



Spezial - Magazin 3 für Maler und Lackierer

Ausgabe: Juli 2016 / Redaktion: R. Anliker

Bauphysik für Lackierer und Baumaler

Wärmeleitfähigkeit und das Isolationsvermögen

- Wasser und Wasserdampf / Die Luftfeuchtigkeit und der Taupunkt
- Wärmedämmung (Innen- und Aussenisolation)
- Innenanstriche von ungedämmten Mauerwerken: Dampfsperre !!
- Aussenisolationen: Wieso sind sie anfälliger auf Pilz- und Algenbefall ?

Wärmedehnung: Berechnung und Dimensionierung von Dehnfugen

- * Typen von dauerelastischen Dichtstoffen / "Dauerdehnbarkeit"

Die Wasserdampfdurchlässigkeit und der Dampf Widerstand

- Tabellenwerte zur Wasserdampfdurchlässigkeit
- 4 bauphysikalische Grundregeln für Fassadenbeschichtungen
- * Silikonmattfarben: Ideal für Aussendämmungen mit Grünbewuchs!
- * Saniermittel und Fungizide für mineralische Untergründe

Fassadenfarben aus Sicht der Bauphysik

- Die Eigenschaften von Fassadenfarben und Untergründen
- Die richtige Auswahl der Fassadenfarben nach bauphysik. Kriterien

Ausblühsalze: Ursachen - Erscheinungsformen - Sanierung



Die direkten Telefon-Nummern für Bestellungen und technische Beratungen

Für Bestellungen und technische Auskünfte können Sie mit den unten stehenden direkten Telefonnummern schneller mit der von Ihnen gewünschten Abteilung oder Person verbunden werden.

Zentrale	Tel. FAX	044 809 69 69 044 809 69 99	Fr. R. Winterhofen
Verkaufsstelle Glattbrugg (Bestellungen / fachtechnische Beratung)		044 809 69 03 044 809 69 46	Hr. R. Hollenweger Hr. Y. Schneider

Bestellbüro	044 809 69 00
--------------------	----------------------

Verkaufsleitung Innendienst /VST	044 809 69 33	Hr. P. Lamanuzzi
Verkaufsleitung Baumaler	044 809 69 62	Hr. C. Francois
Verkaufsleitung Industrie	079 942 78 95	Hr. B. Rüedi
Marketingleitung	044 890 69 76	Hr. X. Wüst
Geschäftsführer	044 809 69 79	Hr. R. Diethelm
VR Präsident	044 809 69 20	Hr. H. Tobler
Labor / techn. Auskünfte	044 809 69 44	Hr. J. Reiter
	044 809 69 16	Hr. J. Linge
	044 809 69 32	Fr. G. Zebli
	079 427 17 83	Hr. R. Anliker
	044 809 69 29	Hr. R. Anliker jun.
	044 809 69 56	Hr. C. Obrist
	044 809 69 34	Hr. D. Birrfelder
"Hot-Line" RUCOTINT / -TREND	044 809 69 30	Hr. E. Tobler
	044 809 69 89	Hr. L. Diethelm
	044 809 69 54	Fr. E. Wölfli
Rezepturverwaltung	044 809 69 75	Hr. A. Sopi
(Anfragen und Erstellung von Rezepturen / Korrekturen etc.)		
Buchhaltung	044 809 69 50	Hr. M. Brunner
	044 809 69 35	Hr. S. Baur

Die Wärmeleitfähigkeit und das Isolationsvermögen

Diese beiden Begriffe spielen auch für den Maler eine sehr wichtige Rolle, denn eine den Möglichkeiten entsprechende, optimale Wärmedämmung senkt schlussendlich auch die Heizkosten eines Gebäudes. Vor allem bei Altbauten ohne Wärmedämmsystem sind es die kalten und feuchten Aussenwände, welche einen stark erniedrigten Wärmedämmwert besitzen. In der kalten Jahreszeit, wenn die Luftfeuchtigkeit von innen nach aussen wandert, kondensiert der Wasserdampf im kalten Mauerwerk. Was der Maler dazu beitragen kann, um dies zu verhindern, soll Thema dieses Artikels sein!

Die Wärmewanderung ist physikalisch gesehen eine Energieübertragung von der wärmeren nach der kälteren Seite ! In "dichten" Stoffen wie z.B. Metallen laufen solche Wärmeübertragungen sehr schnell ab; in Gasen oder dampfförmigen Stoffen hingegen äusserst langsam. Trockene Luft leitet die Wärme also sehr langsam, was natürlich bedeutet, dass Luft über ein ausgezeichnetes Isolationsvermögen verfügt.

Wichtig: Luft ist ein ausgezeichneter Isolator; Baustoffe mit hohem Porenvolumen sind deshalb die besten Wärmedämmstoffe !

Den hochporösen Stoffen fehlt aber leider meist die statische Festigkeit (Druckfestigkeit). Der bekannte Gasbeton (Ytong) besitzt wohl einen hohen Wärmedämmwert, kann aber sogar von Hand zerbrochen werden. Oft wird deshalb als Kompromisslösung bei relativ "gut" wärmeleitenden Baustoffen wie Beton eine Isolierschicht aufgebracht (z.B. aus Styroporplatten).

Wasser: hervorragende Wärmeleitfähigkeit (schlechte Isolationseigenschaften)

Der Aufguss in der Sauna lässt uns deutlich spüren, dass feuchte Luft die Wärme sehr viel schneller überträgt als trockene Luft. Wenn sich die Luftporen von porösen Baustoffen (Backsteine, KS, Mauerwerk etc.) mit Wasser füllen, so sinkt die Wärmeisolerfähigkeit stark ab!

Durchfeuchtete Baustoffe besitzen einen stark erhöhten Wärmeleitwert ! Ein Feuchtigkeitsanstieg von 1% (ausgehend von der üblichen Durchschnittsfeuchtigkeit) erhöht den Wärmeleitwert um rund 10%, was auch einem Wärmedämmverlust von 10% entspricht !

Aus der Tabelle rechts ist diese Tatsache gut ersichtlich; im Vergleich zu "trockenen" Baustoffen (Feuchtigkeiten zwischen 1 - 5%) sind die Wärmedämmverluste bei einer Durchfeuchtung des Aussenmauerwerks enorm !!

Die Wärmeleitfähigkeit diverser Baustoffe		
Baustoff	Dichte	Wärmeleitzahl
Beton	2,40	2,10
Zementmörtel	1,80	1,20
Mauerziegel	1,90	1,08
Mauerziegel	1,00	0,48
Kalksandstein	1,80	1,02
Leichtbetonvollsteine	0,80	0,42
Gasbeton	0,70	0,13
Holzwohle-Leichtbauplatte	0,40	0,08
Hartschaumdämmplatten	0,03	0,04
Stahl	7,80	60,0
Aluminium	2,70	210,0
Kupfer	8,90	396,0
Luft		0,020
Wasser	1,0	56

Zunahme der Wärmeleitzahl bei Durchfeuchtung			
Baustoff	Zunahme der Wärmeleitzahl in % bei einer Feuchtigkeitszunahme um 1% (ausgehend von verschiedenen Feuchtigkeitsgehalten des Baustoffes)		
	1%	5%	10%
Ziegelmauerwerk	26	16	10
Kalkzementmörtel	23	13	9
Kalksandsteinmauer	25	12	9
Kiesbeton	27	14	10
Gasbeton	20	11	9
Holzwohle-Leichtbauplatte	28	13	8

Kapillarität / Wasseraufsaugvermögen

Für die weitaus meisten Anstrichschäden gilt das Wasser als Hauptverursacher. Aufgrund der physikalisch-chemischen Eigenschaften wirft **Wasser diverse anstrichtechnische Probleme** auf:

- Aus 1 Liter Wasser entstehen 1244 Liter Wasserdampf; diese **enorme Volumenausdehnung** verursacht z.B. einen enormen Wasserdampfdruck, wenn Wasser unter "dampfdichte" Anstriche gelangt und bei Sonneneinstrahlung resp. Erwärmung verdunsten möchte.
- Als **Transportmittel für wasserlösliche Stoffe** wie Salze, Gerbstoffe etc. ist das Wasser auch für alle Arten von **Fleckenbildungen, Ausblühscheinungen** etc. verantwortlich.
- Die **hohe Oberflächenspannung** des Wassers (72 dyn/cm) verursacht leider **die schlechte Verträglichkeit resp. "Benetzbarkeit"** mit den meisten Anstrichuntergründen (Kunststoffe, Altanstriche, Metalle etc).
- Die Oberflächenspannung des Wassers ist auch verantwortlich für **die kapillare Saugkraft**.

Das kapillare Saugvermögen

Die Kapillarität des Wassers ist von enormer Bedeutung in der gesamten Bauwirtschaft, denn unsere wichtigsten Baumaterialien, die mineralischen Baustoffe und das Holz, haben kapillarische Strukturen.

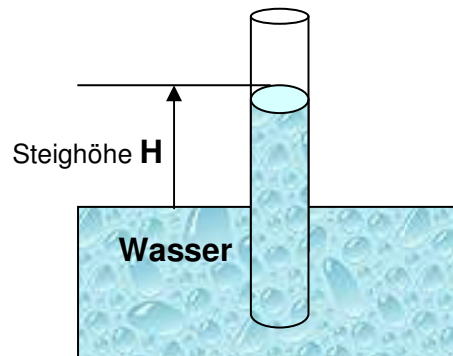
- Beispiele für Kapillaren:**
- Poren mineralischer Baustoffe
 - Nährstoffleitungen / Zellhohlräume von Holz

Was ist eine Kapillare ?

In einer Kapillare (=enges Röhrchen) steigt eine Flüssigkeit, die die Kapillarwände zu benetzen vermag, höher als es nach dem Gesetz der kommunizierenden Gefässe sein sollte.

Die Saugwirkung, resp. die Steighöhe in der Kapillare hängt ab von der Dichte (d) der Flüssigkeit, der **Oberflächenspannung** (a) der Flüssigkeit, der Gravitationskonstante (g) und dem Radius (R) der Kapillare.

$$\text{Steighöhe } H \text{ (in cm)} = \frac{2 a}{R \times d \times g} = \frac{0,15}{R \text{ (mm)}}$$



Poröse und von Wasser benetzbare Stoffe können also flüssiges Wasser "kapillar" aufsaugen und transportieren. Die Steighöhe von Wasser (d =1; a = 72) ist gemäss der Formel nur vom Radius der Kapillare abhängig.

Kapillarradius:	a) 1 mm	b) 10 Mikron	c) 1 Mikron	d) 0,1 Mikron
	$0,15 / 1 = \underline{0,15 \text{ cm}}$	$0,15 / 0,01 = \underline{15 \text{ cm}}$	$0,15 / 0,001 = \underline{150 \text{ cm}}$	$0,15 / 0,0001 = \underline{15 \text{ m}}$

In der Praxis sind Poren mit Radien von etwa 0,1 - 10 Mikron gefährlich (Holz, Mauersteine, KS, Eternit, Gasbeton etc.). Bei kleineren Poren wirken elektrostatische Abstoßungskräfte dem Kapillardruck entgegen. Wasserdichte Baustoffe wie Beton oder Zementputz besitzen kein zusammenhängendes Kapillargefüge.

In mineralischen Baustoffen (Mauerwerken) kann das Wasser max. 50 - 100 cm aufsteigen, da das Eigengewicht des Wassers der Kapillarkraft entgegenwirkt. Ausblüh- und Anstrichschäden durch aufsteigende Mauerwerksfeuchte sind praktisch nicht in Höhen wesentlich über 50 cm feststellbar. Seitwärts und nach unten kann das Wasser im Holz und in mineralischen Baustoffen aufgrund der Kapillarkräfte meterweise wandern.

Aufgrund dieses kapillarischen Wasseraufsaugvermögens besteht bei Holzbauteilen und bei mineralischen Baustoffen (v.a. Back- und Mauersteine) eine stetige Durchfeuchtungsgefahr.

Wieviel Wasser von einem Baustoff aufgenommen wird, hängt von der Menge und der Grösse der Kapillaren ab:

- Je grösser das Kapillarvolumen eines Baustoffes, desto grösser ist auch das Wasseraufnahmevermögen.
- Je kleiner die Poren, desto rascher wird das Wasser aufgenommen und desto tiefer dringt es ein.
- Das Wasserrückhaltevermögen (Wasserretention) hängt von der chemischen Zusammensetzung und vom strukturellen Aufbau des Baustoffes ab.

Wasser und Wasserdampf

Das Wasser spielt in der Anstrichtechnik eine äusserst wichtige Rolle. Als umweltfreundliches und völlig unbedenkliches Verdünnungsmittel wird es sehr geschätzt. Doch in seinen Erscheinungsformen in der Natur als Wasserdampf, Flüssigkeit und Eis gilt das "Wasser" als Verursacher Nr.1 von Anstrichschäden.

Das Wasser besitzt 3 Aggregatzustände:

fest (Eis) - flüssig (Wasser) - gasförmig (Wasserdampf)

Vom physikalischen und anstrichtechnischen Standpunkt sind vor allem die volumen- und energiemässigen Betrachtungen bei den Aggregatzustandsänderungen von grosser Bedeutung.

Verdampfung

Die Verdampfung von flüssigem Wasser ist mit einer enormen Volumenzunahme verbunden:

18 gr Wasser ergeben 22,4 Liter Wasserdampf
(1 Liter Wasser ergibt 1244 Liter Wasserdampf)

Gesetz von Avogadro:

Ein Mol einer beliebigen Flüssigkeit ergibt immer ein gleiches Volumen von 22,4 Liter.
(Mol = Molekulargewicht in gr)

Bedeutung in der Anstrichtechnik:

"Abplatzen" von dampfdichten Anstrichen (v.a. dunkle Anstriche auf Holz)

Die riesige Volumenzunahme bei der Verdampfung generiert einen enormen Wasserdampfdruck. In der Praxis ist dies ein häufiger Fall, denn bei dampfdichten, dunklen Anstrichen kann durch Sonneneinstrahlung ein hoher Wasserdampfdruck erzeugt werden, wenn an Kanten, Rissen, Gehrungen, Filmverletzungen etc. flüssiges Wasser eingedrungen ist. Dieser sehr häufige Schadensverlauf tritt bevorzugt auf, wenn das Holz nicht farblos imprägniert, sondern mit einer rel. mageren Aussen- oder Tauchgrundierung vorgestrichen wurde.

Blasenbildungen durch den Dampfdruck von Verdünnungsmitteln (Wasser oder Lösemittel)

Wenn bei der Applikation des Decklacks das Verdünnungsmittel in saugfähige, quellbare oder reversible Grundanstriche penetriert und bei hohen Temperaturen (Sonnenschein!) die Lackoberfläche schnell antrocknet resp. "zumacht", können diese Verdünnungsmittel nicht mehr entweichen. Im schlimmeren Fall können nach ein paar Stunden gut sichtbare Blasen auftreten, im "heimtückischen" Fall kann die Adhäsion des Decklacks mehr oder weniger stark beeinträchtigt sein, denn die ausdunstenden Verdünnungsmittel können wie eine Art "Mikrodampf-kissen" wirken und die Ausbildung einer guten Adhäsion (Haftung) beeinträchtigen!

Wichtig: Acryl-Vorlacke oder Acryl-Primer, welche am Nachmittag gestrichen werden und nachts über mit Tauwasser befallen sind, enthalten am nächsten Morgen noch rel. hohe Mengen an Wasser (Wasserquellbarkeit der Acrylbindemittel) und Restlösemittel. Ein frühes Ueberstreichen bei hohen Temperaturen kann die oben beschriebenen Schäden verursachen!!

Verdunstung

Der Uebergang vom flüssigen in den gasförmigen Zustand benötigt sehr viel Energie; bei der Verdunstung von Flüssigkeiten wird der Oberfläche Energie in Form von Wärme entzogen (Wind fördert die Verdunstung sehr stark, deshalb friert man beim Verlassen des Schwimmbassins).

Bedeutung in der Anstrichtechnik:

Verfilmungsschäden bei Dispersionsanstrichen

Bei kalten, windigen Wetterverhältnissen kann sich durch die Verdunstungskälte der nasse Dispersionfilm um 5-7 °C abkühlen, was zu Verfilmungsschäden wie Rissbildungen, verminderte Beständigkeiten etc.führen kann!!

Weissanlaufen bei Nitrolacken: Die starke Abkühlung des Lackfilms durch die Verdunstung der schnellflüchtigen Lösemittel kann zur Kondenswasserbildung führen (Unverträglichkeit des Wassers mit dem Nitrolackfilm).

Eisbildung

Die Eisbildung ist mit einer geringen Volumenzunahme (ca. 9%) verbunden, die aber dennoch zu den bekannten Frostabsprengungen führen kann.

Die Luftfeuchtigkeit und der Taupunkt

Die atmosphärische Luft enthält je nach Temperatur mehr oder weniger Wasser in Form von Wasserdampf.
Wieviel Wasserdampf von der Luft aufgenommen werden kann, ist stark von der Temperatur abhängig!

Als **Feuchtigkeit** bezeichnet man die in der Volumeneinheit enthaltene Wassermenge (mg / Liter oder gr / m³).

Die **Sättigungsmenge** gibt an, wieviel Wasserdampf bei einer bestimmten Temperatur maximal von der Luft aufgenommen werden kann (bei 20°C : 17,3 gr / m³ ; bei 0°C : nur noch 4,8 gr / m³).

Die **relative Luftfeuchtigkeit** gibt an, wie viel Prozent der Sättigungsmenge bei einer bestimmten Temperatur effektiv in der Luft vorhanden sind.

Der Taupunkt (Kondensationstemperatur)

Wenn Luft abgekühlt wird, vermag sie immer weniger Wasser aufzunehmen. Unterschreiten wir eine gewisse Temperatur (sog. Taupunkt), bei welcher die effektive Wasserdampfmenge grösser wird als die Sättigungsmenge, so beginnt sich der überschüssige Wasserdampf in Form von Kondenswasser (Nebel, Tau etc.) auszuscheiden. Tau- oder Kondenswasser auf Bauteilen (Wänden, Fensterscheiben) bildet sich also immer dann, wenn die Oberflächentemperatur unter der jeweiligen Taupunkttemperatur der Luft liegt oder wenn durch einen Anstieg der relativen Luftfeuchtigkeit die Sättigungsmenge überschritten wird.

