

DIN EN 17891



ICS 71.060.01; 97.195

Einsprüche bis 2022-09-15

Entwurf

**Erhaltung des kulturellen Erbes –
Entsalzung poröser anorganischer Materialien durch den Einsatz von
Kompressen;
Deutsche und Englische Fassung prEN 17891:2022**

Conservation of cultural heritage –
Desalination of porous inorganic materials by poultices;
German and English version prEN 17891:2022

Conservation du patrimoine culturel –
Dessalement des matériaux inorganiques poreux par application de compresses;
Version allemande et anglaise prEN 17891:2022

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2022-07-15 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nabau@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 59 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 17891:2022) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 346 „Erhaltung des kulturellen Erbes“ erarbeitet, dessen Sekretariat von UNI (Italien) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-01-36 AA „Erhaltung des kulturellen Erbes (SpA zu CEN/TC 346)“ im DIN Normenausschuss Bauwesen (NABau).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

**Erhaltung des kulturellen Erbes – Entsalzung poröser anorganischer Materialien
durch den Einsatz von Kompressen**

Conservation of cultural heritage – Desalination of porous inorganic materials by poultices

Conservation du patrimoine culturel – Dessalement des matériaux inorganiques poreux par application de compresses

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Symbole und Abkürzungen	8
5 Grundsätze der Entsalzung durch den Einsatz von Kompressen	8
5.1 Allgemeines	8
5.2 Advektionsbasierte Verfahren der Kompressenentsalzung	10
5.3 Diffusionsbasierte Verfahren der Kompressenentsalzung	10
6 Prüfeinrichtung	10
7 Methodik für die Bestimmung der Betriebsparameter	11
7.1 Allgemeines	11
7.2 Auswahl des Bestandteils/der Bestandteile der Kompresse(n)	11
7.3 Formulierung und erforderliche Eigenschaften von Kompressen	11
7.4 Zubereitung von Kompressen durch Zugabe von Wasser	12
7.5 Beurteilung der Wirksamkeit anhand von Versuchen	12
7.5.1 Allgemeines	12
7.5.2 Messung der Ionenmenge, die vom Untergrund auf die Kompressen übertragen wurde	13
7.5.3 Messung des vom Untergrund übertragenen Ionengehalts vor und nach der Entsalzung	13
8 Entsalzungsprozess	13
8.1 Umgebungsbedingungen bei der Anwendung	13
8.2 Vorbereitung des Untergrunds	13
8.3 Aufbringen der Kompresse	14
8.3.1 Allgemeines	14
8.3.2 Dicke der Kompresse	14
8.3.3 Dauer des Aufbringens	14
8.3.4 Entfernen der Kompresse	15
8.4 Anzahl der Anwendungen	15
9 Prüfbericht	15
Anhang A (informativ) Entsalzungskompressen	17
A.1 Lehmmaterialien	17
A.2 Cellulose- und Holz-Materialien	17
A.3 Gelbildungsmaterialien, wässrig, nicht-wässrig, und gemischte Gele	17
Anhang B (informativ) Advektions- und Diffusionsprozess	19
B.1 Advektion	19
B.2 Diffusion	19
Anhang C (informativ) Verarbeitbarkeit und Beschaffenheit: Ausbreitversuch (EN 459-2:2001) Kegeleindringversuch (EN 413-2:1994) von Kompressen	21
Anhang D (informativ) Identifizierung von Salzspezies oder –Ionen nach EN 16455	22
Anhang E (informativ) Anzahl der Anwendungen	23
E.1 Allgemeines	23
E.2 Versuchsprüfung zur Entfernung von Ionen aus einer Ziegelmauerwerkswand	23
E.3 Versuchsprüfung: Fallstudie an der Oberfläche eines Wandgemäldes	24
Literaturhinweise	26

Bilder

Bild 1 — Entsalzung durch den Einsatz von Kompressen	9
--	---

Bild 2 — Schematische Darstellung der Transportmechanismen (d. h. Diffusion und Advektion), durch die Ionen in wässriger Lösung von einem Untergrund in eine Kompresse wandern können, in Abhängigkeit vom Porengrößenbereich des Untergrunds im Vergleich zu dem der Kompresse (aus Pel, Heritage und Voronina [5])	10
Bild E.1 — Menge der Chloride, die nach jeder Anwendung in der Fläche P entfernt wurde [10] .	24
Bild E.2 — Spezifische Leitfähigkeit und Menge der Salzionen, die nach jeder Kompressenanwendung entfernt wurde [9]	25

Tabellen

Tabelle C.1 — Bereich der Übereinstimmung zwischen der Verarbeitbarkeit und dem Wassergehalt für die Hauptverbindungen von Kompressen	21
--	-----------

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 17891:2022) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 346 „Erhaltung des kulturellen Erbes“ erarbeitet, dessen Sekretariat von UNI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

Einleitung

Salze treten in Gesteinen und anderen porösen anorganischen Baustoffen häufig als zersetzende Stoffe chemischen, biologischen oder anthropogenen Ursprungs auf. Sie können ihren Ursprung in Oberflächenablagerungen von Umweltschadstoffen, im kapillaren Wassertransport haben, oder aus externen Quellen wie beispielsweise windgetriebenen Meeresaerosolen und dem Material selbst stammen, und können aufgrund früherer, ungeeigneter Restaurierungseingriffe vorhanden sein.

