen von Citronensäurepulver und anschließendes Befeuchten, Bleichen mit Natriumborhydrid oder Natriumhypochlorit. Nachklebung der behandelten Stellen zumeist nötig
Stockflecken	entfernbar durch Bleichen mit Natriumborhydridlösung 4%; oder mit Ethanol/Formaldehydmischungen
Fettflecke	Kompresse aus Silicagel, Aluminiumoxid, Magnesiumoxid, Methylcellulose oder Stärke mit leichtflüchtigem Lösungsmittel getränkt (Diäthyläther, Benzin)
Eisen-, Rostflecke	entfernbar mit verdünnten Säuren, z. B. 5% wässrige Oxalsäure, 3% Salzsäure; gutes Nachspülen erforderlich
Kaffee-, Teeflecke	Wasserstoffperoxid/Wasser (1 : 1), 2% Kaliumperborat-Lösung
Blut-, Eiweißflecke	einweichen, Behandlung mit 15% Wasserstoffperoxid; enzymatisch mit Trypsinlösung
Lacke, Klebstoffe	Schellack: Ethanol, Morpholin; Klebebandklebstoffe: Methylenchlorid, Athylacetat, Isopropanol, Tetrahydrofuran; UHU: Athylacetat, Butylacetat; Lacke: Aceton
Obst, Rotweinflecke	Ammoniak (25%)/Wasser (1 : 2) + einige Tropfen Wasserstoffperoxid
Stempelfarben	Bleichen mit Natriumhypochlorit, anschließend Antichlorbehandlung, eventuell mit Dimethylformamid-getränkten Löschkartons, oder mit Pyridin
Kugelschreiber	kaum entfernbar, fallweise werden Dimethylformamid oder Dimethylsulfoxid vorgeschlagen, Erfolg aber zweifelhaft. In einigen Fällen haben Lösungsversuche mit Mischungen aus Morpholin und Wasserstoffperoxid zu Erfolgen geführt.*

* Persönliche Mitteilung, S. Dobrusskin, Wien

DIE LÖSUNGSMITTEL

Kapitel III, Praktische Anwendung

Liliane Masschelein-Kleiner

1. DAS KUNSTWERK

Der Respekt vor dem Objekt ist selbstverständlich das wichtigste Kriterium für jeden Eingriff. Jede Reinigung ist mit einem Risiko verbunden, Eingriffe dürfen deshalb erst nach gründlichen Prüfungen der ästhetischen und materiellen Gesichtspunkte erfolgen. Die Gefahrlosigkeit jeder Maßnahme muß für das Objekt garantiert sein. Voruntersuchungen sind daher unvermeidlich. Um Risiken zu minimalisieren, sollte eine Reihe von Lösungsmitteln für restauratorische Zwecke nach Möglichkeit nicht verwendet werden. Es handelt sich dabei um Lösungsmittel, die Langzeitschäden verursachen oder unmittelbar am Objekt zu Schädigungen führen können. Abzulehnen ist in diesem Zusammenhang der Gebrauch von Lösungsmitteln, die eine starke und langandauernde Retention in porösen Körpern aufweisen (hierzu gehören Glykole, Formamid, Terpentin, Butylamin u. a.).

Ebenfalls für eine Anwendung im Bereich der Konservierung ungeeignet sind Lösungsmittel, die lichtempfindlich sind, bzw. Neigung zum Vergilben oder zur Polymerisation aufweisen (dazu gehören Äthylenderivate wie Dipenten, Terpentin, Acetylaceton, N-Methyl-2-Pyrrolidon u. a.). Die Regeln sind für alle porösen Körper gleichermaßen anwendbar, seien es Gemälde, polychrome Skulpturen, Wandmalereien u. a. Bei Textilien ist das naheliegendste Lösungsmittel Wasser. Vielfach sind aber stark veränderte (abgebaute) oder schlechtgefärbte Fasern nicht wasserbeständig. Es empfiehlt sich in solchen Fällen auf organische Lösungsmittel zurückzugreifen. Chlorierte Kohlenwasserstoffe sollten wegen einer möglichen Bildung von Salzsäure nicht verwendet werden. *

Auch wässrige Lösungsmittelsysteme müssen mit großer Vorsicht angewandt werden, weil häufig bei ihrer Verwendung Schäden an den Objekten verursacht werden können.

2. DER RESTAURATOR

Die Mehrzahl der Lösungsmittel ist mehr oder weniger toxisch (giftig). Ihre Verwendung macht vielfach Vorsichtsmaßnahmen erforderlich. Es erscheint vernünftig, einige stark giftige Produkte auszuschließen (Benzol [MAK 6], Butylamin [MAK 5], Schwefelkohlenstoff [MAK 10], Nitro- und Nitrilderivate, Tetrachlorkohlenstoff [MAK 10]).

Längerer Hautkontakt mit Lösungsmitteln sollte vermieden werden. Die Verwendung von Schutzhandschuhen und Wattestäbchen ist dringend zu empfehlen. Auf eine entsprechend gute Raumlüftung ist zu achten. Bei der Behandlung großer Flächen, bei denen bedeutende Lösungsmittelmengen verwendet werden müssen, sollte die Arbeit öfter unterbrochen werden, damit der Restaurator keine Gesundheitsschäden erleidet.

In einigen Fällen ist bei der Verarbeitung von Lösungsmitteln das Tragen von Schutzmasken anzuraten, z. B. bei der Verwendung stark giftiger Lösungsmittel oder bei der Gefahr einer langandauernden Einwirkung höherer Lösungsmittelkonzentrationen auf den Organismus, unter anderem bei der Verwendung von Methanol, chlorierten Kohlenwasserstoffen und Aromaten. Personen, die gegen Lösungsmitteldämpfe besonders empfindlich sind, sollten jedenfalls Schutzmasken tragen.

* Chlorierte Kohlenwasserstoffe können in Gegenwart von Metallen und Basen Salzsäure (HCl) abspalten. Die Produkte sind aber vom Hersteller mit Stabilisatoren versetzt, die eine hohe Stabilität gewährleisten.

3. DAS ZIEL

Der Einsatz von Lösungsmitteln im Bereich der Restaurierung von Gemälden und polychromen Skulpturen umfaßt hauptsächlich die folgenden drei Problemstellungen:

Reinigung von Oberflächenverschmutzungen

Firnisabnahmen

Abnahme von Übermalungen

Zusätzlich werden Lösungsmittel zur Lösung und Verdünnung von Klebstoffen verwendet, die für Imprägnierungen, zur Fixierung von Blasen, für Verklebungen u. ä. dienen. Die Lösung eines Fremdmaterials in einem Lösungsmittel verändert dessen Eigenschaften, besonders das Penetrationsvermögen und die Flüchtigkeit.

Lösungsmittel wird man in der Praxis natürlich problemorientiert auswählen, d. h. man wird zur Entfernung oberflächlicher Verschmutzungen flüchtige Lösungsmittel ohne Tiefenwirkung verwenden, zur Entfernung von Übermalungen wird sich der Einsatz stark penetrierender Lösungsmittel kaum vermeiden lassen. Wesentlich für eine gezielte Auswahl eines Lösungsmittelsystems ist die Kenntnis der Zusammensetzung der zu entfernenden Schichten. Nur dann kann ein Lösungsmittelsystem ausgewählt werden, das die notwendigen Wechselwirkungen mit dem zu lösenden Material eingeht.

LÖSUNGSMITTELINKLUSION

Die angeführten theoretischen Überlegungen zur Lösungsmittelretention beziehen sich nur auf Objekte, die unter den Begriff »poröse Körper« einzuordnen sind; d. h. Tafel- oder Leinwandgemälde, polychrome Skulpturen, Gegenstände aus Stein, Metall oder anderem.

Wesentlich anders stellt sich die Problematik im Bereich der Papierrestaurierung bzw. im Fall von Textilien dar, sofern diese aus Cellulosefasern bestehen. Die Fähigkeit der Cellulose, mit organischen Lösungsmitteln nichtstöchiometrische* Komplexe zu bilden, ist seit langem bekannt. Anhand naturwissenschaftlicher Untersuchungen konnte gezeigt werden, daß fast alle organischen Lösungsmittel unter bestimmten Bedingungen Komplexe mit Cellulose bilden können, und diese auch bei höheren Temperaturen über längere Zeiträume stabil sind. In der Papier- und Textilrestaurierung wird in diesem Zusammenhang zumeist von Lösungsmittelinklusio gesprochen. O. Wächter /43/ bemerkt zum Thema Lösungsmittelinklusio folgendes: »Quellung ergibt sich bei linearmolekularen Stoffen, die hochviskos und gelförmig (gelöst aber nicht frei beweglich) sind, Lösungsmittel lagert sich zwischen den Fadenmolekülen ein und solvatisiert dieselben noch bevor die Fadenmoleküle infolge ihres großen Wirkungsbereiches in Lösung gehen. Je nach dem Lösungsmittel verändert sich die Gestalt der gelösten Moleküle. Inklusio hingegen ist eine Abart der Quellung von linearmakromolekularen Stoffen, die eine indirekte Quellung mit solchen Flüssigkeiten darstellt, durch welche die Fadenmoleküle nicht solvatisiert werden können. Die Inklusio ist also ein lyophobe (Lösungsmittel abweisende) Quellung. Sie läßt sich bei Stoffen mit Fadenmolekülen, wie z. B. Wolle, Seide beobachten und ist vor allem bei Fasercellulosen untersucht worden. Zwischen den Fadenmolekülen können indifferente Flüssigkeiten wie Benzol, Tetrachlorkohlenstoff rein mechanisch eingelagert, das heißt inkludiert werden. H. Staudinger stellte fest, daß zwischen den Fadenmolekülen der Cellulose 5–7% Mengen inkludierter lyophober Flüssigkeiten mechanisch eingeklemmt bleiben, selbst wenn im Hochvakuum auf 50–60° erhitzt wird.

Durch diese Inklusio von indifferenten Flüssigkeiten wird die Reaktionsfähigkeit der Cellulose beträchtlich erhöht, so z. B. ihre Bereitschaft zur Acetylierung.«

Untersuchungen von J. S. Arney und L. B. Pollack konnten allerdings zeigen, daß bei Papier zumindestens für die in der Papierrestaurierung gängigen Lösungsmittel keine Lösungsmittelretention (Lösungsmittelinklusio) existiert /44/.

Wesentlich für die vollständige Entfernung von Lösungsmitteln aus cellulosehaltigem Material ist allerdings, daß die Trocknung der Objekte in einer normalen Atmosphäre mit ca. 50% Relativer Feuchte (RF) erfolgt, da die Wechselwirkung zwischen Cellulose und Lösungsmittel durch folgende Gleichung darzustellen ist:



Bei der Behandlung löst das Lösungsmittel Wasser von der Cellulosefaser, und das Gleichgewicht wird auf die linke Seite der Gleichung verschoben. Der gebildete Cellulose-Lösungsmittel-Komplex ist in Abwesenheit von Feuchtigkeit stabil (so z. B. bei Trocknung in einem Ofen bei 105°, in Abwesenheit von Feuchtigkeit). Im normalen Raumklima wird im Zuge der Trocknung das Lösungsmittel langsam durch Wasser ersetzt, und das Gleichgewicht verschiebt sich vollkommen auf die rechte Seite der Gleichung.

Zu gleichen Ergebnissen kamen H. Stachelberger und G. Barik, wobei das Verhalten der in Tab. 14 angeführten Lösungsmittel (technische Reinheit) untersucht wurde /45/.

* Man unterscheidet Verbindungen konstanter Zusammensetzung – stöchiometrische Verbindungen – (Molekülverbindungen wie H_2O , darunter alle organischen Verbindungen und im allgemeinen die Salze) und Verbindungen, die eine Schwankungsbreite in ihrer Zusammensetzung aufweisen – nichtstöchiometrische Verbindungen – (häufig bei Anlagerungskomplexen wie Cellulose-Wasser und intermetallischen Verbindungen).

Tabelle 13: Lösungsmittelretention in Papieren nach 15 min. Waschen im Lösungsmittel und anschließender Trocknung bei 20°, 50% RF nach: J. S. Arney und L. B. Pollack /44/.

Papier	Lösungsmittel	Trocknungszeit (Stunden)	Lösungsmittelretention (%)
Whatman (Filterpapier)	Ethanol	2	0,1
Whatman (Filterpapier)	Ethanol	10	0,0
Zeitungspapier	Ethanol	2	0,0
Hadernpapier	Ethanol	2	0,2
Hadernpapier	Ethanol	10	0,0
Zeitungspapier	Aceton	2	0,1
Zeitungspapier	Aceton	10	0,0
Hadernpapier	Aceton	2	0,1
Hadernpapier	Aceton	10	0,0
Zeitungspapier	Toluol	1	0,0
Zeitungspapier	Diäthyläther	10	0,0
Zeitungspapier	Methylenchlorid	10	0,0
Zeitungspapier	Chloroform	10	0,0
Zeitungspapier	Tetrachlorkohlenstoff	10	0,0
Zeitungspapier	Methanol	10	0,0

Tabelle 14: Lösungsmittelretention von technisch reinen Lösungsmitteln in Hadernpapieren nach Trocknung im normalen Raumklima, Untersuchungsmethode: Head-Space Gas-Chromatographie /45/.

Lösungsmittel	nicht mehr nachweisbar (Trocknungstage)
Aceton	7
Testbenzin	1
Ethanol (Spiritus)	31
Dimethylformamid (DMF)	15
Äthylacetat (Essigester)	15

Eine Behandlung mit Thymol (als Fungizid in der Papierrestaurierung in Verwendung) führt nicht zu einer bleibenden Sicherung der Objekte gegenüber biologischem Befall, da Thymol sich wie ein organisches Lösungsmittel verhält. Es ist nach Lagerung der behandelten Objekte im normalen Raumklima bereits nach vier Stunden nicht mehr nachweisbar /44/.

A. Koura und T. Krause konnten feststellen, daß eine Behandlung versprödeter Papiere mit flüssigem Ammoniak zu einer Verbesserung der mechanischen Eigenschaften der Papiere führt und Ammoniak vollständig aus dem Papiervlies verdampfbar ist /46/.

Die angeführten Untersuchungen gelten für Papier- und Textilobjekte aus Cellulosefasern. Bezüglich einer Lösungsmittelinklusio bei tierischen Fasern (Proteinfasern) und Häuten liegt keine Literatur vor (Seide, Wolle, Pergament, Leder).

Es ist nicht zulässig, abzuleiten, daß Lösungsmittel grundsätzlich ohne Gefahr für Papierobjekte oder Textilien angewandt werden können. Aus den von J. S. Arney und L. B. Pollack erarbeiteten Untersuchungsergebnissen läßt sich lediglich schließen, daß eine beschleunigte Alterung lösungsmittelbehandelter Papiere nicht auf die Bildung stabiler Cellulose-Lösungsmittel-Komplexe zurückgeführt werden kann. Besondere Vorsicht bezüglich einer Lösungsmittelretention (-inklusion) ist bei modernen Papiersorten geboten, da sich diese aufgrund spezieller Füllstoffe und Leimungen wie poröse Körper verhalten können, und dann eine erhöhte Lösungsmittelretention aufweisen.

BEMERKUNGEN ZUR REINIGUNG VON TEXTILIEN UND PAPIER

Zum Problem der Reinigung von textilen Objekten in wässrigen Systemen wurden von J. Hofenk de Graaff /47/ kürzlich einige Rezepturen waschaktiver Substanzen, Hilfsmittel und Stabilisatoren präsentiert. Bei Anwendung von nicht deionisiertem Wasser empfiehlt die Autorin folgendes Rezept:

<ul style="list-style-type: none"> α – Olefinsulfonat 0,5 g/l Natriumtripolyphosphat bzw. Nitrilotriessigsäure (NTA) bzw. Natriumcitrat 0,5 g/l Carboxymethylcellulose (CMC) 0,05 g/l 	}	pH 7–7,5
--	---	----------

<p>Bei Anwendung von destilliertem Wasser:</p> <ul style="list-style-type: none"> Alkylbenzylsulfonat 1 g/l Carboxymethylcellulose 0,05 g/l Natriumcitrat 0,5 g/l 	}	pH 7,5
--	---	--------

Die Rezepte enthalten neben der waschaktiven Substanz Komplexbildner, die Calcium und Magnesium sowie Metallverbindungen im Schmutz lösen. Als Komplexbildner werden Äthylendiamintetraessigsäure (EDTA), Nitrilotriessigsäure (NTA), Natriumcitrat und Natriumtripolyphosphat verwendet. Die Polyphosphate sind wichtige Komponenten bei der Zusammenstellung von Waschmitteln. Die Verwendung von Natriumtripolyphosphat bei der Reinigung alter Textilien kann infolge der entstehenden Alkalität das Ausbluten der Farbstoffe verursachen. Diese Substanz sollte daher möglichst durch Natriumcitrat ersetzt werden.

Carboxymethylcellulose mit einem Polymerisationsgrad zwischen 200 und 500 und einem Substitutionsgrad von 0,6–0,8 wird zugesetzt, weil sie das Wiederabsetzen von Staubteilchen auf dem gereinigten Textilobjekt inhibiert.

Schwierigkeiten bei der Anwendung wässriger Lösungsmittelsysteme entstehen vor allem bei Vorliegen stark degradierter Fasern. In diesem Fall müssen nichtwässrige Systeme verwendet werden, da dadurch der Quellprozeß der Cellulosefasern stark vermindert ist.

Grundsätzlich ist es allerdings notwendig, cellulosehaltiges Material nach einem Reinigungsvorgang mit einer alkalischen Reserve zu versehen. Die Alterung von Cellulosefasern wird durch den Entzug von Calcium- oder Magnesiumverbindungen außerordentlich beschleunigt. Reinigungsprozesse mit destilliertem Wasser bzw. unter Einsatz von Komplexmierungsmitteln entziehen dem Material neben schädlichen Schmutzteilen oder Übergangsmetallverbindungen auch die für seine weitere Alterungsbeständigkeit notwendigen Calcium- und Magnesiumverbindungen. In Arbeiten von I. Block /48/ sowie N. Kerr et al. /49/ und L. Tang /50/ wird diese Problematik ausführlich untersucht. Die Autoren empfehlen bei der Reinigung textiler Materialien ein Nachspülen der Objekte mit alkalisch gepufferten Lösungen, die Magnesiumbicarbonat, Calciumhydroxid oder **Wei T'o-Lösung Nr. 2[®]** (Methylmagnesiumcarbonat und Methanol in einem chlorierten Kohlenwasserstoff dispergiert) enthalten. Laut Untersuchungen von N. Kerr et al. /49/ hat diese Nachbehandlung besonders bei Anwendung von Methylmagnesiumcarbonat oder Magnesiumbicarbonat eine deutliche Verbesserung der Alterungsbeständigkeit der Objekte zur Folge.

Die Arbeiten von L. Tang /50/ beschreiben den Einfluß von Spuren von Calciumionen auf die Alterungsbeständigkeit von Papier. Die Autorin kann nachweisen, daß nach einer Reinigung von Papierobjekten in deionisiertem Wasser eine abschließende Nachbehandlung der Objekte nöt-

wendig ist, wobei das Wasser dazu mit 14–20 ppm (parts per million) Calcium dotiert sein muß, damit die Alterungsbeständigkeit der behandelten Objekte nicht leidet (vgl. Abb. 13). Ungereinigtes Leitungswasser sollte für Waschprozesse wegen seines Chlorgehaltes und der Gefahr des Einschleppens schädlicher Übergangsmetallionen möglichst nicht eingesetzt werden.

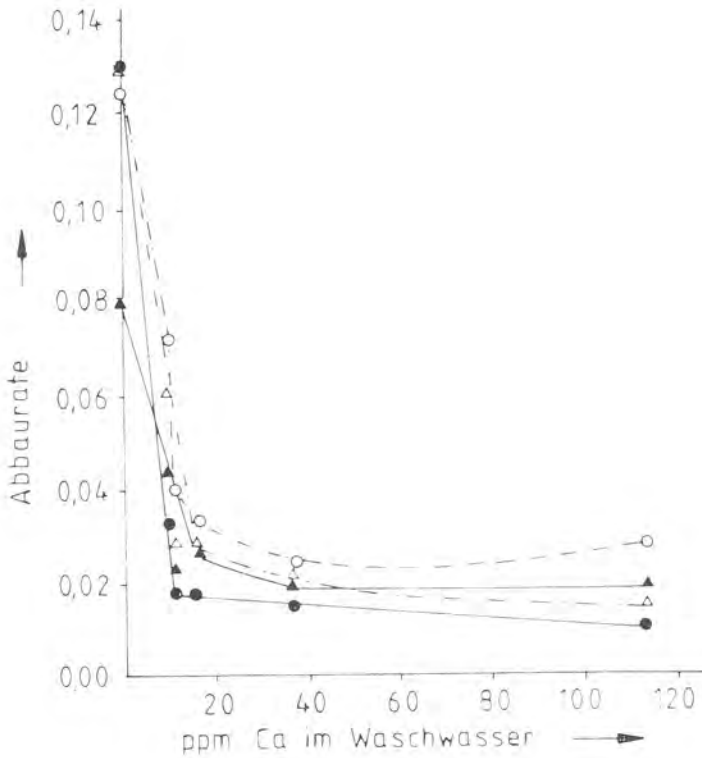


Abb. 13: Einfluß des Calciumgehaltes im Papierträger auf die Geschwindigkeit der Abbauerscheinungen infolge der Alterung.

- Kraft-Papier* in trockener Atmosphäre bei 100° gealtert
- Kraft-Papier* in feuchter Atmosphäre gealtert (90°, 50% RF)
- ▲ Zeitungspapier in trockener Atmosphäre bei 100° gealtert
- △ Zeitungspapier in feuchter Atmosphäre gealtert (90°, 50% RF)

* Sulfatzellstoff, gebleicht, Harzleimung

nach: L. C. Tang, »Washing and Deacidifying Paper in the same Operation«, /50/.

