

DIN EN 17138**DIN**

ICS 97.195

**Erhaltung des kulturellen Erbes –
Verfahren und Materialien für die Reinigung von porösen anorganischen
Materialien;
Deutsche Fassung EN 17138:2018**

Conservation of cultural heritage –
Methods and materials for cleaning porous inorganic materials;
German version EN 17138:2018

Conservation du patrimoine culturel –
Méthodes et produits de nettoyage des matériaux inorganiques poreux;
Version allemande EN 17138:2018

Gesamtumfang 71 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 17138:2018) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 346 „Erhaltung des kulturellen Erbes“ erarbeitet, dessen Sekretariat von UNI (Italien) gehalten wird.

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

Deutsche Fassung

Erhaltung des kulturellen Erbes —
Verfahren und Materialien für die Reinigung von
porösen anorganischen Materialien

Conservation of cultural heritage —
Methods and materials for cleaning
porous inorganic materials

Conservation du patrimoine culturel —
Méthodes et produits de nettoyage des
matériaux inorganiques poreux

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 29. Juli 2018 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC-Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	3
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Anforderungen und allgemeine Überlegungen, welche die Reinigungsentscheidungen beeinflussen.....	9
5 Vorbereitende Untersuchung zur Optimierung des Reinigungsauswahlprozesses	10
5.1 Vorbereitende Zustandsaufnahme	10
5.2 Feststellung des Untergrunds und Charakterisierung unerwünschter Materialien	11
6 Auswahl des Reinigungsverfahrens.....	12
7 Probereinigungsbereiche	13
8 Reinigungsverfahren.....	13
8.1 Reinigung mit Wasser	13
8.2 Mechanische Reinigung.....	24
8.3 Chemische Reinigung.....	31
8.4 Physikalische Reinigung	46
Anhang A (informativ) Wässrige Kompressen	49
A.1 Allgemeines	49
A.2 Zusammensetzung der Materialien, die für Kompressen verwendet werden.....	49
Anhang B (informativ) Abschleifende Materialien und Nutzungsparameter	52
Anhang C (informativ) Löslichkeitsparameter von organischen Lösemitteln.....	53
Anhang D (informativ) Alkali- und Säuresubstanzen	58
D.1 Alkalibasierte Verbindungen.....	58
D.2 Säurebasierte Verbindungen	59
Anhang E (informativ) Komplexbildung und Komplexbildner	61
Anhang F (informativ) Tenside	63
Literaturhinweise.....	64

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 17138:2018) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 346 „Erhaltung des kulturellen Erbes“ erarbeitet, dessen Sekretariat von UNI gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Juni 2019, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Juni 2019 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Diese Norm verlangt die Anwendung von Substanzen und/oder Verfahren, die gesundheitsgefährdend sein können, wenn keine angemessenen Vorsichtsmaßnahmen ergriffen werden. Es wird empfohlen, die entsprechenden Sicherheitsdatenblätter bezüglich der Gefährdungen des Arbeits- und Gesundheitsschutzes durch die chemischen Hauptbestandteile des Produkts vor der Verwendung zu lesen. Sie bezieht sich ausschließlich auf die technische Eignung und befreit den Anwender zu keinem Zeitpunkt von rechtlichen Verpflichtungen hinsichtlich Gesundheit und Sicherheit. Der Hersteller sollte auch Sicherheitsdatenblätter bereitstellen.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Einleitung

Reinigung ist die Entfernung unerwünschten Materials von einer Oberfläche oder oberflächennahen Bereichen eines Objekts.

Die Oberfläche eines Objekts wird entweder zur Konservierung und/oder Objektpflege gereinigt, oder um die Leserlichkeit zu verbessern.

Ein Objekt des kulturellen Erbes ist unersetzlich und die Auswirkungen einer Reinigung zur Konservierung des Objekts sind unumkehrbar. Wenn die technischen Probleme, die während einer Reinigung entstehen können, nicht berücksichtigt werden und sich mit diesen nicht befasst wird, kann eine unumkehrbare Beschädigung an einem Objekt verursacht werden. Kulturelles Erbe sollte unter Verwendung des Verfahrens gereinigt werden, das am wenigsten zerstörend/invasiv ist, damit es am besten erhalten wird.