Die am häufigsten in Baustoffen vorkommenden Salze sind Sulfate, Chloride, Nitrate und Carbonate der Kationen Natrium, Kalium, Ammonium, Calcium und Magnesium. Häufig kommen die Sulfate Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), Mirabilit ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) und Thenardit (Na_2SO_4), Epsomit ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) vor, sowie andere Hydrate, die Chloride Halit (NaCl) und Sylvit (KCl), die Nitrate Salpeter (KNO_3) und Natronsalpeter (NaNO_3) und die Carbonate Thermonatrit ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) und Trona ($\text{Na}_3\text{H}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Weniger häufig können Doppelsalze beobachtet werden, z. B. Aphthitalit ($\text{K}_3\text{Na}(\text{SO}_4)_2$), Carnallit ($\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). In geringem Maße können Phosphate und Nitrite festgestellt werden.

Im Allgemeinen sind mehrere Arten löslicher Salze nebeneinander vorhanden, und die vorliegenden ionischen Spezies können in Abhängigkeit von den Bedingungen miteinander reagieren, so dass komplexe Salze gebildet werden, oder können zu Kristallisationserscheinungen innerhalb und/oder auf dem Untergrund des Objekts führen.

Salze können den Stoffaufbau poröser anorganischer Materialien schädigen und zu verschiedenen Zersetzungsmorphologien führen, die mitunter einen erheblichen Materialverlust an dem Objekt verursachen. Darüber hinaus haben wasserlösliche Salze einen Einfluss auf Konservierungsmaßnahmen wie z. B. Reinigung, Konsolidierung, Behandlung mit hydrophoben Materialien und Anstreichen oder Verputzen, die sie oftmals behindern. Das Ausmaß des Verfalls und dessen Erscheinungsbild hängen für ein bestimmtes Material von der Art des/der kristallisierenden Salze(s), der Menge des/der vorhandenen Salze(s) und von den Umgebungsbedingungen ab, sowie von der auftretenden Feuchte, die zu Kristallisierungszyklen führt.

Eine Verringerung des Salzgehalts (Entsalzung) ist eine wesentliche Voraussetzung für die Verringerung der Verfallsgeschwindigkeit des Objekts und für den Erfolg und die Dauerhaftigkeit einer Konservierungsmaßnahme. Es wird jedoch auch anerkannt, dass bei einigen Systemen eine Entsalzung bestenfalls lediglich teilweise erfolgreich sein kann.

Entsalzung durch den Einsatz von Kompressen ist eines der gebräuchlichsten Verfahren, die zur Verringerung des Salzgehalts von Objekten angewendet werden.

Der Begriff Entsalzung wird verwendet, um eine Verringerung des Ionengehalts wasserlöslicher Salze statt einer Entfernung aller Salze aus dem Untergrund in der Tiefe zu bezeichnen.

Vor einem Eingriff/einer Anwendung zur Verringerung von Salzen und der durch diese hervorgerufenen Schäden ist es ratsam, eine Untersuchung und maßgebende Eingriffe in Betracht zu ziehen, um das Eindringen von Feuchte als Teil eines ganzheitlichen Konservierungsansatzes zu verhindern.

Entsalzung ist eine Entscheidung, die erst getroffen werden sollte, nachdem Untersuchungsmaßnahmen ergriffen wurden, die alle Aspekte im Zusammenhang mit der Schädigung durch Salze, wie z. B. die Art der vorhandenen Salze, deren Ursprung, deren Menge, Verteilung und Ort sowie die Umgebungsbedingungen berücksichtigen. Angaben zu früher erfolgten Behandlungen sind ebenfalls erforderlich.

Um im Falle einer Innenraumumgebung das Auftreten von Auflösungs-Kristallisierungs-Zyklen aufgrund von Änderungen der relativen Luftfeuchte zu verhindern, wird empfohlen, das Innenraumklima möglichst zu stabilisieren [1].

Wenn alle möglichen Eingriffe zur Verhinderung der anhaltenden Verunreinigung durch Salze in Betracht gezogen und vorgenommen wurden, dürfen Maßnahmen zur Verringerung der Menge des Salzes/der Salze durch einen Prozess der Salzionenextraktion, der auch als „Entsalzung“ bezeichnet wird, ergriffen werden.

ANMERKUNG Um das Vorhandensein von Salzen zu begrenzen, können neben dem Einsatz von Kompressen auch noch weitere Maßnahmen vorgeschlagen werden, wie z. B. die Anwendung von Wasserbädern oder porösem Opferputz oder die Bepflanzung mit halophiler Vegetation, oder die Anwendung sulfatreduzierender Bakterien oder von Kristallisationshemmern oder elektrochemischen Verfahren. Diese Verfahren liegen nicht im Anwendungsbereich dieses Dokuments.