TOXIZITÄT VON LÖSUNGSMITTELN

Alle Lösungsmittel besitzen eine mehr oder weniger ausgeprägte Wirkung auf den menschlichen Körper. Das Ausmaß ist abhängig von der Lösungsmittelmenge und der Einwirkungsdauer. Eine kurzzeitige Einwirkung hoher Lösungsmitteldosen auf den Organismus kann zu akuten Vergiftungen führen. Bei Einwirkung kleinerer Lösungsmittelmengen über längere Zeiträume können chronische Schäden und Sensibilisierungen die Folge sein. Lösungsmitteldämpfe gelangen durch die Atmung über die Lunge und den Blutkreislauf in den Körper und werden in lipid- und fettreichen Zellen, Nerven, Hirn, Knochenmark, Leber, Niere u. a. angereichert. Die Zellen können durch das Lösungsmittel oder durch dessen Abbauprodukte geschädigt werden. Akute Vergiftungserscheinungen äußern sich durch Benommenheit, Kopfschmerz, Schwindel und narkotische Erscheinungen /8, 19, 20, 51/.

Wesentlich tückischer sind chronische Vergiftungen, weil sie zumeist erst nach längeren Zeiträumen – bis zu einigen Jahren – erkennbar werden.

Manche Lösungsmittel, wie z. B. Tetrachlorkohlenstoff oder Benzol werden direkt durch die Haut resorbiert. Ein häufiger Hautkontakt durch Lösungsmittel führt aber zumindest zu einer Entfettung und Versprödung der Haut, sodaß ein Eindringen von Bakterien erleichtert wird. Eine Folge unvorsichtiger Handhabung von Lösungsmitteln kann daher das Auftreten sehr unangenehmer ekzemartiger Hautschäden sein.

Nahezu alle Lösungsmittel besitzen einen charakteristischen Geruch. Allerdings ist die Wahrnehmungsfähigkeit durch Personen stark von einer Gewöhnung an Lösungsmitteldämpfe abhängig. Man bezeichnet die Konzentration von Lösungsmitteldampf in einem Kubikmeter Luft, die gerade noch wahrgenommen werden kann, als Geruchsschwelle (mg/m^3). Die Geruchsschwellenwerte liegen deutlich unter den Werten der maximalen Arbeitsplatzkonzentration (MAK), etwa in der Größe von $1/20$ des MAK-Wertes. Der Geruch sollte daher beim Umgang mit Lösungsmitteln unbedingt als Vorwarnung einer möglichen Gefährdung angesehen werden.

Aufgrund wissenschaftlicher Untersuchungen wurden Angaben über die Konzentration von Lösungsmitteldämpfen erarbeitet, die bei täglicher, achtstündiger Einwirkung auf den Organismus keine Schädigungen der Gesundheit verursachen. In der BRD werden von der »Kommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe« der Deutschen Forschungsgemeinschaft die Grenzwerte unter dem Begriff MAK (Maximale Arbeitsplatzkonzentration) publiziert. Die MAK-Werte für Lösungsmitteldämpfe werden in cm^3 oder mg Lösungsmitteldampf pro m^3 Raumluft (vielfach auch in ppm = parts per million, d. h. in Teilen Dampf auf eine Million Teile Luft angegeben). Die MAK-Werte sind keine endgültigen Zahlenwerte und werden nach dem jeweiligen Stand der Forschung geändert. Außerdem wird die Zusammenstellung durch Daten für bisher nichterfaßte Stoffe laufend ergänzt. Es ist zusätzlich zu bemerken, daß die MAK-Werte für den Vergleich möglicher gesundheitsschädigender Wirkungen nicht geeignet sind und insbesondere keine Aussagen über die akute Gefahr (kurzzeitig aufgenommene hohe Dosis) einzelner Lösungsmittel gestatten.

Der MAK-Wert wird in anderen Ländern als TLV-Wert (Threshold Limit Value) bezeichnet.

1. EINDRINGVERMÖGEN UND RETENTION

Im Kapitel I des Buches »Les Solvants« von L. Masschelein-Kleiner werden die wichtigsten Phänomene beschrieben, die für die Penetration von Flüssigkeiten in poröse Körper verantwortlich sind (vgl. dazu den Abschnitt »Penetrationsverhalten von Lösungsmitteln in porösen Körpern«, p. 133 f.). In diesem Kapitel wird aufgezeigt, daß eine Einteilung bezüglich des Penetrationsvermögens auch für die in der Konservierung eingesetzten Lösungsmittel mit guter Näherung möglich ist. Die Einteilung beruht auf zwei meßbaren physikalischen Größen – der Viskosität und der Oberflächenspannung.

Abb. 12 zeigt, daß Ameisensäure, Amine und Amide die Lösungsmittel mit den besten Penetrationsvermögen sind. Ein starkes Penetrationsverhalten weisen chlorierte Kohlenwasserstoffe und Aromaten auf; Ketone und Alkohole dringen mittelstark ein, und die gesättigten Kohlenwasserstoffe sowie niedermolekulare Äther zählen zu den Lösungsmitteln mit geringstem Penetrationsvermögen. In gleicher Weise wie dem Penetrationsvermögen muß auch der Retentionsmenge und -zeit eines Lösungsmittels in einem porösen Körper Beachtung geschenkt werden. Die gefährlichsten Lösungsmittel für originale Malschichten sind jene, die gut eindringen und eine lange und starke Retention aufweisen.

Kategorie I, »Abbeizende« Lösungsmittel:

sehr tief eindringend, lange, starke Retention:

Terpentin, Tetrahydrofuran, Glykole, Diacetonalkohol, Formamid, Dimethylsulfoxid, t-Butylamin (tertiäres Butylamin), n-Butylamin, Dimethylformamid, Ameisensäure, Essigsäure

Kategorie II, »Mittlere« Lösungsmittel:

mittel eindringend, mittlere Retention:

Ketone, Alkohole, Ester, Wasser

Kategorie III, »Mobile« Lösungsmittel:

sehr tief eindringend, kurze, schwache Retention:

halogenierte Kohlenwasserstoffe, Aromaten

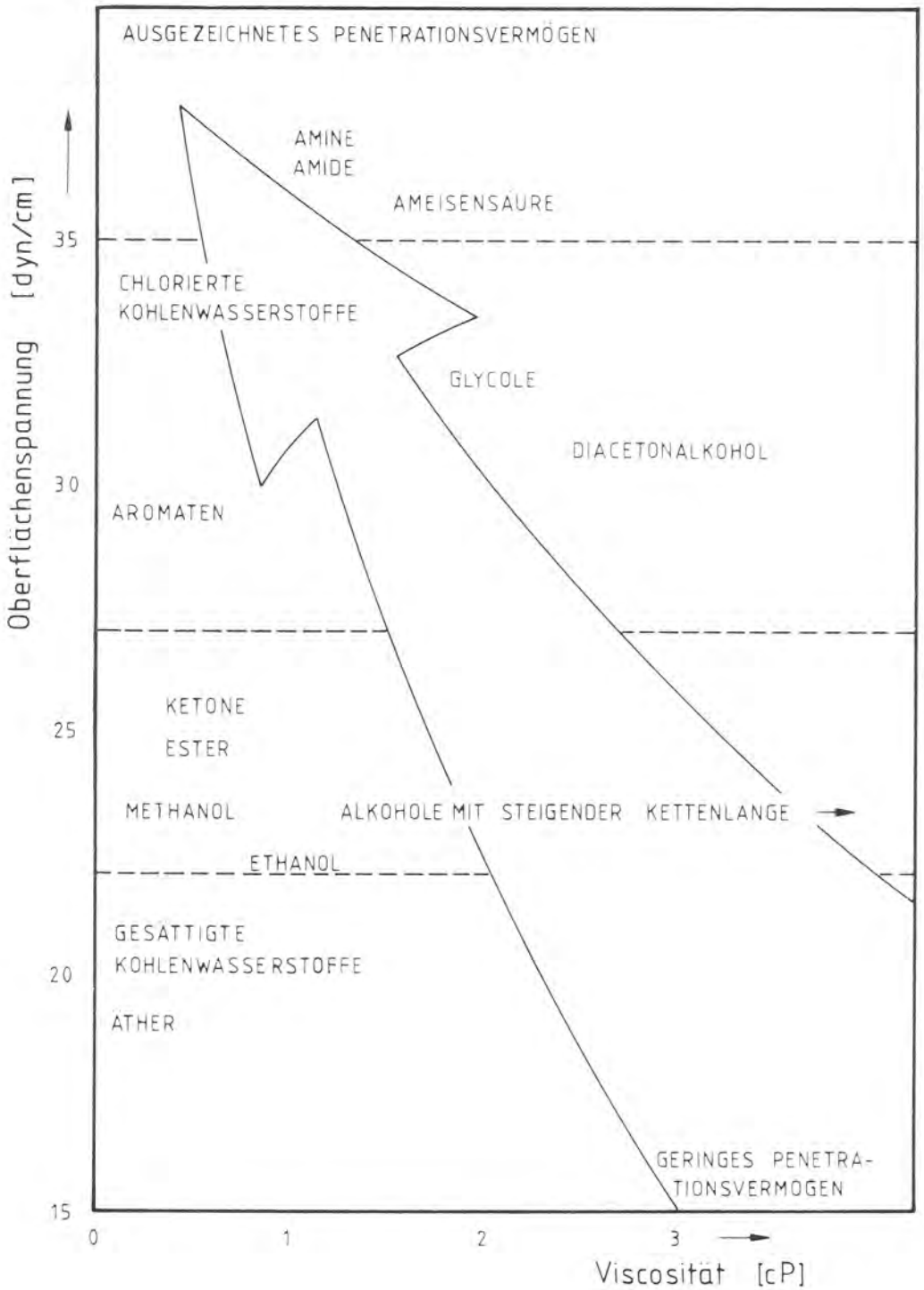
Kategorie IV, »Flüchtige« Lösungsmittel:

wenig eindringend, kurze, schwache Retention:

gesättigte Kohlenwasserstoffe, niedermolekulare Äther.

Zur Vermeidung unvorhersehbarer Folgen ist anzuraten, möglichst jene Lösungsmittel nicht einzusetzen, die eine starke und langandauernde Retention aufweisen. Ferner soll darauf hingewiesen werden, daß die Gefährlichkeit eines Lösungsmittels mit der Anwendungsdauer zunimmt. Wenn die Anwendung derartiger Lösungsmittel unvermeidlich ist, beispielsweise bei der Entfernung von Übermalungen, so sollten sie sehr sparsam angewandt werden. Jeder Überschuß sollte mit mehreren trockenen Wattebauschen entfernt werden. Es empfiehlt sich in diesen Fällen, mit einem Fön zu arbeiten. Zumeist ist es nicht möglich, das Lösungsmittel mit einer anderen Flüssigkeit auszuspülen. Dabei wird nur die Flüssigkeitsmenge vergrößert, die aus den porösen Malschichten wieder entfernt werden muß. Ist die behandelte Schicht so stark erweicht, daß trockene Watte zum Auftupfen nicht verwendbar ist, so kann fallweise auf ein Lösungsmittel mit schwacher Retention zurückgegriffen werden. Allerdings ist dann auf eine mögliche Weißschleierbildung zu achten. In jedem Fall muß vorher mit Hilfe des Lösungsmitteldreiecks kontrolliert werden, welche Lösungseigenschaften die so entstandene Mischung hat, und ob sie wirklich unschädlich ist.

Abb. 12: Penetrationsverhalten von Lösungsmitteln in porösen Körpern.



Darüberhinaus erscheint es gefährlich, die Methode des Re-forming (vgl. p. 138) generell anzuwenden. Ihr Einsatz ist insbesondere dann kritisch, wenn Lösungsmittel der Kategorie I (Diäctonalkohol, Cellosolveacetat /1, 52, 53/ oder Dimethylformamid /54/) verwendet werden. Auch bei Anwendung weniger wirksamer Lösungsmittel wird durch das Re-forming die Gesamtmenge der in die Malschichten eingeführten Lösungsmittel beträchtlich erhöht. Die Behandlungsmethode sollte daher nur in besonderen, extremen Fällen angewendet werden, wenn bereits alle klassischen Methoden sich als ungeeignet erwiesen haben. In jedem Fall muß durch Testuntersuchungen die Ungefährlichkeit für die Originalsubstanz, besonders für Lasuren, geprüft werden.

Der Großteil der bevorzugt eingesetzten Lösungsmittel weist eine mittlere Retention auf. In Anbetracht der zahlreichen Möglichkeiten von Lösungsmittelmischungen und der daraus resultierenden Vielfalt der Lösungseigenschaften läßt sich mit dieser Gruppe ein Großteil der Aufgaben durchführen. Bei der Herstellung mehrkomponentiger Lösungsmittelsysteme spielen Lösungsmittel mit schwacher Retention eine wichtige Rolle.

Abschließend noch folgende Bemerkung:

Nach einer Behandlung eines Objektes mit Lösungsmitteln sollte ein Firnis frühestens zwei Monate nach Beendigung der Arbeiten aufgebracht werden, damit der Restlösungsmittelgehalt in den Malschichten weitgehend entweichen kann. Falls die Arbeit früher abgeschlossen werden muß, ist es empfehlenswert, den Firnis zu sprühen. In diesem Fall entsteht keine völlig dichte Firnissschicht und eine Verdunstung von Restlösungsmitteln bleibt weiter möglich.

2. SPEZIFISCHE WECHSELWIRKUNGEN

Die Löslichkeit einer Substanz A in einem Lösungsmittel B hängt von den Wechselwirkungen ab, die die beiden Stoffe miteinander eingehen können. Die wesentlichen zwischenmolekularen Kräfte seien kurz noch einmal wiederholt:

Richtkräfte (Dipol-Dipol-Wechselwirkung) zwischen Molekülen, die infolge einer unsymmetrischen Verteilung ihrer elektrischen Ladung ein permanentes Dipolmoment aufweisen.

Induzierte Kräfte (Induktionskräfte) zwischen Dipolen und Molekülen ohne permanentes Dipolmoment; die Polarisierbarkeit eines Moleküls, das kein permanentes Dipolmoment besitzt, begünstigt die Entstehung eines induzierten Dipols.

Dispersionskräfte (van der Waals'sche Kräfte) zwischen Molekülen ohne Dipolmoment.

Wasserstoffbrückenbindungen treten zwischen Wasserstoffdonatoren und Wasserstoffakzeptoren (besitzen ein freies Elektronenpaar) auf.

Coulombsche Kräfte (Ionenkräfte) treten zwischen Ionen auf. Lösungsmittel, die diese starken Wechselwirkungen überwinden können, werden »dissoziierend« genannt.

Ladungsüberführungskräfte zwischen einem Elektronendonator und einem Elektronenakzeptor; Lösungsmittel, die diese Wechselwirkungskräfte ausbilden, werden »koordinierend« genannt, denn sie sind in der Lage, Koordinationsverbindungen zu bilden. Da das Vermögen, Elektronen abzugeben, zur Ionisierung eines gelösten Stoffes führt, werden diese Lösungsmittel auch »ionisierend« genannt.

Tabelle 15 zeigt die möglichen Wechselwirkungskräfte, die eine Lösungsmittelgruppe eingehen kann (a, b, c, d, e, f, vgl. Legende zu Tabelle 15). Zusätzlich angegeben sind die Substanzgruppen, die von bestimmten Lösungsmittelgruppen gelöst werden können.

Tabelle 15: Mögliche Wechselwirkungskräfte und Lösungsvermögen einzelner Lösungsmittelgruppen

Lösungsmittel	Wechselwirkungen	lösliche Stoffe
gesättigte Kohlenwasserstoffe	(c)	Paraffine, Fette, Wachse, Bitumen, karotinoide Farbstoffe, natürlicher Kautschuk, Polycyclohexanon, Butylmetacrylat
Aromatische Kohlenwasserstoffe	(b) (c) (d) (f) : wenig	wie oben frische natürliche Harze (nicht Schellack, Kopale, Sandarak) die meisten synthetischen Harze
Chlorierte Kohlenwasserstoffe	(c) (a) : wenig (b) : aromatische	wie oben
Ester	(c) (a) (b) (e) : sehr wenig (d) : als Wasserstoffakzeptoren: gering wirksam	wie oben einige Farbstoffe
Äther	(c) (f) (d) Wasserstoff-Akzeptoren (a) (e) : sehr wenig	wie oben keine synthetischen Harze
Alkohole: Methanol Ethanol u. a. Diäcetonalkohol	(c) (d) (e) (f) wie oben wie oben + (a)	wie oben, Schellack, Sandarak, frischer Kopal, PVA, einige Acrylharze
Ketone	(a) (c) (d) Wasserstoffakzeptoren (e) (f)	wie oben, der Großteil der natürlichen und künstlichen Harze (nicht Schellack), Farbstoffe, Tinten, frische Ölmalereien
Glycole Polyole Äther Ester	(a) (b) (c) (d) (e) (f)	Abbeizende Lösungsmittel, sehr gefährlich, zu vermeiden

(a) Richtkräfte, (b) Induzierte Kräfte, (c) Dispersionskräfte, (d) Wasserstoffbindungskräfte, (e) Coulombsche Kräfte, (f) Ladungsübertragungskräfte (Koordinationsbindungen)

Tabelle 15: Fortsetzung

Lösungsmittel	Wechselwirkung	lösliche Stoffe
Amide	(a) (b) (c) (d) DMF: Wasserstoff- akzeptor (e) (f)	Abbeizende Lösungsmittel, Formamid vermeiden, nicht auf frischen Malereien, inkl. Objekte d. 19. Jh. verwenden.
Amine Ammoniak	(b) (c) (d) (f)	gefährlich, giftig, zu vermeiden, polymerisierte Öle, Schellack
Organische Säuren	(a) (d) (f)	Proteine

(a) Richtkräfte, (b) Induzierte Kräfte, (c) Dispersionskräfte, (d) Wasserstoffbindungskräfte,
(e) Coulombsche Kräfte, (f) Ladungsübertragungskräfte (Koordinationsbindungen)

3. PRAKTISCHE ANWENDUNGEN

Die Problemstellung, mit der der Restaurator konfrontiert ist, erfordert die Ausarbeitung einer Methode, die eine systematische Auswahl von Lösungsmitteln nach vernünftigen Kriterien erlaubt.

In Tabelle 16 sind Lösungsmittelsysteme angeführt, die vor Beginn der Bearbeitung eines der gängigen restauratorischen Probleme (z. B. Reinigung eines Objektes von oberflächlichen Verschmutzungen, Abnahme eines Harzfirnisses, Abnahme einer Übermalung) auf ihre Wirksamkeit getestet werden sollten.

Die Lösungsmittel werden rein oder in bewußt einfacher Mischung aus zwei oder höchstens drei Komponenten verwendet. Es ist ein Irrtum zu glauben, daß die Lösungseigenschaften verschiedener Lösungsmittel sich bei Mischung addieren. Das Lösungsvermögen einer Mischung kann gegenüber jenem der einzelnen Komponenten durchaus auch schwächer ausfallen.

In Anbetracht der Komplexität der den Lösungsprozeß beeinflussenden Mechanismen ist es schwierig, das Lösungsvermögen von Lösungsmittelmischungen aus mehr als zwei Komponenten theoretisch eindeutig abzuschätzen. Das Lösungsmitteldiagramm bietet hierbei Hilfestellung, versagt aber in manchen Fällen, da die Lösungsmittelparameter unter Zuhilfenahme verschiedener Vereinfachungen entwickelt wurden (vgl. p. 91 f.).

Die Erfahrung hat gezeigt, daß die Anwendung einfacher Lösungsmittelsysteme vorteilhaft ist. Im allgemeinen sollte ein »aktives« Lösungsmittel (Kategorie I oder II) mit einem »mobilen« (Kat. III) oder mit einem »flüchtigen« (Kat. IV) verdünnt werden. Derartige Mischungen können unproblematisch der jeweiligen Problemstellung angepaßt werden. Je nach Wirksamkeit der am Objekt getesteten Lösungsmittelsysteme kann die Konzentration des »aktiven« Lösungsmittels erhöht oder verringert werden, womit eine Verstärkung oder Abschwächung des Lösevermögens der Mischung erreicht wird. Die Zusammenstellung in Tabelle 16 hat nichts Endgültiges an sich. Sie sollte keinesfalls als eine Art »Wunderlösung« für alle Lösungsmittelprobleme der Konservierung angesehen werden. Die angegebenen Lösungsmittelsysteme werden immer wieder aufgrund einfließender Erfahrungen aus der Praxis abgeändert, und es ist zu hoffen, daß auch in Zukunft weitere Verbesserungen vorgenommen werden.

Aus dem vorher Gesagten läßt sich ableiten, daß die angegebenen Daten erste Anhaltspunkte

te für eine Behandlung liefern. Es ist allerdings zu beachten, daß jedes Objekt besondere Schwierigkeiten bezüglich einer Behandlung aufweisen kann. Das bedeutet ferner, daß für Testversuche jeweils dem Problem angepaßte Lösungsmittelsysteme frisch zuzubereiten sind. Ein Chemiker kann dem Restaurator bei der Auswahl der geeigneten Lösungsmittel behilflich sein.

Aus der Tabelle geht ferner hervor, daß Aceton als Lösungsmittel für konservatorische Probleme nach Möglichkeit nicht eingesetzt werden soll. Aceton verursacht wegen seiner hohen Verdunstungsgeschwindigkeit Weißschleierbildung. Es ist daher empfehlenswert, Methyläthylketon zu verwenden. Angemerkt sei noch, daß die angeführten Lösungsmittel für Harzfirnisse in ihren f_d -Werten (Löslichkeitsparameter für Dispersionskräfte) mit denen von R. L. Feller /39/, $f_d = 75$ und H. Ruhemann /37/, $f_d = 72,8 \pm 12,6$ übereinstimmen. Für stärkere Firnissschichten liegen die f_d -Werte der Mischungen niedriger, etwa bei $f_d = 50$.

Die Versuche sind wie folgt in drei Etappen durchzuführen:

Mit Hilfe eines Kapillarröhrchens (\varnothing 2 mm) wird ein Lösungsmitteltropfen auf die Oberfläche des Objekts aufgebracht. Die Wirksamkeit des Lösungsmittels wird mit einem Stereomikroskop beobachtet. Bei Anlösung der behandelten Schicht beobachtet man eine Randbildung.

An der behandelten Stelle wird ein »Nadeltest« durchgeführt. Diese Prüfmethode erlaubt es, die Erweichung der behandelten Schichten des Objekts zu überprüfen und abzuschätzen, wie tief der Angriff des Lösungsmittels erfolgt.