Ferner kann eine unangemessene oder ungeeignete Behandlung Zerstörungsprozesse in der Zukunft verursachen oder verstärken oder Materialien eliminieren, die nicht dokumentiert sind oder die ein besseres Verständnis der Geschichte des Objekts ermöglichen würden.

Die Materialien, die entfernt werden sollen, können Änderungsprodukte der eingesetzten Materialien, Partikelverunreinigungen aus der Luft, Staub, Salzausblühung, teilweise oder vollständig lösliche Oberflächenablagerungen, Schichten aus absichtlich aufgetragenen Materialien, die entweder ungeeignet oder nicht mehr funktionell sind, Biofilme, Flechten, Moose enthalten.

Eine Reinigung als Teil des Konservierungsplans beruht auf der Definition, welche Materialien entfernt und welche erhalten werden sollen. Zur Erfüllung dieser Aufgabe sollte unter den folgenden Anforderungen das geeignete Gleichgewicht gefunden werden: Selektivität, Wirksamkeit und Beherrschbarkeit.

Bevor eine Reinigung durchgeführt wird, sollte sie in Hinsicht auf Wirksamkeit und mögliche Beschädigung (Schädlichkeit) durch Anwendung auf Versuchsbereichen bewertet werden. Die Bewertung sollte während der Reinigungsvorgänge sowie längerfristig fortgeführt werden, um die Wirkungen der Reinigung zu beobachten.

Dieses Rahmendokument beschreibt die Reinigungssysteme anhand einer Liste technischer Daten, die für ihre Auswahl, Bewertung und Optimierung hilfreich sind, um eine korrekte und systematische Bewertung zu ermöglichen.

Die Reinigungsverfahren werden nach einer gemeinsamen Struktur beschrieben:

- a) Beschreibung;
- b) technische Angaben (Faktoren, die das System definieren, das verwendet werden soll);
- c) Variablen (Faktoren, die von den Endanwendern angepasst, gesteuert oder geändert werden können, um den Prozess je nach Oberflächenzustand, Art und Stärke des zu entfernenden Materials usw. zu optimieren);
- d) Vorteile;
- e) Nachteile;
- f) Anwendungsbeispiele (indikative Situationen, in denen sich die Reinigungsverfahren als wirksam erwiesen haben).

Diese Norm erläutert die Verfahren und Anforderungen für eine Reinigung, die besonders für Naturstein, Keramik, Innenputzmörtel, Außenputzmörtel, Fugenmörtel und Beton anwendbar sind. Das Vorhandensein empfindlicher Komponenten, die z. B. bestimmte Stein-Lithologien oder Farbe oder andere Dekorationen auf porösen anorganischen Oberflächen umfassen können, schließt die Anwendung einiger der Verfahren, die in diesem Dokument erläutert werden, aus. Die in der Norm angegebenen Anwendungsbeispiele sind solche aus der Praxis und sind nicht erschöpfend.

Die Norm soll allen Konservierungsfachleuten (Architekten, Sachverständige, Konservatoren/Restauratoren, Konservierungswissenschaftler, Kuratoren usw.), die sich mit der Konservierung von Objekten beschäftigen, als Leitfaden dienen. Diese Norm soll ein Referenzwerk für Organisationen sein, einschließlich Regierungsstellen und Behörden für kulturelles Erbe, die die Pflicht haben, Objekte des kulturellen Erbes zu erhalten.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument stellt die Leitlinien zur Auswahl der technischen Reinigungsmerkmale bereit, um das Reinigungsverfahren zu optimieren. Die grundlegenden Anforderungen für jedes spezifische Reinigungsverfahren werden vermittelt, um die Reinigungsarbeiten an spezifische Einzelfälle anpassen zu können.