Ausgehend von der vorstehenden Betrachtung beschreibt dieses Dokument ein Verfahren zur Verringerung der Menge löslicher Salze/Ionen, die in einem porösen anorganischen Material vorkommen, durch einen Prozess der Entsalzung mittels Einsatz von Kompressen, und legt die Anforderungen für die Auswahl der Kompressenbestandteile sowie das Verfahren zur Anwendung und Überwachung der Entsalzung fest.

Entsalzung durch den Einsatz von Kompressen bezieht sich auf die Entfernung löslicher Salze, d. h. deren Ionen, aus dem Porensystem poröser anorganischer Materialien, wie z. B. Natursteinen, Ziegelsteinen, Terrakotta, Außen-/Innenputzmörtel und Wandmalereien. Behandlungen können *in situ* oder bei beweglichen Objekten in einer Restaurierungswerkstatt erfolgen.

Derzeit steht eine große Vielzahl von Kompressen in Form von Einzelprodukten und gemischt mit tonhaltigen Materialien (Lehmkompressen, Diatomeenerde, Bentonit, Attapulgit, Sepiolith) zur Verfügung, bei denen schnelle Anwendungsverfahren genutzt werden.

Entsalzung durch den Einsatz von Kompressen beruht auf dem Grundsatz, dass in Wasser gelöste Salze aus den durch Salz verunreinigten porösen Materialien in die Kompressen transportiert werden. Der Transport von Salzlösungen kann sowohl durch Ionendiffusion als auch durch die Bewegung des Fluids stattfinden.

Es ist erforderlich, sehr früh auf das Risiko hinzuweisen, das mit der Entfernung der am besten löslichen Salze und dem Zurücklassen der weniger löslichen Salze (und dem daraus folgenden Risiko einer noch größeren Schädigung) einhergeht.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt ein Verfahren für die Entsalzung poröser anorganischer Materialien, welche kulturelles Erbe darstellen, durch den Einsatz von Kompressen fest. Die Methodik der Entsalzung kann bei salzbelasteten porösen anorganischen Materialien angewendet werden, die entweder von Salzverwitterung betroffen sind, und/oder um Konservierungsbehandlungen zu ermöglichen, die mit einer Verunreinigung durch lösliches Salz/lösliche Salze unverträglich sind, oder um bei bekannter Verunreinigung Salzs Schäden zu verhindern. In allen Fällen ist das Ziel der Entsalzung die Verringerung des Salzgehalts.

Darüber hinaus enthält dieses Dokument die grundlegenden Anforderungen an den Entsalzungsvorgang sowie Leitlinien für die Wahl der am besten geeigneten Kompressenbestandteile entsprechend den Eigenschaften des Untergrunds und den Arten/Mengen des/der vorhandenen Salze(s), um den Entsalzungsprozess zu optimieren.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 15898, *Erhaltung des kulturellen Erbes — Allgemeine Begriffe*

EN 16085, *Erhaltung des kulturellen Erbes — Verfahren der Probenahme an Materialien des kulturellen Erbes — Allgemeine Regeln*

EN 16455, *Erhaltung des kulturellen Erbes — Auflösung und Bestimmung von löslichen Salzen in Naturstein und artverwandten Materialien des kulturellen Erbes*

EN 16682, *Erhaltung des kulturellen Erbes — Verfahren zur Bestimmung des Feuchte- bzw. Wassergehalts in Materialien des unbeweglichen kulturellen Erbes*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 15898 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

— IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>

— ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>

3.1

Advektion

Transport eines Stoffes (gelösten Stoffes) oder einer Menge durch den Massenstrom des Wassers

Anmerkung 1 zum Begriff: Advektion schließt nicht den Transport von Stoffen durch molekulare Diffusion ein.

3.2

Leitfähigkeit

Maß der Fähigkeit von Wasser, elektrischen Strom zu leiten

Anmerkung 1 zum Begriff: Sie hängt von der Menge und den Arten der aufgelösten Salze (oder anderer Verbindungen) im Wasser ab.

3.3

Entsalzung

Verringerung des Gehalts der Salzionen in einem Material oder Untergrund, um deren Konzentration zu verringern (sodass sie weniger schädigend wirken)

3.4

Entsalzungskompressen

geeignete wasserhaltige Materialien, die auf ein poröses anorganisches Material aufgebracht werden, um dessen Gehalt löslicher Salze zu verringern

Anmerkung 1 zum Begriff: Lehmmineralien, Cellulosefasern, Feinsand, Gele usw. sind übliche Verbindungen, die in einer bestimmten Rezeptur mit entionisiertem Wasser gemischt werden, um wirksame Entsalzungskompressen zuzubereiten, die an die Eigenschaften des Untergrunds angepasst sind.

[QUELLE: EN 17138:2018, Anhang A für die Festlegung der Verbindungen]

3.5

Diffusion

Prozess, der sich aus der zufälligen Bewegung von Molekülen ergibt, welche einen Nettostofffluss von einem Bereich hoher Konzentration zu einem Bereich niedriger Konzentration hervorruft

3.6

Feuchtegehalt

Wassermenge im Material, wie nach einem in EN 16682 festgelegten gravimetrischen Verfahren bestimmt

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Feuchtegehalt wird als Massenanteil in Prozent (%) angegeben.