An der behandelten Stelle wird das Lösungsverhalten mit einem Wattestäbchen überprüft. Es ist anzuraten, die Wattestäbchen zu Dokumentationszwecken aufzubewahren.

Diese Tests dürfen selbstverständlich nur an sorgfältig ausgewählten Stellen des Objekts ausgeführt werden, damit die erhaltenen Resultate einerseits aussagekräftig sind, andererseits keine ästhetische Beeinträchtigung des Objektes durch die Testversuche hervorgerufen wird. Bei Gemälden ist es zweckmäßig, eine helle Partie (z. B. das Blau des Himmels), eine rote Position und eine dunkle Stelle (z. B. Braun) zu wählen. Die helle Partie erlaubt wegen des Kontrastes eine gute Überprüfung des Lösungsvermögens eines Lösungsmittelsystems, die roten und braunen Partien des Objektes müssen gesondert getestet werden, weil sie häufig eine geringere Beständigkeit gegenüber Lösungsmitteln aufweisen. Es ist zweckmäßig, die Wattetupfer zu kontrollieren, um sicher zu gehen, daß keine Pigmentteilchen von den Farbschichten abgetragen werden. Die Tests sollten nicht an Positionen durchgeführt werden, die durch Zierrahmen geschützt waren. An diesen Stellen weist der Firnis zumeist ein besseres Lösungsverhalten auf, weil er milderer Alterungsbedingungen ausgesetzt war. Das Protokoll zu den Löslichkeitsproben sollte wie folgt angelegt werden:

Lösungsmittel Nr.	Randbildung um den Tropfen	Nadelprobe	Bemerkungen	Wattetupfer
1	+	hart	man muß reiben	Anfärbung

In der Spalte »Bemerkungen« sind zusätzliche Beobachtungen zu notieren: z. B. die Entstehung von Weißschleiern, Kristallisationserscheinungen, das Penetrationsvermögen (schnell oder langsam), die angewandte Reinigungstechnik mittels des Wattetupfers (Reiben, Abrollen u. ä.).

Da jedes Objekt eine individuelle Geschichte aufweist, können allgemein gültige Ratschläge nicht erteilt werden. Jedes Objekt stellt den Bearbeiter vor besondere Probleme, es müssen daher grundsätzlich Untersuchungen durchgeführt werden. Die Lösungsmitteltests sollten immer mit den mildesten Lösungsmitteln begonnen werden. Auf diese Weise läßt sich das Risiko minimalisieren. Der Restaurator sollte sich bewußt sein, daß jede Reinigung einen sehr weitgehenden Eingriff in ein Objekt darstellt.

Einige Malschichten weisen gegenüber Lösungsmitteln anormale Empfindlichkeiten auf. Selbst 200 Jahre alte Gemälde können überraschende Ergebnisse zeigen. Die Laboratorien der National Gallery in London haben kürzlich die bei der Reinigung von Gemälden von George Stubbs (1724 – 1808) auftretenden Probleme beschrieben. Der Künstler verwendete ungewöhnliche Bindemittelsysteme, die eine nicht trocknende, fettige Substanz mit niedrigem Schmelzpunkt enthalten. Auf Grund dessen sind die Gemälde außerordentlich lösungsmittelempfindlich /55/.

Im Zweifelsfall sollte ein Chemiker zu Rate gezogen werden.

Tabelle 16: Zusammenstellung von Testlösungsmitteln

Problemstellung Arbeitsziel	Nr.	Lösungsmittel	Mischungsver- hältnis (ml)	Lösungsmittel- kategorie	
Oberflächen- reinigung	1	Isooctan	rein	IV	
	2	Diisopropyläther	rein	IV	
	3	White Spirit	16% Aromaten- anteil	III-IV	
	4	p-Xylol	rein	III	
	5	p-Xylol + Trichloräthan	50 : 50	IV + III	
Abnahme von Harzfirnis	6	Isooctan + Isopropanol	50 : 50	IV + II	
	7	Toluol + Isopropanol	50 : 50	III + II	
	8	Isooctan + Äther + Ethanol	80 : 10 : 20	IV + IV + II	
	9	Isooctan + Äther + Ethanol	55 : 15 : 30	IV + IV + II	
	Harzfirnis in dicker Schicht	10	Äthylacetat + Methyläthylketon	50 : 50	II + II
		11	Isopropanol + Methylisobutyl- keton	50 : 50	II + II

Lösungsmittelkategorien:

I Abbeizende Lösungsmittel

II Mittlere Lösungsmittel »Aktive Lösungsmittel«

III Mobile Lösungsmittel

IV Flüchtige Lösungsmittel

Tabelle 16: Fortsetzung

Problemstellung Arbeitsziel	Nr.	Lösungsmittel	Mischungsver- hältnis (ml)	Lösungsmittel- kategorie
Abnahme einer öhlhaltigen Übermalung	12	Dichloräthan + Methanol	50 : 50	III + II (I)
	13	Toluol + DMF	75 : 25	III + I
	14	Trichloräthan + Diacetonalkohol	75 : 25	III + I
	15	Trichloräthan + DMF	50 : 50	III + I
	16	Äthylacetat + DMF	50 : 50	II + I
	17	Isopropanol + Ammoniak + H ₂ O	90 : 10 : 10	II + I + II
	18	Isopropanol + Ammoniak + H ₂ O	50 : 25 : 25	II + I + II
	Abnahme eines Proteinleimes oder einer proteinhal- tigen Übermalung	19	Dichlormethan + Äthylformiat + Ameisensäure	50 : 50 : 2
Abnahme eines kohlehydrat- haltigen Leimes oder einer kohlehydrathalti- gen Übermalung	20	Toluol + Isopropanol + H ₂ O	50 : 65 : 15	III + II + II
	21	Methyläthyl- keton + H ₂ O	25 : 75	II + II
	22	Äthylacetat + THF + H ₂ O	5 : 35 : 45	II + I + II
	23	Essigsäure + H ₂ O	5 : 95	I + II

Lösungsmittelkategorien:

I Abbeizende Lösungsmittel

II Mittlere Lösungsmittel »Aktive Lösungsmittel«

III Mobile Lösungsmittel

IV Flüchtige Lösungsmittel

DMF: Dimethylformamid

THF: Tetrahydrofuran

H₂O: Wasser

Löslichkeitsparameter einiger Mischungen vgl. Tab. 9, p. 109.

PENETRATIONSVERHALTEN VON LÖSUNGSMITTELN IN PORÖSEN KÖRPERN

Die für das Penetrationsvermögen von Flüssigkeiten in porösen Körpern wichtigen Parameter sind unter anderem die Viskosität einer Flüssigkeit und ihre Oberflächenspannung. Zu beiden Begriffen werden nachfolgend kurze Erläuterungen gegeben (56, 57).

Die **Viskosität** beschreibt das Fließverhalten einer Flüssigkeit. Flüssigkeiten, die nur zäh fließen, werden **viskos** genannt. Das Fließverhalten einer Flüssigkeit läßt sich aufgrund des molekularen Aufbaus der Flüssigkeitsmoleküle erklären. Eine Flüssigkeit ist niedrigviskos (fließt leicht), wenn die Moleküle leicht voneinander abgleiten können. Bei starken zwischenmolekularen Wechselwirkungen der Flüssigkeitsmoleküle steigt die Viskosität an. Polare Flüssigkeiten weisen daher eine höhere Viskosität auf als unpolare (Wasser, das einen bedeutenden Anteil von Wasserstoffbrücken zwischen den Molekülen bilden kann, fließt daher zäher als beispielsweise n-Hexan oder Aceton, die beide schwächere intermolekulare Wechselwirkungen aufweisen). Weiters wird die Viskosität durch die Molekülgröße beeinflusst. Flüssigkeiten, die große Moleküle enthalten, haben daher meistens eine relativ hohe Viskosität (z. B. sind Schmieröle – Kettenlänge sechzehn bis zwanzig Kohlenstoffatome – bekanntlich zähflüssiger als n-Hexan – Kettenlänge sechs Kohlenstoffatome). Die Viskosität einer Flüssigkeit läßt sich durch Zumischen einer Fremdschubstanz verändern. Wenn man die Viskosität eines Lösungsmittels steigern möchte, so kann man eine Substanz zusetzen, die beispielsweise Wasserstoffbrückenbindungen ausbildet und lange Moleküle aufweist (z. B. Carboxymethylcellulose). Schließlich ist die Viskosität stark von der Temperatur abhängig. Flüssigkeiten fließen leichter (werden niedrigviskoser), wenn die Temperatur erhöht wird (dies ist beispielsweise bei Lösungen von tierischen Leimen deutlich zu beobachten).

Poröse Körper saugen Flüssigkeiten spontan auf. Dieser »Löschpapiereffekt« wird als **Kapillarität (Kapillareffekt)** bezeichnet. In der restauratorischen Praxis wird dieser Effekt fallweise ausgenutzt, indem Reinigungsflüssigkeiten oder geschmolzenes Wachs mit stark saugenden Materialien von der Objekt Oberfläche aufgenommen werden. Bei der Reinigung (man verwendet zum Absaugen von Lösungsmitteln z. B. Attapulgit oder Löschpapier) können Schmutzteilchen auf diese Weise aus unzugänglichen Poren oder Rissen entfernt werden, da die Flüssigkeit die Schmutzanteile in das saugende Material transportiert. Das Eindringen von Flüssigkeiten in poröse Objekte birgt aber auch Gefahren in sich. Es gelingt nicht immer, die Flüssigkeitsreste vollständig aus dem Objekt zu entfernen. Wenn beispielsweise Wasser in Metallobjekte eindringt und dort verbleibt, so tritt im Laufe der Zeit Korrosion des Metalls ein. Bei Steinobjekten kann eingedrungenes Wasser ebenfalls Schäden verursachen, wenn es gefriert und sich dadurch das Volumen vergrößert. Abplatzungen sind die Folge.

Die Kapillarität hängt von den möglichen Wechselwirkungen zwischen der eingedrungenen Flüssigkeit und dem Feststoff ab. Die Moleküle der Flüssigkeit können Wechselwirkungen mit den Molekülen des Feststoffes eingehen. Da natürlich molekulare Wechselwirkungen zwischen allen beteiligten Molekülen vorhanden sind, ist für das Verhalten einer Flüssigkeit in einem porösen Feststoff entscheidend, welche der Wechselwirkungskräfte überwiegen: die inneren Anziehungskräfte zwischen den Molekülen der Flüssigkeit (**Kohäsionskräfte**) oder die Wechselwirkungskräfte, die eine Haftung der Flüssigkeitsmoleküle am Feststoff verursachen (**Adhäsionskräfte**). Je nachdem, welche Art der Anziehungskräfte überwiegt, wird sich eine Flüssigkeit entweder leicht oder nur schwer aus einem porösen Körper entfernen lassen. Die Wechselwirkung zwischen Flüssigkeits- und Feststoffmolekülen äußert sich in der Ausbildung des Flüssigkeitsmeniskus in einer Pore (vgl. Abb. 14).

Ein starker Kapillareffekt ist bei polaren Flüssigkeiten zu erwarten, weil diese auch starke molekulare Wechselwirkungen mit einem Feststoff eingehen können, obwohl sie starke intermolekulare Wechselwirkungskräfte aufweisen. Wenn ein Feststoff Wasserstoffbrücken mit einer polaren

Flüssigkeit ausbilden kann, so tritt **Absorption** ein. Das ist bei cellulosehaltigen Materialien wie z. B. Baumwolle und Holz oder proteinhaltigen Materialien wie Leder, Pergament und Wolle der Fall. Man nennt diese Stoffe **hydrophil** (wasserliebend). Fette, bzw. fetthaltige Oberflächen stoßen Wasser ab, sie sind **hydrophob** (wasserhassend). Viele Überzüge aus unpolaren Molekülen wie Firnisse, stoßen Wasser ab, sind also hydrophob.

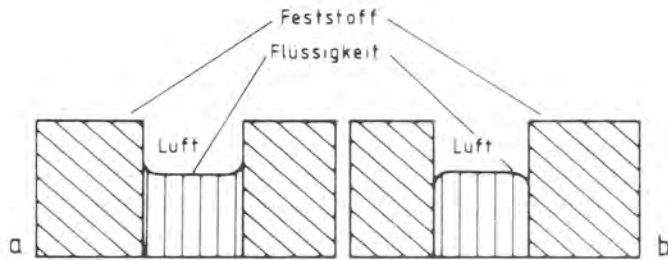


Abb. 14a: Konkaver Flüssigkeitsmeniskus.

Abb. 14b: Konvexer Flüssigkeitsmeniskus.

Bei einer starken Wechselwirkung zwischen Flüssigkeit und Feststoff bildet sich ein Flüssigkeitsmeniskus aus, wie in Abb. 14a dargestellt. Bei schwacher Anziehung sind die molekularen Anziehungskräfte in der Flüssigkeit im Vergleich zu den Wechselwirkungskräften zwischen Flüssigkeits- und Feststoffmolekülen stark. Es bildet sich ein konvexer Flüssigkeitsmeniskus aus (Abb. 14b).

nach: Science for Conservators. Book II. »Cleaning« /6/.

Diese Effekte werden häufig als **Oberflächenspannung**, manchmal als Oberflächenenergie, beschrieben. Die inneren Anziehungskräfte zwischen den Molekülen einer Flüssigkeit haben zur Folge, daß die einzelnen Moleküle möglichst nahe beieinander stehen. Für eine kleine Flüssigkeitsmenge bedeutet das, daß ein hoher Tropfen ausgebildet wird, weil so die kleinräumigste Anordnung der Moleküle möglich ist. Ein kugelförmiger Tropfen hat die kleinstmögliche Oberfläche. Man kann sich vorstellen, daß die Flüssigkeit von einer elastischen Haut etwa in der Art eines Luftballons umgeben ist. Die Spannung dieser Haut ist den intermolekularen Anziehungskräften der Flüssigkeit äquivalent. Jede Vergrößerung der Oberfläche erfordert einen Energieaufwand. Eine Vergrößerung der Oberfläche wird aber umso leichter sein, je geringer die zwischenmolekularen Anziehungskräfte der Flüssigkeitsmoleküle sind.

Hydrophobe Materialien lassen sich mit wässrigen Systemen kaum reinigen, weil keine Benetzung mit der Reinigungsflüssigkeit eintritt. Mit Hilfe von Netzmitteln (Seifen bzw. Tensiden oder Detergentien) als Zusatz zu Wasser, läßt sich die Benetzung verbessern, indem die Ausbildung von Wechselwirkungen zwischen dem hydrophoben Stoff (z. B. Fett oder Öl) und dem Wasser erleichtert wird.

Die Wirkung der Netzmittel an der Grenzfläche zwischen Wasser und Fett gibt eine Erklärung dafür, warum diese Substanzen als »oberflächenaktive« Substanzen bezeichnet werden. Die Moleküle von Netzmitteln bzw. Seifen bestehen aus einem langen, unpolaren Teil und einer kleinen, polaren Gruppe. Die Wasseroberfläche wird gewissermaßen von den polaren Teilen der oberflächenaktiven Moleküle bedeckt, während die unpolaren Teile entsprechend Abb. 15 von der Wasseroberfläche abgewandt sind.

Innerhalb des Flüssigkeitsvolumens bilden die Tensidmoleküle oder -ionen Aggregate (Micellen), die so orientiert sind, daß die polaren (hydrophilen) Gruppierungen der wässrigen Phase zugekehrt sind, und die unpolaren (hydrophoben) Gruppen in das Innere der Micelle weisen (Abb. 16). Das Zentrum der Micelle entspricht demnach einem unpolaren Lösungsmittel. Die Fettmoleküle können so absorbiert und in Lösung gehalten werden – es gilt wieder die Näherung Ähnliches ist in Ähnlichem löslich.

Weitere Hinweise über die Wirkung oberflächenaktiver Substanzen finden sich auf p. 74 f. und p. 123.

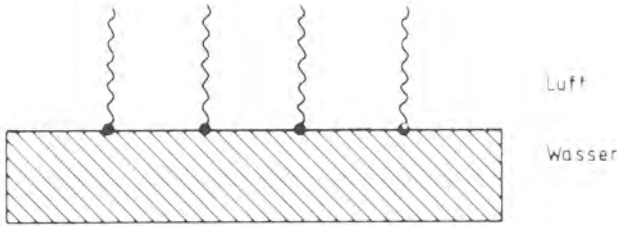


Abb. 15: Mit Seifenmolekülen belegte Wasseroberfläche, die unpolaren (hydrophoben) Molekülreste stehen aus der Wasseroberfläche heraus, die polaren (hydrophilen) Molekülgruppen sind in Wechselwirkung mit den polaren Wassermolekülen an der Oberfläche.
nach: Science for Conservators, Book II, »Cleaning« /6/.

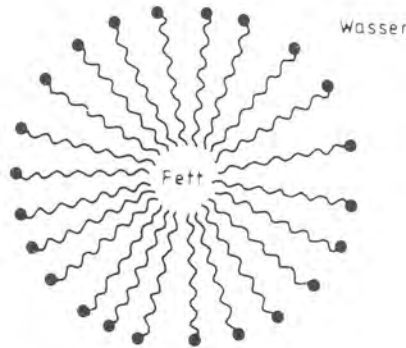


Abb. 16: Querschnitt durch eine Micelle mit annähernd kugeliger Gestalt.

- = hydrophiler Rest
- ~ = hydrophober Rest

nach: Science for Conservators, Book II, »Cleaning« /6/.

LÖSUNGSMITTELRETENTION

C. M. Hansen /58, 59/ wies nach, daß das Abdampfen eines Lösungsmittels aus einer Malschicht in zwei Phasen verläuft.

Die **Phase I** wird durch den Widerstand der Oberfläche des Objektes gegen das Austreten des Lösungsmittels in die Atmosphäre bestimmt. In dieser Phase ist die Oberfläche noch mit dem Lösungsmittel benetzt, und es sind Parameter wie Verdunstungswärme, Dampfdruck, Diffusionskoeffizient des Lösungsmittels in die Atmosphäre und die Luftbewegung an der Oberfläche zu berücksichtigen.

Die **Phase II** wird durch den Widerstand der tieferen Schicht gegen die Abgabe des Lösungsmittels bestimmt. Diese Phase wird vor allem durch den Diffusionskoeffizienten des Lösungsmittels in den vorliegenden polymeren Stoffen beeinflusst. Diese Phase ist der geschwindigkeitsbestimmende Schritt für die Retention eines Lösungsmittels und kann sich über mehrere Jahre erstrecken.

In Arbeiten von M. Yaseen und H. E. Ashton /60/ konnte gezeigt werden, daß während der Phase II (der Diffusion des Lösungsmittels in einem Festkörper) das Verdampfen des Lösungsmittels direkt proportional zur Dampfdruckdifferenz im Querschnitt der Schicht und umgekehrt proportional zur Schichtdicke ist. Da nach der Phase I praktisch kein Lösungsmittel mehr in der umgebenden Atmosphäre vorhanden ist, wird sich die Diffusion fortsetzen, bis sich kein Lösungsmittel mehr in der Schicht befindet. Die restlichen Lösungsmittelanteile verbleiben lange in der Malschicht, einerseits, weil sich durch den Trocknungsprozeß die Schicht verdichtet und der Widerstand gegen die Diffusion zunimmt, andererseits, weil die Dampfdruckdifferenz geringer wird. Lösungsmittelreste in Malschichten können in vielen Fällen auch noch zwei Jahre nach erfolgter Behandlung nachgewiesen werden.

Der Verdampfungsprozeß eines Lösungsmittels nach seiner Applikation an einem porösen Körper, wie z. B. bei der Reinigung eines Tafelbildes, kann ebenfalls in zwei Phasen zerlegt werden. Die Phase I verläuft sehr schnell, da die Verdampfung der an der Objekt Oberfläche verbliebenen Lösungsmittelanteile überwiegt. Die Phase II erstreckt sich über einen längeren Zeitraum, denn hier entweicht das in die Malschichten eingedrungene Lösungsmittel auf Grund der oben angeführten Gesetzmäßigkeiten wesentlich langsamer.

Lösungsmittel mit sehr starker Retention

Das Verdampfen des Lösungsmittels geht sehr langsam vor sich, sodaß Phase I und Phase II nicht zu unterscheiden sind. Etwa vierundzwanzig Stunden nach der Behandlung des Objekts beträgt der Restlösungsmittelgehalt noch mehr als 10% der angewandten Lösungsmittelmenge. Lösungsmittel dieses Typs sind z. B. Äthylenglykol, Formamid, Essigsäure, Ameisensäure, Butylamin, Terpentin, Cyclohexanol, Dimethylsulfoxid, u. a.

Lösungsmittel mit starker Retention

Die Phase I ist langsam und dauert beinahe einen halben Tag (ungefähr zwölf Stunden). Die Phase II beginnt bei einem Restlösungsmittelgehalt von 3–10% im Objekt. Hierzu gehören Diacetonalkohol, Amylalkohol, Dimethylformamid (DMF), Tetrahydrofuran (THF), tertiäres Butylamin, u. a.

Lösungsmittel mit mittlerer Retention

Die Phase I erstreckt sich über einen Zeitraum von dreißig Minuten bis zu vier Stunden. Die Phase II beginnt bei einem Restlösungsmittelgehalt von 2–3% der angewandten Lösungsmittelmenge. Hierzu gehören Alkohole, Methanol bis Butanol, Ammoniak, Xylol, p-Xylol, Chlorbenzol, Wasser, u. a. In diese Lösungsmittelgruppe werden auch ein Großteil der Ketone und Ester eingeordnet, obwohl sie sich von den genannten Lösungsmitteln durch eine schnellere Phase I unterscheiden, die im allgemeinen weniger als dreißig Minuten dauert.

Lösungsmittel mit schwacher Retention

Die Phase I ist dreißig Minuten nach der Anwendung am Objekt beendet. Es verbleiben nur Bruchteile von Prozenten in den Malschichten bis zum Beginn der Phase II. Aus diesem Grund existiert eine Phase II praktisch nicht. Lösungsmittel dieses Typs sind der Großteil der gesättigten Kohlenwasserstoffe, der Großteil der chlorierten Kohlenwasserstoffe, Benzol, Toluol, Diäthyläther, Diisopropyläther, Schwefelkohlenstoff, Acetonitril, u. a.