Die Zielsetzung der Reinigung kann die Entfernung von allen Kombinationen unerwünschter Materialien sein, wie beispielsweise: zersetzten Schutzbeschichtungen, Oberflächen- oder oberflächennahen Materialien, die eine gegenwärtige oder zukünftige Bedrohung für die Konservierung darstellen, Materialien, die eine Lesbarkeit des Objekts verhindern oder ihrer Art nach entstellend sind, Ablagerungen, die als unvereinbar mit dem historischen Wesen des Objekts einzustufen sind.

2 Normative Verweisungen

Es gibt keine normativen Verweisungen in diesem Dokument.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

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

- IEC Electropedia: unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: unter <http://www.iso.org/obp>

3.1
poröses anorganisches Material
Naturstein, wie z. B. Sandstein, Kalkstein, Marmor, Granit, Gneis, Gips ebenso wie künstliche Materialien wie Mörtel, Putz, Ziegelstein, Keramik, Beton und andere

[QUELLE: EN 15801:2009, 3.1, modifiziert]

3.2
Objekt
einzelne Ausdrucksform des materiellen Kulturerbes

Anmerkung 1 zum Begriff: In dieser Norm wird die Bezeichnung „Objekt“ für bewegliches und ortsfestes Kulturerbe verwendet. In bestimmten fachlichen Zusammenhängen werden andere Bezeichnungen benutzt: z. B. „Artefakt“, „Kulturgut“, „Gegenstand“ (en: „item“), „Ensemble“, „Stätte“/„Flächendenkmal“ (en: „site“), „Gebäude“, „Erzeugnis“/„Stoffaufbau“ (en: „fabric“).

[QUELLE: EN 15898:2011, 3.1.3]

3.3
Probekörper
Teil des Materials eines Objekts, das als repräsentativ angesehen wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Probekörper kann unterschiedlicher Herkunft und Folgendem entnommen sein:

- Materialien, die jenen ähnlich sind, aus denen der zu prüfende Gegenstand besteht (z. B. aus Steinbrüchen);
- speziell hergestellte Vergleichsmaterialien, z. B. Referenzmaterialien;
- verfügbare Materialien vom Objekt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Anzahl und Maße der Probekörper können unterschiedlich sein, bedingt durch Schwierigkeiten bei der Entnahme der erforderlichen Materialmenge.

[QUELLE: EN 16302:2013, 3.3]

3.4

Reinigung

Entfernung unerwünschten Materials von einem Objekt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Kriterien dafür, was „unerwünschtes Material“ ist, können festgelegt werden, z. B. potentiell schädigendes Material, Detail verdeckendes Material, unästhetisches Material usw.

[QUELLE: EN 15898:2011, 3.5.3]

3.5

Reinigung mit Wasser

Reinigung, die eine Reihe verschiedener Systeme umfasst, die Wasser in flüssigem oder dampfförmigem Zustand verwenden

3.6

Nebelsprühen

intermittierendes Nebelsprühen

Entwicklung einer Niederdruckwäsche mit Wasser, die durch einen Sprühnebel gekennzeichnet ist, der in Kontakt mit der Oberfläche des Objekts gelangt

3.7

Wassersprühen bei niedrigem Druck

Spray, das auf der Verwendung von Wasser mit niedrigem Druck beruht

3.8

abschleifende Reinigung

Reinigung, die alle Verfahren umfasst, die die Oberfläche des Objekts physikalisch abschleifen, um unerwünschte Materialien zu entfernen

3.9

Trockenkiesstrahlen

Sandstrahlen

Trockenstrahlvorgang, bei dem ein Strom schleifender Partikel unter Druck auf die Oberfläche eines Objekts abgegeben wird

3.10

Mikrostrahlen

Mikrosandstrahlen

Trockenstrahlvorgang, bei dem ein dünner Strom feiner schleifender Partikel unter Druck auf die Oberfläche eines Objekts abgegeben wird