3.7

lösliches Salz

Salz, das sich leicht in einem Lösemittel wie beispielsweise Wasser auflöst, um eine Lösung zu bilden

Anmerkung 1 zum Begriff: Innerhalb dieses Dokuments bezieht sich die Benennung Salz auf lösliche Salze.

3.8

spezifische Leitfähigkeit

Leitfähigkeit einer Lösung, gemessen zwischen zwei Elektroden mit einer Fläche von 1 cm^2 und im Abstand von 1 cm zueinander

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Einheit ist $\mu\text{S cm}^{-1}$.

[QUELLE: EN 16455, 3.3]

4 Symbole und Abkürzungen

Y	spezifische Leitfähigkeit
IC	Ionenleitfähigkeit in $\mu\text{S cm}^{-1}$

5 Grundsätze der Entsalzung durch den Einsatz von Kompressen

5.1 Allgemeines

Entsalzung durch den Einsatz von Kompressen bezieht sich auf die Entfernung löslicher Salze, d. h. deren Ionen, aus dem Porensystem poröser anorganischer Materialien, wie z. B. Natursteinen, Ziegelsteinen oder Terrakotta, Außen-/Innenputzmörtel oder Wandmalereien.

Um die Entsalzungskompressen aufzubringen, wird diese zuerst mit entionisiertem Wasser getränkt. Danach wird sie auf das Objekt aufgebracht (siehe Anhang A).

Der Entsalzungsprozess durch den Einsatz von Kompressen erfolgt in zwei Schritten:

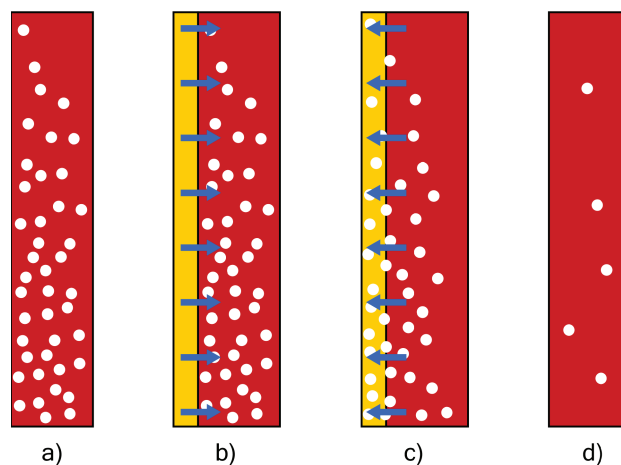
Im ersten Schritt dringt das Wasser aus der Kompressen in das poröse Material ein und löst die löslichen Salze auf [Bild 1 b)].

Im zweiten Schritt bewegt die „Salzextraktion“ die gelösten Ionen aus dem Untergrund in die Kompressen [Bild 1 c)].

Die Salzentrfernung erfolgt auf zwei verschiedenen Wegen:

- a) durch Advektion wird der Transport von Salzionen aus dem Untergrund in die Kompressen durch die Kapillarwasserströmung erzwungen, wobei es sich um einen relativ schnellen Prozess handelt. Dieser Prozess hängt von der Porengrößenverteilung der Kompressen im Verhältnis zu der des Untergrunds ab;
- b) durch einen Diffusionsvorgang werden Salzionen aus dem Untergrund aufgrund eines unausgeglichene Salzionen-Konzentrationsgradienten in die Kompressen transportiert. Dabei handelt es sich im Vergleich zur Advektion um einen langsameren Prozess [2].

Der Konzentrationsunterschied zwischen der Salzlösung innerhalb des Objekts (hohe Konzentration) und dem in der Kompressen enthaltenen Wasser (niedrige Konzentration) führt zu einer Ionenbewegung nach außen (Diffusion).



Legende

- a durch Salze imprägnierter Untergrund (rot dargestellt)
- b Kompressen (gelb dargestellt) + Untergrund in der ersten Phase
- c Kompressen + Untergrund in der zweiten Phase
- d entsalzter Untergrund

Bild 1 — Entsalzung durch den Einsatz von Kompressen

Die Verdunstung von Wasser aus der Kompressen in die Umgebungsluft und der Kapillartransport (Advektion) aus dem Untergrund sind weitere Faktoren der Salzmigration.

In einem porösen Material sind Advektion und Diffusion stets im Gleichgewicht.

Schließlich können Salze, falls mit Salz verunreinigtes Wasser angemessen in die Kompressen gelenkt werden kann, und falls die Trocknungsfront sich während der Verdunstungsphase im Inneren der Kompressen befindet, in der Kompressen kristallisieren [3].

5.2 Advektionsbasierte Verfahren der Kompressenentsalzung

Die Advektion von Wasser aus einem porösen Medium in ein anderes kann durch den Unterschied der Porengrößenverteilung (und somit des Kapillardrucks) zwischen den beiden porösen Medien beschrieben werden. Gelöste Ionen des Salzes/der Salze werden durch den Wasserfluss während der kapillaren Fließzeit transportiert.