Eine ausführliche theoretische Darstellung zur Problematik der Lösungsmittelretention in Malschichten findet sich bei L. Masschelein-Kleiner in Kapitel II ihres Buches »Les Solvants« (61), aus dem der vorangegangene Abschnitt zusammengefaßt wurde.

RE-FORMING

Die **Re-forming** Technik wurde erstmals 1959 von Elizabeth H. Jones vorgeschlagen /1/. Es handelt sich um eine Technik, die die Abnahme gealterter Firnissschichten erleichtern soll. Zu diesem Zweck wird die Firnissschicht mit einem Lösungsmittelgemisch (4 Teile Ethanol, 1 Teil Diacetonalkohol, 1 Teil Cellosolveacetat) besprüht /52, 53, 62/.

Durch das Besprühen wird die Firnissschicht erweicht und leicht klebrig. Es genügt im allgemeinen eine Sprühzeit von 2 bis 4 Sekunden um den gewünschten Effekt zu erreichen. Die Firnisabnahme kann dann nach einem Zeitraum von 1 Stunde bis 1 Woche erfolgen. Durch das Besprühen der abzunehmenden Schicht mit dem genannten Lösungsmittelsystem verändern sich die Löslichkeitseigenschaften der Materialien. Untersuchungen konnten zeigen, daß die Vorbehandlung den Einsatz »milderer Lösungsmittel« für die Abnahme gestattet. Als »mildere Lösungsmittel« werden solche bezeichnet, deren $f_{0.1}$ -Wert oberhalb des gefährlichen Bereiches von $f_{0.1} = 68$ (Löslichkeitsbereich gealterter Öle), also etwa im Bereich $f_{0.1} = 80$ liegt. Im allgemeinen bedeutet das, daß die Reinigung des Objektes mit einem geringeren Risiko für die originalen Malschichten durchführbar ist. Gute Erfolge wurden bei gealterten Mastix- und Dammarfirnissen aber auch bei verschiedenen synthetischen Polymeren erzielt. Ölhaltige Mastix- und Dammarüberzüge zeigten den beschriebenen Effekt in geringerem Umfang. Die vorliegenden Untersuchungen wurden allerdings an Objekten durchgeführt, bei denen verschiedene Parameter wie Alter und Zusammensetzung der behandelten Firnissschichten unbekannt waren. Keine Angaben finden sich bezüglich eines Verbleibens von Lösungsmittelresten in den Malschichten. Die von L. Masschelein-Kleiner angeführten Einwände, in denen im Zusammenhang mit der Re-forming Technik besonders vor der Anwendung von Diacetonalkohol, Cellosolveacetat und Dimethylformamid (DMF) gewarnt wird, erscheinen daher durchaus berechtigt (vgl. p. 127). Bei den genannten Lösungsmitteln handelt es sich um solche der Kategorie I (abbeizende Lösungsmittel), die durchwegs ein gutes Penetrationsvermögen und eine lange Retention aufweisen (vgl. p. 126 und p. 133 f.).

1. ENTFERNUNG VON VERSCHMUTZUNGEN AN DER OBJEKTOBERFLÄCHE

1.1. Gemälde

Auf Gemälden, die lange Zeit einer verunreinigten Atmosphäre ausgesetzt waren, finden sich oberflächliche Schmutzschichten, die Fette, Nikotin sowie Staub mineralischen Ursprungs enthalten. Für die Entfernung dieser Oberflächenverschmutzungen wurden hauptsächlich Speichel, der Saft von Kartoffeln, Zwiebeln, oder anderen Gemüsesorten verwendet. Diese Technik hat auch heute noch eine gewisse Verbreitung. Tatsächlich werden besonders mit Speichel gute Erfolge erzielt. Allerdings beinhaltet die Verwendung von Speichel die Gefahr einer Übertragung von Mikroorganismen. Aus diesem Grund sollte eher destilliertes Wasser verwendet werden, dem eine kleine Menge nichtionisches Netzmittel zugesetzt wird. Nach der Reinigung erfolgt eine Nachbehandlung mit reinem Wasser, wobei abschließend die Bildfläche sorgfältig mit trockener Watte abgetupft werden muß, um die im Objekt verbleibende Feuchtigkeit optimal zu reduzieren (vgl. p. 146).

Mit Testbenzin oder Isooctan läßt sich häufig das gleiche Ergebnis erzielen. Auch hier wird abschließend die behandelte Fläche mit trockener Watte abgerieben, um eine Weißschleierbildung, die besonders bei hoher Luftfeuchtigkeit bevorzugt auftritt, zu verhindern.

Andere, ästhetisch störende, Verschmutzungen oder Ränder werden durch über die Bildoberfläche fließendes Wasser verursacht (z. B. nach Wassereintrüben). In diesem Fall müssen wässrige Lösungsmittelsysteme eingesetzt werden, um die vom Wasser hervorgerufenen Verunreinigungen wieder zu entfernen.

Ein Freskoentwurf auf Karton von P. Puvis de Chavanne (Legende der HI. Geneveva, Brüssel, Musées Royaux d'Art et d'Histoire) war durch Wasserränder stark entstellt. Die langen Wasserränder konnten durch Auflegen von Kompressen aus einer stark saugfähigen Tonerde (Attapulgit) entfernt werden.

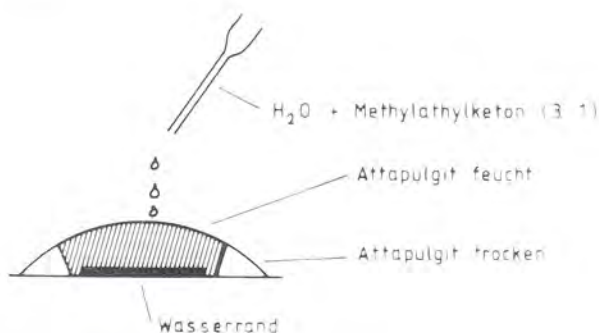


Abb. 17: Entfernung von Wasserrändern mittels Kompressen

Auf die Tonerde wurde eine Mischung aus Wasser und Methyläthylketon (3 : 1) aufgeträufelt. Das Lösungsmittel mußte so auf die Komresse aufgebracht werden, daß allein der Bereich des Wasserrandes befeuchtet wurde, rundherum aber ein trockener Rand der Komresse verblieb. Die Verunreinigungen wandern bei Anwendung dieser Technik durch Kapillarkräfte in die Tonerdekomresse hinein. Nach Abschluß der Behandlung läßt sich die Tonerdekomresse nach völliger Trocknung durch Absaugen leicht entfernen.

Zur Entfernung von Wasserrändern auf einer »Pauba« aus dem Ethnologischen Museum Antwerpen mußte eine andere Technik angewandt werden. Die Wasserränder entstanden in diesem Fall durch eine Anreicherung eines in Wasser quellbaren tierischen Leimes. Unter Zuhilfenahme des ö. a. Lösungsmittelsystems (Wasser, Methyläthylketon, 3 : 1), das mit einem Pinsel auf die beschädigten Stellen aufgetragen wurde (Schweineborste 4 mm), konnte der Bindemittelüberschuß wieder gleichmäßig verteilt werden.

Falls Wasser über natürliche Harzfirnisse fließt, kann dies zur Bildung weißlicher Ränder führen /63/. In diesem Fall wird die Verweißlichung der Oberfläche durch eine Aufräuhung der Firnis-schicht und die daraus resultierende Lichtstreuung verursacht. Zur Beseitigung dieses Effektes muß der Firnis wieder geglättet werden. Dies kann durch ein oberflächliches Anlösen geschehen. Für die Behandlung muß ein verhältnismäßig langsam verdampfendes Lösungsmittelsystem ausgewählt werden. Gute Ergebnisse wurden durch Auftragen einer Mischung von Isopropanol, 2,4-Pentandion (2 : 1) mit einem Pinsel erzielt. Dieses Lösungsmittelsystem besitzt allerdings eine starke Retention und neigt zum Vergilben. Es kann durch Methylisobutylketon ersetzt werden.

1.2. Skulpturen

Im Freien aufgestellte Skulpturen weisen häufig starke Verschmutzungen auf, deren Entfernung in vielen Fällen problematisch ist. Eine polychrome Steinskulptur (Sitzender Christus, 16. Jahrhundert, Openbaar Centrum voor Maatschappelijk, Neizijn-Brugge) wies z. B. eine harte, sehr dicke, schwarze Schmutzschicht auf. Für die Reinigung mußte ein Lösungsmittelsystem herangezogen werden, durch das die originale Malschicht nicht angegriffen wurde. In diesem Fall wurde das beste Resultat mit einer Mischung aus Trichloräthan und p-Xylol (1 : 1) erzielt.

Eine Maria Magdalena (spanisch, 17. Jahrhundert, Musées Royaux d'Art et d'Histoire), deren Fassung unter einer dunklen, fettigen Schmutzschicht verborgen war, ließ sich dagegen problemlos mit destilliertem Wasser unter Zusatz eines nichtionischen Netzmittels reinigen. Die Behandlung wurde durch fünfminütiges Auflegen von Kompressen aus Carboxymethylcellulose vorgenommen. Es ist in diesem Zusammenhang erwähnenswert, daß eine Verwendung von Kompressen vielfach sinnvoll ist, weil dadurch Verletzungen der Malschichten vermieden werden können. Diese Methode besitzt allerdings den Nachteil, daß eine visuelle Kontrolle des Behandlungserfolges nicht möglich ist. Das Lösungsmittelsystem und die Behandlungszeit müssen daher vorher genau überprüft werden. Weiters ist es sinnvoll, zu Beginn nur begrenzte Flächen zu behandeln.

Die Verwendung wässriger Lösungsmittelsysteme bei polychromen Skulpturen erfordert Vorversuche. Es müssen kleinräumige Tests durchgeführt werden, bei denen alle der Behandlung ausgesetzten Materialkomponenten auf ihre Empfindlichkeit gegenüber dem Lösungsmittelsystem geprüft werden. Manche Farbschichten (z. B. Metallauflagen, Schichten, die Azurit enthalten sowie Grundierungen) enthalten häufig wasserempfindliche Binde- oder Klebmittel, die eine Behandlung im wässrigen System nicht zulassen.

1.3. Wandmalerei, koloriertes Papier, Leder

Bei der Reinigung von Wandmalereien handelt es sich zumeist um große zu behandelnde Flächen. Daher müssen möglichst ungiftige Lösungsmittelsysteme angewandt werden. Häufig lassen sich sehr befriedigende Ergebnisse mit Wasser, dem etwa 0,25% nichtionisches Netzmittel zugesetzt ist, erzielen. Natürlich müssen die behandelten Flächen gut mit reinem Wasser nachgewaschen und getrocknet werden, damit es gelingt, das Netzmittel wieder möglichst weitgehend zu entfernen.

Bemaltes Leder läßt sich ebenfalls mit dieser Methode reinigen. Vorversuche sind allerdings in jedem Fall notwendig.

Fallweise ist die zu behandelnde Malschicht empfindlich gegen wässrige Lösungsmittelsysteme. In diesem Fall müssen hydrophobe Lösungsmittel verwendet werden, die nicht toxisch sind (z. B. Testbenzin).

Bei bemalten Papieren kann Radiergummi unterschiedlicher Härte gute Dienste für Reinigungsarbeiten leisten.

1.4. Objekte aus Stein

Zur Reinigung von Steinobjekten wurden kürzlich einige Arbeiten veröffentlicht /64, 65/. Die Autoren unterscheiden darin zwei verschiedene Arten von Verschmutzungen bei Steinobjekten: An der Oberfläche haftender Schmutz, der sich nicht in das Material inkrustiert hat und chemisch inert ist (Ruß, Erde u. a.)

Verschmutzungen, die mehr oder weniger tief in den Stein eindringen und die Oberflächenercheinung stark verändern (Öl, Teer, Rost u. a.).

Andere charakteristische Oberflächenschäden der Steinmaterialien (Ausblühungen, Krusten, Patina u. a.) werden ebenfalls erwähnt.

Eigene Erfahrungen auf dem Gebiet der Reinigung von Steinobjekten sind begrenzt. Abgesehen von den bereits erwähnten Reinigungsarbeiten an Wandmalereien wurden zumeist oberflächlich verschmutzte Steinskulpturen behandelt. Die Verwendung von Netzmitteln kann bei porösen Körpern (dazu gehören Steinobjekte) problematisch sein. Netzmittel lassen sich nicht immer vollständig entfernen. Die Objekte ziehen dann leicht Staub an und verschmutzen wieder sehr schnell. Netzmittel dürfen nur in geringen Konzentrationen verwendet werden und sollten durch Nachspülen mit Wasser möglichst vollständig wieder entfernt werden. Für die Behandlung sind neutrale, nichtionische Netzmittel vorzuziehen.

Für die Entfernung von fetthaltigen Verschmutzungen können Kompressen von Nutzen sein (z. B. Attapulgit mit p-Xylol als Lösungsmittel). Kürzlich wurde eine Alabasterskulptur (St. Martin, Halle, St. Martinuskerk) mit einer Mischung aus Isooctan, Isopropanol (1 : 1) gereinigt. Stark verschmutzte Partien wurden mit einer Mischung aus Ethanol, Wasser (9 : 1) behandelt. Da Alabaster wasserempfindlich ist, war in diesem Fall große Vorsicht geboten.

2. FIRNISABNAHME

2.1. Gemälde

Firnisse auf Basis natürlicher Harze lassen sich mit Hilfe der nachfolgend angeführten Lösungsmittelsysteme abnehmen. Die Zusammenstellung ist nach steigendem Lösungsvermögen geordnet.

Lösungsmittelsysteme für Firnisabnahmen

Lösungsmittelmischung (ml)	zunehmendes Lösevermögen
Isooctan – Isopropanol (50 : 50)	↓
Toluol – Isopropanol (50 : 50)	
Isooctan – Ethanol – Diäthyläther (80 : 20 : 10) oder (55 : 30 : 15)	

Die angegebenen Lösungsmittelgemische greifen im allgemeinen alte Lasuren (bis ca. zum 18. Jahrhundert) nicht an. Dennoch empfiehlt es sich dringend, Testversuche durchzuführen (besonders an braunen, grünen und roten Partien der zu behandelnden Objekte).

In einer »Anbetung der Könige« (Schule des Lambert Lombard, 16. Jahrhundert, St. Denis, Lüttich) fand sich ein Firnis aus Pinienharz, Mastix und Öl, der stark vergilbt war. Als Lösungsmittel

für die Abnahme wurde eine Mischung aus Isooctan, Ethanol, Diäthyläther (80 : 20 : 10, Angaben in ml) verwendet.

Ein weiterer interessanter Fall war die Firnisabnahme an einer Kreuzigung (16. Jahrhundert, Privatkapelle, Ginkelom). Mit einer Mischung aus Toluol, Isopropanol (1 : 1) konnte der Firnis problemlos entfernt werden. Allerdings blieben bräunliche Flecken auf dem Bild zurück, die in diesem Lösungsmittelgemisch unlöslich waren. Dieses Phänomen tritt häufig auf. Es handelt sich sehr wahrscheinlich um Reste von einem alten Firnis, der bei früheren Reinigungen in den Vertiefungen der Bildoberfläche verblieben ist. In diesen Flecken lassen sich häufig ölhaltige Substanzen identifizieren, was den Schluß zuläßt, daß es sich um alte Ölfirnisse oder um Reste von Ölpolituren handelt. In dem beschriebenen Fall konnten die verbliebenen braunen Flecken mittels einer Mischung aus Toluol und Dimethylformamid (DMF) (3 : 1) gelöst werden. Es handelt sich hier um ein Lösungsmittelsystem, daß üblicherweise für die Entfernung ölhaltiger Übermalungen verwendet wird (vgl. Tabelle 16, p. 132).

Kunstharzfirnisse auf Basis von Polycyclohexanon (AW 2, Keton N, heute: LAROPAL K-80), weisen ein sehr differenziertes Lösungsverhalten auf, das stark von den Alterungsbedingungen abhängig ist. Ein Bild von Permeke »Der Fischer und seine Frau« (Sammlung Crédit Communal) wies einen solchen Firnis auf, der mit Hilfe einer Mischung aus Isooctan, Isopropanol (1 : 1) abgenommen werden konnte. Ein ähnlicher Firnis, der etwa gleich alt war, fand sich auf einem Gemälde von D. Bouts »Die Feuerprobe« (Musée des Beaux Arts, Brüssel). In diesem Fall war eine Abnahme nur mehr mit einem abbeizenden Lösungsmittel möglich (Isopropanol, Ammoniak, Wasser 50 : 25 : 25) (ml).

Auf Gemälden aus dem zentralamerikanischen oder südamerikanischen Raum finden sich häufig sehr dicke Firnissschichten. Sie sind zumeist schwer löslich, vermutlich wegen einer verstärkten Alterung des Materials infolge der klimatischen Bedingungen. Zur Entfernung der Firnissschicht von einem Bild aus der Schule von Cuzco (»Christ des tremblements de terre«, 17. Jahrhundert) mußte ein Lösungsmittelsystem eingesetzt werden, das normalerweise zur Entfernung ölhaltiger Übermalungen eingesetzt wird (Äthylacetat, Dimethylformamid, 1 : 1).

Abschließend noch ein interessanter Fall eines Gemäldes, das D. Bouts zugeschrieben ist. Es handelt sich um eine Temperamalerei, die einen Firnis aufwies, der die Farbigkeit entstellte (Tuchleim). Die Malschicht war außerordentlich spröde und empfindlich, sodaß eine mechanische Abnahme ausgeschlossen war /66/. Die Entfernung der dicken Firnissschicht gelang mit einer stark penetrierenden Lösungsmittelmischung aus Methanol und Dichloräthan, die mit Hilfe von Kompressen auf die Objekt Oberfläche aufgebracht werden konnte.

2.2. Skulpturen

Bei Skulpturen stellt sich die Problematik einer Firnisabnahme zumeist ähnlich dar wie bei Gemälden. Man begegnet häufig außergewöhnlichen Fällen. So wurden z. B. proteinhaltige, stark verschmutzte Überzüge auf Gold- oder Silberauflagen gefunden. Diese Schichten dienten wahrscheinlich dazu, die Metallaufgaben zu mattieren. Im stark verschmutzten Zustand entstellten sie den originalen Eindruck der Fassung. Für die Abnahme ist es notwendig, die Proteine im sauren Medium zu hydrolisieren. Geeignet war dazu eine azeotrope Mischung aus Dichlormethan, Äthylformiat (*Ameisensäureäthylester*) und Ameisensäure (50 : 50 : 2) (ml). Das Lösungsvermögen dieses Gemisches ist gut, wirkt aber infolge seiner starken Flüchtigkeit nur auf Oberflächenschichten. Die Anwendung ist verhältnismäßig ungefährlich und gut kontrollierbar.

Ebenfalls schwierig ist die Entfernung von Schellackschichten. Die Gipsformen der Statuetten des Schreines von St. Gertrude de Nivelles wiesen sehr dunkle Schellackschichten auf. Diese Schichten sollten zur Isolierung bei der Abformung dienen. Schellack läßt sich mit Hilfe von methanolgetränkten Kompressen quellen. In dem beschriebenen Fall ließen sich die gequollenen Schichten mechanisch entfernen. In diesem Zusammenhang verdient eine Arbeit von S. P. Koob

/67/ Erwähnung, in der für die Entfernung von Schellack Pyridin empfohlen wird. Pyridin ist stark toxisch und außerdem ein sehr unangenehm riechendes Lösungsmittel. Für den Fall, daß für Freilegungen basische Lösungsmittel verwendet werden müssen, sollten bevorzugt mehr oder weniger stark verdünnte Ammoniaklösungen eingesetzt werden, die im Vergleich zu den organischen Aminen wesentlich weniger schädlich sind.

3. ABNAHME VON ÜBERMALUNGEN

Die Abnahme einer Übermalung erfordert zunächst eine genaue Prüfung der ästhetischen und historischen Gesichtspunkte. Sie erfordert ferner eine realistische Einschätzung der notwendigen Retuschierarbeiten und natürlich eine sehr sorgfältige Auswahl der dazu notwendigen Lösungsmittelsysteme. Im allgemeinen erfordern diese Arbeiten abbeizende Lösungsmittel. Das bedeutet, daß diese Lösungsmittel die Bindemittelsysteme der abzunehmenden Schichten angreifen oder lösen. Durch Vorversuche ist allerdings unbedingt sicherzustellen, daß die originale Fassung durch die verwendeten Lösungsmittel nicht angegriffen wird. In vielen Fällen ist die Originalsubstanz empfindlicher als die Übermalung. Dies kann durch eine mangelhafte Haftung der Malschicht auf dem Bildträger verursacht werden, z. B. durch Erhebungen, Blasen und Fehlstellen. Daher ist unbedingt vor einer solchen Behandlung eine Festigung der Farbschichten durchzuführen. Auch der Zustand der Oberfläche einer originalen Malschicht kann zu Schwierigkeiten bei der Abnahme von Übermalungen führen. Hierfür sei ein Beispiel angeführt: In einem Gemälde eines anonymen Künstlers des 19. Jahrhunderts »Intérieur de ferme« (Sammlungen Lüttich) war die blaue, sehr körnige Originalschicht durch eine dicke braune Übermalung verdeckt. Die Übermalung haftete in den Vertiefungen der originalen Malschicht sehr gut, außerdem wies letztere eine annähernd gleiche Löslichkeit auf. In einem solchen Fall ist die Abnahme der Übermalung ohne Substanzverlust kaum möglich und sollte unterlassen werden.

Glücklicherweise sind diese Probleme nicht immer unlösbar. Falls die originale Malschicht wesentlich älter ist als die Übermalung, lassen sich die in Vertiefungen haftenden Übermalungsreste häufig mit Kompressen erweichen und anschließend mit einem Skalpell entfernen, ohne daß Verletzungen der Pastositäten eintreten.

Bei Gemälden des 19. und 20. Jahrhunderts kommt es häufig vor, daß die Übermalung im Vergleich zur Originalsubstanz schlechter löslich ist. In derartigen Fällen müssen für die Abnahme von Übermalungen flüchtige Lösungsmittelsysteme gewählt werden, um die Tiefenwirkung weitgehend einzuschränken. Trotzdem bleibt ein solcher Eingriff immer mit einer gewissen Gefahr verbunden und sollte nur von einem erfahrenen Restaurator durchgeführt werden.