Innere Wandflächentemperatur, unter welcher im Innenbereich Tauwasser anfällt												
(diese Taupunkttemperatur ist abhängig von der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit)												
Lufttemperatur	Taupunkttemperatur in °C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von											= Sättigungsfuchte = Wassermenge in g / m ³
	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%	
°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
+ 30°C	18,5	19,9	21,2	22,8	24,2	25,3	26,4	27,5	28,5	29,2	30,0	30,4
+ 26°C	14,9	16,2	17,6	18,9	19,8	21,1	22,3	23,5	24,2	25,2	26,0	24,4
+ 24°C	13,0	14,4	15,8	17,0	18,2	19,3	20,3	21,2	22,2	23,1	24,0	21,8
+ 22°C	11,1	12,5	13,9	15,2	16,3	17,4	18,4	19,4	20,3	21,2	22,0	19,4
+ 20°C	9,3	10,7	12,0	13,2	14,3	15,4	16,4	17,4	18,3	19,2	20,0	17,30
+ 18°C	7,4	8,8	10,1	11,3	12,4	13,5	14,5	15,4	16,3	17,2	18,0	15,36
+ 16°C	5,6	7,0	8,2	9,4	10,5	11,5	12,5	13,4	14,3	15,2	16,0	13,63
+ 14°C	3,8	5,1	6,4	7,5	8,6	9,6	10,6	11,5	12,4	13,2	14,0	12,05
+ 12°C	1,9	3,2	4,3	5,5	6,6	7,6	8,5	9,5	10,3	11,2	12,0	10,66
+ 10°C	0,1	1,4	2,6	3,7	4,8	5,8	6,7	7,6	8,4	9,2	10,0	9,40
+ 8°C	-1,6	-0,4	0,7	1,8	2,9	3,9	4,8	5,6	6,4	7,2	8,0	8,27
+ 6°C	-3,2	-2,1	-1,0	-0,1	0,9	1,9	2,8	3,6	4,4	5,2	6,0	7,26
+ 4°C	-4,8	-3,7	-2,7	-1,8	-0,9	0,1	0,8	1,6	2,4	3,2	4,0	6,36
+ 2°C	-6,5	-5,3	-4,3	-3,4	-2,5	-1,6	-0,8	0,1	0,6	1,3	2,0	5,56
+ 0°C	-8,1	-6,6	-5,6	-4,7	-3,8	-3,1	-2,3	-1,6	-0,9	-0,3	0	4,80

Beispiel: Wenn Raumluft mit 20°C und 65% rel. Luftfeuchtigkeit auf Oberflächen mit + 13,2 und kühler trifft, fällt Kondenswasser aus !!

Aus dieser sehr nützlichen Tabelle lassen sich viele wichtige Daten ablesen (1 m³ = 1000 Liter) :

In der Kolonne rechts sind die **Sättigungsmengen** (100% rel. LF) bei der jeweiligen Temperatur (Kolonne links) aufgeführt: **30°C** : 30,4 gr/m³ **20°C** : 17,3 gr/m³ **10°C** : 9,4 gr/m³ **0°C** : 4,8 gr/m³

Interessant für den Maler sind nun die Taupunkttemperaturen bei einer bestimmten Temperatur und bei einer bestimmten rel. Luftfeuchtigkeit (beide Parameter sind messbar). Im Kapitel über die Wärmeleitfähigkeit sind die kritischen Stellen und Flächen im Innenbereich erörtert worden (Wärmebrücken, Aussenecken, Aussenwände, Bilder oder Möbel an Aussenwänden), welche aufgrund der höheren Wärmeableitung (kältere Wandflächentemperatur) zu **Kondenswasserbildung** Anlass geben können. Eine ungedämmte Aussenwand eines älteren Gebäudes bildet z.B. bei einer Raumtemperatur von 22°C und einer rel. LF von 60% unterhalb einer Temperatur von 13,9°C Kondenswasser (erhöhte Verschmutzungsanfälligkeit, Schimmelpilzbildung etc.).

Der Taupunkttsabstand

Die wichtige Tabelle zur Ermittlung des Taupunktes (Magazin 2/01) kann auch benützt werden, wenn bei Anstricharbeiten im Aussenbereich der sog. Taupunkttsabstand eingehalten werden muss.

In den technischen Merkblättern finden wir unter "Verarbeitungshinweise" oft den folgenden Vermerk:

Verarbeitungsbedingungen Nicht unter 10°C; auf **genügenden Taupunkttsabstand** achten !!

Was bedeutet nun "genügender Taupunkttsabstand" ?

Wenn im Aussenbereich Metallflächen grundiert werden sollen oder grundierte Bauteile mit einem 2K-PUR-Decklack fertiggespritzt werden müssen, dürfen diese Untergründe kein Kondenswasser aufweisen (verminderter Korrosionsschutz, Unterrostungsgefahr, Haftungs- und Aushärtungsprobleme etc.). Diese äusserst dünnen Kondenswasserschichten sind meist nicht sichtbar und auch nicht erfühlbar, denn Tauwasser ist nicht nur in Form von dicken Wassertropfen auf dem Gras und an beschlagenen Fensterscheiben existent.

Aus der Tabelle kann nun abgelesen werden, unterhalb welcher Oberflächentemperatur Tauwasser anfällt !

Oberflächentemperatur, unterhalb welcher Tauwasser anfällt (bei einer bestimmten Lufttemperatur und relativen Luftfeuchtigkeit)												
Lufttemperatur	Taupunkttemperatur in °C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von											= Sättigungsfeuchte = Wassermenge in g / m ³
	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%	
°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
+ 30°C	18,5	19,9	21,2	22,8	24,2	25,3	26,4	27,5	28,5	29,2	30,0	30,4
+ 26°C	14,9	16,2	17,6	18,9	19,8	21,1	22,3	23,5	24,2	25,2	26,0	24,4
+ 24°C	13,0	14,4	15,8	17,0	18,2	19,3	20,3	21,2	22,2	23,1	24,0	21,8
+ 22°C	11,1	12,5	13,9	15,2	16,3	17,4	18,4	19,4	20,3	21,2	22,0	19,4
+ 20°C	9,3	10,7	12,0	13,2	14,3	15,4	16,4	17,4	18,3	19,2	20,0	17,30
+ 18°C	7,4	8,8	10,1	11,3	12,4	13,5	14,5	15,4	16,3	17,2	18,0	15,36
+ 16°C	5,6	7,0	8,2	9,4	10,5	11,5	12,5	13,4	14,3	15,2	16,0	13,63
+ 14°C	3,8	5,1	6,4	7,5	8,6	9,6	10,6	11,5	12,4	13,2	14,0	12,05
+ 12°C	1,9	3,2	4,3	5,5	6,6	7,6	8,5	9,5	10,3	11,2	12,0	10,66
+ 10°C	0,1	1,4	2,6	3,7	4,8	5,8	6,7	7,6	8,4	9,2	10,0	9,40
+ 8°C	-1,6	-0,4	0,7	1,8	2,9	3,9	4,8	5,6	6,4	7,2	8,0	8,27
+ 6°C	-3,2	-2,1	-1,0	-0,1	0,9	1,9	2,8	3,6	4,4	5,2	6,0	7,26
+ 4°C	-4,8	-3,7	-2,7	-1,8	-0,9	0,1	0,8	1,6	2,4	3,2	4,0	6,36
+ 2°C	-6,5	-5,3	-4,3	-3,4	-2,5	-1,6	-0,8	0,1	0,6	1,3	2,0	5,56
+ 0°C	-8,1	-6,6	-5,6	-4,7	-3,8	-3,1	-2,3	-1,6	-0,9	-0,3	0	4,80

Beispiel: Wenn Raumluft mit 20°C und 65% rel. Luftfeuchtigkeit auf Oberflächen mit + 13,2 und Kühler trifft, fällt Kondenswasser aus !!

Beispiel einer industriellen Korrosionsschutzlackierung:

Für die Beschichtung einer Metallkonstruktion mit einer 2K-Epoxy-Grundierung im Aussenbereich wird ein Taupunkttsabstand von 6°C vorgeschrieben.

Dies bedeutet, dass die Oberflächentemperatur der Metallkonstruktion mindestens 6°C über der Taupunkttemperatur (abhängig von der gemessenen Lufttemperatur und rel. Luftfeuchtigkeit) liegen muss.

Wichtig sind solche Messungen v.a. in der kälteren Jahreszeit, wenn sich Anstrichuntergründe aus Metall in der Nacht stark abgekühlt haben und sich am Morgen aufgrund der grossen Wärmeträgheit nur langsam erwärmen.

Frage: Nach dem Znüni soll die Metallkonstruktion gestrichen werden; die Lufttemperatur beträgt 18°C, die rel. Luftfeuchtigkeit 60% (wird mit dem Hygrometer ermittelt).
 Bei welcher Oberflächentemperatur darf die Metallkonstruktion gestrichen werden?

Lösung: Aus der Tabelle entnehmen wird, dass bei einer Lufttemperatur von 18°C und einer rel. LF von 60% Kondenswasser unterhalb von **10,1°C** auszufallen beginnt! Um die Sicherheitsmarge (d.h. einen Taupunkttsabstand von 6°C) einzuhalten, darf also erst bei einer gemessenen Oberflächentemperatur von **16,1°C** und darüber gestrichen werden!!

Wichtige Anstricharbeiten in der kritischen Jahreszeit: Protokollierung der Daten ist Vorschrift !!

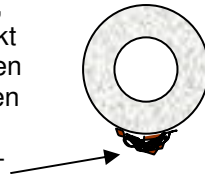
Mängel und Schäden an Dispersionsanstrichen durch frühe Tauwasser- oder Regenbelastung

Bei ungünstigen Trocknungsverhältnissen im Herbst (niedrige Temperatur und hohe Luftfeuchtigkeit) kann sich ein Dispersionsanstrich noch sehr lange "nass" anfühlen; vor allem bei intensiveren Bunttönen, die grössere Mengen von glycolhaltigen Mischfarben und Pigmentpräparationen enthalten.

Solche Anstriche sind noch nicht vollständig verfilmt resp. richtig getrocknet und gelten daher als sehr **wasserempfindlich!** Bei einer frühen Belastung mit Tauwasser oder Regen können wasserlösliche Additive, Cellulose, Netzmittel, Dispergiermittel, Verdicker usw. aus dem Anstrich "extrahiert" werden. Nach dem Auftrocknen können Ablaufspuren, Glanzstellen, Streifen-, Wolken- und Fleckenbildungen, weissliche Ablagerungen sichtbar werden.

Diverse Additive sind **weisse Salze oder Pulver**; diese erscheinen an der Oberfläche dann wie weissliche Ausblühungen, welche auf dunklen Dispersionsanstrichen besonders gut sichtbar sind!

Andere Additive weisen gelblich-bräunlichen, **öligem Charakter** auf (z.B. Entschäumer). Wenn Objekte wie Rohre und Dachrinnen bei den oben erwähnten, ungünstigen Bedingungen mit Acryllacken gestrichen werden, kann sich das nämlich gebildete Tauwasser am tiefsten Punkt tropfenförmig sammeln. Diese wasserlöslichen Additive können sich in diesen Tropfen aufkonzentrieren. Nach dem Abtrocknen des Wassers bleiben diese Substanzen dann als ölige, bräunliche Tröpfchen auf dem Anstrich zurück (besonders gut sichtbar bei weissen oder hellen Anstrichen).



Bei gravierenden Fällen kann durch das Tauwasser aber sogar eine Bindemittelanreicherung an der Oberfläche erfolgen; derart entstandene Glanzeffekte sind leider auch mit Heisswasser nicht zu entfernen.

Oft werden diese wasserlöslichen Additive bei intensiver Bewitterung langsam wieder abgewaschen, manchmal ist aber auch eine Reinigung mit warmem Wasser unumgänglich.



Streifenbildungen auf einem blauen Dispersionsanstrich infolge von Tauwasser-Ablaufspuren!

Wichtig: *Die Qualität der Anstriche wird durch solche Erscheinungen in der Regel nicht beeinträchtigt, da diese wasserlöslichen Additive im getrockneten Anstrich gar nicht mehr nötig oder oft sogar nicht mehr erwünscht sind (zum Beispiel vermindern die Netz- und Dispergiermittel die Wasserfestigkeit des Anstrichfilms).*

Erfahrungen aus der Praxis zum Thema Verfilmung / Tauwasser

Bei ungünstigen Begleitumständen (**Wind, stark saugender Untergrund, schnelles Absinken der Temperatur nach der Applikation**) kann es schon bei Temperaturen knapp um 10°C zu Verfilmungsschäden kommen. Es müssen also immer mehrere Umstände berücksichtigt werden!

Immer in der **kritischen Jahreszeit** häufen sich die Anfragen von Verarbeitern (und Architekten), ob ein Dispersionsanstrich noch möglich sei oder nicht. Eine verbindliche Antwort kann ohne genaue Kenntnis der äusseren Bedingungen und Begleitumstände nicht gegeben werden. Zudem gibt es ja nicht nur eine gute und eine schlechte Verfilmung; der Uebergang ist auch hier fließend!

Bunte Fassadenanstriche mit Dispersionen, wo eine gute Verfilmung hinsichtlich einer langen Haltbarkeit (Ausbleichen, Farbtonhaltung, Kreidung etc.) besonders wichtig ist, sollten nur bei genügend hohen Verarbeitungstemperaturen ausgeführt werden!

Wichtig: *Schon ab September muss mit Tauwasserpotential gerechnet werden (auch bei nächtlichen Temperaturen um 10°C); speziell bei der Applikation von Dispersionslacken in intensiven Bunttönen möglichst nicht mehr am späten Nachmittag streichen (Gefahr von Ablaufspuren!).*

In echten Notfällen kann ein erhöhter Zusatz von Filmbildungsmittel die Sicherheit erhöhen!!

Wenn bei sehr ungünstigen Temperaturverhältnissen unbedingt mit Dispersion fertig gestrichen werden muss, kann der Hersteller (unter Einbezug der genauen Umstände) durch den Zusatz speziell ausgewählter Filmbildungsmittel (1-2%) sogar eine genügende Verfilmung bei Temperaturen um 0°C ermöglichen!

Achtung: Solche "Tricks" sollten nur in echten Notfällen angewendet werden, denn wie oben erwähnt, können solche Zusätze die Trocknung und das Erreichen der Wasser- und Regenfestigkeit verzögern (nicht bei drohendem Regen oder sehr feuchter Witterung verarbeiten!)

Allgemeine Anstrichschäden durch frühe Belastung mit Tauwasser

KH-Glanzlacke: Blind- oder Milchig werden / Glanzschleier

Bei frischen, lösemittelhaltigen Anstrichfilmen führt ein Kondenswasserfilm zu einer Unverträglichkeit mit dem Bindemittelsystem (Wasser ist ja kein Löser!), was sich in Form von "**Blindwerden**", "**Weissanlaufen**" oder eines "**Glanzschleiers**" äussern kann. Je nach Trocknungsgeschwindigkeit resp. Lacksystem kann die Zeit zur Erreichung dieser "Tauwasserresistenz" sehr unterschiedlich sein.

Anstrichstoffe, welche mit netz- und glycolhaltigen, pintasolähnlichen Mischfarben abgetönt worden sind, zeigen erfahrungsgemäss eine mehr oder weniger verlängerte Zeitspanne zur Erreichung dieser Feuchtigkeitsresistenz. So neigen KH-Glanzlacke, welche mit Universalmischsystemen abgemischt werden, bevorzugt zu solchen Schleierbildungen, wenn in der kritischen Jahreszeit am späteren Nachmittag Aussenanstriche appliziert werden. KH-Volltonlacke (oder mit RUCOTINT gemischt) sind viel weniger empfindlich auf solche Schleierbildungen!!

Das "Weissanlaufen" von Nitrolacken

Das typische "Weissanlaufen" der Nitrolacke wird durch die Verdunstungskälte der schnellflüchtigen Lösemittel verursacht, welche den nassen Anstrichfilm stark abkühlen (7 - 12°C), was in ungünstigen Fällen zur Taupunktunterschreitung resp. Tauwasserbildung führen kann. Die Unverträglichkeit der Nitrocellulose mit dem Wasser führt zu dieser weisslichen Schleierbildung.

Durch die Zugabe von Alkohol kann dieses Weissanlaufen weitgehend verhindert werden. Alkohol bildet mit Wasser ein sog. azeotropes Gemisch, welches schon bei 85°C siedet. Dadurch wird die Verdunstung der auf der Lackoberfläche kondensierten Wassermoleküle sehr stark gefördert, d.h. die verdunstenden Alkoholmoleküle "reissen" die kondensierten Wassermoleküle quasi sofort wieder mit, sodass sich gar kein kompakter Tauwasserfilm auf der frischen Oberfläche des Nitrolacks bilden kann!!

Störung der Trocknung und chemischen Aushärtung

Kondenswasserschichten können bei oxydativ und chemisch trocknenden Lacken zu Trocknungsverzögerungen und Störungen der oberflächlichen Aushärtung führen. Das Kondenswasser kann je nach Bindemitteltyp und Vernetzungsgrad zu einer mehr oder weniger starken Bindemittelquellung führen, wodurch chemische und mechanische Beständigkeiten, Kreidungsresistenz, Farbtonhaltung etc. Einbussen erleiden.

Oberflächenmängel: Kreidungseffekte / Glanzabfall / Ausbleichungen

In schwereren Fällen verursacht diese Störung der Aushärtung infolge der Wasserquellung eine Beeinträchtigung der Bindemittelfunktion hinsichtlich dem oberflächlichen Abbinden von Pigmenten und Füllstoffen.

Bei langsam trocknenden KH- und 2K-PUR-Lacken können solche "versteckten Mängel" oft erst nach längerer Zeit in Form von verfrühten Kreidungseffekten und Farbtonausbleichungen auftreten.

Aus den gleichen Gründen zeigen auch die mit Universalmischfarben abgetönten KH-Lacke am Wetter oft verminderte Beständigkeiten. Das verzögerte Erreichen der "Wasserfestigkeit" durch die wasserfreundlichen Glycole und Netzmittel kann bei allfälligem Tauwasserbefall die Qualität solcher Anstriche erheblich vermindern.