Während der Trocknung bewegen sich die Ionen durch Kapillarströmung (Advektion) in Richtung der Trocknungsfront und sammeln sich nahe der Oberfläche an. Salze werden mittels Advektion von einem Medium mit grobporigem Untergrund in ein Medium mit feinen Poren überführt, weshalb die Komresse feinere Poren enthalten sollte als die Porengrößen des Untergrunds, um den Fluss vom Untergrund in die Komresse sicherzustellen.

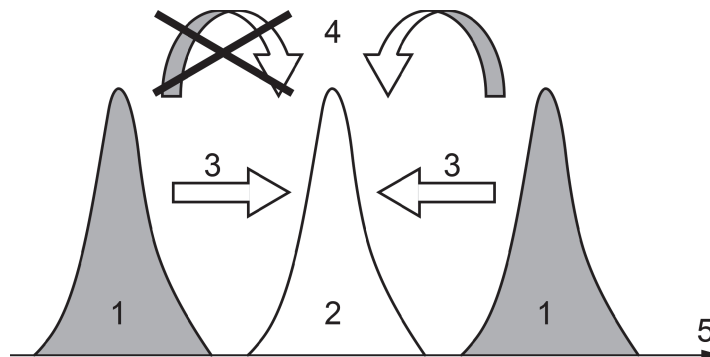
Advektion erfolgt im Allgemeinen schneller als Diffusion, weshalb auf Advektion basierende Entsalzungsbehandlungen gewöhnlich wesentlich schneller sind.

Der Prozess der Advektion wird durch die Gleichung in Anhang B beschrieben [4].

5.3 Diffusionsbasierte Verfahren der Kompressenentsalzung

Das Salz wird durch das Wasser mittels Diffusion aufgrund des Konzentrationsgradienten transportiert. Für den höchsten Wirkungsgrad der Extraktion sollte der Salzgehalt der Komresse zu Beginn des Prozesses möglichst nahe bei null liegen. Der Prozess der Diffusion kann durch eine einfache Diffusionsgleichung beschrieben werden, die auch als Ficksche Gleichung und schrittweise Abwandlung bezeichnet wird (siehe Anhang B).

Diffusion neigt zur Abschwächung etwaiger Ansammlungen, ist jedoch in porösen Untergründen ein recht langsamer Prozess.



Legende

- 1 Untergrund
- 2 Komresse
- 3 Diffusion
- 4 Advektion
- 5 zunehmende Porengröße

Bild 2 — Schematische Darstellung der Transportmechanismen (d. h. Diffusion und Advektion), durch die Ionen in wässriger Lösung von einem Untergrund in eine Komresse wandern können, in Abhängigkeit vom Porengrößenbereich des Untergrunds im Vergleich zu dem der Komresse (aus Pel, Heritage und Voronina [5])

6 Prüfeinrichtung

- a) hochreines Wasser (spezifische Leitfähigkeit $\leq 1 \mu\text{S cm}^{-1}$);

- b) Magnetrührer;
- c) Leitfähigkeitsmessgerät, das in der Lage ist auf $\leq 1 \mu\text{S cm}^{-1}$ zu messen;
- d) Gerät zur Analyse von Anionen und Kationen.

7 Methodik für die Bestimmung der Betriebsparameter

7.1 Allgemeines

Für die Optimierung eines Kompressenentsalzungssystems sind mehrere Schritte erforderlich:

- a) die Auswahl der Verbindung(en) der Komresse(n);
- b) die tatsächliche Zusammensetzung der Komresse (Gemisch);
- c) die Wassermenge, die erforderlich ist, um eine geeignete Verarbeitbarkeit und die Haftfestigkeit auf dem Untergrund zu erreichen.

Jeder dieser Faktoren beeinflusst den Wirkungsgrad der Entsalzungsbehandlung.

7.2 Auswahl des Bestandteils/der Bestandteile der Komresse(n)

Unter den verfügbaren Materialien können drei Hauptbestandteile einzeln oder in Gemischen angewendet werden:

- a) natürliche Cellulosefasern (verschiedener Längen);
- b) eine mineralische Phase wie z. B. Lehm (z. B. Bentonit, Kaolin, Attapulgit) und andere (z. B. amorphe Kieselsäure);
- c) Füllstoffe (künstliche oder natürliche Zuschlagstoffe wie Bimsstein, Puzzolan, Blähglas, Sand verschiedener Korngröße) — siehe Anhang A, „Entsalzungskompressen“;
- d) sonstige Bestandteile, entweder mineralische (Diatomit, pyrogenes Siliciumdioxid, Steinwolle) oder organische Materialien (Ionenaustauschharze, Gele, Viskoseschwämme) [3].

Lehm-, Cellulose- und Sandbestandteile werden am häufigsten verwendet [6]. Bestandteile sollten keine primäre Quelle löslicher Salze darstellen; Tonminerale oder ungewaschener Sand können selbst lösliche Salze enthalten. Der Salzgehalt solcher Materialien muss vor der Auswahl bestimmt werden, und das erhaltene Ergebnis sollte dem von entionisiertem Wasser nahekomen.