3.1. Ölhaltige Übermalungen

Für die Abnahme ölgebundener Übermalungen können zwei verschiedene Lösungsmittelsysteme empfohlen werden. Das eine Lösungsmittelsystem ist flüchtig und weist eine kurze Einwirkungszeit auf. Lösungsmittelmischungen dieses Typs enthalten Ammoniak. Als Beispiel sei die folgende Mischung angeführt:

Isopropanol, Ammoniak, Wasser

Mischungsverhältnis 90 : 10 : 10 bis 50 : 25 : 25 (Angaben in ml).

Die zweite Möglichkeit ist der Einsatz von Lösungsmittelsystemen mit starkem Penetrationsvermögen, die eine längere Wirkungsdauer aufweisen. Solche Lösungsmittelmischungen enthal-

ten Diacetonalkohol oder Dimethylformamid (DMF). Auch für diese Lösungsmittelsysteme seien einige Beispiele angeführt (Angaben in ml):

- Toluol, Dimethylformamid (DMF) (75 : 25)
- Trichloräthan, Diacetonalkohol (75 : 25)
- Trichloräthan, Dimethylformamid (DMF) (50 : 50)
- Äthylacetat, Dimethylformamid (DMF) (50 : 50)

3.2. Proteingebundene Übermalungen

Proteingebundene Übermalungen lassen sich im allgemeinen mit säurehaltigen Lösungsmitteln abnehmen. Eine bekannte Lösungsmittelmischung für die Abnahme derartiger Übermalungen ist z. B. eine Mischung aus Dichlormethan, Äthylformiat und Ameisensäure in einem Mischungsverhältnis von 50 : 50 : 2 (ml).

3.2.1. Gemälde

Zur Abnahme von proteingebundenen Übermalungen an Gemälden werden auch ammoniakhaltige Mischungen verwendet (Isopropanol, Ammoniak, Wasser 90 : 10 : 1) (ml). Erwähnt werden soll die Entfernung einer Übermalung von einem Tafelbild eines anonymen Künstlers des 15. Jahrhunderts (Hl. Blasius, Musée de Neuchâtel). Ein weiterer Fall war das Kreuzigungstryptichon von Pieter Aertsen, 16. Jahrhundert (Openbaar Centrum voor Maatschappelijk, Welzijn-Antwerpen). Eine Übermalung auf einem Seitenflügel erforderte zur Abnahme eine Lösungsmittelmischung von Trichloräthan, Diacetonalkohol (75 : 25) (ml), für die Mitteltafel mußte eine säurehaltige Mischung aus Dichlormethan, Äthylformiat und Ameisensäure (50 : 50 : 2) (ml) verwendet werden.

3.2.2. Skulpturen

Bei Überfassungen von Skulpturen finden sich häufig dicke und schwer lösliche Malschichten. Ihre Lösung bzw. Quellung erfordert zumeist den Einsatz derart aggressiver Lösungsmittelsysteme, daß eine Abnahme der Überfassung auf mechanischem Weg (mit einem Skalpell) schonender ist und daher vorgezogen werden sollte. Dies gilt besonders dann, wenn die Überfassung nur wenige Schichten aufweist, oder man sich bereits in der Nähe der Originalsubstanz befindet.

Häufig finden sich bei Überfassungen sehr harte Schichten, die vermutlich als Bindemittel Kasein enthalten. Die Abnahme einer extrem harten Malschicht von einer Skulptur des 16. Jahrhunderts (Hl. Helena, Kirche von Zoutleew/Léau), die vermutlich kaseingebunden war, erforderte die Anwendung einer außergewöhnlichen Lösungsmittelmischung aus Trichloräthan, Dimethylformamid (DMF) und Ammoniak (25% NH_3) im Mischungsverhältnis 1 : 3 : 1. Diese Lösungsmittelmischung wurde in Tabelle 16 (p. 132) nicht berücksichtigt.

4. DIVERSES

4.1. Bitumenflecken

Bei Bitumen handelt es sich um Verbindungen, die in der Lage sind, in porösen Malschichten zu wandern /63/. Es ist notwendig, diese Substanzen vollständig zu entfernen, weil andernfalls Reste des verbliebenen Bitumens im Laufe der Zeit aus den tieferen Schichten wieder an die

Oberfläche wandern. Dieser Vorgang vollzieht sich sehr langsam, läßt sich aber nicht verhindern.

Als Beispiel hierfür sei folgender Fall angeführt: Vor einigen Jahren beschädigte ein Vandal ein Fresko von J. Folon »Magic City« in einer Brüsseler U-Bahn-Station. Dieses Objekt weist eine sehr dünne Malschicht auf, die acrylatgebunden ist. Das Fresko war durch Teerflecken beschädigt. Diese Flecken ließen sich mit Isooctan vollständig lösen, allerdings wurde dadurch auch die Malschicht angelöst, was umfangreiche Retuschierarbeiten zur Folge hatte.

Dieselbe Problematik ist dann gegeben, wenn der Künstler Asphalt als Farbmittel verwendet hat. Dies ist z. B. bei den Gemälden von Méllery der Fall. Die Leinwandgemälde dieses Künstlers scheiden derzeit eine bräunliche Flüssigkeit aus, die die Darstellung unkenntlich werden läßt. Bisher blieben alle Versuche, die Gemälde zu reinigen, erfolglos, weil wegen der außerordentlichen Empfindlichkeit der Malschichten eine Behandlung äußerst risikoreich ist.

4.2. Schwefelsäureflecken

Ein anderer Vandalenakt wurde mit Schwefelsäure an einem Wandbild (in diesem Fall handelte es sich um eine Ölmalerei) von P. Delvaux »Le voyage légendaire« (Casino de Chaudfontaine) verübt. Das Objekt ist unmittelbar nach dem Anschlag mit Wasser gespült worden. Trotz dieser Sofortmaßnahme war die Malschicht durch die Säureeinwirkung bereits geschädigt und wies matt in Erscheinung tretende Rinnspuren auf. Die Säure hatte außerdem einige Pigmente angegriffen, besonders blaue, grüne und graue. Im unteren Bereich der Rinnspuren fanden sich braune Flecken. Die Schäden reichten tief in die Malschicht, die verbräunten Flecken waren noch feucht und wiesen einen pH-Wert von 5 auf. Diese Stellen wurden mit einer gesättigten Natriumbicarbonatlösung neutralisiert, anschließend mit destilliertem Wasser gespült und getrocknet. Die braunen Flecken mußten entfernt werden, weil sie durch Retuschen nicht überdeckt werden konnten. Die Abnahme erfolgte mit einer Mischung aus Isooctan und Isopropanol (1 : 1).

4.3. Proteinleime

Tierische Leime lassen sich normalerweise mit säurehaltigen Lösungsmittelsystemen entfernen. Geeignet sind z. B. Mischungen aus Dichlormethan, Äthylformiat und Ameisensäure (50 : 50 : 2) (ml) oder Essigsäure und Wasser (5 : 95) (ml).

Fallweise führt aber der Einsatz dieser Lösungsmittelsysteme nicht zum gewünschten Erfolg. Dies war z. B. bei der Abnahme einer stark versprödeten Kittmasse in einem Tafelbild von M. Seghers »Nature morte« (St. Nicolas Kirche, Perk) der Fall. Hier mußte eine enzymatische Methode angewandt werden. Als Enzym wurde Papain (50 mg Papain in 50 ml Phtalatpuffer – pH 5,0) verwendet. Dieses Enzym baut Proteine ab. Bei der Anwendung derartiger Enzymlösungen muß allerdings darauf geachtet werden, daß leimgebundene Grundierungen von der Behandlung nicht betroffen werden. Andernfalls wird das proteinhaltige Bindemittel in der Grundierung (tierischer Leim) ebenfalls abgebaut, woraus Abblätterungen der Malschicht als Folgeschäden der Behandlung resultieren.

4.4. Klebstoffe auf Cellulosebasis

Klebstoffe auf Basis von Cellulosederivaten werden häufig auf Papierobjekten gefunden. Diese Klebstoffe vergilben infolge von Alterungsphänomenen und verursachen störende Flecken auf den Objekten. Bei einer Federzeichnung von P. Delvaux (Kreuzabnahme, Privatsammlung) konnten derartige Flecken mit Methanol extrahiert werden, wobei das aufgebrauchte Lösungsmittel beidseitig mit Filterpapier abgesaugt wurde. Auch Klebebänder verursachen häufig ähnliche Verunreinigungen. Üblicherweise lassen sich derartige Flecken mit Hilfe von Xylol oder Äthylacetat entfernen.

SPEICHEL ALS REINIGUNGSMEDIUM

Speichel ist nachgewiesenermaßen ein wirksames Mittel zur Abnahme von Oberflächenverschmutzungen an Gemälden. Seine Wirksamkeit beruht auf der Kombination der zahlreichen gelösten Komponenten, die dem Speichel Penetrations- und Lösungsvermögen sowie emulgierende Eigenschaften verleihen. Dies und die Tatsache, daß Speichel eine billige und leicht verfügbare Reinigungsflüssigkeit ist – sie kann in bescheidenen Mengen kontinuierlich von den meisten Personen produziert werden – hat bis in die Gegenwart zu verbreiteter Anwendung in der Restaurierung geführt.

Den Herausgebern ist nur eine umfangreiche Untersuchung bezüglich der Zusammensetzung und des Lösevermögens von Speichel im Zusammenhang mit Reinigungsmaßnahmen an Kunstobjekten bekannt. Diese Arbeit wurde von B. Ramsay 1976 publiziert /68/. Gemäß dieser Untersuchung enthält menschlicher Speichel eine Reihe von Enzymen, darunter Ptyalin, Lipase, Phosphatase und andere mehr. Obwohl Enzyme nur in geringsten Konzentrationen vorhanden sind, dürften sie einen erheblichen Einfluß auf das Lösungsvermögen von Speichel für Oberflächenverschmutzungen haben. Darüber hinaus enthält Speichel Spuren von Ammoniak, der die Benetzung und das Penetrationsvermögen steigert, sowie wegen des resultierenden schwachalkalischen pH-Milieus zum Abbau dünner Öl- und Fettschichten beiträgt.

Ein weiterer wesentlicher Bestandteil ist Mucin, ein Glycoprotein, dessen wichtigste Eigenschaft in diesem Zusammenhang die Wirkung bei der Benetzung von Schmutzpartikeln auf der Objekt Oberfläche ist. Zusätzlich sind eine Reihe von anorganischen Salzen vorhanden, darunter Calcium- und Magnesiumphosphat, sowie Alkali- und Erdalkalibicarbonat. Die Salze tragen zum Reinigungsvermögen bei, da sie die Schmutzabtragung begünstigen bzw. vorhandene Fettschichten verseifen und damit in lösliche Verbindungen überführen. Speichel verursacht bei entsprechender Anwendung keinerlei Quellung von Firnis- oder Malschichten. Auch Farbveränderungen werden nicht beobachtet.

Nachteile der Reinigungsmaßnahmen mit Speichel liegen darin, daß organische Rückstände auf dem Objekt einen Befall durch Mikroorganismen begünstigen, und zurückgebliebene anorganische Salze unlösliche Ablagerungen auf der Objekt Oberfläche bilden können. Eine sorgfältige wässrige Nachbehandlung und anschließende weitgehende Trocknung der behandelten Fläche ist daher unbedingt notwendig.

Eine Überfeuchtung der Objekt Oberfläche mit Speichel sollte wegen der Gefahr einer Penetration in tiefere Malschichten möglichst vermieden werden. Durch die vorhandenen Enzyme sind unerwünschte Abbauprozesse an den Bindemitteln der originalen Malschichten zu erwarten.

Eine entscheidende Einschränkung für die Anwendung von Speichel stellt die Bearbeitung großformatiger Objekte dar, denn der Restaurator unterliegt naturgemäß Einschränkungen in der Quantität der Speichelproduktion. In derartigen Fällen lassen sich mit synthetischen Ersatzspeichellösungen, wie z. B. Sialin-Sigma-Lösung (enzymfrei) /69/, vergleichbare Erfolge erzielen. Darüber hinaus ist bei Einsatz von synthetischen Ersatzspeichellösungen die Gefahr eines biologischen Befalles wegen der Zusammensetzung und der Reinheit der Lösungen geringer.*

* Persönliche Mitteilung, E. Homolka, Wien

LITERATURVERZEICHNIS

1. E. H. Jones, »The Effect of Aging and Re-forming on the Ease of Solubility of Certain Resins«, in: *Recent Advances in Conservation*, G. Thomson Ed. (Butterworths, London, 1963): pp. 79–83.
2. R. L. Feller, N. Stolow, E. H. Jones, »On Picture Varnishes and their Solvents«, 2. Aufl., (The Press of Case Western Reserve University, Cleveland and London, 1971).
3. G. Torraca, »Solubility and Solvents for Conservation Problems«, 2. Aufl. (ICCROM, Rom, 1978) und 3. Aufl. (ICCROM, Rom, 1984).
4. L. Masschelein-Kleiner, »Les Solvants«, Cours de Conservation 2, Institut Royal du Patrimoine Artistique (Brüssel, 1981).
5. Science for Conservators, Book I, »An Introduction to Materials«, J. Ashley-Smith Ed., Crafts Council Conservation Science Teaching Series (Crafts Council, London, 1982).
6. Science for Conservators, Book II, »Cleaning«, J. Ashley-Smith, Ed., Crafts Council Conservation Science Teaching Series (Crafts Council, London, 1983).
7. G. Duve, O. Fuchs, H. Overbeck, »Lösemittel Hoechst – Ein Handbuch für Laboratorium und Betrieb«, 6. Aufl. (Hoechst AG, Frankfurt/Main, 1976): pp. 15–31.
8. D. Stoye, »Lösemittel«, in: *Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie*, 4. Aufl., Band 16 (Verlag Chemie, Weinheim und New York, 1978): pp. 279–311.
9. DRV, »Kartei der Gesundheitsgefährdenden Arbeitsstoffe in der Restaurierungswerkstatt«, E. Jägers Hg. (Rheinisches Amt für Denkmalpflege, Bonn, 1981).
10. A. Clydesdale, »Chemicals in Conservation: A Guide to Possible Hazards and Safe Use«, Conservation Bureau, Scottish Development Agency, Scottish Society for Conservation and Restoration (Edinburgh, 1982).
11. The Paper Conservator, »Safety and Health in the Paper Conservation Laboratory«, G. Petherbridge, J. M. Harrington Eds. 5/6 (1981/82).
12. J. H. Hildebrand, R. Scott, »The Solubility of Nonelectrolytes«, 3. Aufl. (Reinhold, New York, 1949): p. 129, p. 361.
13. C. Marsen, »Solvents Guide«, 2. Aufl. (Clever-Hume Press, London, 1963).
14. I. Mellan, »Industrial Solvents Handbook« (Noyes Data Corp., Park Ridge, N. J., 1970).
15. J. D. Crowley, G. S. Teague, J. E. Lowe, »A Three Dimensional Approach to Solubility«, *J. Paint Technology* 38 (1966): pp. 269–280.
16. J. P. Teas, »Graphic Analysis of Resin Solubility«, *J. Paint Technology* 40 (1968): pp. 19–25.
17. »Predicting Resin Solubilities«, Ashland Chemical Comp., Box 2219, Columbus, Ohio 43216, USA, o. J.
18. R. J. Gettens, G. L. Stout, »Painting Materials – A Short Encyclopaedia« (Dover, New York, 1966).
19. E. Browning, »Toxicity and Metabolism of Industrial Solvents« (Elsevier, Amsterdam, 1965).
20. N. I. Sax, »Dangerous Properties of Industrial Materials« (Chapman & Hill, London, 1966).

21. Science for Conservators, Book I, »An Introduction to Materials«, vgl. /5/: pp. 69–71.
22. H. R. Christen, »Grundlagen der allgemeinen und anorganischen Chemie«, 4. Aufl. (Verlag Sauerländer, Aarau, 1973): pp. 53–141.
23. Science for Conservators, Book II, »Cleaning«, vgl. /6/: pp. 52–57.
24. L. Masschelein-Kleiner, »Le Solvants«, vgl. /4/: pp. 40–43.
25. G. Hedley, »Solubility Parameters and Varnish Removal«, *The Conservator*, (1980, No. 4): pp. 12–18.
26. Science for Conservators, Book I, »An Introduction to Materials«, vgl. /5/: pp. 96–105.
27. H. R. Christen, »Einführung in die Chemie«, 6. Aufl. (Diesterweg, Frankfurt/Main, 1971): pp. 267–306, pp. 323–327, pp. 347–353.
28. D. Hellwinkel, »Die systematische Nomenklatur der Organischen Chemie – Eine Gebrauchsanweisung«, Heidelberg Taschenbücher, Band 135 (Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1974).
29. Technische Information der Firma Shell-Austria. »Shell Chemie Industrie Chemikalien«, Kristallöl 30, Spezialbenzin 62/82, Shellsol A, Shell Austria AG, Box 174, 1011 Wien, o. J.
30. Science for Conservators, Book II, »Cleaning«, vgl. /6/: pp. 69–71.
31. L. Masschelein-Kleiner, »Les Solvants«, vgl. /4/: pp. 59–62, pp. 76–85.
32. J. H. Hildebrand, *J. Am. Chem. Soc.*, 57 (1935): p. 866, zitiert in: G. Duve, O. Fuchs, H. Overbeck, »Lösemittel Hoechst«, /7/: pp. 75–92.
33. N. Stolow, »Application of Science to Cleaning Methods: Solvent Action Studies on Pigmented and Unpigmented Linseed Oil Films«, in: *Recent Advances in Conservation*, G. Thomson Ed. (Butterworths, London, 1963): pp. 84–88.
34. N. Stolow, »Solvent Action«, in: R. L. Feller, N. Stolow, E. H. Jones, *On Picture Varnishes and their Solvents*, vgl. /2/: pp. 45–111.
35. C. Hansen, »The Three Dimensional Solubility Parameter – Key to Paint Component Affinities«, *J. Paint Technology* 39 (1967): pp. 104–117.
36. C. Hansen, K. Skaarup, »Independent Calculation of the Parameter Components«, *J. Paint Technology* 39 (1967): pp. 19–25.
37. H. Ruhemann, »The Cleaning of Paintings« (Faber & Faber, London, 1968): Daten aus Appendix B, pp. 290–314.
38. L. Masschelein-Kleiner, »Les Solvants«, vgl. /4/: pp. 43–48.
39. R. L. Feller, »The Relative Solvent Power Needed to Remove Various Aged Solvent Type Coatings«, in: *Conservation and Restoration of Pictorial Art*, N. S. Brommelle, P. Smith Eds. (Butterworths, London, 1978): pp. 158–161.
40. Bundesdenkmalamt Wien, Werkstätten, Information Nr. 15, in: *Restauratorenblätter*, Band 6 (1983): pp. 140–143.
41. »Chemie für Papierrestauratoren II«, unpubliziertes Kursmanuskript. W. Griebenow, B. Werthmann Hg. (Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin, o. J.).

42. O. Wächter, »Restaurierung und Erhaltung von Büchern, Archivalien und Graphiken«, 3. Aufl. (Böhlau, Wien–Köln–Graz, 1982): pp. 107–114.
43. O. Wächter, »Restaurierung und Erhaltung von Büchern, Archivalien und Graphiken«, vgl. /42/: pp. 126–128.
44. J. S. Arney, L. B. Pollack, »The Retention of Organic Solvents in Paper«, JAIC 19 (1980): pp. 69–74.
45. H. Stachelberger, G. Banik, »Absorption von Lösungsmitteln an Papier – Untersuchungen mittels Gas-Chromatographie«, in: Diplomarbeit von M. F. Tupay, Meisterschule für Konservierung und Technologie, Akademie der Bildenden Künste, Wien (1980).
46. A. Koura, T. Krause, »Der Einfluß einer Ammoniakbehandlung auf Struktur und Eigenschaften von Papier«, Das Papier 34 (1980): pp. 555–561.
47. J. Hofenk de Graaff, »Some Recent Developments in the Cleaning of Ancient Textiles«, in: Science and Technology in the Service of Conservation, Preprints of the Contributions to the IIC-Congress, Washington, 3.–9. Sept. 1982, N. S. Brommelle, G. Thomson Eds.: pp. 93–95.
48. I. Block, »The Effect of an Alkaline Rinse on the Aging of Cellulosic Textiles: Part IV«, in: Science and Technology in the Service of Conservation, Preprints of the Contributions to the IIC-Congress, Washington, 3.–9. Sept. 1982, N. S. Brommelle, G. Thomson Eds.: p. 93–99.
49. N. Kerr, S. P. Hersh, P. A. Tucker, »The Use of Alkaline-Buffering Agents to Retard the Degradation of Cotton Textiles«, in: Science and Technology in the Service of Conservation, Preprints of the Contributions to the IIC-Congress, Washington, 3.–9. Sept. 1982, N. S. Brommelle, G. Thomson Eds.: pp. 100–103.
50. L. C. Tang, »Washing and Deacidifying of Paper in the same Operation«, in: Preservation of Paper and Textiles of Historic and Artistic Value II, J. C. Williams, Ed., Advances in Chemistry Series 193, American Chemical Society, Washington D. C., 1981: pp. 63–86.
51. G. Duve, O. Fuchs, H. Overbeck, »Lösemittel Hoechst«, vgl. /7/: pp. 104–113.
52. E. H. Jones, »The Removal of Varnish – Investigations on the Removal of Aged Varnish Coatings«, in: R. L. Feller, N. Stolow, E. H. Jones, On Picture Varnishes and their Solvents, vgl. /2/: pp. 169–191.
53. K. Raft, »An Examination of the Value of the Re-forming Technique in Practice«, Stud. Cons. 25 (1980): pp. 137–140.
54. H. Lank, V. Pemberton-Pigott, »The Use of Dimethylformamide Vapour in Reforming Blanched Oil Paintings«, in: Conservation and Restoration of Pictorial Art, N. S. Brommelle, P. Smith Eds. (Butterworths, London, 1978): pp. 103–109.
55. R. White, A. Roy, J. Mills, J. Plesters, »George Stubb's Lady and Gentleman in a Carriage – A Preliminary Note on the Technique«, National Gallery Techn. Bull. 4 (1980): p. 64.
56. Science for Conservators, Book II, »Cleaning«, vgl. /6/: pp. 45–49, pp. 80–85.
57. L. Masschelein-Kleiner, »Les Solvants«, vgl. /4/: pp. 9–25.
58. C. M. Hansen, »A Mathematical Description of Film Drying by Solvent Evaporation«, J. Oil. Col. Chem. Assoc. 51 (1968): pp. 27–43.