Wichtig: Intakt aussehende Anstriche auf KH- oder 2K-PUR-Basis können bei frühem Tauwasserbefall Mängel in Form von verfrühter Kreidung, Glanzabfall oder Ausbleichungen aufweisen.

Ablaufspuren, "Ausblühungen" etc. bei Dispersionsanstrichen

Noch nicht vollständig verfilmte resp. richtig getrocknete Dispersionsanstriche gelten als sehr **wasserempfindlich!**

Bei einer frühen Belastung mit Tauwasser oder Regen können wasserlösliche Additive, Cellulose, Netzmittel, Dispergiermittel, Verdicker usw. aus dem Anstrich "extrahiert" werden. Nach dem Auftrocknen können Ablaufspuren, Glanzstellen, Streifen-, Wolken- und Fleckenbildungen, weissliche Ablagerungen sichtbar werden (siehe oben).

In vielen Fällen von Ausbleichungen, Farbtonveränderungen etc. liegt die Ursache nicht bei mangelnder Licht- oder Wetterechtheit sondern in der Störung des Pigmentbindevermögens infolge einer gestörten Verfilmung!!

Die Luftfeuchtigkeit in Wohnräumen

Woher kommt die Feuchtigkeit in Wohnräumen?

In einem Haushalt von 4 - 5 Personen können täglich 6 - 10 Liter Wasser in Form von Wasserdampf anfallen; allein eine schlafende Person gibt pro Stunde ca. 30 - 40 gr Wasser ab!

- d.h. - 1 bis 1,5 Liter pro Person durch Atemluft
- 2 bis 4 Liter durch Kochen, Baden, Duschen, Waschen, Badetücher etc.

Die Luft kann nur einen Bruchteil der entstehenden Feuchtigkeit aufnehmen; als Feuchtigkeitsspeicher und -regulatoren dienen Tapeten, Vorhänge, Putz und Anstrichschichten (v.a. Blancfix), Betten, Textilien, Möbel etc.

Wohin entweicht die Feuchtigkeit?

Der Grossteil der täglich anfallenden Feuchtigkeit entweicht in den modernen Bauten durch die Ventilation in Küche und Bad. Im Winter, wo man praktisch immer ein Feuchtigkeitsgefälle von innen nach aussen besteht, geschieht dies durch Fenster und Türen!

Wichtig: Die Feuchtigkeitsmenge, welche durch "dichte" Aussenwände wie Beton, KS etc. diffundiert, ist sehr gering; bei altem, diffusionsfähigem Mauerwerk besteht eine latente Durchfeuchtungsgefahr (Taupunktunterschreitung in der "kalten" Aussenwand !! / s. Mal.Mag. 2/01)

Richtiges Lüften im Winter / Entfeuchten von Räumen

Diese Tabelle verrät uns auch das Feuchtigkeitsaufnahmevermögen der Luft bei verschiedenen Temperaturen:

- **warme Luft kann mehr Feuchtigkeit aufnehmen als kalte ; kalte Luft ist trockener als warme**
- **beim Abkühlen der Luft steigt die relative Luftfeuchtigkeit ; beim Aufheizen sinkt die rel. LF**

Die **Sättigungsmenge** (Kolonne ganz rechts) gibt an, wieviel Wasserdampf bei einer bestimmten Temperatur (Kolonne links) maximal von der Luft aufgenommen werden kann:

30°C : 30,4 gr/m³ 20°C : 17,3 gr/m³ 10°C : 9,4 gr/m³ 0°C : 4,8 gr/m³

Die **relative Luftfeuchtigkeit** gibt an, wie viel Prozent der Sättigungsmenge bei einer bestimmten Temperatur effektiv in der Luft vorhanden sind.

Wenn wir also im Winter lüften, ersetzen wir die warme, feuchtigkeitsreiche Luft durch kalte, "trockene" mit sehr wenig Feuchtigkeit. Anhand der Tabelle können wir sehr leicht errechnen, wie viel gr Wasser (in Form von Luftfeuchtigkeit) entweicht, wenn wir z.B. beim Lüften 1 m³ warme Luft (20°C / 60% rel. LF) durch 1 m³ kalte Aussenluft (0°C / 50% rel. LF) ersetzen!

Lösung: Innenluft 20°C : Sättigungsmenge = 100% rel. LF : 17,3 gr / m³
50% rel. LF : 0,5 x 17,3 gr/m³ = 10,4 gr/m³

d.h. 1 m³ Luft von 20°C / 60% rel. LF enthält 10,4 gr Wasser !

Aussenluft 4°C : Sättigungsmenge = 100% rel. LF : 4,8 gr / m³
50% rel. LF : 0,5 x 4,8 gr/m³ = 2,4 gr/m³

d.h. 1 m³ Luft von 0°C / 50% rel. LF enthält 2,4 gr Wasser !

Pro m³ Luft werden 8 gr Wasser nach aussen transportiert !

Unter der Annahme der vollständigen Luftumwälzung werden also pro m³ Luft 8 gr Wasser (in Form von Wasserdampf) nach aussen transportiert; d.h. 1 m³ Innenluft mit 10,4 gr Wasser wird durch 1 m³ "trockene" und kalte Aussenluft mit 2,4 gr Wasser ersetzt.

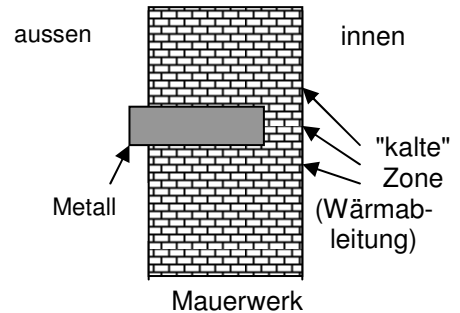
Richtiges Lüften ("Stoss-Lüften") / Entfeuchten : mehrmals täglich kurz lüften (3 - 5 min.) !!

Schräggestellte Fensterflügel kühlen die Innenwand oberhalb des Fensters durch die einströmende kalte Luft stark ab, was zu Taupunktunterschreitung, Verschmutzung und Schimmelpilzbildung führen kann !!

Wärme- oder Kältebrücken

Wärmebrücken sind örtlich begrenzte Stellen in Wand- oder Deckenflächen, die eine höhere Wärmeableitung (Wärmeleitfähigkeit) als die Materialien der übrigen Flächen besitzen:

- Pfeiler, Verstärkungen, Stützen, Verankerungen etc. aus Metall oder Beton in Wänden oder Decken
- Fensterstürze aus Beton; Betondecken zu Balkonen etc.
- Rolladenkästen (ungedämmt), Rohre, Lüftungen, Einbauteile aus Metall
- **Durchfeuchtungen** an Rissen, Fugen, Schadstellen etc.



Vor allem metallische Gegenstände (Rohre, Wasserhähne, Halterungen etc.) in Aussenwänden leiten z.B. im Winter die Wärme sehr viel schneller ab, sodass es im Innenbereich in der Zone der Wärmebrücke zu beträchtlich **tieferen inneren Wandtemperaturen** kommt.

Durchfeuchtete Stellen in Aussenmauerwerken (Risse, Fugen, Anstrich- oder Putzschäden) sind örtlich begrenzte Zonen mit einer höheren Wärmeableitung und können deshalb zu unerwünschten **Wärmebrücken** führen. Im Innenbereich kommt es im Bereich der Wärmebrücken zu einer mehr oder weniger starken Abkühlung der Wandtemperatur. Kondenswasserbildung, Verschmutzung und Schimmelpilzbefall gehören zu den unliebsamen, negativen Folgeerscheinungen, welche schlussendlich sogar die Wohnqualität beeinflussen können!

Folgen: Abkühlung - Taupunktunterschreitung - Kondenswasserbildung -
 → **Verschmutzung und Schimmelpilzbildung**

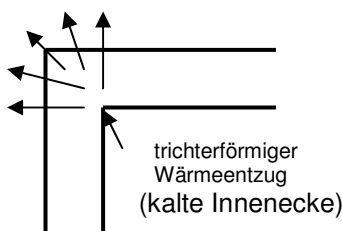
Kondenswasser kennen wir vor allem an den "beschlagenen" Fensterscheiben, wo auch wir als Kinder unsere Schreib- und Zeichnungskünste dokumentiert haben. Die äusserst dünnen Kondenswasserschichten an kalten Stellen der Innenwand sind praktisch unsichtbar und auch kaum zu erfühlen. Bei welchen Temperaturen an Innenwänden Tauwasser anfällt, kann aus der Tabelle auf der nächsten Seite abgelesen werden. An solchen "unsichtbar feuchten" Stellen bleiben feine Staub- und Schmutzpartikel, Pilzsporen, Nikotin, Russ etc. bevorzugt kleben. Im Laufe der Zeit bilden sich sichtbare Verschmutzungen.

Schimmelpilz gedeiht nur auf einem feuchten, verschmutzten Untergrund resp. Nährboden. Ein "trockener" Schimmelpilz wächst bekanntlich nicht; er bildet aber extrem feine, staubförmige Sporen, die praktisch überall in der Luft herumwirbeln. Auch in den saubersten Wohnungen sind Pilzsporen zu finden. Durch Kleider, Schuhe, Werkzeuge, Kellergegenstände (Weinflaschen etc.) oder auch nur durch Lüften werden diese Sporen praktisch in den gesamten Wohnbereich verschleppt. Aber erst beim Kontakt mit einem feuchten Nährboden beginnen sie wieder zu wachsen!

Gebäude-Aussenecke / Bilder und Möbel an Aussenwänden

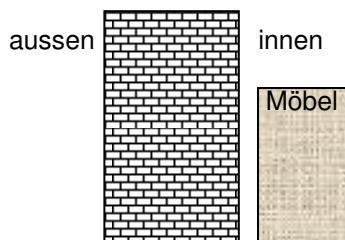
Weitere kondenswasseranfällige Stellen im Wohnbereich sind Aussenecken (v.a. bei Flachdächern), wo die Wärme "trichterförmig" nach aussen entzogen wird, sodass die Innenecke sehr stark auskühlt. Möbel an Aussenwänden wirken wie eine Innenisolation auf der Aussenmauer; diese bleibt kalt, da die Zirkulation der Warmluft hinter dem Möbel stark beeinträchtigt ist. Das gleiche gilt für Bilder an Aussenwänden; durch Unterlegen von Abstandhalter (z.B. 5-10 mm dicke Scheiben von Korkzapfen) kann ein Minimum an Luftzirkulation erreicht werden.

Raumecken mit Aussenwänden



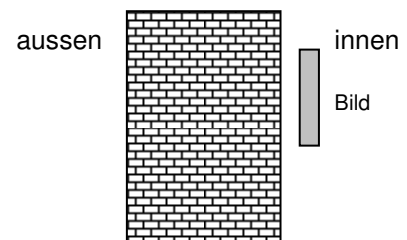
In einem kleinen Wärmeaufnahmebereich in der Ecke steht aussen ein viel grösserer Wärmeabgabebereich gegenüber (trichterförmiger Wärmeentzug). In der Ecke ist die wärmetransportierende Luftzirkulation behindert (Abkühlung und Tauwasserbildung).

Möbel an Aussenwänden



Dicht an Aussenwänden stehende Möbel (praktisch keine Luftzirkulation) wirken wie eine Innenisolation, was zu einer starken Abkühlung der Wandtemperatur führt (Tauwasserbildung!). Möbel 3 cm von der Wand entfernen!

Bilder an Aussenwänden



Auch bei Bildern an Aussenwänden sollte durch Abstandhalter eine wärmetransportierende Luftzirkulation erreicht werden !!

Innenanstriche von nicht isolierten, gut dampfdurchlässigen Aussenwänden (meist rel. dünne Mauern von älteren Gebäuden)

Bei der Renovation von ungedämmten Aussenwänden resp. Fassaden muss der Maler also anstrichtechnisch mit allen Mitteln versuchen, das Mauerwerk auf die Dauer so trocken wie möglich zu halten, um einen bestmöglichen Wärmedämmwert zu erhalten (wenn keine Innen- oder Aussenisolation in Frage kommt).

Folgende bauphysikalische Fakten sollten vom Maler beachtet werden:

- In der kritischen Winterphase besteht ein Wasserdampfgefälle von innen nach aussen !
- Wasserdampf kondensiert bei Unterschreitung einer bestimmten Temperatur (Taupunktstemperatur).
- Bei kontinuierlicher Taupunktunterschreitung muss mit erhöhter Mauerwerksfeuchte gerechnet werden!
- Gut dampfdurchlässige Mauerwerke (Mauerziegel, Backstein, Gasbeton etc.) bei älteren Gebäuden können richtiggehend durchfeuchtet werden, da längst nicht alles gebildete Kondenswasser in trockenen und wärmeren Wetterphasen wieder ausdunsten kann !!
- Feuchte Baustoffe weisen eine stark erhöhte Wärmeleitfähigkeit auf,
d.h. bei einer Feuchtigkeitszunahme von 1% nimmt der Wärmedämmwert um ca. 10% ab !!

Fazit: Die beste anstrichtechnische Medizin gegen Mauerwerksdurchfeuchtung, Wärmedämmverlust (höhere Heizkosten), kalte Innenwände, Feuchteschäden, Schimmelbildung etc. ist ein möglichst trockenes, gut isolierendes Mauerwerk !!

Ohne ein echtes Wärmedämmsystem kann der Maler natürlich keine Wunder vollbringen, aber er sollte wenigstens die anstrichtechnisch beste Variante wählen, indem er ungedämmte Aussenwände innen mit einem möglichst dampfdichten Anstrich versieht.

Leider sind etliche Maler und Architekten immer noch der Meinung, dass eine Aussenwand innen möglichst mit einem hoch diffusionsfähigen, atmungsaktiven Anstrich versehen werden muss, damit das Mauerwerk gut "schnüfeln" resp. atmen kann !!

Für **den Innenanstrich von ungedämmten Mauerwerken** sollten Anstrichstoffe mit einer Diffusionswiderstandszahl von über 2000 verwendet werden. Aussendispersionen mit einer DWZ von 1000 - 1500 sind für diesen Zweck zu gut dampfdurchlässig. Als "dampfdicht" (mit einer DWZ von über 5000) gelten Anstriche mit Betonschutzfarben, Seidenglanz- oder Glanzdispersionen, Bodenfarben, KH- oder 2K-Lacken. Wichtig für einen hohen Dampfwiderstand ist auch eine möglichst hohe Schichtdicke.

Innen: möglichst dampfdichter Anstrich, damit der im Winter von innen nach aussen diffundierende Wasserdampf nicht im kalten Mauerwerk kondensieren kann !

Empfehlung: **Grund- und Abdichtungsanstrich mit**

- Seidenglanz-Dispersion, Glanzdispersion etc.
- RUCOSOL 1K-Bodenfarbe wv, RUCOPREN PVC-Kautschukfarbe etc.
- auch Sempatap, Depron-Dämmtapeten (mit dichten Folien)

Deckanstrich (wenn bestimmte Glanzgrade, Effekte erforderlich sind)

- Innen- oder Aussendispersionen (ev. schimmelfest oder mit Antischimmelzusatz)
- KALKMATT mineralische Kalkfarbe (fungizide Wirkung)

Für den **Aussenanstrich von ungedämmten Mauerwerken** sind hingegen gut dampfdurchlässige, hoch schlagregendichte Anstriche erforderlich, damit das Kondensat oder an Fehlstellen (Rissen, Löcher etc.) eingedrungene Feuchtigkeit möglichst ungehindert wieder entweichen kann.

Aussen: hoch schlagregendicht, gut dampfdurchlässig (ermöglicht das ungehinderte Entweichen von Kondensat oder eingedrungener, überschüssiger Feuchtigkeit)

Empfehlung: **RUCOSIL Silikonmattfarbe acrylmodifiziert**

Oft trifft man in der Praxis auch Anbauten (z.B. Garagen) aus Gasbeton, in welchen oft hohe Feuchtigkeiten herrschen (z.B. von nassen Autos). Wenn die Wände innen mit Innendispersion und aussen mit Aussendispersion gestrichen werden, tritt auch hier der Modellfall einer Mauerwerksdurchfeuchtung infolge Kondensation der ins Mauerwerk diffundierenden Feuchtigkeit auf !!

Algen- und Schimmelbefall auf wärmegeämmten Fassaden

Auf Aussenisolationen (meist Styroporplatten mit einem mineralischen Putz oder Kunststoffputz) kann häufig ein hässlicher Grünbewuchs von Algen, Schimmel oder Moosen festgestellt werden. Oft zeigen ungedämmte Fassaden oder Flächen am praktisch gleichen Ort fast oder viel geringeren Grünbewuchs!

Der Maler sollte natürlich die bauphysikalischen Zusammenhänge verstehen, um auch den optimalen Sanierungsvorschlag unterbreiten zu können.

Warum sind Aussenisolationen anfälliger auf Grünbewuchs?

Genau wie im Innenbereich ist auch im Aussenbereich und an Fassaden die Anfälligkeit für Verschmutzung, Schimmel- und Algenbewuchs an **feuchten** Stellen am grössten. Exakt ausgedrückt sind dies Flächen, auf welchen häufiger und über längere Zeiten Taupunktunterschreitungen resp. Kondenswasserbildungen auftreten.

Auf den feuchten Untergründen bleiben Schmutzpartikel, sowie Sporen von Algen, Schimmel, Pilzen und Flechten eher "kleben" als auf trockenen Untergründen.

Im Frühling bis Herbst, in der kritischen Jahreszeit, wenn es zum Grünbewuchs kommen kann, müssen die Temperaturverläufe auf den Fassadenoberflächen betrachtet werden. Eine ungedämmte Fassade wärmt sich im Verlauf des Tages auf und speichert die Wärme bis in die Abend- und Nachtstunden. Beim abendlichen Temperaturabfall kommt es bevorzugt im Frühling und Herbst zu Tauwasserbildung. Auf den tagsüber erwärmten Mauerwerken mit grossem Wärmespeichervermögen bleibt die Oberfläche viel häufiger und länger trocken, da die Taupunkttemperatur nicht unterschritten wird. Auf den isolierten Fassaden mit den "dünnen" Putzschichten kühlt sich die Oberfläche am Abend sehr viel schneller ab, da das warme Mauerwerk nach aussen ja isoliert ist.