7.3 Formulierung und erforderliche Eigenschaften von Kompressen

Die vorstehend beschriebenen Bestandteile sollten in geeigneten Anteilen gemischt werden, so dass die erforderlichen Eigenschaften für eine effiziente Salzextraktion und angemessene Haftfestigkeit auf dem Untergrund erreicht werden, und damit die Komresse nach dem Entsalzungsprozess leicht abnehmbar ist.

Um diese Anforderungen zu erfüllen, können die Gemische mit veränderlichen Verhältnissen verschiedener Bestandteile zubereitet werden.

Jede der möglichen Kompressenformulierungen hat andere physikalische Eigenschaften, wie z. B.:

- a) Wasseraufnahmevermögen (Benetzungsvermögen) und damit verbundene Trocknungsschwindung;
- b) Verarbeitbarkeit, (Plastizitätsbereich im Fall von Lehm);

- c) Haftfestigkeit auf dem Untergrund;
- d) Porengrößenverteilung und Volumen von Poren.

7.4 Zubereitung von Kompressen durch Zugabe von Wasser

Auf dem Markt sind Entsalzungskompressen-Produkte erhältlich; einige sind gebrauchsfertig, einige andere müssen mit entionisiertem Wasser gemischt werden. Die Spezifikationen dieser Produkte müssen sorgfältig überprüft werden, um die Eignung für jeden speziellen Fall sicherzustellen.

Wenn nicht proprietäre (selbst hergestellte) Kompressen bevorzugt werden, ist es erforderlich, sobald die Bestandteile ausgewählt und die relativen Anteile an der Zusammensetzung für die Zubereitung des (auf die zu entsalzenden Oberflächen) aufzubringenden frischen Gemisches festgelegt wurden, schrittweise entionisiertes Wasser zuzugeben (und alles in einem Behälter geeigneter Größe mit einem Bohrer und einem Mischstab zu mischen), bis die gewünschte Verarbeitbarkeit erreicht ist.

Das Verhältnis zwischen absorbierender Verbindung und Wasser muss aufgezeichnet werden, um in der Lage zu sein, den Mischvorgang immer wieder zu wiederholen.

Bei selbst hergestellten Kompressen ist es nützlich, die Verarbeitbarkeit und Anwendbarkeit an einer senkrechten Oberfläche entsprechend der gewünschten Dicke zu prüfen. Beim Trocknen sollte die Schwindung der Kompressen nicht so stark sein, dass sich diese ablöst.

Um ein Gleichgewicht zwischen Verarbeitbarkeit, Oberflächenhaftfestigkeit auf dem Untergrund, angemessener Dicke der Kompressen und Schwindung der aufgetragenen Kompressen zu erhalten, müssen vorbereitende Prüfungen durchgeführt werden, bei denen die trockene Kompressen- und die Wassermenge, die erforderlich ist, um das vorstehend angegebene Gleichgewicht herzustellen, eingewogen werden.

Häufig sind zur Entfernung löslicher Salze viele aufeinander folgende Anwendungen erforderlich, weshalb es notwendig ist, die Anwendung mit dem gleichen in den Vorbereitungsprüfungen ermittelten Verhältnis zu wiederholen, um die gleichen Betriebsbedingungen nachzubilden. Dieses Verfahren ermöglicht die Durchführung eines wirksamen Vergleichs hinsichtlich des Wirkungsgrads der Entfernung der Salze bei jeder Anwendung [7].

Das Wasseraufnahmevermögen der Kompressen sowie deren Verarbeitbarkeit und Schwindung sollten im technischen Datenblatt angegeben werden. Bei Verwendung von nicht proprietären Kompressen ist es möglich, diese Eigenschaften mittels einer Laborprüfung zu ermitteln (siehe Anhang C).

7.5 Beurteilung der Wirksamkeit anhand von Versuchen

7.5.1 Allgemeines

Jedes Verfahren kann abhängig vom Material, aus dem die Untergründe bestehen, von deren Porengrößenverteilungen, den Porenvolumina, der Verteilung der Salze im Inneren des Untergrunds und der Art der vorherrschenden Salze zu verschiedenen Ergebnissen hinsichtlich des Wirkungsgrads des Entsalzungsprozesses führen. Aus diesem Grund ist es sehr nützlich, mit Feldversuchen zu beginnen, sobald die Formulierung von mehreren Kompressen ausgewählt wurde.

Es wird empfohlen, mindestens drei Formulierungen zu vergleichen, um deren relative Wirksamkeit zu beurteilen.

Die geprüfte Oberfläche sollte groß genug sein, um für die gesamte zu entsalzende Fläche repräsentativ zu sein, und um mehrere Prüfungen zur Beurteilung des Wirkungsgrads des Prozesses zu ermöglichen, welche vor und nach dem Entsalzungsprozess durchzuführen sind (gewöhnlich ist eine Mindestfläche von 25 cm² erforderlich, und eine größere Fläche ist besser, wenngleich mit Bezug zur Größe des Objekts).