59. C. M. Hansen, »Vinylchloride Retention in Coatings Formed from Solutions«, J. Oil. Col. Chem. Assoc. 60 (1977): pp. 245–248.
60. M. Yaseen, H. E. Ashton, »Solvent Retention in Phenolic Varnish Films«, J. Oil. Col. Chem. Assoc. 53 (1970): pp. 977–988.
61. L. Masschelein-Kleiner, »Les Solvants«, vgl. /4/: pp. 31–38.
62. K. Raft, »Re-forming eine Methode der Firnisabnahme in Gemälden«, Maltechnik-Restaur 77 (1971): pp. 1–5.
63. L. Masschelein-Kleiner, »Liants, Vernis et Adhésifs Anciens«, Cours de Conservation 1, Institut Royal du Patrimoine Artistique (Brüssel, 1978): pp. 27–29.
64. P. de Hénau, R. Gérard, E. Meert, A. Pient, »Renovation, Nettoyage et Assèchement des Bâtiments Anciens«, Centre Scientifique et Technique de la Construction (CSTC), Colloque ODEMA, Brüssel, 7.–10. Okt. 1980.
65. Anonym, »Ravalement des Façades, Choix des Methodes de Nettoyage«, CSTC, Note d'Information Technique 121 (1978).
66. L. Masschelein-Kleiner, N. Goetghebeur, L. Kockaert, J. Vynckier, R. Ghys, »Examen et Traitement d'une Détrempe sur Toile Attribuée a Thierry Bouts – La Crucifixion de Bruxelles«, Bulletin IRPA/KIK 17 (1978/79): pp. 5–21.
67. S. P. Koob, »The Removal of Aged Shellac Adhesive from Ceramics«, Stud. Cons. 24 (1979): pp. 134–135.
68. B. A. Ramsay, »An Investigation into the Composition and Properties of Salva in Relation to the Surface-Cleaning of Oil Paintings«. Paper Presented at the Ottawa Regional Group Meeting, National Gallery of Canada, Ottawa (1976).
69. Sigmapharm, Sialin-Sigma-Lösung, Informationsblatt.

REGISTER

Abnahme			
– s. Firnis			
– s. Flecken			
– s. Klebstoff			
– s. Oberflächenverschmutzung			
– s. Übermalung			
– s. Wachs			
Acetaldehyd			
– Formel	68		
Acetamid			
– Formel	68		
Acetessigester			
– Keto-Enol-Tautomerie	58		
Aceton			
– s. a. Ketone			
– allgemein	57, 58, 81		
– Anwendung	71, 72, 81		
– Anwendung/Papier	113		
– Bleaching	72, 130		
– Formel	33, 58, 68		
– im Lösungsmitteldreieck	94, 97, 103, 104, 107		
– Keto-Enol-Tautomerie	58		
– Lösungsvermögen	21, 71, 111, 112		
– Löslichkeitsparameter	86, 95		
– Mischbarkeit	71, 78		
– Penetration	119		
– physikalische Eigenschaften	86		
– Polarität	33		
– Retention	120		
– Testlösungsmittelmischung/Parameter	107, 108		
Acetonersatz			
– s. Methyläthylketon			
Acetonitril			
– physikalische Eigenschaften	88		
– Retention	137		
Acetylaceton			
– Lichtempfindlichkeit	117		
Adhäsionskräfte	133		
Aethylenum trichloratum			
– s. Trichloräthan			
Alcohol aethylicus			
– s. Äthylalkohol			
Aldehyd	68		
Aliphatische Kohlenwasserstoffe			
<i>aliphatic hydrocarbons</i>			
(Aliphaten, gesättigte Kohlenwasserstoffe)			
– Anwendung	71		
– Definition	47, 48, 49		
– im Lösungsmitteldreieck	94, 97		
– Lösevermögen	110		
– Löslichkeitsparameter	85, 95		
– Nomenklatur	66		
– Penetration	125, 126		
– physikalische Eigenschaften	85		
– Retention	125, 137		
Alkalilaugen (Alkalien)			
– s. Basen, anorganische			
Alkalische Reserve/Papier	122–123		
<i>alkaline reserve</i>			
Alkane (Paraffine)			
– Definition	47, 48		
– in Mischlösungsmitteln	55		
– Polarität	54		
Alkene (Olefine)			
– Anwendung	54		
– Definition	50, 51		
– Nomenklatur	69		
– Polarität	50		
Alkohole			
– Definition	57		
– im Lösungsmitteldreieck	94		
– Lösevermögen	110, 111, 112, 128		
– Löslichkeitsparameter	85, 86, 95		
– Nomenklatur	67		
– Penetration	125, 126		
– physikalische Eigenschaften	85, 86		
– Polarität	57		
– Retention	125, 137		
Alk-trn			
– s. Trichloräthylen			
Alkylbenzylsulfonat			
– s. a. Netzmittel			
– Anwendung/Papier, Textil	122		
Alkylgruppe	66		
Alkylhalid			
– s. halogenierte Kohlenwasserstoffe			
Aluminiumoxid			
<i>alumina</i>			
– Anwendung/Papier	113		
Ameisensäure			
<i>formic acid</i>			
– Anwendung/Silber	67		
– Anwendung/Gemälde	144		
– Anwendung/Skulptur	142		
– Formel	59, 68		
– in Lösungsmittelmischung	92		
– Lösevermögen	112, 145		
– Penetration	125, 126		
– physikalische Eigenschaften	88		
– Polarität	59		
– Retention	125, 136		
Ameisensäureäthylester			
– s. Äthylformiat			
Ameisensäuredimethylamid			
– s. Dimethylformamid			

- Amide
 – Definition 63
 – Lactam 68
 – Nomenklatur 68
 – Penetration 125, 126
 – physikalische Eigenschaften 88
- Amine
 – als Base in Lösungsmittelmischung 92
 – Anwendung/Skulptur 143
 – Definition 60, 61
 – Lösevermögen 111, 112, 129
 – Nomenklatur 67, 68, 69
 – Penetration 125, 126
 – physikalische Eigenschaften 88
 – Polarität 60, 61
 – Retention 125
- 2-Aminoäthanol
 – s. Athanolamin
- Aminogruppe 60–62, 67
- Ammoniak
ammonia
 – Anwendung/Gemälde 142, 143, 144
 – Anwendung/Papier 113, 120
 – Anwendung/Skulptur 143, 144
 – Dissoziation 61
 – Formel 61
 – in Lösungsmittelmischung 62, 92
 – Reaktion mit Ameisensäure 63
 – Retention 137
 – Testlösungsmittelmischung 132
- Amorphe Festkörper 37–38
- Amylacetat
amyl acetate, banana oil
 – Lösevermögen 111
 – physikalische Eigenschaften 87
 – relative Flüchtigkeit 72
- n-Amylalkohol
 – Formel 57
 – physikalische Eigenschaften 86
 – Polarität 57
 – Retention 136
- Amylgruppe
 – s. Pentylgruppe 66
- Anziehungskräfte
 – s. Wechselwirkungen
- Aromatische Kohlenwasserstoffe (Aromaten)
aromatic hydrocarbons
 – Bleaching 19
 – Definition 53, 54
 – im Lösungsmitteldreieck 94
 – in Mischlösungsmitteln 55
 – Lösevermögen 110, 128
 – Löslichkeitsparameter 85
 – Penetration 125, 126
 – physikalische Eigenschaften 85
 – Retention 125
 – Schutz 21
 – Toxizität 117
- Asphalt 144, 145
- Athan 57, 66
- Athandiol-1,2
 – s. Athylenglykol
- Athanolamin
 – physikalische Eigenschaften 88
- Athen
 – s. Athylen
- Äther
 – s. Diäthyläther
- Äther (allgemein)
ether
 – s. a. cyclische Äther
- Anwendung 72
 – Definition 64, 65
 – im Lösungsmitteldreieck 94
 – Lagerung 20
 – Lösevermögen 111, 112, 128
 – Löslichkeitsparameter 87, 95
 – Nomenklatur 67
 – Penetration 125, 126
 – physikalische Eigenschaften 87
 – Retention 125
- 2-Athoxy-äthylacetat
 – relative Flüchtigkeit 72
- Äthylacetat (Essigsäureäthylester)
ethyl acetate
 – Anwendung/Gemälde 142, 144
 – Anwendung/Papier 113
 – Enolform 63
 – Formel 62, 68
 – in Nitroverdünnung 71
 – Lösevermögen 18, 111, 112, 145
 – Löslichkeitsparameter 86, 95
 – Nomenklatur 67
 – physikalische Eigenschaften 86
 – relative Flüchtigkeit 72
 – Retention 120
 – Testlösungsmittelmischung 131, 132
 – Testlösungsmittelmischung/Parameter 109
- Äthylalkohol (Ethanol)
 – Anwendung/Gemälde 141, 142
 – Anwendung/Papier 113
 – Anwendung/Stein 141
 – Formel 57, 62, 64, 67
 – im Lösungsmitteldreieck 94, 97, 104, 105
 – Lösevermögen 18, 110, 128
 – Löslichkeitsparameter 85, 95
 – Mischbarkeit 73
 – Penetration 126
 – physikalische Eigenschaften 81, 85
 – Polarität 57
 – Re-forming 138
 – Retention 120
 – Testlösungsmittelmischung 131
 – Verätherung 64
 – Veresterung 62
- Äthyläther
 – s. Diäthyläther

- Äthylbenzol
ethyl benzene
 – Löslichkeitsparameter 85, 95
 – physikalische Eigenschaften 85
- Äthylcellosolve (Cellosolve)
 – Formel 65
 – Lösevermögen 111
 – Löslichkeitsparameter 87, 95
 – physikalische Eigenschaften 87
- Äthylcellulose
 – Löslichkeit 71, 110, 111
 – Löslichkeitsparameter 89
- Äthylen (Äthen) 69
- Äthylenalkohol
 – s. Athylenglykol
- Äthylenchlorhydrin
 – physikalische Eigenschaften 86
- Äthylenchlorid (Dichloräthan)
 – Anwendung/Gemälde 142
 – Lösevermögen 110
 – Löslichkeitsparameter 87, 95
 – physikalische Eigenschaften 87
 – Quellvermögen für Ölfilme 103
 – Testlösungsmittelmischung 132
 – Testlösungsmittelmischung/Parameter 109
- Äthylenderivate
 – Lichtempfindlichkeit 117
- Äthylendiamin
 – Formel 69
- Äthylendiamintetraessigsäure (EDTA)
ethylene diamine tetra-acetic acid
 – Anwendung/Papier, Textil 122
- Äthylendichlorid
 – s. Äthylenchlorid
- Äthylenglykol
 – Formel 65
 – Lösevermögen 111
 – physikalische Eigenschaften 86
 – Reaktion mit Methanol, Ethanol 65
 – Retention 136
- Äthylenglykolmonoäthyläther
 – s. Äthylcellosolve
- Äthylenglykolmonomethyläther
 – s. Methylcellosolve
- Äthylformiat
 – Anwendung/Gemälde 144
 – Anwendung/Skulptur 142
 – Formel 68
 – Lösevermögen 145
- Äthylglykol
 – s. Äthylcellosolve
- Äthylgruppe 66
- Äthylmethylketon
 – s. Methyläthylketon
- Attapulgit 133, 139
 – s. a. Kompressen
- Ätznatron
 – s. Natriumhydroxid
- Auflösung
 – s. a. Löslichkeit
 – chemische 17, 18, 92
 – physikalische 17, 38, 92
 – Feststoffe 38–45
- Ausbluten
 – Textilfarbstoffe 123
- AW 2
 – s. Polycyclohexanonfirnis
- Azeotropes Gemisch 18, 142
- Banana oil
 – s. Amylacetat
- Basen, anorganische 61, 62
inorganic bases, alkalis
- Basen, organische
organic bases
 – s. Amine
- Benzin
benzine
 – s. a. Mineralölfractionen
 – Anwendung/Papier 113
 – Lösevermögen 110
- Benzinoform
 – s. Tetrachlorkohlenstoff
- Benzinol
 – s. Trichloräthylen
- Benzol
benzene
 – Formel 36, 53
 – Inklusion 119
 – in Nitroverdünnung 71
 – Lösevermögen 110
 – Löslichkeitsparameter 85, 95
 – Nomenklatur 70
 – Oberflächenspannung 36
 – physikalische Eigenschaften 85
 – Polarität 36, 53
 – Retention 119, 137
 – Toxizität 117, 124
- Benzolring
benzene ring
 – Formel 53, 70
 – Polarität 53, 54
- Bienenwachs
beeswax
 – Löslichkeit 110, 111
- Bindung
 – chemische 25, 28–30
 – Doppelbindung 50–53, 69
 – – konjugierte 53, 70
 – Ionen- 25, 26
 – kovalente 26, 27, 31, 38, 50
 – Metall- 27, 38
 – polarisierte 31, 32
 – Wasserstoffbrücken- 33, 34, 57, 64, 72
- Bitumen 71, 144, 145

- | | | | |
|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|--|
| Bleaching | 19, 72, 130, 139, 140 | | |
| Blutfleck/Papier | | 113 | |
| Butadien-1,3 | | 66, 70 | |
| Butan | | 66 | |
| n-Butanol | | | |
| – s. Butylalkohol | | | |
| s-Butanol | | | |
| – s. Butylalkohol, sekundärer | | | |
| t-Butanol | | | |
| – s. Butylalkohol, tertiärer | | | |
| Butanon-2 | | | |
| – s. Methyläthylketon | | | |
| Buten-1 | | 69 | |
| Buten-2 | | 69 | |
| 2-Butoxyäthanol | | | |
| – s. Butylcellosolve | | | |
| Buttersäure | | 67 | |
| <i>butyric acid</i> | | | |
| Buttersäurenitril | | | |
| – s. Butyronitril | | | |
| Butvar B 76 | | | |
| – s. Polyvinylbutyral | | 89 | |
| Butylacetat | | | |
| – Anwendung/Papier | | 113 | |
| – in Nitroverdünnung | | 71 | |
| – Löslichkeitsparameter | | 87, 95 | |
| – Lösevermögen | | 111 | |
| – physikalische Eigenschaften | | 87 | |
| – relative Flüchtigkeit | | 72 | |
| n-Butylalkohol (1-Butanol) | | | |
| – Formel | | 32 | |
| – Lösevermögen | | 111 | |
| – Löslichkeitsparameter | | 85, 95 | |
| – physikalische Eigenschaften | | 85 | |
| – Polarität | | 32 | |
| – Retention | | 137 | |
| Butylalkohol, sekundärer | | | |
| – physikalische Eigenschaften | | 85 | |
| Butylalkohol, tertiärer | | | |
| – physikalische Eigenschaften | | 86 | |
| n-Butylamin | | | |
| – Formel | | 61 | |
| – Penetration | | 125, 136 | |
| – physikalische Eigenschaften | | 88 | |
| – Polarität | | 61 | |
| – Retention | | 117, 125 | |
| – Toxizität | | 117 | |
| t-Butylamin | | | |
| – Penetration | | 125 | |
| – Retention | | 117, 125, 136 | |
| – Toxizität | | 117 | |
| Butylcellosolve | | | |
| – Lösevermögen | | 111 | |
| – physikalische Eigenschaften | | 87 | |
| Butylglykol | | | |
| – s. Butylcellosolve | | | |
| Butylgummi | | | |
| <i>butyl rubber</i> | | | |
| – Schutzhandschuhe | | 21 | |
| Butylgruppe | | 66 | |
| Butyllactat | | | |
| – Lösevermögen | | 110 | |
| n-Butylmethacrylat | | | |
| – Löslichkeit | | 110, 111 | |
| Butyronitril | | | |
| – physikalische Eigenschaften | | 88 | |
| Calcium | | | |
| – Alterungsbeständigkeit/Papier | | 122–123 | |
| Calciumhydroxid | | | |
| <i>calcium hydroxide</i> | | | |
| – Anwendung/Papier, Textil | | 122 | |
| Carbitol | | | |
| – s. Diäthylenglykoläthyläther | | | |
| Carboneum Tetrachloratum | | | |
| – s. Tetrachlorkohlenstoff | | | |
| Carbonylgruppe | | 57, 58, 63, 67 | |
| Carboxylgruppe | | 58, 67 | |
| Carboxymethylcellulose (CMC) | | | |
| – Anwendung/Papier, Textil | | 122 | |
| – Anwendung/Skulptur | | 140 | |
| – Viskosität | | 133 | |
| Carnaubawachs | | | |
| <i>carnauba wax</i> | | | |
| – Löslichkeit | | 110, 111 | |
| Cecolin Nr. 1 | | | |
| – s. Trichloräthylen | | | |
| Cellophan | | | |
| – s. Celluloseacetat | | | |
| Cellolyn 102 | | | |
| – s. Kolophoniumester | | | |
| Cellosolve | | | |
| – s. Äthylcellosolve | | | |
| Cellosolveacetat | | | |
| – Lösevermögen | | 111 | |
| – physikalische Eigenschaften | | 87 | |
| – Re-forming | | 127, 138 | |
| Cellulose | | | |
| – Absorption | | 134 | |
| – Alterungsverhalten | | 122–123 | |
| – Lösungsmittelinklusio | | 119–123 | |
| – Lösungsmittelresistenz | | 72 | |
| – Pufferung | | 122–123 | |
| Celluloseacetat | | | |
| – Löslichkeit | | 110, 111, 112 | |
| Celluloseäther | | | |
| – Äthylcellulose | | 89, 110, 111 | |
| – Löslichkeit | | 112 | |
| Cellulosederivate | | 89, 110, 111–112, 145 | |
| – s. a. Celluloseäther | | | |
| Celluloseester | | | |
| – Löslichkeit | | 112 | |
| – Celluloseacetat | | 110–111 | |

- Cellulosenitrat
 – s. Nitrocellulose
 Cellulosetriacetat
 – Löslichkeit 112
 Chemische Bindung 28–30
 – s. a. Bindung
 Chlorbenzol
chloro benzene
 – physikalische Eigenschaften 87
 – Retention 137
 Chlorierte Kohlenwasserstoffe
chlorinated hydrocarbons
 – Definition 56
 – im Lösungsmitteldreieck 94
 – Lösevermögen 110, 112, 128
 – Löslichkeitsparameter 87, 88, 95
 – Penetration 125, 126
 – physikalische Eigenschaften 87, 88
 – Polarität 56
 – Retention 126, 137
 – Salzsäurebildung 117
 – Toxizität 20, 21, 117
 – Wei T'o-Lösung Nr. 2 122
 Chlorkautschuk 71
 Chlormethan
 – s. Methylchlorid
 2-Chloroäthanol
 – s. Äthylenchlorhydrin
 Chloroform (Trichlormethan)
 – Formel 56
 – Lösevermögen 110, 112
 – Löslichkeitsparameter 88, 95
 – physikalische Eigenschaften 88
 – Quellvermögen/Ölfilme 103
 – Retention 120
 – Testlösungsmittelmischung 109
 Chlorothene
 – s. Trichloräthan
 Citronensäure
citric acid
 – Anwendung/Papier 113
 Circosolve
 – s. Trichloräthylen
 CMC
 – s. Carboxymethylcellulose
 Copolymerisate
 – Löslichkeit 112
 Coulombsche Kräfte 18, 127–129
 (Ionenkräfte)
 Cyclische Äther 64
 s. a. Dioxan, Tetrahydrofuran
 Cyclische Kohlenwasserstoffe
 (Naphtene)
cyclic hydrocarbons
 – Definition 52, 53
 – Lösevermögen 110
 – in Mischlösungsmitteln 55
 – physikalische Eigenschaften 85
 Cycloalkane
 – s. cyclische Kohlenwasserstoffe
 Cyclohexan
 – Formel 52
 – Löslichkeitsparameter 85
 – physikalische Eigenschaften 85
 – Testlösungsmittelsysteme 107, 108
 Cyclohexanol
 – physikalische Eigenschaften 86
 – Retention 136
 Cyclohexanon
 – Löslichkeitsparameter 86, 95
 – physikalische Eigenschaften 86
 – Quellvermögen/Ölfilme 103
 Cyclohexylamin
 – Formel 61
 – physikalische Eigenschaften 88
 Dammar
dammar resin
 – s. a. Naturharze
 – Löslichkeit 110, 111
 – Re-forming 138
 Dampfdruck 18, 81, 85–88, 136
 Dekahydronaphtalin
 – s. Dekalin
 Dekalin
 – Lösevermögen 112
 Denaturierungsmittel P
 – s. Pyridin
 Detergentien 76
 – s. a. Netzmittel
 Diaceton
 – s. Diacetonalkohol
 Diacetonalkohol
 – Anwendung 72, 144
 – Lösevermögen 111, 128
 – Löslichkeitsparameter 86, 95
 – Penetration 125, 126
 – Quellvermögen/Ölfilme 103
 – physikalische Eigenschaften 86
 – Re-forming 127, 138
 – Retention 125, 136
 – Testlösungsmittelmischung/Parameter 109
 Diäthylamin 69
 Diäthyläther (Äther)
 – s. a. Äther
 – Anwendung/Feuchtholz 64
 – Anwendung/Gemälde 141, 142
 – Anwendung/Papier 113
 – Formel 64
 – Lösevermögen 111
 – Penetration 119
 – physikalische Eigenschaften 87
 – Polarität 64
 – Retention 120, 137
 – Testlösungsmittelmischung 131
 – Verdunstungszahl 19