Auf wärmegeämmten Fassaden, deren Oberflächen am Abend viel schneller abkühlen, ist viel häufiger und länger mit Tauwasserbefall zu rechnen, als auf ungedämmten Mauerwerken mit mehr oder weniger Wärmespeicherpotenzial !!

Bei der Sanierung von gedämmten Fassaden mit Grünbewuchs muss der Maler den optimalen Anstrichstoff mit einer möglichst guten und dauerhaften Resistenz gegen Verschmutzung auswählen.

Anforderungsprofil an einen Sanierungsanstrich:

- sehr gute Wasserdampfdurchlässigkeit (z.B. soll auf relativ dichten Kunststoffputzen der Dampf Widerstand nicht zusätzlich durch einen rel. dichten Dispersionsanstrich erhöht werden)
- hoch schlagregendicht
- möglichst geringe Wasserquellbarkeit des Bindemittels (erhöht die Verschmutzungsanfälligkeit)
- nicht zu poröse Oberfläche (auf "porösen" Anstrichen wie Organo-Silikatfarben bleibt Feuchtigkeit länger gespeichert; Schmutz und Pilzsporen bleiben eher haften)
- pilz- und algenwidrige Ausrüstung des Anstrichfilms

Sehr schnell wird klar, dass nur ein Anstrichstoff diese Anforderungen optimal erfüllt:

Silikonmattfarben acrylmodifiziert

Aussendispersionen sind zu dampfdicht und rel. hoch wasserquellbar (ein Dispersionfilm nimmt nach 24 Stunden Wasserlagerung 15-20% Wasser auf; ein Silikonanstrich weniger als 1%), was die Verschmutzung und den Grünbewuchs fördert.

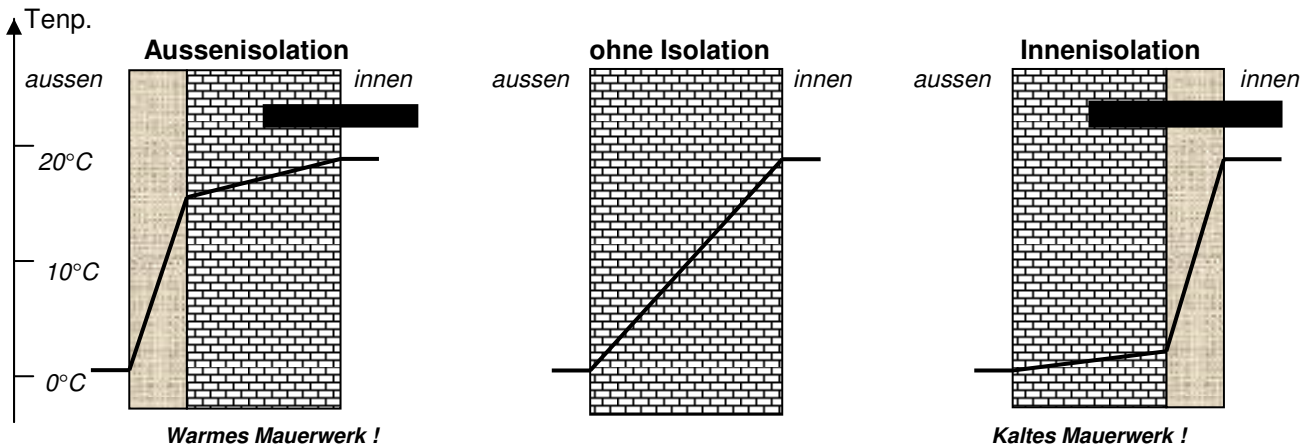
Pliolite Fassadenfarben sind wohl etwas dampfdurchlässiger als Dispersionen und auch weniger wasserquellbar, doch auf Styroporplatten besteht die Gefahr des Lösemittelangriffs.

Organo-Silikatfarben sind sehr gut dampfdurchlässig, aber nicht in jedem Falle gut schlagregendicht. Der mikroporöse Filmaufbau hält Kondenswasser und Feuchtigkeit eher länger zurück, zudem bleiben Schmutzpartikel, Pilzsporen, Algen etc. bevorzugt in den feinen Poren hängen.

Wärmedämmung: Innen- und Aussenisolation

Das Temperaturprofil von Mauerwerken

Wichtig für das Verständnis der Isolationen und der bauphysikalischen Zusammenhänge im Hinblick auf optimale Anstriche von Wänden und Fassaden sind die Temperaturprofile von Mauerwerken. Ob sich im Mauerwerk Kondenswasser bilden kann (Taupunktunterschreitung) oder das Auftreten einer Wärmebrücke überhaupt möglich ist, hängt vom Temperaturverlauf durch den Querschnitt des Mauerwerks ab.



Ein **ungedämmtes Mauerwerk** (Bild in der Mitte) zeigt praktisch einen linearen Temperaturverlauf quer durch das Mauerwerk. Wenn aussen eine Temperatur von 0°C und innen eine Temperatur von 20°C herrscht, misst man in der Mitte des Mauerwerks also eine Temperatur von rund 10°C.

Wenn wir nun eine Polystyrol-Isolationsplatte (Wärmeleitzahl ca. 0,05) auf eine Betonmauer (Wärmeleitzahl ca. 1,5) kleben, so liegen gut 90% des Temperaturunterschiedes (aussen - innen) innerhalb der Wärmedämmplatte.

Prinzip der Wärmedämmung: Der grosse Temperatursprung befindet sich innerhalb der Wärmedämmplatte !!

Aus den Temperaturprofilen wird sofort ersichtlich, dass bei der **Aussenisolation** im Winter das Mauerwerk nur relativ wenig abkühlt. Das Gebäude resp. das Mauerwerk wird nach dem Gesetz der optimalen Wärmeträgheit konsequent eingepackt, sodass nur geringe Wärmeverluste resultieren. Wärmebrücken (z.B. gut wärmeleitendes Metallteil in der Wand; *schwarzer Balken im Bild*), welche kalte, innere Wandoberflächen verursachen, können sich bei der Aussenisolation nicht ausbilden. Nur wenn z.B. Betondecken (für Balkone) durch die Aussenisolation ragen wirken sie als Wärmebrücken.

Bei der **Innenisolation** kühlt sich im Winter bei tiefen Aussentemperaturen das Mauerwerk stark ab. Dies birgt nun eine grosse Gefahr der Wärmebrückenbildung. Innere Wandanschlüsse, Metallteile etc. (*schwarzer Balken im Bild*), stellen bei der Innenisolation nun Wärmebrücken dar.

Aufgrund des kalten Mauerwerks besteht auch generell eine grosse Gefahr der Kondenswasserbildung im Mauerwerk. Wenn im Winter grössere Mengen Wasserdampf aus den wärmeren Innenräumen (mit höherem Feuchtigkeitsgehalt) ins kalte Mauerwerk gelangen, kann dies bei kontinuierlicher Taupunktunterschreitung zu Durchfeuchtung und grossem Wärmedämmverlust führen.

Winter: Wasserdampfstrom von innen nach aussen !!

Um eine Kondensation im Mauerwerk zu verhindern (und damit die Regel "von innen nach aussen dampfdurchlässiger" eingehalten wird) muss bei ungedämmten Mauerwerken und bei Innenisolationen warmseitig der thermischen Isolation (d.h. innen) ein möglichst hoher Dampfwiderstand aufgebaut werden.

Innenisolationen / ungedämmte Mauerwerke: innen möglichst dampfdicht streichen !

Wärmedehnbarkeit / Wärmedehnzahl

Volumenveränderung durch Temperaturschwankungen kommt in der Bauphysik eine grosse Bedeutung zu, denn im jahreszeitlichen Wechsel muss mit Temperaturen von - 20°C bis + 50°C (Aufheizwerte bei Sonneneinstrahlung) gerechnet werden!

Die Bewegungen der mineralischen Baustoffe aufgrund von Feuchtigkeitsschwankungen sind wesentlich geringer.

Die Dehnfugen (auch Dilatations- oder Bewegungsfugen) haben die Aufgabe, die einzelnen Bauteile so zu trennen, dass die temperatur- und feuchtigkeitsbedingten Längenänderungen in diesen Fugen aufgefangen werden können. Die Tabelle rechts zeigt die Wärmeausdehnungskoeffizienten einer Auswahl von Baustoffen. Die 1. Kolonne gibt die Längenänderung in **mm pro Meter** eines Materials an, wenn sich die Temperatur um 1°C verändert. Die Kolonne rechts stellt die Längenänderung in **mm pro Meter** dar, wenn mit einer **Temperaturdifferenz von 60°C** gerechnet wird (mit Temperaturschwankungen von -20°C bis +40°C muss in jedem Fall gerechnet werden).

$$l = l_0 \times w \times t$$

l = Längenänderung in mm
 l₀ = Anfangslänge in m
 t = Temperaturdifferenz
 w = Wärmeausdehnzahl

Die Wärmeausdehnzahl w

Die Wärmedehnzahl (Wärmeausdehnungskoeffizient) gibt an, um wieviele **mm** sich ein Material von **einem Meter** Länge ausdehnt, wenn die Temperatur um **1 °C** steigt !

Baustoff	mm / m	mm / m
	T = 1°C	T = 60°C
Beton	0,010	0,600
Stahlbeton	0,012	0,720
Zement/Kalkmörtel	0,009	0,540
Kalksandstein	0,008	0,480
Ziegel / Mauersteine	0,006	0,360
Klinker / Fliesen	0,005	0,300
Gips	0,025	1,500
Eisen / Stahl	0,012	0,720
Kupfer / Messing	0,017	1,020
Zink	0,030	1,800
Aluminium	0,025	1,500
Glas	0,008	0,480
Acrylglas/KELCO etc.	0,080	4,800
Polyester/Polystyrol	0,050	3,000
Holz (längs zur Faser)	0,007	0,420
Holz (quer zur Faser)	0,050	3,000

Die Kolonne rechts gibt an, um wieviele mm sich 1 Meter eines Materials ausdehnt, wenn mit einer Temperatur-schwankung von 60°C gerechnet werden muss.

Wie aus der Tabelle ersichtlich ist, haben vor allem Metalle und Kunststoffe besonders hohe Ausdehnungskoeffizienten und benötigen daher spezielle Beachtung bei der Fugenplanung.

Betonelemente von 5 Meter Länge zeigen im jahreszeitlichen Temperaturwechsel von 50°C eine Längenänderung von 2,5 mm (5 x 50 x 0,01 = **2,5 mm**).

Kunststoffe wie Polyester (GFK) zeigen auf einen Meter Länge bei 60°C Temperaturdifferenz bereits eine Längenausdehnung von **3 mm**.

Der Fachmann sagt: die Fuge ist ein "geplanter Riss". Geplant muss die Fuge werden, weil sie aus technischen und ästhetischen Gründen notwendig ist. Fugen entstehen immer da, wo ein Bauteil gegen ein anderes gesetzt wird. Risse treten immer dort auf, wo besser eine Fuge geplant worden wäre!

Die Fugendichtungsmassen haben die Aufgabe,

- die auftretenden Bewegungen zwischen den Bauteilen aufzufangen und
- die Fugen (und Risse) zu schliessen, um die Bauteile vor dem Eindringen von Feuchtigkeit, Schmutz und Zugluft zu schützen

Heute braucht auch der Maler gute Kenntnisse über dauerelastische Dichstoffe und die Fugengestaltung, um am Neubau und bei der Altbausanierung die Probleme rund um die Fuge fachgerecht lösen zu können:

- **Am Neubau muss bei der Planung der Fuge die zu erwartende Bewegung in der Fuge errechnet** oder abgeschätzt werden können (über Schwindmasse resp. Wärmeausdehnungskoeffizienten der verwendeten Materialien).
- Bei der **Renovationen resp. der Sanierung von bautechnischen Rissen** müssen die Rissaktivitäten; d.h. die auftretenden Bewegungen aufgrund jahreszeitlicher Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen **abgeschätzt werden können** (ev. durch Anbringen einer Gipsmarke).
- Auch die zu erwartenden atmosphärischen, mechanischen und chemischen Belastungen (Säuren, Chemikalien, Feuchtigkeit, Hitze, Kälte etc.) entscheiden über die Wahl des Dichtstoffes
- Für die **Dimensionierung der Fuge** müssen also die zu erwartende Bewegung in der Fuge und die sog. Dauerdehnbarkeit (Gesamtverformung) des Dichtstoffs in % bekannt sein!

Elastische Dichtstoffe: Arten und Eigenschaften

Die Fugendichtungsmassen sind heute eine der wichtigsten Produktgruppen in der modernen Bautechnik, denn durch das Bestreben, möglichst viele vorgefertigte Bauelemente (Fassadenteile, Fertigwände, Fenster- oder Einbauelemente etc.) zu verwenden, steigt auch der Bedarf an hochwertigen Abdichtungs- und Versiegelungswerkstoffen, welche ihre Funktion über viele Jahre gewährleisten müssen. Auch dem Maler sollten die wichtigsten Kriterien zur Auswahl des richtigen Dichtstoffes bekannt sein:

Das elastische Verhalten

Ein Dichtstoff bezeichnet man als **elastisch**, wenn eine erzwungene Formveränderung (Dehnung, Stauchung) nach Beendigung der Einwirkung durch die innere Spannung (Rückstellkraft) wieder vollständig rückgängig gemacht werden kann.

Ein Dichtstoff wird als **plastisch** bezeichnet, wenn die Formveränderung nach Beendigung der Einwirkung nicht wieder rückgängig gemacht werden kann.

Dichtstoffe bezeichnet man als **plastisch-elastisch, elastisch-plastisch oder pseudo-elastisch**, wenn die Formveränderung (je nach Rückstellkraft) nur **teilweise** rückgängig gemacht werden kann.

Dauerdehnbarkeit oder Gesamtverformung

Die Dauerdehnbarkeit in % (oft auch als Gesamtverformung bezeichnet) ist die wohl wichtigste Grösse zur korrekten Berechnung und Planung einer Fuge.

Die **Dauerdehnbarkeit (Gesamtverformung)** gibt an, um wieviele Prozent (bezogen auf die Fugenbreite) die eingebrachte Dichtmasse bewegt (gedehnt und gestaucht) werden kann!

Das bedeutet, dass die Dichtmasse über viele Jahre hinweg, ohne Versprödung oder Verlust der Flankenhaftung, ihre Funktion auch unter allen Belastungen (Temperaturschwankungen von 50°C) gewährleisten muss.

Eine Dauerdehnbarkeit von 25% bedeutet, dass ein Dichtstoff Bewegungen - also Dehnung und Stauchung - bis zu 25% der Fugenbreite aufnehmen kann.

Bsp.: Zwischen zwei Betonelementen von je 5 Meter Länge wird rechnerisch ermittelt, dass eine Bewegung von rund 3 mm auftreten kann (Temperaturschwankung 60°C).

Wenn ein elastischer Dichtstoff mit einer Gesamtverformung von 25% verwendet wird, muss die Fuge mindestens 12 mm breit sein (25% von 12 mm entsprechen der Bewegung von 3 mm).

Bei einem plastischen Dichtstoff mit 10% Gesamtverformung müsste die Fuge mit einer Breite von 30 mm geplant werden!

Die gebräuchlichsten Dichtungsmassen für das Malerhandwerk

Bindemittel	Härtungsart	Elastizitätsverhalten	Dauerdehnbarkeit	COLTOGUM - Type
Silikon	neutral(oxim)vernetzend	elastisch	25%	" Standard "
	sauervernetzend	elastisch	25%	
	aminvernetzend	elastisch	25%	
MS-Polymer (MS-Hybrid/silikonfrei)	feuchtigkeitshärtend	elastisch	25%	" Aussenfuge "
Polysulfid (Thiokol)	feuchtigkeitshärtend	elastisch	25%	(veraltete Typen)
Polyurethan	feuchtigkeitshärtend	elastisch	25%	PU-Construction
Acryl-Dispersion	physikalisch (Schwund)	plast.-elastisch	15%	" Acryl "
Acryl-Dispersion	physikalisch (Schwund)	plastisch	5 - 10%	

Daneben sind noch zahlreiche Spezialtypen auf 1K- und 2K-Basis verfügbar, die auch für ganz spezielle Anwendungsgebiete entwickelt worden sind.

Fugenbreite / Fugentiefe / Hinterfüllmaterial

Die zu erwartende Bewegung in der Fuge bestimmt in erster Linie die Dimension resp. die **Breite der Fuge**.

Die Bestimmung resp. Berechnung der Fugenbreite:

- Beim Einplanen von Bewegungsfugen sind die zu erwartenden Bewegungen in der Fuge aufgrund der Ausdehnungskoeffizienten der Baustoffe infolge Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen theoretisch zu berechnen oder abzuschätzen (siehe Tabelle vordere Seite)
- Bei der Sanierung von bautechnischen Rissen (z.B. fehlende Anschlussfugen zwischen Fensterbänken und Mauerwerk), ist die Aktivität des Risses sehr schwierig abzuschätzen. Das Anbringen einer Gipsmarkierung kann Aufschluss über die aktive Bewegung eines Risses geben, erfordert aber eine lange Wartezeit. **Aktive Risse** sind auf eine von der Dauerdehnbarkeit der Dichtmasse abhängige Breite auszuweiten! Als Nachschlagewerk für die Fugendimensionierung gilt die DIN-Norm 18540.

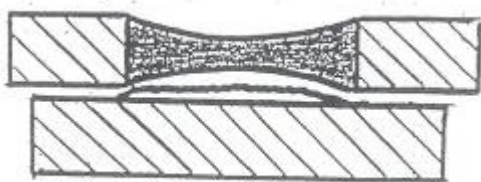
Die Regulierung der Fugentiefe mit Hinterfüllmaterial

Der Dichtstoff in der Fuge sollte immer **konkav und breiter als dick** ausgebildet sein. Dadurch wird erreicht, dass die Haftflächen an den Fugenflanken grösser sind als der Querschnitt in der Fugenmitte. Die Rückstellkräfte des Dichtstoffes stehen dadurch bei der Zugbeanspruchung in einem günstigen Verhältnis zu den Adhäsionskräften an den Fugenflanken. Die Abrissgefahr der Dichtmasse von der Fugenflanke wird dadurch geringer. Mit dem **Hinterfüllmaterial** (Rundprofile aus Polyäthylenschaum, Moltopen etc.) wird die Fugentiefe (Dicke des Dichtstoffes) reguliert und die Haftung am Fugenboden verhindert. Der Querschnitt des Hinterfüllmaterials soll ca. 25% grösser sein als die Fugenbreite, damit es sich fest an die Fugenflanken anpresst.