Die Beurteilung der Wirksamkeit der Salzionenextraktion aus einem Untergrund muss mindestens nach einem von zwei unterschiedlichen Verfahren erfolgen:

- a) Messung der Gesamtmenge der Salzionen, die vom Untergrund auf die drei zu vergleichenden Kompressen übertragen wurde, durch Messungen der Leitfähigkeit (Anhang E);
- b) Messung der Verteilung des Ionengehalts (quantitative Beurteilung nach EN 16455) in verschiedenen Eindringtiefen des Untergrunds bevor und nachdem die zu prüfende Kompressen aufgebracht wurde. Die Probenahme muss nach EN 16085 durchgeführt werden.

Die genaueste Beurteilung der Wirksamkeit wird durch Messung der Salzverteilung innerhalb des Untergrunds erreicht.

7.5.2 Messung der Ionenmenge, die vom Untergrund auf die Kompressen übertragen wurde

Eine trockene Kompressenprobe mit einer Größe von 5 cm × 5 cm wird in 200 ml entionisiertes Wasser gegeben, es wird 3 min bis 5 min umgerührt, wonach für die Suspension eine Absetzzeit von 5 min eingeräumt wird, anschließend wird ein Teil der überstehenden Lösung entnommen und der Wert ihrer spezifischen Leitfähigkeit gemessen.

Es muss eine Bezugsblindprobe verwendet werden, indem die Leitfähigkeit der Kompressen vor jeder Anwendung gemessen wird (in Übereinstimmung mit EN 16455, siehe Anhang D).

Der Wert der spezifischen Leitfähigkeit ist repräsentativ für die Salzionen, die vom Untergrund in die geprüfte Kompressen überführt wurden.

7.5.3 Messung des vom Untergrund übertragenen Ionengehalts vor und nach der Entsalzung

Es müssen Messungen löslicher Salze (einzelne Ionenspezies) nach (einer) Anwendung(en) auf einem trockenen Untergrund in Übereinstimmung mit EN 16455 durchgeführt werden (siehe Anhang D).

Der Vergleich der aufgezeichneten Ergebnisse [nach 7.5 a), b)] ermöglicht eine direkte Beurteilung der Wirksamkeit der verschiedenen geprüften Kompressen. Nach dem Vergleich wird die geeignete Kompressen ausgewählt [3] [9] [10] [11].

8 Entsalzungsprozess

8.1 Umgebungsbedingungen bei der Anwendung

Es wird empfohlen, die Kompressen eher auf trockenen als nassen Untergründen aufzubringen. Bei vielen mit Salz verunreinigten porösen Materialien konzentrieren sich die Salze unter der Oberfläche, und das von der Kompressen zugeführte Wasser wird von einem trockenen Untergrund leichter aufgenommen.

Das Verfahren sollte während des gesamten Vorgangs bei der optimalen Temperatur (zwischen 10 °C und 30 °C) durchgeführt werden, um die Salz-Solubilisierung zu erleichtern und eine zu schnelle Verdunstung zu vermeiden. Es wird empfohlen, die Fläche vor Regen oder sonstigem Wasserzufluss sowie Wind vor und während der Kompressenentsalzung zu schützen, um das Trocknen der Kompressen zu ermöglichen.

Trockenes Innenraumklima ist während der Kompressenentsalzung zu bevorzugen (Heizung, Lüftung usw.) (relative Luftfeuchte < 60 %).

8.2 Vorbereitung des Untergrunds

Vor der Kompressenentsalzung wird empfohlen, Staubablagerungen und alle festen löslichen oder teilweise löslichen Produkte (wie z. B. Mörtelreste, Salzausblühungen, schwarze Krusten usw.) mit einem geeigneten Reinigungsverfahren zu entfernen.

Eine Vorbefeuchtung der Oberfläche wird nur empfohlen, um die Haftfestigkeit der Kompresse, falls notwendig, zu verbessern. Diese muss begrenzt werden, um das Risiko zu verringern, dass Salze, die gelöst werden könnten, während dieser Vorbefeuchtungsphase in größere Tiefen im Material gelenkt werden.

8.3 Aufbringen der Kompresse

8.3.1 Allgemeines

Die ausgewählte Kompresse wird auf die zu entsalzende Oberfläche bei ebenen Oberflächen und/oder künstlerisch wertvollen Oberflächen üblicherweise von Hand aufgebracht, wobei mitunter eine Lage Japanpapier oder Seidenpapier zwischen den Untergrund und die Kompresse gelegt wird, um die Kompresse leichter entfernen zu können und um Rückstände auf der Oberfläche zu vermeiden.

Der Auftrag mit einer Spritzpistole auf größere Flächen könnte in Betracht gezogen werden, wenn:

- a) der Zustand des Untergrunds dies zulässt;
- b) die Verarbeitbarkeit gemessen und aufgezeichnet wird;
- c) die Entsalzungsparameter ähnlich denen sind, die durch Auftragen von Hand erreicht werden;
- d) beim Spritzpistolenauftrag die gleiche Wirksamkeit erreicht wird wie beim Auftragen von Hand.

Dies sollte niemals für gestrichene oder tapezierte Oberflächen oder für Wandgemälde in Erwägung gezogen werden.