- Diäthylendioxid
– s. Dioxan
- Diäthylenglykoläthyläther
– physikalische Eigenschaften 87
- Diäthylenimidoxid
– s. Morpholin
- Diäthylloximid
– s. Morpholin
- 1,22-Dichloräthan
– s. Äthylenchlorid
- Dichlormethan
– s. Methylenchlorid
- Diffusion 136
- 1,2-Dihydroxyäthan
– s. Äthylenglykol
- Diisobutylketon
– physikalische Eigenschaften 86
- Diisopropyläther
– Retention 137
– Testlösungsmittel 131
- Dimethylacetamid 68
- Dimethylamin 63
- Dimethylformamid
(N,N-Dimethylformamid, DMF)
– Anwendung/Gemälde 142, 144
– Anwendung/Papier 113
– Anwendung/Skulptur 144
– Formel 63
– Lösevermögen 112
– Parameterberechnung in Mischung 83, 98, 99
– Penetration 125
– physikalische Eigenschaften 88
– Polarität 63
– Re-forming 127
– Retention 120, 125, 136
– Testlösungsmittelmischung 132
– Testlösungsmittelmischung/Parameter 109
- Dimethylketon
– s. Aceton
- Dimethylsulfoxid (DMSO)
– Anwendung/Papier 113
– Penetration 125
– physikalische Eigenschaften 88
– Retention 125, 136
- Dioxan (1,4-Dioxan)
dioxane
– Formel 64
– Lösevermögen 111
– physikalische Eigenschaften 87
- Dipenten
– Lichtempfindlichkeit 117
– Lösevermögen 110
– physikalische Eigenschaften 85
- Dipol
– s. a. Wechselwirkungen
– Definition 31–34
– Dipolmoment 33, 127
– Polarität 31, 32
- Dipol-Dipol-Wechselwirkungen
dipole-dipole forces
– s. Richtkräfte
- Dispersion 17
- Dispersionskräfte 18, 34, 42, 91–93
(van der Waals'sche Kräfte)
dispersion forces 127, 129
- Dissoziation 79
- Doppelbindung
double bond
– Definition 50
– konjugierte 53, 70
– Oxidation 51
- DMF
– s. Dimethylformamid
- DMSO
– s. Dimethylsulfoxid
- Drawinol
– s. Trichloräthylen
- EDTA
ethylene diamine tetra-acetic acid
– s. Äthylendiamintetraessigsäure
- Eiklar
egg white
– Löslichkeitsbereich im
Lösungsmitteldreieck 100, 101
- Eindringvermögen
– s. Penetration
- Eiweißfleck/Papier 113
- Elektronegativität 25, 29, 31
- Elektrostatische Anziehungskraft 39, 41
- Elemi
elemi resin, gum elemi
– Löslichkeit 110, 111
- Emulsion 76
- Enol 58, 63
- Enthalpie 44–45
- Entropie 43–45
- Entsorgung 20–21
- Enzyme
– Anwendung/Papier 113
– Lösevermögen 145
- Epikote 1001
– s. Epoxidharz
- Epoxidharz
– Löslichkeitsparameter 89
- Esothen
– s. Trichloräthan
- Essigester
– s. Äthylacetat
- Essigsäure
acetic acid
– Anwendung 67, 113
– Formel 59, 62, 68
– in Lösungsmittelmischung 92

- Lösevermögen 145
- Penetration 125
- physikalische Eigenschaften 88
- Polarität 59
- Retention 125, 136
- Testlösungsmittel 132
- Veresterung 62
- Essigsäureamylester
- s. Amylacetat
- Essigsäureäthylester
- s. Äthylacetat
- Essigsäurebutylester
- s. Butylacetat
- Essigsäuremethylester
- s. Methylacetat
- Ester
- Anwendung 72
- Definition 62, 63
- im Lösungsmitteldreieck 94
- Keto-Enol-Tautomerie 63
- Lösevermögen 111, 112, 128
- Löslichkeitsparameter 86, 87, 95
- Nomenklatur 67, 68
- Penetration 125, 126
- physikalische Eigenschaften 86, 87
- Polarität 62, 63, 72
- Retention 125, 137
- Ethanol
- s. Äthylalkohol
- Feinbenzin (Spezialbenzin 62/82)
- naphtha*
- Eigenschaften 71
- Festigung
- consolidation*
- Malschicht 81
- Feststoff
- amorpher 37–38
- Löslichkeit 38–45
- molekularer 37–39
- Polarität 41
- Struktur 25–27
- Fett
- Abnahme 139
- hydrophobe Eigenschaft 134
- Löslichkeit 71
- Fettfleck/Papier 113
- Fettlöser 71
- Feuchtholz
- waterlogged wood*
- Konservierung 64
- Filmbildende Stoffe
- s. a. Firnis
- Löslichkeit 110–112
- Löslichkeitsparameter 89
- Firnis
- varnish*
- s. a. Lösungsmitteltest
- Naturharzfirnis
- – Abnahme 63, 72, 118
- – Lösungsmittelsysteme 131–132, 138, 141–143
- – Löslichkeit 102, 104, 105, 110, 111, 130
- – Re-forming 138
- – Bleaching 140
- Kunstharzfirnis
- – Abnahme/Lösungsmittelsysteme 118, 138, 142
- – Löslichkeit 110–112
- – Löslichkeitsparameter 89
- Fixierung
- Textilfarbstoffe 67
- Flammpunkt 19, 82, 85–88
- flash point*
- Flecken
- Papier 113
- Gemälde 142, 145
- Fließverhalten
- s. Viskosität
- Flüchtigkeit 118, 142
- volatility*
- Flüssigkeiten
- Definition 35
- Konzentrationsangaben 77, 78
- Mischbarkeit 73, 74
- Polarität 35, 36, 37, 41, 133, 134
- F, O, 178
- s. Trichloräthan
- Formaldehyd
- Anwendung/Papier 113
- Formel 68
- Formamid
- Formel 63, 68
- Penetration 125, 126
- physikalische Eigenschaften 88
- Retention 117, 125, 136
- Formylchlorid
- s. Chloroform
- Freie Energie 44–45
- Funktionelle Gruppen
- Aminogruppe 60–62, 67
- Carbonylgruppe 57–58, 63, 67
- Carboxylgruppe 58, 67
- Hydroxylgruppe 57–58, 67
- Gase 35
- Gemälde
- Abnahme
- – Oberflächenverschmutzung 106, 131, 139–141
- – Firnis 63, 72, 81, 131–132, 138, 141–143
- – Übermalung 72, 132, 143–145
- Lösungsmittelretention 126–127, 136–137
- Lösungsmitteltest 106–109, 129–132
- Re-forming 138

- Genkiene
– s. Trichloräthan
- Gesättigte Kohlenwasserstoffe (Aliphaten)
aliphatic hydrocarbons
– s. a. cyclische Kohlenwasserstoffe
– Anwendung 71
– Definition 47, 48
– im Lösungsmitteldreieck 84, 94, 97
– Lösevermögen 110, 113
– Penetration 125, 126
– physikalische Eigenschaften 85
– Retention 125, 137
- Gesundheitsgefährdende Arbeitsstoffe 20–21
– s. a. Toxizität
- Giftigkeit
– s. Toxizität
- Glycerol
– s. Glycerin
- Glykol
– s. Äthylenglykol
- Glykoläther
– Bleaching 19
- Glykol
– s. Äthylenglykol
- Glykole
– Lösungsvermögen 111, 128
– Penetration 125, 126
– physikalische Eigenschaften 86
– Retention 117, 125
- Glykolmonobutyläther
– s. Butylcellosolve
- Glycerin 81
– Lösevermögen 111
– Löslichkeitsparameter 86, 95
– physikalische Eigenschaften 86
- Glysantin
– s. Äthylenglykol
- Gummiarabicum
gum arabic
– Löslichkeit 110, 111
- Halogenierte Kohlenwasserstoffe
(Alkylhalide)
– s. a. chlorierte Kohlenwasserstoffe
– Lösevermögen 110, 112
– Nomenklatur 67
– Penetration 125, 126
– physikalische Eigenschaften 87, 88
– Retention 125
- Handschuhe 21, 117
- Harnstoff-Formaldehydharz
urea-formaldehyde resin
– Löslichkeitsparameter 89
- Härzfirnis
– s. Firnis
- n-Heptan
– Formel 66
– physikalische Eigenschaften 85
- 4-Heptanon-2,6-dimethyl
– s. Diisobutylketon
- Hexahydrobenzol
– s. Cyclohexan
- Hexamethylen
– s. Cyclohexan
- n-Hexan
– Formel 66
– Löslichkeitsparameter 95
– Viskosität 133
- Hexanaphthen
– s. Cyclohexan
- Hexanon
– s. Methylisobutylketon
- 2-Hexanon-5-methyl
– s. Methylisoamylketon
- Hexafluorpropanol
– Lösevermögen 112
- Hydrolyse 77, 92, 142
- Hydroperoxid 49, 51
- Hydrophil 134, 135
- Hydrophob 134, 135
- 2-Hydroxyathanol
– s. Äthylenglykol
- 1-Hydroxy-2-äthoxyäthan
– s. Äthylcellosolve
- 2-Hydroxydiäthyläther
– s. Äthylcellosolve
- Hydroxylgruppe 57, 58, 67
- Hydroxyion 60–61, 79
- 4-Hydroxy-4-methylpentanon-2
– s. Diacetonalkohol
- Induktionskräfte
(Induzierte Kräfte) 18, 127–129
- Inhibitor
– s. Trichloräthan
- Inklusion
– s. Lösungsmittelinklusion
- Ionen
– Bindung 25–26
– Definition 26
– Kristall 25–26
– – Löslichkeit 39
- Ionenkräfte
(Coulombsche Kräfte) 18, 127–129
- Isoamylacetat
– Formel 62
– physikalische Eigenschaften 87
- Iso-Butanol
– s. Isobutylalkohol
- Isobuttersäure 67
- Isobutylalkohol
– physikalische Eigenschaften 86
- Isobutylisobutyrat
– physikalische Eigenschaften 87

- Iso-Hexan 66
 Iso-Octan
 – Anwendung 139, 141, 142, 144
 – Formel 47
 – Testlösungsmittel 131
 – Testbenzinzersatz 71
 Iso-Paraffine
 – Definition 47, 48
 – in Mischlösungsmitteln 55
 – Polarität 54
 Isopar G1
 – s. a. Mineralölfractionen
 – Zusammensetzung/Siedebereich 55
 Iso-Propanol
 – s. Isopropylalkohol
 Isopropylacetone
 – s. Methylisobutylketone
 Isopropylalkohol (Iso-Propanol)
 – Anwendung/Gemälde 140, 141, 142, 143, 144, 145
 – Anwendung/Papier 113
 – Anwendung/Stein 141
 – im Lösungsmitteldreieck 104
 – Lösevermögen 112
 – Löslichkeitsparameter 85, 95
 – physikalische Eigenschaften 85
 – Testlösungsmittelmischung 131, 132
 – Testlösungsmittelmischung/Parameter 108, 109
 Japanwachs
japan wax
 – Löslichkeit 110, 111
 K 31
 – s. Trichloräthan
 K 32
 – s. Trichloräthylen
 Kaffeefleck/Papier 113
 Kaliumhydroxid
potassium hydroxide
 – Formel 61
 Kaliumperborat
 – Anwendung/Papier 113
 Kapillarität 133
 – s. a. Kompressen 139
 Kasein
 – Löslichkeit 72, 144
 – – Lösungsmitteldreieck 101
 Kautschuk
caoutchouc, india rubber
 – Löslichkeit 112
 Ketobutan
 – s. Methyläthylketone
 Ketone
 – Anwendung 71, 72, 81, 113, 140
 – Bleaching 72, 130
 – Definition 57, 58
 – im Lösungsmitteldreieck 94, 97–99, 103, 104, 107
 – Keto-Enol-Tautomerie 58
 – Lösevermögen 21, 71, 111, 112, 128
 – Löslichkeitsparameter 86, 95
 – Mischbarkeit 77, 78
 – Nomenklatur 67, 68
 – Penetration 119, 125, 126
 – physikalische Eigenschaften 86
 – Polarität 33
 – Retention 125, 137
 – Testlösungsmittelsysteme 131–132
 – Testlösungsmittelmischung/Parameter 97, 107–109
 Keto-Enol-Tautomerie 58, 63
 Keton N
 – s. Polycyclohexanonfirnis
 Klebebänder
adhesive tapes
 – Löslichkeit 113, 145
 Klebstoffe 71, 112, 113, 145
adhesives
 – s. a. Kunststoffe
 – s. a. Leim
 Kohäsionsenergiedichte 91
 Kohäsionskräfte 133
 Kohlenhydrat
carbohydrate
 – Löslichkeit 132
 – – Lösungsmitteldreieck 101
 Kohlenwasserstoffe
hydrocarbons
 – aliphatische (gesättigte) 47, 48, 55, 71, 84, 85, 86, 94, 95, 97, 104, 105, 113, 125, 126, 128, 137
 – aromatische 19, 53–55, 84, 85, 94, 110, 124, 125, 126, 128
 – chlorierte 21, 22, 56, 84, 87, 88, 94, 95, 103, 110, 112, 117, 120, 122, 125, 126, 137
 – cyclische 52–53, 55, 84, 85, 137
 – ungesättigte 50, 51, 53, 54, 67, 117
 Kolloidale Lösung 17
 Kolophonium
colophony, gum rosin
 – s. a. Naturharz
 – Löslichkeit 110, 111
 Kolophoniumester
 – Löslichkeitsparameter 89
 Komplexbildner
 – Anwendung/Papier, Textil 122
 Kompressen 139, 140, 141, 142, 143
 Konjugierte Doppelbindung 70
 Konzentration
 – Berechnung 78
 – Definition 77
 – – Löslichkeitsparameter 82–83
 – MAK 124
 Kopaivabalsam
copaiba
 – Löslichkeit 110, 111

- Kopal
gum copal
 – Löslichkeit 110, 111
- Korrosion 133
- Kovalente Bindung
 – s. Bindung
- Kristall
 – Ionenkristall 25
 – – Löslichkeit 39
 – Kovalenter Kristall 26–27
 – Metallkristall 27
 – Molekulkristall 37
 – Natriumchlorid 39
- Kristallöl 30
 – s. Testbenzin
- Kugelschreiber
 – Abnahme 113
- Kunstharze
 – s. Kunststoffe
- Kunstharzfirnis
 – s. Firnis
- Kunststoffe
 – s. a. Firnis
 – kristalline Struktur 38
 – Löslichkeit 71, 72, 110–113, 138, 142
 – Löslichkeitsparameter 89
 – Nomenklatur 69–70
 – Polymerisation 50–51, 70
- Lackbenzin
 – s. Testbenzin 71
- Lack
lacquer, varnish
 – Löslichkeit 113
- Lackfleck
 – Löslichkeit/Papier 113
- Lactame 68
- Ladungsüberführungskräfte 127–129
- Laropal K-80
 – s. Polycyclohexanonfirnis
- Leder 134, 140
leather
- Leim
glue
 – Kohlenhydrat 72, 101, 132
 – Protein 101, 132, 145
- Leinöl
linseed oil
 – Löslichkeit 110, 111
 – – oxidiertes 72
- Linoxyn
linoxyn, dried linseed oil
 – Löslichkeit 110, 111
- Lösevermögen
 – s. a. Löslichkeit
 – Definition 17
 – Lösungsmittelgruppen 128–129
- Lösevorgang
 – Definition 17
 – Theorie 43–45
- Löslichkeit
solubility
 – Bindemittelstoffgruppen 100–105, 128, 129
 – – filmbildende Stoffe 110–111
 – Definition 17
 – Feststoffe 38–41
 – – Polarität 42
 – Flüssigkeiten 73–74
 – – Netzmittel 74–77, 134–135
 – Sättigungsgrenze 78
- Löslichkeitsparameter
solubility parameter
 – Anwendung 100–109, 126, 129, 130
 – Berechnung 82–83
 – Definition 91–93
 – graphische Ermittlung 96–99
 – Lösungsmittel 85–88, 95
 – Polymere 89
 – Testlösungsmittelsysteme 107–109
- Lösung
solution
 – Definition 17, 39
 – echte 17, 76
 – kolloidale 17
 – gesättigte 78
 – saure/basische/neutrale 79–81
 – Konzentrationsangaben 77–81
- Lösungsmittel
solvent
 – Definition 17
 – Nomenklatur 66–70
 – physikalische Daten 85–88
 – Toxizität 20–21, 82, 85–88, 117, 124
- Lösungsmittel DA
 – s. Diacetonalkohol
- Lösungsmittel G A
 – s. Äthylcellösolve
- Lösungsmittelabfälle
 – s. Entsorgung
- Lösungsmitteldreieck
triangular solubility chart, Teas chart
 – s. a. Löslichkeitsparameter
 – Anwendung 82–84, 91–109, 138
 – Definition 92
- Lösungsmittelgemisch
 – s. Mischlösungsmittel
 – s. Lösungsmittelsysteme
- Lösungsmittelinklusion 119–121
 – s. a. Lösungsmittelretention
- Lösungsmittelkategorien 125, 129, 131–132, 138
- Lösungsmittelmischung
solvent blend
 – Anwendung 118, 129–132
 – – Test 106–109, 130–132
 – – Oberflächenverschmutzung 131, 139–141
 – – Firnis 63, 72, 131–132, 138, 141–143

- Übermalung 72, 128–129, 132, 143–145
- Diverses 113, 144–145
- Azeotrop 18
- Definition 18, 91
- Konzentration 77–78
- Löslichkeitsparameter 82–83, 92, 97–99, 109
- Mischbarkeit 18, 73–74
- Verschneidbarkeit 18
- Verdünnungsverhältnis 18
- Lösungsmittelpenetration
- s. Penetration
- Lösungsmittelretention 109, 117, 119–121, 125–127, 136–138
- solvent retention*
- Lösungsmitteltest
- solubility test*
- Durchführung 106, 109, 129–131
- Lösungsmitteldreieck 106–109
- Nadeltest 130
- Testlösungsmittelmischung 107–109, 131–132
- Lucite 2042
- s. Polyäthylacrylat
- Magnesiumbicarbonat
- Anwendung/Papier, Textil 122
- Magnesiumhydrogencarbonat
- s. Magnesiumbicarbonat
- Magnesiumoxid
- Anwendung/Papier 113
- MAK 82, 85–88, 124
(Maximale Arbeitsplatzkonzentration)
- Makrolon
- s. Polycarbonate 112
- Mastix
- mastic resin, gum mastic*
- s. a. Naturharze
- Löslichkeit 110, 111, 141
- Re-forming 138
- Mechanische Abnahme 143, 144
- Mecloran
- s. Trichloräthan
- Mesityloxid
- physikalische Eigenschaften 86
- Metallbindung 27
- Methan 47, 66
- Methanol
- s. Methylalkohol
- Methylacetat
- Flüchtigkeit 72
- Lösevermögen 111
- Methylalkohol (Methanol)
- Anwendung/Gemälde 142
- Anwendung/Papier, Textil 123
- Formel 32
- in Nitroverdünnung 71
- Lösevermögen 110, 112, 128, 145
- Löslichkeitsparameter 85, 95
- Penetration 126
- physikalische Eigenschaften 85
- Polarität 32
- Retention 120, 137
- Testlösungsmittelmischung 132
- Testlösungsmittelmischung/Parameter 109
- Toxizität 117
- Methylamin
- Formel 67
- Methyläthylketon
- methyl-ethyl ketone*
- Acetonersatz 130
- Anwendung 139, 140
- Formel 58
- Lösevermögen 111, 112
- Löslichkeitsparameter 86, 95
- physikalische Eigenschaften 86
- Quellvermögen/Ölfilme 103
- Testlösungsmittelmischung 131, 132
- Testlösungsmittelmischung/Parameter 109
- Methylbenzol
- s. Toluol
- Methylenchlorid 56
- Methylchloroform
- s. Trichloräthan
- Methylcellosolve
- Formel 65
- Lösevermögen 111
- Löslichkeitsparameter 87, 95
- Parameterberechnung in Mischung 83, 98, 99
- physikalische Eigenschaften 87
- Methylcellulose (MC)
- Anwendung/Papier 113
- Löslichkeit 112
- Methylcyanid
- s. Acetonitril
- Methylenchlorid (Dichlormethan)
- Anwendung/Gemälde 144
- Anwendung/Papier 113
- Anwendung/Skulptur 142
- Formel 56
- Lösevermögen 112, 145
- Löslichkeitsparameter 87, 95
- physikalische Eigenschaften 87
- Quellvermögen/Ölfilme 103
- Retention 120
- Methylenum chloratum
- s. Methylenchlorid
- Methylglykol
- s. Methylcellosolve
- Methylengruppe
- Definition 47
- Keto-Enol-Tautomerie 58
- Methylformamid
- Formel 68
- Methylgruppe
- Definition 47
- Formel 66
- Keto-Enol-Tautomerie 58