Richtwerte zur Fugendimensionierung (in mm)

Fugenbreite (mm)	5 10 15 20 25 30	mm
Dicke der Dichtungsmasse	5 8 10 12 15 15	mm
Durchmesser des Hinterfüllmaterials	7 15 20 25 32 40	mm

Bei einer **zu geringen Fugentiefe** kann die Haftung der Dichtmasse am Fugenboden durch das Einkleben eines Polyäthylensstreifens verhindert werden.

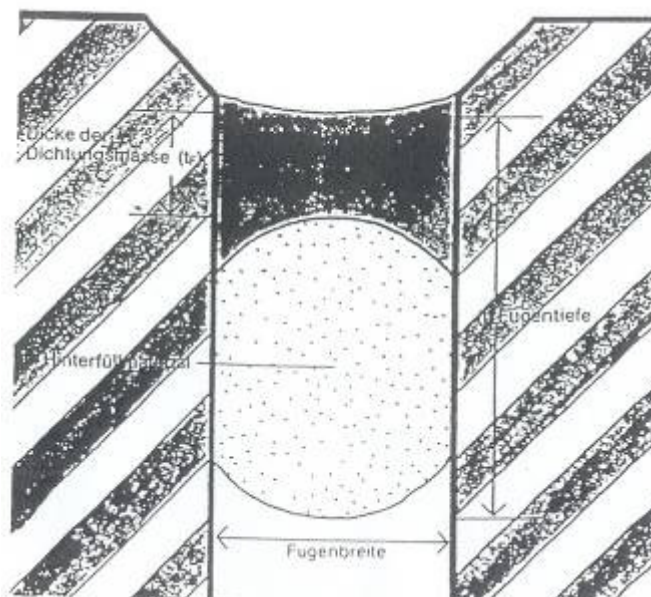


Bei Verwendung einer Trennfolie kann die Dichtmasse frei arbeiten!



Bei Haftung am Fugenboden kann die Dichtmasse zerstört werden.

Querschnitt durch die Fuge



Die Vorbehandlung von Dehnfugen

Fugendichtungsmassen verfügen allgemein über gute Haftungseigenschaften, sodass **haftvermittelnde** Grundanstriche nur auf ganz bestimmten Untergründen notwendig sind. Auf der Kartusche des jeweiligen Dichtstoffes sind i.d.R. diese Untergründe (z.B. Kupfer, Glas, Keramik etc.) mit den dazugehörigen Fugenprimern erwähnt. Weiterhin können Vorbehandlungen resp. Grundanstriche erforderlich sein, die vom **Zustand** resp. von der **Beschaffenheit** des Untergrundes abhängen:

- sehr starke Saugfähigkeit resp. Porosität des Untergrundes; im Aussenbereich besteht bei wasserempfindlichen Untergründen eine latente Durchfeuchtungsgefahr im Bereich der Fugenflanken
- sandende, mürbe oder allgemein nicht genügende verfestigte und tragfähige Untergründe
- verseuchte, weichmacherhaltige oder verfärbte Untergründe (Isoliergrundierung erforderlich)

Die von den Dichtstoff-Herstellern empfohlenen Fugenprimer entsprechen grösstenteils unseren Grundier- und Imprägniermitteln aus dem Baumalersortiment. Leider sind die Fugenprimer der Dichtstoffhersteller meist ganz unzureichend deklariert, sodass man praktisch nie weiss, auf welcher Bindemittelbasis sie aufgebaut sind!

Regel für Grundanstriche von Fugenflächen

Wenn ein Fugenprimer XY empfohlen wird, sollten die Kontaktflächen der Fugen prinzipiell so vorbehandelt werden, wie wenn mit einem üblichen Decklack fertiggestrichen würde!

Metallflächen: 2K-Epoxy-Grundierung, Universalprimer

Poröse, mineralische Untergründe: Tiefengrund (lösemittelhaltig), 1K-Sealer farblos

Keramik, Glas, Kacheln etc.: 2K-Epoxy-Grundierung

Aussenholz (ungestrichen): Holzimprägnierung farblos

Kunststoffe (duroplastisch): wenn nötig 2K-Epoxy-Grundierung

Problematik von weichmacherhaltigen Baustoffen und Anstrichen

Problematisch sind **weichmacherhaltige Baustoffe und Anstriche** (Dispersionen, 1K-Bodenfarben auf Polymerisatharzbasis), wenn sie in Berührung mit weichmacherhaltigen Dichtstoffen (Thiokol/Polysulfidbasis) kommen. Durch die Weichmacherwanderung kann die Haftung in der Fuge vermindert werden.

Wichtig: COLTOGUM Typ "**Aussenfuge**" (MS-Polymer) ist **silikon- und weichmacherfrei** (deckt auch das Einsatzgebiet der Dichtstoffe auf Thiokol/Polysulfidbasis vollumfänglich ab)

Da wir nun keine weichmacherhaltigen Dichtstoffe mehr im Programm führen, ergeben sich auch keine Probleme mehr beim Ueberstreichen der Fugen mit hochelastischen und daher oft weichmacherhaltigen Anstrichstoffen!

Die "Anstrichverträglichkeit" von Dichtstoffen

Die heute verwendeten Dichtstoffe verlangen keinen Schutzanstrich mehr (wie z.B. Leinölkitt), um eine ausreichende Wetterfestigkeit und Dauerhaftigkeit zu erlangen. Grundsätzlich sollten sie deshalb nicht überstrichen werden. Oftmals wird aber aus optischen Gründen ein farblich passender Anstrich gewünscht, der dann aber zu Reklamationen Anlass geben kann.

Wichtig: Die Bewegungen in einer echten Dehnfuge (bis max. 25%) kann von keinem üblichen Anstrichstoff auf die Dauer nachvollzogen werden. Haftungsverlust und Rissbildungen im Anstrich sind die zu erwartenden Schadensbilder!

Man spricht deshalb von "**Anstrichverträglichkeit**", wenn bei Fugen mit geringer Dehnungsbelastung gewisse, gut dauerelastische Anstriche auf überstreichbaren Dichtstoffen (auf Acryl- und MS-Polymerbasis) eine einigermaßen gute Dauerhaftigkeit aufweisen. Silikonkitt sind i.d.R. nicht anstrichverträglich resp. überstreichbar!

Anstrich-Empfehlung:

- Holz- und Hausdispersion, Acryllack seidenglanz (Reinacryllacke)
- Aussendispersion, Seidenglanz-und Glanzdispersion
- PCV-Kautschukfarben (Bodenfarben), RUCOPUR 2K-Markierfarbe



Die Wasserdampfdurchlässigkeit

Der Begriff und die Quantifizierung der "Wasserdampfdurchlässigkeit" von z.B. 80 oder 90% ist für seriöse bauphysikalische Betrachtungen und Diskussionen über Fassadenanstriche gar nicht brauchbar.

Um die Dampfdiffusionsfähigkeit von Baustoffen, Isolationen, Putz- und Anstrichschichten miteinander vergleichen und abstimmen zu können, muss mit dem Begriff des sog. **Dampfwiderstandes** gearbeitet werden, welcher die Schichtdicke der einzelnen Schichten mitberücksichtigt. Bei den üblichen Werbeaussagen bezüglich der "Wasserdampfdurchlässigkeit" oder "Atmungsaktivität" ist im Grunde genommen der Dampfwiderstand einer Beschichtung mit einer üblichen Schichtdicke gemeint!

Diffusionswiderstandszahl (oder Dampfdiffusionskoeffizient) und der Dampfwiderstand

Die DWZ u (m) eines Materials gibt an, wieviel mal grösser der Widerstand gegen Wasserdampfdiffusion im Vergleich zu einer gleich dicken Luftschicht ist.

Bsp.: **Beton u (m) = 20**

d.h. 1 cm oder 1 m Beton lassen Wasserdampf 20 mal weniger gut diffundieren als eine 1 cm resp. 1m dicke Luftschicht.

oder **Aussendispersion u (m) = 2000**

d.h. eine bestimmte Luftschicht lässt Wasserdampf 2000 mal besser diffundieren als ein gleich dicker Dispersionsanstrich

Die Diffusionswiderstandszahl u (m) ist eine Materialkonstante. Bauphysikalisch sinnvolle Aussagen werden durch den sog. **Dampfwiderstand** ermöglicht; die DWZ muss mit der **Schichtdicke** des Materials (Mauerwerk, Putz, Anstrich) korreliert werden.

$$\text{Dampfwiderstand: } d (s) = u (m) \times s (m)$$

s (m) : Schichtdicke in Meter

Beispiel: Eine 30 cm dicke Betonmauer wird aussen mit einem zweifachen Anstrich einer Aussendispersion versehen (150 Mikron Trockenschichtdicke).

Ist die Betonmauer oder der Anstrich (mit der jeweiligen Schichtdicke) "dampfdurchlässiger" ?

DWZ (Beton) = 20 DWZ (Aussendispersion) = 2000

Dampfwiderstand (Betonmauer): $u (m) \times s (m) = 20 \times 0,30 = 6,0$
" (Aussendispersion): $= 2000 \times 0,00015 = 0,3$

Der 150 Mikron dicke Aussendispersionsanstrich ist also 20 mal "wasserdampfdurchlässiger" als die 30 cm dicke Betonmauer !!

Wichtig: Für bauphysikalische Betrachtungen über die Wasserdampfdurchlässigkeit einer Aussenmauer müssen immer die Dampfwiderstände des Baustoffes, des Putzes und des Anstrichs miteinander verglichen werden.

Wenn im Winter aus den wärmeren Innenräumen (mit entsprechend höherem Feuchtegehalt der Luft) grössere Mengen Wasserdampf ins kalte Mauerwerk gelangen, kann dies bei kontinuierlicher Taupunktunterschreitung zu Kondenswasser und Feuchteschäden führen (Wärmedämmverlust, Schimmelpilzbildung, Haftungsverlust von Anstrichschichten, Zerstörung von "wasserempfindlichem" Mauerwerk) !!

- Die 3 Grundregeln für den Schichtenaufbau des Aussenmauerwerkes:**
1. Von innen nach aussen (i. d. R ausgehend vom "Kern"-Mauerwerk) immer dampfdurchlässiger.
 2. Auf der Innenseite von dünnen, nicht isolierten Wänden (auch bei Innenisolationen) Dampfsperren anbringen (Folien, "dichte" Tapeten oder Anstriche), damit der Wasserdampf nicht ins kalte Mauerwerk eindringt und dort kondensiert.
 3. Bei "dampfdichten" Rissarmierungssystemen (aussen) ist innen u.U. eine Dampfsperre notwendig.

Bei den üblichen Anstrichaufbauten (siehe Tabelle) wird die 1. Regel nur selten "verletzt" !! Mit einem hoch "dampfdurchlässigen" Schlussanstrich kann überschüssige Baufeuchte im Mauerwerk oder an Rissen und Fehlstellen eingedrungenes Wasser wieder "ungehindert" entweichen. So können unerwünschte, früh auftretende Feuchteschäden vermieden werden.

Tabellenwerte zur Wasserdampfdurchlässigkeit

Die Tabellenwerte für die Diffusionswiderstandszahl (DWZ) stellen grobe Richtwerte für handelsübliche Produkte dar (gemessen unter ganz bestimmten physikalischen Randbedingungen).

Aufgrund der üblichen **Schichtdicken (in Meter)** sind die entsprechenden, praxisnahen Werte für die **Dampfwiderstände** errechnet worden. Aus der übersichtlich geordneten Tabelle kann daher sehr schnell entnommen werden, welche Systeme aufeinander passen oder nicht. Die Werte sind gruppenweise geordnet:

Mauerwerke **mineralische Putze** **Isolationsmaterialien** **Anstrichstoffe**
Kunststoffputz **Rissanierungssysteme**

Der Dampfwiderstand von Untergründen und Beschichtungen

Material	Diffusionswiderstandszahl (DWZ)	Schichtdicke (m)	Dampfwiderstand sd = DWZ x s (in m)	
Beton	15 - 40	0,25 m	3,75 - 10	sehr hoch
KS-Steine	10 - 20	0,25	2,5 - 5,0	hoch
Mauer-/Backsteine	6 - 10	0,25	1,5 - 2,5	hoch
Eternit	50 - 100	0,01	0,5 - 1,0	hoch
Gasbeton	2 - 3	0,10	0,2 - 0,3	mässig/mittel
Zementputz	20 - 40	0,02	0,40 - 0,80	hoch
Kalkzementputz	15 - 20	0,02	0,30 - 0,45	mittel
Kalkputz	4 - 8	0,02	0,08 - 0,16	mässig/mittel
Kunststoffputze	100 - 300	0,003	0,3 - 0,9	hoch/mittel
RUCOSIL Silikonputz 2mm	30 - 40	0,002	0,06 - 0,08	mässig/gering
Holzfaserspanplatten	50 - 120	0,01	0,5 - 1,2	
Holzfaserdämmplatten	3 - 5	0,05	0,15 - 0,25	mässig/mittel
Holzwolleleichtbauplatten	4 - 10	0,03	0,12 - 0,3	mässig/mittel
Styropor-Hartschaumplatten	30 - 50	0,08	2,4 - 4,0	hoch
RUCOLASTIC Gumcoat / Herboflex GUM	1800 - 2000	0,001	1,8 - 2,0	hoch
Silikatfarben (rein)	40 - 80	0,00015	0,006 - 0,012	gering
Silikonfarben rein	50 - 100	0,00015	0,008 - 0,015	gering
Organo-Silikatfarbe	100 - 300	0,00015	0,015 - 0,045	gering
Silikonfarbe acrylmod.	200 - 400	0,00015	0,03 - 0,06	gering
Innendispersion	100 - 300	0,00015	0,015 - 0,045	gering
Pliolite-Fassadenfarbe	800 - 1200	0,00015	0,08 - 0,15	mässig/mittel
Aussendispersion	1000 - 2000	0,00015	0,15 - 0,3	mässig/mittel
Betonschutzfarbe	5000 - 25000	0,00015	0,8 - 3,8	hoch
Acryl-/Dispersionslack	3000 - 5000	0,0001	0,3 - 0,5	hoch (*)
Alkydharzlack	12'000 - 20'000	0,0001	0,5 - 2,0	hoch
1K-Bodenfarbe	15'000 - 25'000	0,0001	1,5 - 2,5	hoch
2K-Lacke	20'000 - 40'000	0,0001	2,0 - 4,0	hoch

(*) : rel hohe Wasserquellbarkeit

4 wichtige bauphysikalische Grundregeln für Beschichtungen (Anstriche, Fertigputz, Isolationen und Rissanierungen) von Aussenmauerwerken (innen und aussen) !!

1. Von innen nach aussen immer dampfdurchlässiger; d.h. abnehmender Dampfwiderstand der einzelnen Schichten (ausgehend vom dichtesten "Kern"- Mauerwerk)
2. Auf der Innenseite von dünnen, nicht isolierten Wänden Dampfsperren anbringen (Folien, "dichte" Tapeten oder Anstriche), damit der Wasserdampf nicht ins kalte Mauerwerk eindringt und dort kondensiert.
3. Bei Innenisolationen muss warmseitig (d.h. innen) der thermischen Isolation ebenfalls eine Dampfsperre aufgebracht werden.
4. Bei "relativ dampfdichten" Aussen-Rissarmierungssystemen (RUCOLASTIC Gumcoat HERBOFLEX Gum) oder Isolationen ist innen u.U. eine Dampfsperre notwendig.

Zum richtigen Verständnis dieser Regeln, müssen dem Maler einige bauphysikalischen Gesetze bekannt sein, die in den vorgehenden Maler-Magazinen (2/01, 3/01) eingehend behandelt wurden:

- * **Warme Luft vermag mehr Feuchtigkeit aufzunehmen als kalte Luft !**
1 m³ (= 1000 Lt.) Luft vermag bei 20°C maximal (100% rel. LF) 17,3 gr Wasser aufzunehmen
1 m³ (= 1000 Lt.) Luft vermag bei 0°C maximal (100% rel. LF) 4,8 gr Wasser aufzunehmen
- * **Feuchtigkeitsstrom in der kalten Jahreszeit von Innen nach Aussen !**
In der kalten Jahreszeit, wenn die Innentemperaturen höher sind als die Aussentemperaturen (Mitte Herbst bis Anfang Frühling) stellt sich aufgrund des Feuchtigkeitsgefälles eine Wasserdampfströmung von Innen nach Aussen ein!
- * **Die dampfdichteste Schicht (i.d.R. die Kernmauer) limitiert den Wasserdampfstrom!**
Die Schicht des Aussenmauerwerks mit dem höchsten Dampfwiderstand ist fast immer der Baustoff der Mauer, also z.B. die 30 cm Beton, 25 cm KS, 25 cm Back- oder Ziegelsteine oder 15 cm Gasbeton. Dieses Kernmauerwerk mit dem meist höchsten Dampfwiderstand bestimmt also die Menge des Wasserdampfes, welches durch das Mauerwerk diffundieren kann. Die Vorstellung, dass ein hoch dampfdurchlässiger Anstrich (z.B. Innensilikonfarbe) die "Atmung" der Aussenmauer fördern könnte, ist völlig falsch!
- * **Der Taupunkt: Bei stärkerer Abkühlung der Luft kann Kondenswasser anfallen!**
Wenn Luft stetig abgekühlt wird, vermag sie immer weniger Feuchtigkeit aufzunehmen; die relative Luftfeuchtigkeit steigt, bis die Sättigung der Luft mit Wasserdampf erreicht wird (sog. Kondensations- oder Taupunkt). Bei weiterer Abkühlung fällt Kondenswasser aus (Magazin 2/01).
Bsp.: Bei Luft von 20°C und 60% rel. LF fällt unterhalb von 13°C Kondenswasser an!
- * **1% Feuchtigkeitszunahme der Mauer erniedrigt den Wärmedämmwert um rund 10%!**
Wenn im Winter Wasserdampf in grösseren Mengen ungehindert in kaltes Mauerwerk gelangen kann (bei ungedämmten, dünneren und mässig dampfdichten Mauerwerken), führt dies bei stetiger Taupunktunterschreitung zu erhöhter Feuchtigkeit im Mauerwerk. Eine Regel besagt, dass bei einer Feuchtigkeitszunahme um 1% (ausgehend von den Durchschnittsfeuchten mineralischer Baustoffe von ca. 3 - 8%) ein Verlust des Wärmedämmwertes um mindestens 10% resultiert!!
- * **Der Temperatursprung liegt innerhalb der Wärmedämmplatte (Isolation)**
Die grosse Temperaturdifferenz ("Temperatursprung") zwischen Innen und Aussen liegt immer in der Schicht resp. dem Material mit dem höchsten Isolationsvermögen. Bei Aussen-Isolation ist das Mauerwerk demzufolge warm, bei Innen-Isolationen hingegen kalt.