Während des Auftrags ist es sehr wichtig, dass zwischen der Kompresse und der gesamten Oberfläche des Untergrunds guter Kontakt besteht, um eine homogene Entsalzung über die gesamte behandelte Fläche zu erreichen.

8.3.2 Dicke der Kompresse

Für eine bestimmte Formulierung sind die Wassermenge und deren Eindringtiefe in den Untergrund direkt, jedoch nicht nur, mit der Dicke der Kompresse verbunden.

Im Falle einer tiefen und/oder schwerwiegenden Verunreinigung ist es wichtig, eine dicke Kompresse aufzubringen, um mehr Wasser in den Untergrund zu tragen, und um ein saugfähigeres poröses Medium zur Speicherung der Salze zu haben. Je dicker die Kompresse ist, desto höher ist das Risiko, dass diese sich durch ihre bloße Masse, fehlende Haftfestigkeit, Überlastung und Schwindung vom Untergrund löst und abfällt. Beim Aufbringen auf überhängende Oberflächen ist besonders sorgfältig vorzugehen. Es sind Vorprüfungen erforderlich, um die Dicke der Kompresse zu optimieren, die aufgebracht werden kann, ohne dass ein Risiko besteht, dass diese sich löst oder abfällt.

Die Dicke der aufgetragenen Kompresse kann von 0,5 cm bis 2 cm reichen. Eine dünnere Kompresse ist möglicherweise nicht effizient, und eine dickere kann auf dem Untergrund zu schwer sein und sich von diesem ablösen.

Auf leicht zerbröckelnden Oberflächen sollte die Entsalzung und insbesondere die Entfernung der Kompresse von einem gut ausgebildeten Konservator/Restaurator durchgeführt werden.

8.3.3 Dauer des Aufbringens

Die für das Aufbringen der Kompresse erforderliche Zeit hängt von den Umgebungsbedingungen ab und wird durch die Trocknungsgeschwindigkeit der Kompresse sowie die abzudeckende Fläche und davon, ob diese eben oder geschnitzt ist, bestimmt.

Die Trocknungsgeschwindigkeit wird nicht nur von den Umgebungsbedingungen (relative Luftfeuchte, Temperatur, Luftgeschwindigkeit) beeinflusst, sondern auch vom anfänglichen Feuchtegehalt des Objekts.

8.3.4 Entfernen der Kompresse

Die Kompresse wird mit einem weichen Werkzeug (Kunststoff- oder Holzspatel) entfernt. Je nach Wahl der Kompresse gibt es zwei Arten des Entsalzungsprozesses, welche unterschiedliche Zeiten für das Entfernen der Kompresse erfordern:

- a) im Falle der Entsalzung durch Advektion (feinere Poren als der Untergrund) wird die Kompresse entfernt, wenn sie getrocknet oder fast getrocknet ist. Solange der Kontakt mit dem Untergrund angemessen bleibt, wird ein advektionsbasierter Entsalzungsprozess durch einen längeren Trocknungsprozess begünstigt;
- b) wenn eine Entsalzung durch Advektion nicht möglich ist, muss die Kompresse häufig entfernt werden, um einen hohen Salzkonzentrationsgradienten aufrechtzuerhalten, damit eine effiziente Entsalzung durch den Diffusionsprozess erreicht wird.

Wenn ein Risiko besteht, dass sich die Kompresse vor dem Ende der Anwendung ablöst oder abfällt, dürfen Kompressen entfernt werden, wenn sie immer noch nass sind.

8.4 Anzahl der Anwendungen

Um den Salzgehalt so stark wie möglich zu verringern, ist es erforderlich, die Kompressenanwendung mehrere Male zu wiederholen. Nach einigen Anwendungen ist es nützlich, die Verteilung der löslichen Salze innerhalb des Untergrunds zu überprüfen.

Nach jeder Anwendung wird die Salzmenge, die durch die Kompresse entfernt wurde, mittels Leitfähigkeits- oder Ionengehaltsmessungen ermittelt, und die Daten werden im Bericht in einem Diagramm dargestellt. Die Entsalzung wird beendet, wenn bei 2 bis 3 aufeinander folgenden Messungen ein asymptotischer Wert erreicht wurde (8, 9, 10) (siehe Anhang E).

9 Prüfbericht

- a) Datum der Anwendung;
- b) Umgebungsbedingungen;
- c) Zustandserhebung des Objekts und des Untergrunds;
- d) Charakterisierung des Untergrunds;
- e) Lage und Größe der behandelten Oberfläche;
- f) Form und Gestaltung der behandelten Fläche;
- g) Vorhandensein von Dekorationen/Anstrichen auf der behandelten Fläche;
- h) Bestandteile und Formulierung der Kompresse, einschließlich der eingesetzten Wassermenge und der Leitfähigkeit des verwendeten Wassers;
- i) Dauer der Anwendung;
- j) Anzahl der Anwendungen;
- k) vorläufige Ergebnisse der geprüften Flächen;
- l) Ionengehalt des Untergrunds vor und nach dem Entsalzungsprozess;
- m) Entfernung des Ionengehalts nach jeder Anwendung und Beschreibung der Kinetik in einer Graphik;

n) Fotos vor und nach der Entsalzung.