- Methylisoamylketon
 – Löslichkeitsparameter 86, 95
 – physikalische Eigenschaften 86
- Methylisobutylcarbinol
 – physikalische Eigenschaften 86
- Methylisobutylketon
 – Anwendung/Gemälde 140
 – Formel 58
 – Lösevermögen 111
 – Parameterberechnung in Mischung 83, 98, 99
 – physikalische Eigenschaften 86
 – Testlösungsmittelmischung 131
 – Testlösungsmittelmischung/Parameter 109
- Methylmagnesiumcarbonat
 – Anwendung/Papier, Textil 122
- Methyl-n-propylketon
 – physikalische Eigenschaften 86
- 4-Methylpentanon
 – s. Methylisobutylketon
- 4-Methyl-pentan-2-on
 – s. Methylisobutylketon
- N-Methyl-2-pyrrolidon
 – Lösevermögen 72
 – Lichtempfindlichkeit 117
- Mineralölfractionen
 – Lösevermögen 110
 – Löslichkeitsparameter 85, 95
 – physikalische Eigenschaften 85
 – Testlösungsmittel 131
- Mineralsäuren
 – s. Säuren, anorganische
- Mineral Spirits
 – s. Testbenzin
- Mischbarkeit
miscibility
 – s. a. Lösungsmittelmischung
 – Definition 18
 – Flüssigkeiten 73–74
 – theoretische Grundlagen 43–45
- Mischlösemittel 55, 71, 81
- Mischungslücke 18
- Molarität 78
- Molekül
 – s. a. Wechselwirkungen
 – Aggregatzustand 35–38
 – Definition 31
 – Polarität 31, 32, 35–36, 41
- Molekulare Anziehungskräfte
 – s. Wechselwirkungen
- Monoäthanolamin
 – s. Äthanolamin
- Monomer 70
- Morpholin
 – Anwendung/Papier 113
 – Lösevermögen 72, 111
 – physikalische Eigenschaften 88
- Mowilith 50
 – s. Polyvinylacetat
 Mowiol
 – s. Polyvinylalkohol
- Nadeltest 130
- Naphtene
 – s. cyclische Kohlenwasserstoffe
- Nasse Polarität
 – s. Wasserstoffbrückenbindungen
- Natriumacetat 67, 68
sodium acetate
- Natriumborhydrid 113
sodium borohydrate
- Natriumbicarbonat
sodium bicarbonate
 – Anwendung 145
 – Formel 62
- Natriumhydrogencarbonat
 – s. Natriumbicarbonat
- Natriumcarbonat 62
sodium carbonate
- Natriumchlorid
sodium chloride
 – Konzentration 77
 – Löslichkeit 39
- Natriumcitrat
sodium citrate
 – Anwendung/Papier, Textil 122
- Natriumformiat 68
sodium formiate
- Natriumhydroxid
sodium hydroxide
 – Dissoziation 61, 62
 – Formel 61
 – Reaktion mit Stearinsäure 75
- Natriumhypochlorit
sodium hypochlorite
 – Anwendung/Papier 113
- Natriumstearat 67, 75
sodium stearate
- Natriumtripolyphosphat
sodium tripolyphosphate
 – Anwendung/Papier, Textil 122
- Natronlauge
 – s. Natriumhydroxid
- Naturharze
 – s. a. Firnis
 – Löslichkeit 71, 72
 – – Lösungsmitteldreieck 101, 102, 104
 – Wasserschaden 140
- Naturharzfirnis
 – s. Firnis
- Netzmittel
surface active agent, wetting agent
 – Anwendung 122, 139–141
 – Definition 74–75
 – Wirkung 76–77, 134–135

- Nichtionisches Netzmittel
non-ionic detergent 77, 139–141
- Nikotin
– Entfernung 139
- Nitrilderivate
– Toxizität 117
- Nitrilotriessigsäure (NTA)
nitrilo-triacetic acid
– Anwendung/Papier, Textil 122
- Nitroäthan
– physikalische Eigenschaften 88
- Nitrocellulose
– Kunstharz-Kombinationen 18
– Löslichkeit 71, 72, 112
– Löslichkeitsparameter 89
- Nitroderivate
– Toxizität 117
- Nitromethan
– physikalische Eigenschaften 88
- Nitropropan
– physikalische Eigenschaften 88
- Nitroverdünnung 71
- NTA
– s. Nitrilotriessigsäure
- Oberflächenaktive Substanzen
– s. Netzmittel
- Oberflächenspannung 18, 35–36, 126, 134–135
surface tension
- Oberflächenverschmutzung
– s. a. Flecken
- Abnahme 106, 131, 139–141
- Obstfleck/Papier 113
- n-Octan 47
- Olefine
– s. Alkene
- Ölfilm
– Hydrophobie 134
– Löslichkeit 71, 110, 111, 132
– – Lösungsmitteldreieck 101–105, 138
– Öl/Harzfirnis 141, 142
- Ölfirnis 141, 142
– s. a. Firnis
- α -Olefinsulfonat
– Anwendung/Papier, Textil 122
- Oxalsäure
oxalic acid
– Anwendung/Papier 113
- Oxidation 49, 51
- Papain 145
- Papier
– Lösungsmittelinklusio 119–121
– Reinigung 113, 122–123, 141, 145
- Paraffine
– s. gesättigte Kohlenwasserstoffe, Alkane
- Paraffinwachs 47, 110, 111
- Penetration 81, 125–127, 130, 133, 138
solvent penetration
- Pentan 57, 66
- 2,4-Pentandion
– Anwendung 140
- Pentanol
– s. Amylalkohol
- Pentylalkohol
– s. Amylalkohol
- Pentylgruppe 66
- Periodisches System 25, 28–29
- Petroläther 110
petroleum ether
– s. a. Testbenzin
- Petroleum-Kohlenwasserstoffharz
petroleum hydrocarbon resin
– Löslichkeitsparameter 89
- Persprit
– s. Isopropylalkohol
- Petrohol
– s. Isopropylalkohol
- Petrosol
– s. Isopropylalkohol
- Phenylgruppe 70
- Phtalatpuffer
– Anwendung 145
- pH-Wert 79–81
pH-value
- Piccopale 110
– s. Petroleum-Kohlenwasserstoffharz
- α -Pinen
– Formel 52
– Polarität 54
- Pinienharz
– als Firnisanteil 141
- Polarität 31–32, 35–36, 39, 41–42,
polarity 54, 56–58, 63–65
- Polyacrylsäureester
– Löslichkeit 112
- Polyamid
– Löslichkeit 112
– Löslichkeitsparameter 89
- Polyäthylacrylat
– Löslichkeitsparameter 89
- Polyäthylen
– Löslichkeit 112
- Polycarbonate
– Löslichkeit 112
- Polycyclohexanonfirnis
– Abnahme 142
- Polyester
– Löslichkeit 112
- Polyisobutylene
– Löslichkeit 112

- | | | | |
|---------------------------------------|--|-------------------|--|
| Polyisopren | | | |
| – Löslichkeit | | 112 | |
| Polymer | | 50–51, 70 | |
| – s. a. Kunststoffe | | | |
| – s. a. Firnis | | | |
| Polymerisation | | | |
| – Definition | | 50–51, 70 | |
| – von Lösungsmitteln | | 117 | |
| Polymethacrylat | | | |
| – Löslichkeit | | 72 | |
| Polymethacrylsäureester | | | |
| – Löslichkeit | | 112 | |
| Polymethylmethacrylat | | | |
| – Löslichkeit | | 110, 111 | |
| – Löslichkeitsparameter | | 89 | |
| Polyolefine | | | |
| – Löslichkeit | | 112 | |
| Polypropylen | | | |
| – Löslichkeit | | 112 | |
| Polysaccharide (Kohlenhydrate) | | | |
| – Löslichkeit im Lösungsmitteldreieck | | 101 | |
| Polystyrol | | | |
| <i>polystyrene</i> | | | |
| – Löslichkeit | | 71, 112 | |
| – Löslichkeitsparameter | | 89 | |
| Polyurethane | | | |
| – Löslichkeit | | 112 | |
| Polyvinylacetale | | | |
| – Löslichkeit | | 112 | |
| Polyvinylacetat (PVAc) | | | |
| – Löslichkeit | | 72, 110, 111, 112 | |
| – Löslichkeitsparameter | | 89 | |
| – Nomenklatur | | 70 | |
| Polyvinylalkohol (PVA, PVAL) | | | |
| – Löslichkeit | | 112 | |
| – Nomenklatur | | 69, 70 | |
| – Schutzhandschuhe | | 21 | |
| Polyvinylbutyral | | | |
| – Löslichkeit | | 112 | |
| – Löslichkeitsparameter | | 89 | |
| Polyvinylchlorid (PVC) | | | |
| – Löslichkeit | | 112 | |
| – Löslichkeitsparameter | | 89 | |
| – Nomenklatur | | 69, 70 | |
| Propan | | 47, 60 | |
| Propanol | | | |
| – s. Propylalkohol | | | |
| Propanol-2 | | | |
| – s. Isopropylalkohol | | | |
| Propanon | | | |
| – s. Aceton | | | |
| 1, 2, 3-Propantriol | | | |
| – s. Glycerin | | | |
| Propen | | | |
| – s. Propylen | | | |
| Propionsäure | | 67 | |
| <i>propionic acid</i> | | | |
| Propylacetat | | | |
| – Löslichkeitsparameter | | 87, 95 | |
| – physikalische Eigenschaften | | 87 | |
| n-Propylalkohol | | | |
| – Löslichkeitsparameter | | 85, 95 | |
| – physikalische Eigenschaften | | 85 | |
| Propylalkohol, sekundärer | | | |
| – s. Isopropylalkohol | | | |
| Propylen (Propen) | | 69 | |
| Propylcyanid | | | |
| – s. Butyronitril | | | |
| Propylgruppe | | 66 | |
| n-Propylmethacrylat | | | |
| – Löslichkeit | | 110, 111 | |
| Protein | | | |
| – Blutfleck | | 113 | |
| – Eiweißfleck | | 113 | |
| – Leim | | 145 | |
| – Löslichkeit | | 92, 100, 129, 132 | |
| – – Lösungsmitteldreieck | | 101 | |
| – Übermalung | | 142, 144 | |
| Protonenbrücken | | | |
| – s. Wasserstoffbrückenbindung | | | |
| Putzwasser | | 15 | |
| PVA | | | |
| – s. Polyvinylalkohol | | | |
| PVAc | | | |
| – s. Polyvinylacetat | | | |
| PVC | | | |
| – s. Polyvinylchlorid | | | |
| Pyranton A | | | |
| – s. Diacetonalkohol | | | |
| Pyridin | | | |
| – Anwendung/Papier | | 113 | |
| – Anwendung/Skulptur | | 143 | |
| – Formel | | 61 | |
| – Lösevermögen | | 111 | |
| – physikalische Eigenschaften | | 88 | |
| Pyridinbasen | | | |
| – s. Pyridin | | | |
| Quellung | | | |
| <i>swelling</i> | | | |
| – Cellulose | | 119, 122 | |
| – Definition | | 40, 43 | |
| – Malschicht | | 72, 144 | |
| – Ölfilm | | 91, 100–104 | |
| Retention | | | |
| – s. Lösungsmittelretention | | | |
| Re-forming | | 127, 138 | |
| Reinigung | | | |
| <i>cleaning</i> | | | |
| – s. a. Firnis | | | |
| – s. a. Oberflächenverschmutzung | | | |
| – s. a. Übermalung | | | |

- Gemälde 81, 131
- Kapillarität 133
- Leder 140
- Papier 113, 122–123, 141, 145
- Skulptur 140
- Stein 141
- Wandmalerei 140, 141, 144, 145
- Textil 71, 123–124
- Richtkräfte 18, 31–34, 91–93
- (Dipol-Dipol-Wechselwirkungen) 127–129
- polar forces*
- Rostfleck/Papier 113
- Rotweinfleck/Papier 113

- Salpetersäure
nitric acid
- Dissoziation 60
- Formel 59
- Salze, organische 67, 68
- Salzsäure
hydrochloric acid
- Anwendung/Papier 113
- Dissoziation 60
- Formel 59
- molare Lösung 78
- Sandarak
gum sandarac
- s. a. Naturharze
- Löslichkeit 110, 111
- Sättigung 78
- Säuregruppe (Carboxylgruppe) 58, 67
- Säuren, anorganische
inorganic acids
- Definition 59
- Dissoziation 60
- Polarität 60
- Säuren, organische
organic acids
- Definition 58, 59, 60
- Lösevermögen 129
- Nomenklatur 67, 68
- physikalische Eigenschaften 88
- Polarität 58, 59
- Schellack
shellac, garnet lac.
- Löslichkeit 72, 110, 111, 113, 142, 143
- Schutzmaßnahmen 20–21, 82, 117
- Schwefelhaltige Verbindungen
- Lösevermögen 111
- physikalische Eigenschaften 88
- Schwefelkohlenstoff
carbon disulphide
- Lösevermögen 111
- physikalische Eigenschaften 88
- Retention 137
- Toxizität 117
- Schwefelsäure
sulphuric acid
- Dissoziation 60
- Formel 59
- Schäden 145
- Schwefelsaureschaden/Gemälde 145
- Seifen
washing agents
- s. a. Netzmittel
- Definition 75
- Natriumstearat 67
- Schädwirkung 77
- Wirkung 134, 135
- Shellsol A
- s. a. Mineralölfractionen
- Lösevermögen 71
- Zusammensetzung/Siedebereich 55, 71
- Shellsol B
- s. a. Mineralölfractionen
- Zusammensetzung/Siedebereich 55
- Shellsol B 8
- s. a. Mineralölfractionen
- Zusammensetzung/Siedebereich 55
- Shellsol E
- Zusammensetzung/Siedebereich 55
- Shellsol T
- Zusammensetzung/Siedebereich 55
- Siedebereich
boiling range
- Definition 18
- Kohlenwasserstofflösungsmittel 55, 71, 81
- Siedegrenzbenzin
- s. Feinbenzin
- Siedepunkt
boiling point
- Lösungsmittel 85–88
- Silber
- Reinigung 67
- Silicagel
- Anwendung/Papier 113
- Sirius 1
- s. Trichlorathylen
- Skulpturen
- Abnahme
- – Firnis 131, 142–143
- – Oberflächenverschmutzung 131, 140
- – Übermalung 132, 144
- Soda
- s. Natriumcarbonat
- Solvesso 100
- s. a. Mineralölfractionen
- Zusammensetzung/Siedebereich 55
- Speichel
saliva
- Anwendung/Gemälde 139, 146
- künstlicher Speichel 146

- Speisesoda
– s. Natriumbicarbonat
- Spezialbenzin 62/82 (Feinbenzin)
– Eigenschaften 71
- Spezifisches Gewicht
– Lösungsmittel 85–88
- Spiritus
– s. Äthylalkohol
- Sprit
– s. Äthylalkohol
- Stärke
starch, amyllum
– Anwendung/Papier 113
– Löslichkeit 72, 101
- Stearinsäure
– Verseifungsreaktion 75
- Stein
– Reinigung 141
- Stempelfarben 113
stamping inks
- Stickstoffhaltige Verbindungen
– physikalische Eigenschaften 88
- Stöchiometrische Verbindungen 119
- Stockflecken 113
foxing
- Styrol
styrene
– Formel 54
– Löslichkeit 112
– physikalische Eigenschaften 85
- Suspension 73–76
- Teefleck/Papier 113
tea stain
- Teer ex
– s. Trichloräthan
- Teerfleck 113, 144, 145
tar stain
- Telclair 31
– s. Trichloräthan
- Tenside 134–135
– s. a. Netzmittel
- Terpene
– s. Terpentin
– s. Pinen
- Terpentin
turpentine
– chemische Stabilität 53
– Formel 52
– Herstellung 55
– Lichtempfindlichkeit 117
– Lösevermögen 53, 110
– Löslichkeitsparameter 85, 95
– Penetration 125
– physikalische Eigenschaften 85
– Polarität 53, 54
– Retention 117, 125, 136
- Terpentinersatz
– s. a. Mineralölfractionen
– Zusammensetzung 71
- Testbenzin
white spirit
– s. a. Mineralölfractionen
– Anwendung 113, 139, 140
– – im Lösungsmitteldreieck 104, 105
– Lösevermögen 110
– Retention 119
– Zusammensetzung/Siedebereich 55, 71
- Testlösungsmittelmischungen 106–109, 131–132
test solvent blends
- Tetra
– s. Tetrachlorkohlenstoff
- Tetrachlorkohlenstoff
carbon tetra chloride
– Formel 56
– Inklusion 119
– Lösevermögen 110
– physikalische Eigenschaften 88
– Polarität 56
– Retention 119
– Toxizität 117, 124
- Tetrachlormethan
– s. Tetrachlorkohlenstoff
- Tetrahydrofuran (THF)
– Anwendung/Papier 113
– Formel 64
– Lösevermögen 112
– Löslichkeitsparameter 87, 95
– Penetration 125
– physikalische Eigenschaften 87
– Quellvermögen/Ölfilme 103
– Retention 125, 136
– Testlösungsmittelmischung 132
– Testlösungsmittelmischung/Parameter 109
- Tetrahydronaphthalin
– s. Tetralin
- Tetrahydro-1,4-Oxazin
– s. Morpholin
- Tetralin
– Lösevermögen 110, 112
- Textil
– Farbstoffixierung 67
– Lösungsmittelinklusion 119–121
– Reinigung 71, 122–123
- Thermodynamische Größen 44
- THF
– s. Tetrahydrofuran
- Thymol 120
- Tierscher Leim 145
animal glue
– s. a. Protein
- Titriplex III
– s. Äthylendiamintetraessigsäure
- TLV (Threshold Limit Value) 82

- Toluol
toluene
 – Anwendung/Gemälde 141, 142, 144
 – Formel 54
 – im Lösungsmitteldreieck 97
 – in Nitroverdünnung 71
 – Lösevermögen 110, 112
 – Löslichkeitsparameter 85, 95
 – physikalische Eigenschaften 85
 – Retention 120, 137
 – Testlösungsmittelmischung 131, 132
 – Testlösungsmittelmischung/Parameter 107–109
 Toxizität 20–21, 82, 85–88, 117, 124
toxicity
 Tri
 – s. Trichloräthylen
 Triäthanolamin 81
 – Lösevermögen 111
 – physikalische Eigenschaften 88
 Triäthylamin
 – Formel 69
 Trichloräthan
 – Anwendung/Gemälde 144
 – Anwendung/Skulptur 140, 144
 – Formel 56
 – physikalische Eigenschaften 87
 – Testlösungsmittelmischung 131
 – Testlösungsmittelmischung/Parameter 109
 Trichloräthen
 – s. Trichloräthylen
 Trichloräthylen
 – Formel 56
 – Lösevermögen 112
 – physikalische Eigenschaften 87
 Trichlorbenzol
trichloro benzene
 – Lösevermögen 112
 Trichlormethan
 – s. Chloroform
 Trielin
 – s. Trichloräthylen
 Trihydroxytriäthylamin
 – s. Triäthanolamin
 Trimethyllessigsäure 67
trimethyl acetic acid
 Trockene Polarität
 – s. Dipol
 Trypsin
 – Anwendung/Papier 113
 Überfassung
 – s. Übermalung
 Übermalung
overpaint
 – s. a. Lösungsmitteltest
 – Abnahme
 – – kaseingebunden 72, 144
 – – kohlenhydratgebunden 132
 – – ölgebunden 72, 129, 132, 142, 143–144
 – – proteingebunden 129, 132, 142, 144
 UHU
 – Löslichkeit 113
 Ungesättigte Kohlenwasserstoffe
olefinic hydrocarbons
 – Definition 50
 – Nomenklatur 67
 – Oxidation 51
 – Polarität 54
 – Polymerisation 50, 51, 117
 – Vergilbung 53, 117
 Urania 1
 – s. Trichloräthylen
 Valeriansäure 67
 Van der Waals'sche Kräfte
van der Waals forces
 – s. Dispersionskräfte
 Varnish Makers & Painters Naphtha
 (V. M. & P. N.)
 – s. a. Mineralölfractionen 55
 Venetianer Terpentin
venice turpentine
 – Löslichkeit 110, 111
 Verdampfung 36, 91, 136
vaporization
 Verdünnungsverhältnis 18
tinning ratio
 Verdunstungs-
evaporation
 – wärme 19, 136
 – zahl 19, 81
 – zeit 18–19
 Vergilben
yellowing
 – Lösungsmittel 117, 140
 – Terpentin 52, 53
 Versamide 930
 – s. Polyamid
 Verschneidbarkeit 18
 Vinylacetat 70
 Vinylalkohol 69
 Vinylchlorid 69
 Vinylgruppe 69
 Vipla KR
 – s. Polyvinylchlorid
 Viskosität 126, 133
viscosity
 V. M. & P. N.
 – s. Mineralölfractionen
 Wachs
wax
 – Löslichkeit 71, 110–111
 – – Lösungsmitteldreieck 101

- Wacker 3X
 – s. Trichloräthan
- Wacker Tri
 – s. Trichloräthylen
- Wandmalerei
mural painting
 – Reinigung 140, 141
 – – Teer 144, 145
 – – Schwefelsäure 145
- Waschmittel
 – s. Netzmittel
- Wasser
 – Anwendung 139, 140, 141
 – Anwendung/Gemälde 142, 144
 – deionisiertes 122, 123
 – destilliertes 60, 122, 139–140, 145
 – Formel 32, 35
 – im Lösungsmitteldreieck 96
 – Leitungswasser 124
 – Lösevermögen 21, 39, 112, 113, 145
 – Löslichkeitsparameter 86, 95
 – Mischbarkeit 42, 73, 74
 – Oberflächenspannung 35
 – Penetration 125
 – physikalische Eigenschaften 81, 86
 – Polarität 32, 35
 – Retention 125, 137
 – Testlösungsmittelmischung 132
 – Testlösungsmittelmischung/Parameter 109
- Wasserränder
water stains
 – Gemälde 139, 140
 – Papier 113, 139
- Wasserstoffbrückenbindung 18, 33–34,
hydrogen bond 42, 127–129
 – Alkohol 57
 – Äther 64
 – Ester 63, 72
 – Netzmittel 75, 77
- Wasserstoffperoxid
 – Anwendung/Papier 113
- Wechselwirkungen
interactions
 – Ionenkräfte 18, 127–129
 (Coulombsche Kräfte)
 – Richtkräfte 18, 31–34
 (Dipol-Dipol-Wechselwirkungen) 91–93,
 127–129
 – Induktionskräfte 18, 127–129
 – Dispersionskräfte 18, 34, 42, 91–93
 (van der Waals'sche Kräfte) 127–129
 – Wasserstoffbrückenbindungen 18, 33–34,
 (Protonenbrücken) 42, 57, 63, 64, 72, 75, 77,
 91–93, 127–129
 – Ladungsüberführungskräfte 127–129
- Weingeist
 – s. Äthylalkohol
- Weißschleierbildung 19, 72, 130, 139, 140
bleaching
- Wei T'io-Lösung Nr. 2 122
- White spirit
 – s. Mineralölfractionen
- Xylol
xylene
 – Anwendung/Skulptur 140
 – Anwendung/Stein 141
 – Formel 54
 – in Nitroverdünnung 71
 – Lösevermögen 110, 145
 – Löslichkeitsparameter 85, 95
 – Mischbarkeit 73
 – physikalische Eigenschaften 85
 – Retention 137
 – Testlösungsmittelmischung 131
- Zündtemperatur 19
fire point, ignition temperature



Aus der Zusammenarbeit von Restaurator und Naturwissenschaftler entstand das Buch „Lösungsmittel in der Restaurierung“ – das erste Fachbuch dieser Art in deutscher Sprache, basierend auf Arbeiten von L. Masschelein-Kleiner und G. Torraca.

ISBN 3-85450-001-7