Erläuterung der einzelnen Regeln

1. Regel: Von innen nach aussen immer dampfdurchlässiger; d.h. abnehmender Dampfwiderstand der einzelnen Schichten (ausgehend vom Mauerwerk) !!

Beim Betrachten der Tabelle sehen wir, dass die **Dampfwiderstände der üblichen Mauerwerke (Beton, Mauer- und Backsteine, KS etc.)** sehr hoch sind (ca. 2 - 10). Auch die heutigen, mineralischen Grundputze auf Zementbasis besitzen einen Dampfwiderstand von 0,4 - 0,8 und können problemlos mit allen Fassadenfarben (ausser Betonschutzfarben, 2K-PUR-Lacke) überarbeitet werden.

Die üblichen **Fassadenanstriche verfügen über einen sehr viel niedrigeren Dampfwiderstand**, selbst die als relativ dampfdicht geltenden Aussendispersionen $d(s) = 0,2 - 0,3$ sind also rund **10 mal diffusionsfähiger** als ein Backstein-Mauerwerk. Einzig auf dem gut dampfdurchlässigen Gasbeton oder auf Kalkputz (etwa gleicher Dampfwiderstand) wäre z.B. eine hoch schlagregendichte, acrylmodifizierte Silikonfarbe empfehlenswert.

Wichtig: * **Das Problem der Dampfdurchlässigkeit ist bei den üblichen, intakten Mauerwerken kaum ein Thema, wird aber aus verkaufs- und werbetechnischen Gründen stark überbewertet!**

Wann treten Probleme bei der Dampfdiffusion auf?

Ganz wichtig für bauphysikalische Betrachtungen ist die Unterscheidung in wasserempfindliche und wasserdichte Mauerwerke, Putze und Anstriche:

- * **wasserdicht:** Beton, Zementputz/-mörtel, Dispersions-, Silikon- und best. Organosilikatfarben
- * **wasserempfindlich:** KS, Gasbeton, Eternit, Sandstein, Kalkputz, Kalkfarben, Silikatfarben

"Gestört" können bauphysikalisch funktionierende Fassaden werden, wenn an Schadstellen (Rissen) flüssiges Wasser kapillar in wasserempfindliche Mauer- oder Putzschichten eindringen kann. Bei nachfolgender Erwärmung (Besonnung) kann sich ein grosser Wasserdampfdruck resp. -stau aufbauen. Bei einem hoch "dampfdurch-lässigen" Schlussanstrich kann an Rissen und Fehlstellen eingedrungenes Wasser (oder überschüssige Baufeuchte) wieder "ungehindert" entweichen. So können früh auftretende Feuchteschäden vermieden werden.

In welchen Fällen sollte der Dampfwiderstand beachtet werden?

Kalkputze (aussen): Diese sind wasserempfindlich, gut dampfdurchlässig und benötigen ausreichend Kohlendioxid für die dauernde Wiedererhärtung des Kalks. Durch einen zu frühen und rel. dichten Dispersionsanstrich $d(s) = 0,15 - 0,3$ kann ein Kalkputz $d(s) = 0,1 - 0,2$ richtiggehend ersticken, da er zu wenig Wasserdampf und CO_2 für eine genügende Aushärtung erhält! Empfehlung: mit acrylmodifizierten Silikon- oder Silikatfarben (schlagregendicht) streichen!!

Gasbeton (Ytong): Der hoch wärmedämmende Gasbeton ist ebenfalls feuchtigkeitsempfindlich und gut dampfdurchlässig $d(s) = 0,2 - 0,3$. Oft werden kleine Anbauten (Garagen, Gewerberäume etc.) mit Gasbeton ausgeführt. Das Applizieren einer Dispersion (praktisch gleicher Dampfwiderstand) ist nun sehr gefährlich, wenn innen keine Dampfsperre aufgebracht wird, z.B. durch einen zweifachen Anstrich einer Bodenfarbe. Die in der kalten Jahreszeit von innen nach aussen strömende Feuchtigkeit kondensiert im kalten Gasbeton; dieser kann völlig durch feuchtet werden und verliert praktisch den ganzen Wärmedämmwert. Infolge des "dichten" Dispersionsanstrichs kann die Feuchtigkeit nach aussen kaum ausdunsten.

Stahlbeton: Dieser muss möglichst dampf- und CO_2 -dicht gestrichen werden (Betonschutzfarben, 2K-PUR-Lacke), damit der alkalische (antikorrosiv wirkende) Beton nicht neutralisiert wird. Selbst ein zweifacher 2K-PUR-Anstrich (für Antigraffiti-zwecke) hat einen niedrigeren Dampfwiderstand als eine 20-30 cm dicke Betonmauer. Ein atmungsaktiver Anstrich (mit Silikat- oder Silikonfarbe) ist bei Stahlbeton völlig fehl am Platz (v.a. bei Betonsanierungen). Betonteile ohne wichtige statische Funktion wie Trennmauern etc. (nur wenig Armierungseisen im Innern) können praktisch beliebig gestrichen werden.

Bei **Fassadensanierungen** werden oft rel. **dampfdichte Vollwärmeschutz- oder Rissanierungssysteme** aufgebracht, welche bei **dünnere, mässig dampfdichten Mauerwerken** oft besondere Massnahmen erfordern (meist das Aufbringen einer Dampfsperre auf der Innenwand). Siehe Regel Nr. 4.

2. Regel: Auf der Innenseite von dünnen, nicht isolierten Wänden Dampfsperren anbringen (Folien, "dichte" Tapeten oder Anstriche), damit der Wasserdampf nicht ins kalte Mauerwerk eindringt und dort kondensiert.

Vor allem ältere Gebäude verfügen oft über relativ dünne, mässig dampfdichte Aussenmauern, sodass im Winter ein nicht unbeträchtlicher Wasserdampfstrom von innen nach aussen stattfindet

*** Winter: Wasserdampfstrom von innen nach aussen**

Die Wasserdampfmenge marschiert nun aber leider nicht ungehindert durch das Mauerwerk ins Freie. Beim Unterschreiten einer bestimmten Temperatur kondensiert der Wasserdampf im kalten Mauerwerk.

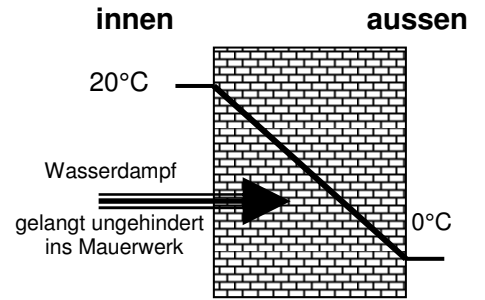
*** Im kalten Mauerwerk kondensiert ein Teil des Wasserdampfs!**

Wenn Luft von 20°C mit einer rel. LF von 60% auf 12,8°C abgekühlt wird, beginnt sich Tauwasser abzuscheiden. Bei kontinuierlicher Taupunktunterschreitung muss mit einer fortschreitenden Mauerwerksdurchfeuchtung gerechnet werden.

*** 1% höhere Mauerfeuchte senkt den Wärmedämmwert um 10%!**

Je poröser ein Mauerwerk ist, um so höher ist auch der Wärmedämmwert resp. das Isolationsvermögen und die Wasserdampfdurchlässigkeit.

Gerade poröse, gut diffusionsfähige Mauerwerke sind aber am anfälligsten auf Durchfeuchtungen und verlieren bei Feuchtigkeitszunahmen von wenigen % einen grossen Teil des Wärmedämmwertes.



ungedämmtes Mauerwerk
(meistdünnere, mässig dampfdichte Mauerwerke von älteren Gebäuden)

Wichtig: Ungedämmte Aussenwände (mässig dampfdicht) innen mit möglichst dampfdichten Anstrichen streichen (Bodenfarben, 2K-Lacke etc.)!

Bei der Renovation von ungedämmten Aussenwänden resp. Fassaden muss der Maler also anstrichtechnisch mit allen Mitteln versuchen, das **Mauerwerk auf die Dauer so trocken wie möglich zu halten**, um einen bestmöglichen Wärmedämmwert zu erhalten (wenn keine Innen- oder Aussenisolation in Frage kommt):

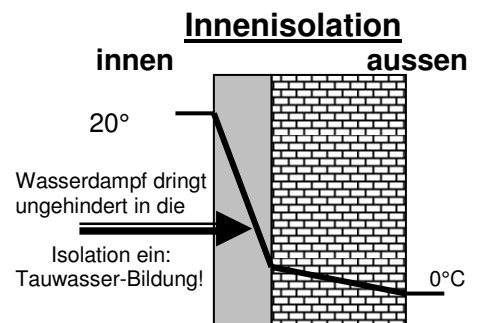
- die Fassade sollte absolut schlagregendicht sein; v.a. Fehlstellen, Löcher und Risse müssen dauerhaft saniert werden (rationelle Rissanierungen sind mit RUCOLASTIC Gumcoat etc. möglich)
- als Aussenanstrich empfiehlt sich eine hoch dampfdurchlässige und ausgezeichnet schlagregendichte, acrylmodifizierte Silikonharzfarbe (z.B. RUCOSIL Silikonmattfarbe)
- innen muss eine Dampfsperre aufgebracht werden, z.B. 2-3 Anstriche mit Bodenfarben (RUCOSOL), Seidenglanz- oder Glanzdispersionen, 2K-Lackfarben etc.

3. Regel: Bei Innenisolationen muss warmseitig der thermischen Isolation ebenfalls eine Dampfsperre aufgebracht werden (dichte Tapeten oder Anstriche)!

Der grosse Temperatursprung liegt bei Wärmedämmsystemen in der Isolationsplatte; bei der Innenisolation haben wir im Winter demnach permanent kalte Mauerwerke. Innerhalb der Dämmplatte findet ein grosser „Temperatursturz“ statt. Der von innen nach aussen strömende Wasserdampf kondensiert sehr schnell nach dem Eintritt in die Dämmplatte und führt zur schnellen Durchfeuchtung der Isolation und des Mauerwerks.

*** Der Temperatursprung liegt in der Dämmplatte der Innenisolation**

Nebst dem Verlust des Wärmedämmwertes muss auf der Wandoberfläche mit Schimmelbildung, Vergrauungen etc. gerechnet werden. Im Falle der Innen-Isolation muss also warmseitig der Isolation unbedingt eine Dampfsperre aufgebracht werden (geschlossenporige Tapeten wie Sempatap, Kunststoff- oder Alu-Folien, 2-3 dampfdichte Anstriche).



kaltes Mauerwerk
(meist dünnere, mässig dampfdichte Mauerwerke von älteren Gebäuden)

Wichtig: Ohne Dampfsperre muss im Winter innerhalb kurzer Zeit mit vollständiger Durchfeuchtung der Isolation und Wandoberfläche gerechnet werden !



4. Regel: Bei "relativ dampfdichten" organischen Aussen-Rissarmierungssystemen und Aussen-Isolationen auf relativ dünnen, mässig dampfdichten Mauerwerken ist innen unter Umständen eine Dampfsperre notwendig.

Bei Sanierungen und Renovationen von älteren Gebäuden muss die Dampfdurchlässigkeit prinzipiell beachtet werden, wenn Aussenisolationen mit PS Hartschaumplatten oder Rissarmierungen (Vollarmierung mit Geweben und organischen Klebern) aufgebracht werden sollen.

Aus der Tabelle zur Dampfdurchlässigkeit können wir die entsprechenden Werte entnehmen:

<u>Material</u>	<u>DWZ</u>	<u>Schichtdicke</u>	<u>Dampfwiderstand</u>
Beton	15 - 40	0,25 m	3,75 - 10
KS-Steine	10 - 20	0,25	2,5 - 5,0
Mauer-/Backsteine	6 - 10	0,25	1,5 - 2,5
Holzwoleleichtbauplatten	4 - 10	0,03	0,12 - 0,3
Styropor-Hartschaumplatten	30 - 50	0,08	2,4 - 4,0
RUCOLASTIC Gumcoat / Herboflex GUM	1800 - 2000	0,001	1,8 - 2,0

Die **Aussenisolationen mit Polystyrol-Hartschaumplatten** bauen einen hohen Dampfwiderstand auf (2,4 - 4,0); auf den "dichten" Mauerwerken wie Beton, KS, Verbundsteine etc. stellt das noch kein Problem dar; aber auf älteren, relativ dünnen und mässig dampfdichten Backsteinmauerwerken (Dampfwiderstand 1,5 - 2,4) sind diese Isolationssysteme schon fast zu dicht. Da bei der Aussenisolation das Mauerwerk warm ist (der Temperatursprung liegt in der Aussenisulationsplatte) kann zwar der nach aussen strömende Wasserdampf nicht im Mauerwerk kondensieren, doch könnte ein Wasserdampfstau vor der Dämmplatte zur Wasserquellung und Haftungsverminderung des Platenklebers führen. Eine Dampfsperre auf der Innenwandfläche vermittelt auch hier optimale Sicherheit und Trockenhaltung des Mauerwerks.

Bei den **Risssaniersystemen (RUCOLASTIC Gumcoat, Herboflex GUM)** auf mässig dampfdichten, ungedämmten Mauerwerken besteht nun die Gefahr, dass der allenfalls gestaute Wasserdampf hinter der Risssanierschicht kondensiert. Eine Dampfsperre innen (1 - 2 dampfdichte Anstriche) bietet auch hier absolute Sicherheit für ein trockenes, optimal wärmedämmendes Aussenmauerwerk.

Praktische Ratschläge und Hinweise für den Maler:

- * Die Wasserdampfdurchlässigkeit ist sehr selten direkt für Anstrichschäden verantwortlich !
- * Häufige Anstrichschäden beruhen auf an Schadstellen, Rissen und Löchern eingedrungenem Wasser, welches von wasserempfindlichen Mauerwerks-, Putz- oder Isolationsschichten in grossen Mengen aufgenommen werden kann und intakte Anstrich- und Putzschichten unterwandert. Bei Erwärmungen (Sonnenbestrahlung) können enorme Wasserdampfdrucke auftreten, welche von Haftungsverminderungen, Blasenbildungen bis zu grossflächigen Anstrich- oder Kunststoffputzablösungen führen können.
- * Bei Planungen, Devisierungen etc. kann mit dem Hinweis auf obige Problematiken bei der Bauherrschaft oft viel Goodwill geschaffen werden, wenn z.B. anstelle eines relativen dichten Kunststoffputzes ein mineralischer Putz mit einem hoch dampfdurchlässigen Silikonanstrich aufgebracht wird (damit z.B. auch während der Bauphase eingedrungene Feuchtigkeit möglichst ungehindert entweichen kann)
- * Eine grosse Sünde der Baomalerei besteht in der Applikation von hoch dampfdurchlässigen, atmungsaktiven "Spezialfarben" (teure Silikon-, Silikatfarben für innen) auf der Innenseite von nicht gedämmten, mässig dampfdichten Aussenmauerwerken!
- * Bei den neueren Bauten sind es die sehr dampfdichten Mauerwerke (Beton, KS etc.), welche die Menge des nach aussen strömenden Wasserdampfes auf einen sehr geringen Wert limitieren! Auch hier bringen hoch "atmungsaktive", teure Silikon- oder Silikat-Innenfarben überhaupt nichts im Sinne einer Aktivierung des Wasserdampfstromes von innen nach aussen!
- * Bei nicht isolierten, vornehmlich älteren Gebäuden sollte vom Baualer das oberste Ziel des trockenen (infolgedessen gut isolierenden) Aussenmauerwerks viel zielstrebig verfolgt werden (innen dampfdicht; aussen schlagregendicht und gut dampfdurchlässig)!



Die Auswahl der Fassadenfarben nach bauphysikalischen Grundsätzen: Uebereinstimmung der Eigenschaften von Untergrund und Anstrich

Für die korrekte Auswahl der optimalen Fassadenfarbe auf einem bestimmten Untergrund sind folgende Informationen resp. Kenntnisse unerlässlich:

- Eigenschaften der Untergründe
- Bauphysikalische Zusammenhänge
- Eigenschaften der Fassadenfarben

Um beurteilen zu können, welche Fassadenfarbe unter Berücksichtigung der bauphysikalischen Zusammenhänge überhaupt gestrichen werden darf, müssen die **2 sog. Grundeigenschaften** der mineralischen Untergründe und der Fassadenfarben bekannt sein!!

- * **Wasserdampfdurchlässigkeit (Dampfwiderstand)**
- * **Wasserempfindlichkeit (Wasserdichtigkeit) / Schlagregendichte**

In der folgenden Tabelle sind die beiden "wichtigen" Eigenschaften **Wasserempfindlichkeit resp. Wasserdichtigkeit (Schlagregendichte) und der Dampfwiderstand ("Wasserdampfdurchlässigkeit")** für die wichtigsten Untergründe und Fassadenfarben aufgelistet.

Die 2 notwendigen Grundeigenschaften der Untergründe resp. Fassadenfarben zur Bestimmung der Einsatzmöglichkeit der Fassadenfarben nach bauphysikalischen Gesichtspunkten:

- 1) **Von innen nach aussen dampfdurchlässiger (ausgehend vom Kernmauerwerk resp. der Schicht mit dem höchsten Dampfwiderstand) !!**
- 2) **Wasserempfindliche Untergründe mitten mit wasserdichten (schlagregendichten) Anstrichen versehen werden (nicht gültig für Denkmal-/Heimatschutz)**

Untergründe	Wasserempfindlichkeit	Dampfwiderstand	
Beton armiert	wasserdicht	sehr hoch	
Gasbeton	wasserempfindlich	gering	
Kalkputz	wasserempfindlich	gering	
Zementputz	wasserdicht	mittel	
Kalksandstein	wasserempfindlich	hoch	
Fassadenfarben			Verschmutzungsresistenz, Grünbewuchs
Silikatfarben (rein)	schlecht	gering	mässig
Organo-Silikatfarbe	gut oder mässig	gering	mässig-gut
Silikonfarbe acrylmod.	ausgezeichnet	gering	ausgezeichnet ("Lotus")
Pliolite-Fassadenfarbe	sehr gut	mittel	gut - sehr gut
Aussendispersion	sehr gut	mittel	gut
Betonschutzfarbe	sehr gut	sehr hoch	gut



Spezielle Eigenschaften der Untergründe

In jedem Falle müssen noch die speziellen Eigenschaften der Untergründe mitberücksichtigt werden:

- Abbindezustand, Festigkeit, Carbonatisierungsgrad
- Feuchtigkeit
- Saugfähigkeit, Kapillarität
- Sauberkeit, Temperatur etc.

Gasbeton (15 cm): wasserempfindlich / geringer Dampf Widerstand

Der niedere Dampf Widerstand von 0,2 - 0,3 verbietet das Aufbringen von "relativ" dichten Beschichtungen (z.B. Betonschutzfarbe oder Kunststoffputz). Auch ein 2-facher Aussendispersionsanstrich mit einem Dampf Widerstand von etwa 0,3 - 0,5 ist nicht unbedingt zu empfehlen, da bei einer allfälligen Durchfeuchtung des Gasbetons das Wasser nicht schnell genug entweichen kann! Ideal sind acrylmodifizierte Silikonmattfarben oder gut schlagregendichte Organo-Silikatfarben!

Beton armiert (25 cm): wasserdicht / sehr hoher Dampf Widerstand

Stahl-Beton empfindlich ist er gegenüber atmosphärischen Gasen wie CO₂ und SO₂, welche über die Neutralisierung resp. Carbonatisierung des Betons das Armierungseisen durch Korrosion gefährden. Der sehr hohe Dampf Widerstand des Beton ($d_{\text{Beton}} = \text{ca. } 4 - 10$) erlaubt auch das Aufbringen von hoch dampf- und gasdichten Anstrichen, die aus Gründen des Betonschutzes unbedingt notwendig sind.

Selbst 2K-PUR-Fassadenfarben (DWZ ca. 25000) mit 100 Mikron Schichtdicke haben einen geringeren Dampf Widerstand ($d_{\text{2K-PUR}} = 25'000 \times 0,0001 \text{ m} = 2,5$) als die 25 cm dicke Betonmauer.

Ein atmungsaktiver Anstrich (mit Silikat- oder Silikonfarbe) ist bei Stahlbeton fehl am Platz (v.a. bei Betonsanierungen). Betonteile ohne wichtige statische Funktion wie Trennmauern etc. (nur wenig Armierungseisen im Innern) können praktisch beliebig gestrichen werden.

Kalkputz (2 cm): wasserempfindlich / niedriger Dampf Widerstand

Zur Erhaltung der Eigenfestigkeit benötigt ein sich ständig umwandelnder Kalkputz genügend CO₂ und Luftfeuchtigkeit. Infolge der Wasserempfindlichkeit des Kalkes (auch Ausblühgefahr) kommt nur ein hochdampf- und gasdurchlässiger, gut schlagregendichter und hydrophobierender Anstrich in Frage (z.B. acrylmod. Silikonfarbe, jedoch keine nicht schlagregendichten Silikatfarben).

Unter einem zu früh aufgetragenen relativ dichten Dispersionsanstrich kann ein kalkreicher Putz "ersticken"; d.h. er erhält zu wenig CO₂ und Wasserdampf (notwendig zur Carbonatisierung).

Kalkzementputz (2-3 cm): wasserdicht / mittlerer Dampf Widerstand

Problemloser und heute auch fast häufigster Untergrund; mit praktisch allen Anstrichsystemen ausser Betonschutzfarbe beschichtbar!

Kalksandstein (KS): wasserempfindlich / hoher Dampf Widerstand

KS wird von Fließwasser durchfeuchtet; die hohen Calciumanteile (aus dem Löschkalk) geben zu den bekannten Ausblühungen Anlass. Mit CO₂ und SO₂ aus der Luft bilden sich Ausblühungen in Form von Gips (Calciumsulfat) und Kalk (Calciumkarbonat).

Aufgrund des hohen Dampf Widerstandes dürfen praktisch alle schlagregendichten Fassadenfarben (ausser 2K-PUR) gestrichen werden.

Sandstein: wasserempfindlich / hoch dampfdurchlässig

Der wasserempfindliche Sandstein benötigt einen hoch dampfdurchlässigen Anstrich mit guter Schlagregendichtigkeit (Silikonharzfarbe oder schlagregendichte Organo-Silikatfarbe).

Alte Dispersionsanstriche und Kunststoffputze

Eine Begutachtung des Mauerwerksaufbaus (Abschätzung des Dampf Widerstandes und der Durchfeuchtungsgefahr) ist notwendig, um grundsätzlich die Option von "mässig dichten" Dispersions- oder Polymerisatharzfärbungen zu können!

Wichtige Argumentation: Mit hoch atmungsaktiven acrylmod. Silikonfarben wird der Dampf Widerstand des gesamten Schichtaufbaus möglichst wenig erhöht !!

Ideal sind acrylmodifizierte Silikonharzfarben (ev. auch binderreiche Organosilikatfarben). Reine Silikat- und Silikonfarben sind wegen mangelnder Haftung unzulässig!

Die Fassaden-Anstrichstoffe

Fassadendispersionen

- mässig dampfdurchlässig ($d_s = 0,1-0,2$)
- sehr gut schlagregendicht und hochwetter- und kreidungsresistent
- gut dauerelastisch und rissüberbrückend
(am besten von allen Fassadenfarben)
- die "grossen" Binderkügelchen (sogen. Dispersionsform) bewirken: kein Eindringvermögen (auch bei Verdünnung), ausgeprägte Schichtbildung, kaum Aufhell- oder "Modeling-Effekte"

Fassadenfarben "Pliolite"

- sehr ähnlicher Aufbau wie Dispersionen (etwas höhere PVK), daher auch sehr ähnliche Beständigkeiten (Scheuerfestigkeit; Kreidungsresistenz, Farbtonhaltung etc.)
- meist etwas dampfdurchlässiger
- das Acrylharz ist echt in Terpentinersatz gelöst; die viel kleineren Bindemittelteilchen bewirken: sehr gute Penetration und Haftung (gute Grundierwirkung)
- Achtung: der Bindemittelzug auf saugfähigen (nicht grundierten) Untergründen verursacht u.U. starke Aufhelleffekte und verfrühte Kreidungseffekte
- Die Versuchung, den Tiefengrund einzusparen (ev. 1. Anstrich mit 20% Tiefgrund zu verdünnen), erscheint verführerisch und clever, doch bei starker Saugfähigkeit kann 50%-70% des Bindemittels wegschlagen (daher stammen auch die Vorstellungen des Selbstreinigungseffektes bei den Pliolite Fassadenfarben)

Betonschutzfarben

- ähnlich 1K-Bodenfarben auf Polymersatharzbasis
- hohe Dampf- und CO₂-Dichtigkeit

Silikonharzfarben

- sehr hohe Dampfdurchlässigkeit
- ausgezeichnet schlagregendicht und hydrophobierend (wasserabstossend)
- daher äusserst geringe Verschmutzung und beste Befallsresistenz gegenüber Pilzen, Algen, Moosen und Flechten (Lotus-Effekt)
- **reine** Silikonfarben (ohne Acrylbinder) zeigen ein sehr mässiges Pigmentbindevermögen (nicht nassscheuerfest, nur begrenzte Farbtonwahl- und -beständigkeit, nur auf mineralische Untergründe)
- **acrylmodifizierte** Silikonfarben (mit 30-40% Acrylanteil) sind gut scheuerfest, zeigen ein sehr gutes Pigmentbindevermögen und können auch auf alte Kunststoffputze und Dispersionsanstriche aufgetragen werden
- ideal für Renovationsanstriche vor wärme gedämmten Fassaden

Silikatfarben (Mineralfarben)

- mikroporöser Filmaufbau; chemische Reaktion mit dem mineralischen Untergrund (Kalk, Sand) durch Verkieselung
- ausgezeichnete Dampfdurchlässigkeit
- nicht schlagregendicht: wasserempfindliche Untergründe werden durchfeuchtet (Wärmedämmverlust; erhöhte Verschmutzung, Pilz- und Algenbefall etc.)
- Einsatz im Heimat- und Denkmalschutz (Durchfeuchtung, dunkle Fleckenbildung erwünscht)

Organo-Silikatfarben

- bestimmte Typen mit hohem Binderanteil gelten als mehr oder weniger schlagregendicht (techn. Merkblatt beachten!)

Die Eignung der Fassadenfarben auf den verschiedenen mineralischen Untergründen

In der folgenden Tabelle wird die Eignung der Fassadenfarben auf den möglichen Untergründen bewertet:

+++ : bestens geeignet ++ : gut geeignet + : bedingt geeignet - : nicht geeignet

Berücksichtigt werden nur die Kriterien: **- Wasserdampfdurchlässigkeit (Dampfwiderstand)**
- Wasserempfindlichkeit resp. Schlagregendichtigkeit

Das heisst, dass wir nun ableiten können, welche Fassadenfarben überhaupt auf welche Untergründe gestrichen werden dürfen unter Berücksichtigung dieser bauphysikalischen Kriterien.
 Andere wichtige Eigenschaften wie Verschmutzungsanfälligkeit, Befallsresistenz gegen Grünbewuchs, Elastizität (Rissüberbrückung), Farbtonauswahl, Pigmentbindevermögen, Beständigkeitseigenschaften, persönliche Vorlieben für bestimmte Produkte etc. werden berücksichtigt, wenn mehrere Varianten zur Verfügung stehen.

	Stahl-Beton	Beton norm.	Gas-beton	Zement-putz	Kalk-putz	KS	<i>Renovation von:</i>	
							Kunst-stoffputz	Disper-sion
Aussendispersion	+	+++	+ / -	+++	+ / -	+++	+ / +++	+ / +++
Fassadenfarbe ("Pliolite" Ism.haltig)	+	++	+ / -	+++	+ / -	+++	++ / +++	++ / +++
Betonschutzfarbe (auch 2K-PUR-Antigrafiti)	+++	+++	-	+	-	++	-	-
Silikatfarbe rein (nach Keim)	-	++	-	+++	-	-	-	-
Organo-Silikatfarbe (nicht schlagregendicht)	-	++	-	+++	-	-	-	-
Organo-Silikatfarbe (schlagregendicht)	-	++	++	+++	+++	+++	++	++
Silikonfarbe acrylmod.	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++

Stahlbeton (*wasserdicht / sehr hoher Dampfwiderstand*) muss möglichst dampf- und CO₂-dicht gestrichen werden, damit der Beton oberflächlich nicht neutralisiert wird und das Armierungseisen korrodieren kann. Betonschutzfarben (DWZ > 5000) sind seidenmatte bis seidenglänzende Polymerisatharzfarben (in Frage kommen auch Bodenfarben oder Seidenglanz-Dispersionen).

Normaler **Beton** ohne Gefahr von Korrosionsschäden (auch Sichtbeton) kann prinzipiell mit allen Typen von Fassadenfarben gestrichen werden; rel. dampfdichte Dispersions- oder Fassadenfarben sind aber empfehlenswert.

Gasbeton, wie z.B. Ytong und **Kalkputz** (*wasserempfindlich / niedriger Dampfwiderstand*) dürfen nur mit gut schlagregendichten und gut dampfdurchlässigen Fassadenfarben gestrichen werden.

Zementputz (*wasserdicht / mittlerer Dampfwiderstand*) ist auf den nicht wärme gedämmten Fassaden der häufigste Untergrund, welcher ausser der Betonschutzfarbe (zu dicht) ebenfalls mit allen Varianten beschichtbar ist.

Kalksandstein (*wasserempfindlich / hoher Dampfwiderstand*) kann aufgrund des hohen Dampfwiderstandes mit praktisch allen schlagregendichten Fassadenfarben gestrichen werden!

Beim Renovationsanstrich von Kunststoffputz oder Dispersionsanstrichen wird oft wieder mit einer Dispersion gearbeitet; es gilt aber zu bedenken, dass z.B. ein 2-facher Anstrich den Dampfwiderstand rel. stark erhöht!

Mit dem Argument, die **Atmungsaktivität möglichst wenig zu begrenzen**, empfiehlt sich aber der Einsatz einer hoch dampfdurchlässigen acrylmod. Silikonfarbe!

Anstrichschäden durch Ausblühsalze

Was sind Salze im chemischen Sinne?

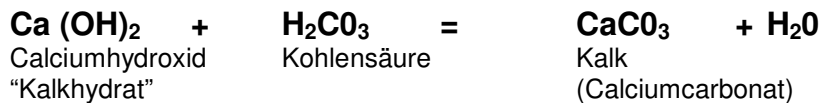
Im chemischen Sinne sind Salze die Neutralisationsprodukte, wenn Säuren mit Laugen (oder umgekehrt) neutralisiert werden. Dies kann am Beispiel des echten "Salzes", nämlich des Kochsalzes, welches die Suppe würzt, veranschaulicht werden:



Aus den beiden sehr giftigen und ätzenden Substanzen Salzsäure und Natronlauge entsteht durch die Neutralisation das uns allen bekannte, ungiftige Kochsalz. Im Wasser gelöst, ist das Kochsalz völlig unsichtbar; wenn jedoch Wasser abgedampft wird oder verdunstet, beginnt sich bei Erreichen der Sättigungsgrenze das Kochsalz in Form von weisslichen Kristallen auszuscheiden.

Auch die uns interessierenden bauschädlichen Salze sind mehr oder weniger gut wasserlöslich. Wenn die Löslichkeitsgrenze überschritten ist resp. die Sättigung erreicht ist, scheiden die verschiedenen Salze je nach chemischer Zusammensetzung in kristalliner oder amorpher Form (z.B. pulverförmig) aus.

Ein weiteres bekanntes Beispiel ist das Calciumcarbonat, auch Kalkstein oder nur Kalk genannt:



Die Lauge ist das **Calciumhydroxid**, auch Kalkhydrat, Kalkmilch oder gelöschter Kalk genannt und stellt die reaktive Komponente der Kalkfarbe oder der Kalkputze dar. Die Neutralisationsreaktion mit der Kohlensäure H_2CO_3 (entstanden durch Lösen von CO_2 aus der Luft in Wasser) wird als Carbonatisierung bezeichnet; das bei diesem Prozess entstehende Salz ist der Kalk oder das Calciumcarbonat (ausgehärtete Form des anorganischen Bindemittels Kalkhydrat). Kalk als anorganisches Bindemittel (wie Wasserglas, Zement und Gips) ist eigentlich ein bindendes Salz, das aber in bestimmten Fällen zu unschönen Ausblühscheinungen führen kann!

Was sind Ausblühsalze resp. bauschädliche Salze?

Als Ausblühsalze bezeichnen wir wasserlösliche Salze, die bei ihrer Kristallisation an Mauerwerken, Putzschichten oder Anstrichen zu Schäden und optischen Beeinträchtigungen führen.

Als Sammelbezeichnung für alle salzartigen Ausblühungen wird in der Umgangssprache oft der Begriff Mauersalpeter oder auch nur "Salpeter" verwendet!

Im engeren Sinne versteht man unter Salpeter die Umwandlungsprodukte von Kalk mit Ammoniak (Ausdünstungen in Viehställen) oder von Kalk mit aufsteigender Feuchtigkeit, welche mit Jauche, Fäkalien oder Dünger versetzt ist. Dabei entstehen Salze der Salpetersäure, welche chemisch als Nitrate bezeichnet werden. Echte Salpeterausblühungen (hauptsächlich Calciumnitrat und Calcium-Ammonium-Nitrat) kommen praktisch nur bei landwirtschaftlich genutzten Gebäuden wie Tierställen vor.

Uebersicht der wichtigsten Ausblühsalze:

- **Sulfate** (Salze der Schwefelsäure): CaSO_4 (Gips), MgSO_4 (Bittersalz), Na_2SO_4 (Glaubersalz)
- **Carbonate** (Salze der Kohlensäure): CaCO_3 (Kalk), K_2CO_3 (Pottasche), Na_2CO_3 (Soda)
- **Chloride** (Salze der Salzsäure): CaCl_2 (Frostschutzmittel für Zement), NaCl (Kochsalz)
- **Nitrate** (Salze der Salpetersäure): $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (Calciumnitrat), $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 - \text{NH}_4\text{NO}_3$ (Kalksalpeter)

Die Herkunft der Ausblühsalze

Die Frage nach der Entstehung der schädlichen Salze eröffnet uns, dass diese auf die unterschiedlichste Art in die Baustoffe gelangen.

Eigensalze: Salze, welche sich im Baustoff selber befinden

Durch natürliches Vorkommen in Sand, Ton, Kalkstein und anderen Zuschlagstoffen können Bausteine und Baustoffe (Ziegel, Back-, Mauer-, KS-Steine, Sichtbausteine, Fugenmörtel, Putze etc.) eigene Salze enthalten. Bei allfälliger Durchfeuchtung kann es zu entsprechenden Ausblühungen kommen.

Sichtbausteine, Mauer- und Ziegelsteine können je nach Zusammensetzung und Brenntemperatur unterschiedliche Mengen an Salzen enthalten.

An Sichtmauerwerken sieht man oft, dass ganze Partien oder auch nur einzelne Sichtmauersteine ausblühen.

(Bild 1: weisse Sulfatausblühungen an Sichtbausteinen)



Sanierung (oft im Werkvertrag enthalten: Ausführung nach ca. 1 Jahr, wenn die Hauptmenge der Salze ausgeblüht ist): **Salze restlos entfernen (abbürsten) und 2 mal mit einer Silikonimprägnierung einlassen!**

Fremdsalze: - a) Salze, welche von aussen mit Wasser in den Baustoff gelangen - b) Salze als Folge von funktionellen Zusätzen zu Beton, Putz und Mörtel

a) Dies sind Salze, welche von aussen mit Hilfe kapillarer Feuchtigkeitsaufnahme in den Baustoff gelangen; z.B. durch Salzaufnahme aus dem Erdreich durch aufsteigende Mauerfeuchtigkeit. Vor allem ältere Gebäude mit fehlender oder unwirksamer Horizontalisolierung und Fundamentabdichtung durch Bitumenbeschichtung können auf diese Art beträchtliche Salzmenge aufnehmen (auch Streusalz oder Salpeter aus Jauche und Dünger im Sockelbereich). Das **Bild 2** zeigt Ausblühsalze im Sockelbereich, wie sie auf einem mineralischen (porösen) Fertigputz oder einem Silikat-anstrich vorkommen können!



b) Sehr gefährlich können sich **Additive auswirken, welche zur Verbesserung der Verarbeitungseigenschaften** oder zur Modifizierung bestimmter Eigenschaften den mineralischen Baustoffen beigemischt werden:

- **Calciumchlorid (auch Soda oder Wasserglas)** beschleunigt das Abbinden von zementhaltigen Baustoffen; wird im Winter auch als Frostschutzmittel zugesetzt
- **Gips, Anhydrit** (oder org. Säuren) wirken als Abbindeverzögerer, indem sie einen Teil des zur Erhärtung notwendigen Anmachwassers blockieren. Gips kann zur Bildung des sehr gefährlichen Ettringits (Zementbazillus) führen. Bei der Bildung dieses Salzes vergrössert sich das Volumen um das 6-fache.
- **Luftporenbildner (Metallseifen, Sulfonate)** bilden einen feinen Schaum; dieser erniedrigt den innern Reibungswiderstand, was eine bessere Pumpbarkeit (in Schläuchen) von Putzen und Beton ermöglicht!
- **Dichtstoffe (auf Silikat- oder Metallseifenbasis wie z.B. Al- oder Zink-Stearat)** wirken hydrophobierend, können bei Säure (SO₂)- oder Alkalieinwirkung zu unerwünschten Salzbildungen beitragen!

Solche Zusätze werden oft leichtsinnigerweise den Putzen, Mörteln oder dem Beton auf der Baustelle durch die Arbeiter zugesetzt, um die Applikation zu erleichtern oder überhaupt zu ermöglichen (bei widrigen Bedingungen)!

Ausblühungen, Ausschwitzungen und Haftungsprobleme von nachfolgenden Anstrichen können die unliebsamen Folgen sein. Bei solchen Schadenfällen, wo die Ursachen sehr schwer zu eruieren sind, wird die Schuld unkorrekterweise oft dem Maler in die Schuhe geschoben.

Nach der alten DIN-Norm 18363 müssten dem Malermeister und Architekten alle Zusätze bekanntgegeben werden!

Umwandlungssalze: bilden sich durch Einwirkung von Fremdstoffen

Am bedeutungsvollsten sind die Salze, welche sich mit Stoffen aus der Atmosphäre bilden:

Schwefeldioxid	SO ₂	:	SO ₂	+	H ₂ O	=	H ₂ SO ₃	schweflige Säure
Kohlendioxid	CO ₂	:	CO ₂	+	H ₂ O	=	H ₂ CO ₃	Kohlensäure
Stickoxyde	NO _x	:	NO ₂	+	H ₂ O	=	HNO ₃	Salpetersäure
Ammoniak	NH ₃	:	NH ₃	+	H ₂ O	=	NH ₄ OH	Ammoniumhydroxid

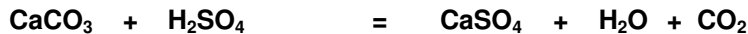
Alle diese Stoffe sind ja Gase, die sich zuerst in Wasser lösen müssen, um in die reaktionsfähige Säureform übergeführt zu werden. Das Kohlendioxid CO₂ spielt auch eine sehr wichtige Rolle bei der Aushärtung der Kalkfarben und Kalkputze. Diese sog. Carbonatisierung kann aber nur ablaufen, wenn die Untergründe genügend feucht sind resp. Wasser enthalten, damit das CO₂ überhaupt aufgenommen werden kann.

Das **Calciumhydroxid Ca(OH)₂**, das die reaktive Form des Bindemittels "Kalk" darstellt, ist relativ gut wasserlöslich und bildet bei frischen mineralischen Baustoffen wie Beton, Kalkzementputzen, KS, Eternit, Fugenmörtel etc. ein grosses Reservoir an **Ca²⁺ - Ionen**, welche bei allfälliger Durchfeuchtung als Hauptreaktionspartner zur Bildung von Ausblühsalzen zur Verfügung stehen!!

Bei der Betrachtung der Zusammensetzung der wichtigsten Ausblühsalze wird augenfällig, dass es sich meist um sog. Calciumsalze handelt. Es ist effektiv dieses **Ca²⁺ - Ion**, welches mit den oben aufgeführten Stoffen zu den weit-aus meisten Schäden durch Salzausblühungen führt!

Ca ²⁺	+	SO ₂	+	H ₂ O	=	CaSO ₄	(Calciumsulfat / "Gips")
Ca ²⁺	+	CO ₂	+	H ₂ O	=	CaCO ₃	(Calciumsulfat / Kalkstein)
Ca ²⁺	+	NO ₂	+	H ₂ O	=	Ca(NO ₃) ₂	(Calciumnitrat / Bestandteil "Salpeter")

Das Schwefeldioxid SO₂ und die Stickoxide NO_x führen bekanntlich zur Bildung des "sauren Regens" (siehe oben). Vor allem die aggressive Schwefelsäure H₂SO₄ wandelt die Carbonate in rel. gut wasserlösliche Sulfate um:



Es sind nun vor allem die kalkgebundenen Baustoffe (Kalksandstein, Kalkzementputze, Fugenmörtel, Eternit etc.), welche durch diese Säuren angegriffen werden.

Das **Bild Nr. 3** (rechts) zeigt eine Kalksandsteinmauer mit einem Dispersionsanstrich (ohne Tiefengrundierung); dieser wird durch pustelartige Ausblühungen infolge einer Durchfeuchtung des Mauerwerks (an Schadstellen eingedrungenes Wasser) abgedrückt. Bei den Ausblühsalzen handelt es sich v.a. um Calciumcarbonat und Calciumsulfat. Da neuere KS-Steine meist ein beträchtliches Reservoir an Calciumhydroxid enthalten, werden bei einer Durchfeuchtung die Ca²⁺-Ionen gelöst und kapillar an die Oberfläche transportiert, wo sie mit SO₂ und CO₂ aus der Atmosphäre reagieren:



Ca ²⁺	+	SO ₂	+	H ₂ O	=	CaSO ₄	Gips
Ca ²⁺	+	CO ₂	+	H ₂ O	=	CaCO ₃	Kalk

Bei den vorliegenden Ausblühsalzen handelt es sich in der Regel um die Umwandlungssalze Gips und Kalk.

Welchen Schaden richten die Ausblühsalze an?

Bei der Bildung der Salzkristalle an der Verdunstungsoberfläche tritt eine Volumenvergrösserung auf, was zu grossen Kristallisationsdrücken führen kann (ähnlich dem Wasser, welches bei der Eisbildung knapp 10% Volumenzunahme verzeichnet). Auch bei der Salzumwandlung (v.a. durch Schwefelsäure) treten Volumenvergrösserungen auf; mit dieser Umwandlung des Kalksteins als Bindemittel von Putzen, Mörtel, Kalkanstrichen etc. sind auch die Schäden an ungeschützten Kalksandstein- und Sandsteingebäuden verbunden.

Die bei der Salzkristallbildung auftretenden Volumenausdehnungen und Drücke können zur oberflächlichen Zermürbung des Baustoffes, zu Absprengungen und zu Ablätterungen von Beschichtungen führen!

Die Erscheinungsformen der Ausblühsalze

Voraussetzung für die Bildung von Ausblühsalzen ist immer das Vorhandensein von Wasser, welches von den meisten mineralischen Baustoffen kapillar aufgesogen werden kann. In Baustoffen mit kapillarer Struktur können gelöste Salze über weite Strecken transportiert werden.

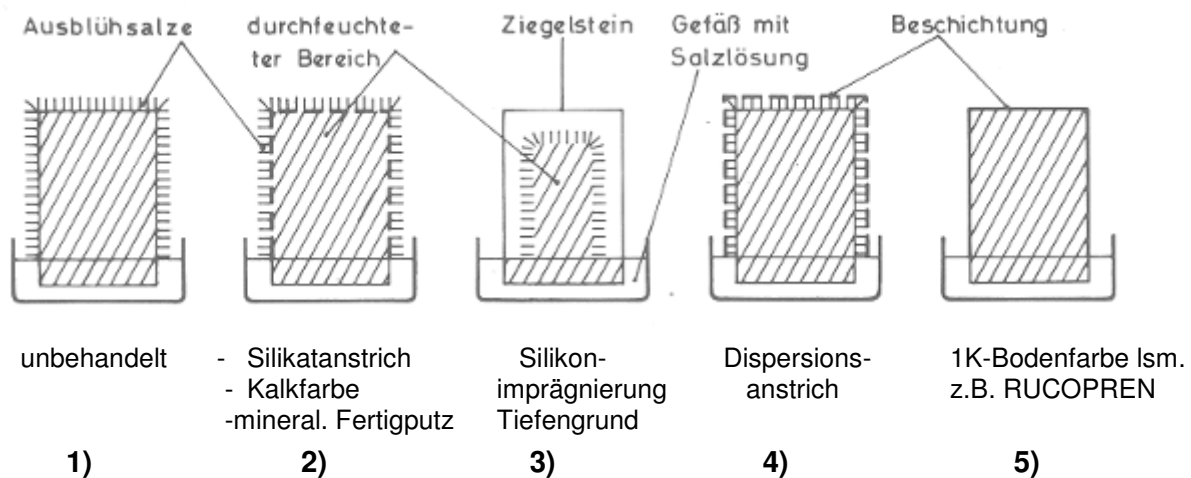
Ausblüheffekte treten immer im Zusammenspiel mit Durchfeuchtungen auf!

Den Vorgang der kapillaren Wasseraufnahme und die Salzausscheidung ("Ausblüfung") kann durch einen Blumentopf mit Erde veranschaulicht werden; wenn anstelle von Wasser mit einer Kochsalzlösung gegossen wird, kann man schon nach wenigen Tagen dicke Schichten des ausgeblühten Salz auf der Aussenseite feststellen!

Interessant ist es natürlich zu wissen, was passiert, wenn ein saugender Baustoff mit unterschiedlichen Anstrichen resp. Oberflächenbehandlungen versehen wird:

- **"Poröse"** Beschichtungen wie Silikat- und Kalkanstriche, mineralische Fertigputze etc. sind für **Wassermoleküle und gelöste Salzionen durchlässig** resp. permeabel, d.h. die Salzablagerung findet an der Oberfläche statt!!
- **filmbildende** Beschichtungen wie Dispersionen, Kunstharz- und 2K-Lacke, Bodenfarben etc. gelten als halbdurchlässig resp. semipermeabel, d.h. Wassermoleküle können diffundieren (gemäss dem sog. Dampfdiffusionskoeffizient), die gelösten Salzionen jedoch nicht, da diese viel grösser als die Wassermoleküle sind. Die Salzablagerungen erfolgen zwischen Baustoff und Anstrich, was zu den bekannten Abblätterungen führt.

Das Verhalten von diverser Oberflächenbehandlungen auf saugenden Mauersteinen



Im Modelversuch wurden die saugenden, porösen Mauersteine in Gefässe mit einer Natriumsulfatlösung gestellt. Je nach Art der Oberflächenbehandlung äussern sich die Ausblühungen in ganz verschiedenen Formen:

- 1) Der **"unbehandelte"** Mauerstein nimmt die Salzlösung kapillar auf und überzieht sich an der Oberfläche, wo das Wasser ungehindert wieder verdunsten kann mit einer ausgeprägten Schicht von Salzkristallen!
Beispiel: Bild 1 (Sichtmauersteine)
- 2) Der **Silikatanstrich** ist so grobporös, dass auch die gelösten Salze durch den Anstrich wandern können und auf dessen Oberfläche auskristallisieren. Die gleiche Erscheinung kann bei Kalkanstrichen und rein mineralischen Fertigputzen festgestellt werden.
Beispiel: Bild 2 (Ausblüfung auf der Oberfläche von mineralischem Fertigputz / oder Silikatanstrich)
- 3) Die **Silikonimprägnierung** macht die Oberfläche unbenetzbar für Wasser (wirkt hydrophobierend); die gelösten Salze können nicht mehr an die Oberfläche gelangen und lagern sich im Innern des Steines ab!!
- 4) Der **Dispersionsanstrich** (ohne Tiefgrund) zeigt ausgeprägte (filmbildende) Schichtbildung, da die "grossen" Binderteilchen praktische keine Grundier- und Imprägnierwirkung aufweisen. Die Diffundierbarkeit für die kleinen Wassermoleküle ist sehr gut, die gelösten (zu grossen) Salzionen können jedoch nicht passieren, was ein **Auskristallisieren der Salze zwischen Anstrich und Untergrund** zur Folge hat (Anstrichablösungen)!
Beispiel: Bild Nr. 3 : Abdrücken eines Dispersionsanstrichs (ohne Tiefgrund) auf KS-Mauerwerk
- 5) Der **schichtbildende Anstrich mit lösemittelbasierten Lacken**, z.B. RUCOPREN, 2K-PUR-Lacke, welche aufgrund der einzeln gelösten Bindemittelmoleküle ein gutes Grundier- und Penetrationsvermögen aufweisen, neigen deshalb viel weniger zu Ausblühungs- und Abblätterungserscheinungen als die Dispersionanstriche!

Wie können Ausblühungen verhindert und saniert werden

Diese wichtigen Tatsachen müssen wir uns immer vor Augen halten:

- Salzlösungen entstehen nur bei Vorhandensein von Wasser (Durchfeuchtung)
- Aus dem Erdreich kann die Feuchtigkeit i.d.R. maximal bis zu einem halben Meter oder knapp darüber kapillar aufsteigen; die Schwerkraft und die unregelmässige Kapillarstruktur verhindern eine grössere Steighöhe; Sanierungen im Sockelbereich können daher auf max. 1 Meter über Boden begrenzt werden!
- In vertikaler Richtung kann Wasser über viele Meter kapillar wandern; Fehlstellen, Risse etc. in Anstrichen und Beschichtungen an Fassaden müssen unbedingt saniert werden!

Bekämpfung von Ausblühschäden:

Alle Massnahmen, welche eine Durchfeuchtung verhindern und welche den kapillaren Wassertransport an die Oberfläche des Beschichtungsträgers verhindern (Tiefengrundierungen, farblose Einlassgrundierungen für Böden; Silikonimprägnierungen etc.)!

Die farblosen Einlassgrundierungen und Imprägnierungen verengen, verschliessen oder hydrophobieren die Poren resp. Kapillaren der Oberflächen der mineralischen Baustoffe in einer Tiefe von 1 - 3 mm derart, dass das Wasser mit den gelösten Salzen gar nicht mehr an die Oberfläche gelangen kann. Dies ist der beste Garant gegen Fröschäden wie Anstrichabblätterungen aufgrund von Salzausblühungen!

- Wichtig:**
- * Bei Dispersionsanstrichen an Fassaden den Tiefengrund **nicht** wegrationalisieren!
 - * Bei Boden- und Balkonanstrichen gibt der RUCOPUR 1K-Sealer optimale Sicherheit!

Sanierung von Anstrichschäden infolge von Salzausblühungen

Aufsteigende Mauerwerksfeuchtigkeit

Bautechnische Massnahmen (rel. aufwendig)

- Sickerleitung, Fundamentisolation (Bitumenanstrich)
- Horizontalsperre (hydrophobierende Injektionen)

Anstrichtechnische Massnahmen

Bild Nr 2 (Silikatanstrich oder mineralischer Fertigputz):

- Salze restlos entfernen (wenn möglich); 2 mal Silikonimprägnierung
- Salze abürsten; 1 mal Tiefengrund Ism.(bis auf 1m Höhe 2 mal); 1 Anstrich Silikon- oder Org.silikatfarbe

Bild Nr 4 (abblätternder Kunststoffputz; auch im Fall von abblätternden Dispersionsanstrichen)

- Kunststoffputz resp. Dispersionsanstrich bis auf ca. 50 cm Höhe restlos entfernen
- 2 mal Tiefengrund Ism.; neuer KS-Putz aufziehen resp. Neuanstrich mit acrylmod. Silikonfarbe (atmungsaktiv)

Bild Nr 4

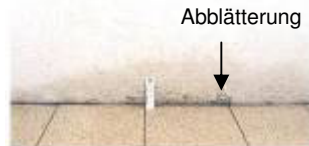


Bild Nr 2



Salzbildung und abblätternder Anstrich auf KS-Mauersteinen

Wenn KS-Steine mit Dispersionsanstrichen (ohne Tiefengrund) versehen werden, ist die Gefahr von Abblätterungen infolge von Salzausblühungen sehr gross, wenn Durchfeuchtungen (v.a. an Fugen etc.) nicht verhindert werden können!

- Sanierung:**
- vollständige Entfernung des Anstrichs (v.a. wenn kein Tiefgrund)
 - Ausbesserung der Mauerwerksfugen (mit wasserdichtem Mörtel)
 - 1 mal satt Tiefengrund Ism.; Neuanstrich mit Dispersion oder Fassadenfarbe auf Lösemittelbasis (gute Grundier- und Imprägnierwirkung)



Wichtiges Prinzip: Dispersionsanstriche, welche durch Salzausblühungen abgestossen werden, sollten immer möglichst flächig entfernt werden, um eine gute nachfolgende Imprägnierung zu gewährleisten (mit einem farblosen Tiefen- oder Einlassgrund)!

Fluate: Diese Lösungen von Kieselflussäuresalzen bilden oberflächlich mit Calciumionen wohl unlösliche Calcium-**Fluorosilikate**; bei fehlender farbloser Imprägnierung muss bei Durchfeuchtung aber früher oder später mit erneuten Ausblühungen gerechnet werden (Calciumionen aus tieferen Lagen)!