3.11

Nasskiesstrahlen

Hydrosandstrahlen

Blasen eines Gemischs aus Wasser und Kies auf die Oberfläche des Objekts

3.12

Ablösesystem

Reinigungsverfahren bestehend aus der Anwendung eines filmbildenden Produkts, das abgezogen werden kann, um anhaftende Partikelmaterialien zu entfernen

3.13

Dampfreinigung

Reinigungsverfahren, bei dem Wasserdampf verwendet wird

3.14

wässrige Kompressen

absorbierende Materialien (nicht-reaktive Kompressen), die mit Wasser gemischt sind, um eine Paste zu bilden, die auf die Oberfläche des Objekts aufgetragen wird

3.15

Biozid

Substanz, die Mikroorganismen, Tiere oder Pflanzen abtöten kann, die poröse Untergründe besiedeln

3.16

biologische Reinigung

Reinigung unter Verwendung nicht pathogener Mikroorganismen zur Entfernung unerwünschter Substanzen (Sulfate, Nitrate, organische Stoffe usw.) von einer Oberfläche

3.17

Komplexbildner

Chelatbildner

organische Substanzen, die koordinative Bindungen mit Metallionen eingehen und so eine stabile Struktur erzeugen

3.18

kryogene Reinigung

Trockeneisstrahlen

schleifende Reinigung, bei der Trockeneis, die Feststoffform von Kohlendioxid (stabil unter -78 °C), in einem Druckluftstrom beschleunigt und auf die Oberfläche des Objekts gerichtet wird

3.19

Ionenaustauschharze

Polymere (im Wesentlichen), die Ionengruppen enthalten, die über eine schwache Bindung an ihre Makromoleküle gebunden sind und folglich die Möglichkeit haben, diese Gruppen mit den vorhandenen Ionen im umgebenden Medium auszutauschen

3.20

Laserstrahlreinigung

Reinigung, die in der Entfernung unerwünschter Oberflächenmaterialien von einem Untergrund unter Verwendung von Laserbestrahlung besteht

3.21

Tensid

Substanz, die die Oberflächenspannung des Mediums, in dem sie aufgelöst ist, und/oder die Grenzflächenspannung mit anderen Phasen verringert und die dementsprechend positiv in Flüssigkeit/Dampf und/oder an anderen Grenzflächen adsorbiert wird

3.22

toxisch

Substanzen und Zubereitungen, die, wenn sie inhaliert oder eingenommen werden oder wenn sie in die Haut eindringen, eine schwere, akute oder chronische Gefahr für die Gesundheit, sogar mit Lebensgefahr, darstellen können

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Richtlinie 67/548/EWG.

3.23

Toxizität

Grad, zu dem eine Substanz toxisch ist

4 Anforderungen und allgemeine Überlegungen, welche die Reinigungsentscheidungen beeinflussen

Es sollte keine Reinigung durchgeführt werden, außer sie ist erforderlich; in diesem Fall sollte dabei das als wirksam erachtete Mindestmaß angewendet werden.

Die Reinigungsbehandlung sollte unerwünschte Materialien von der Oberfläche und/oder aus dem Volumen des Untergrunds wirksam entfernen (Wirksamkeit) und sollte die Wahrscheinlichkeit einer zukünftigen Zustandsverschlechterung (Schädlichkeit) nicht erhöhen.

Daher muss ein Reinigungsverfahren die folgenden Kriterien erfüllen, um eine „Konservierungsbehandlung“ zu sein:

- a) es sollte nicht dazu führen, dass reaktive chemische Verbindungen nachteilige Reaktionen mit den zu konservierenden Materialien haben, weder sofort noch in Zukunft;
- b) es sollte keine dauerhaften oder nichtflüchtigen Reste am oder im Objekt hinterlassen, die schädlich sein könnten oder in der Lage sind, die Morphologie oder die Farbe der Oberfläche zu verändern (z. B. Ausblühungen, Flecken, Halos), weder sofort oder in Zukunft;
- c) es sollte keine physikalisch-mechanische Beschädigung am Objekt verursachen (einschließlich Erosion, Kohäsionsverlust, Ablösung oder Bildung von Mikrorissen, Erhöhung der Porosität);
- d) es sollte die ursprünglichen Oberflächen und Oberflächenausführungen sowie alle nachfolgenden Hinzufügungen von künstlerischem oder historischem Wert (Lackierung, Patina usw.) und/oder ursprüngliche Werkzeugspuren auf der Oberfläche berücksichtigen;
- e) es sollte ein Niveau an Oberflächentopografie vergleichbar mit der der ursprünglichen Oberfläche beibehalten oder, wenn möglich, wiederherstellen;
- f) es sollte nicht auf eine Weise durchgeführt werden, dass die Gesundheit von Bewohnern des Gebäudes oder Arbeitern gefährdet wird; die mögliche Toxizität der Produkte muss berücksichtigt werden sowie die mögliche Toxizität von Abfall, die eine Entsorgung in geeigneten Lagerstätten erfordert;
- g) es sollte das Risiko eines Schadens an persönlichem oder öffentlichem Eigentum minimieren;
- h) es sollte erfordern, dass die praktischen Aspekte der Behandlung gebührend bedacht werden, um potenzielle Probleme bei Wirksamkeit und Anwendung zu minimieren.

Da kein Gebäude, keine Umgebung, kein Objekt, keine Verfallsgeschichte notwendigerweise identisch ist, ist zu erwarten, dass sich die Lösungen unterscheiden werden. An einem Objekt kann eine Reihe von verschiedenen Verfallsmerkmalen auftreten, die den Einsatz verschiedener Verfahren notwendig machen.

Jedes Konservierungsprojekt sollte sorgfältig überdacht werden, wobei die vorherigen Erfahrungen mit dem Objekt (oder ähnlichen Objekten) und die verfügbaren Materialien und Verfahren, die hilfreich sein könnten, berücksichtigt werden sollten. Es sollte aber nicht davon ausgegangen werden, dass sie in jedem Fall vollständig anwendbar sind.

Einige Ablagerungen lassen sich nicht vollständig von Oberflächen entfernen, ohne eine übermäßige Beschädigung zu verursachen. In diesem Fall können restliche oder ungleichmäßige Spuren zurückbleiben, die nicht unbedingt auf eine qualitativ schlechte Reinigung hinweisen.

Bevorzugt werden Verfahren, die eine sorgfältige Kontrolle und Bewertung ermöglichen, und die vom Anwender ohne weiteres unterbrochen werden können.

Die Wirksamkeit jedes Verfahrens sollte für jede spezifische Situation bewertet werden. Vorherige Labortests sollen dazu dienen, die potenzielle Gefahr sowie die wahrscheinliche Wirksamkeit des Verfahrens für jede Art und jeden Zustand poröser Materialien zu definieren. Besondere Beachtung sollte der chemischen und physikalischen Natur des verwendeten Produkts, dem Reinigungsprozess, der Vorgehensweise und der Dauer der Anwendung gewidmet werden. Verfahren und Produkte, die in einigen Fällen harmlos sind, können an anderen Materialien oder an demselben Material eine Beschädigung verursachen, wenn sie falsch angewendet werden.

Im Fall gut verfestigter Materialien ist eine Reinigung normalerweise der erste Vorgang, der auszuführen ist. Wenn sich Objekte in einem fortgeschrittenen Verfallszustand befinden oder ihnen eine natürliche Kohäsion fehlt, sollte eine vorherige Verfestigung und ein Schutz der Oberfläche mit Japanpapier vor einer Reinigung in Betracht gezogen werden. Es sollte beachtet werden, dass eine solche Behandlung die eventuelle Auswahl des Reinigungsverfahrens beeinflussen und es erschweren kann, biologische Zersetzungsstoffe, z. B. Cyanobakterien, Algen, Flechten und Moose und andere unerwünschte Materialien, die tief in den Untergrund eingedrungen sind, zu eliminieren. Originale Farbe/Dekorationen sollten stets erhalten werden.

Im Fall geschnittener Oberflächen oder aller anderen Oberflächen von besonderer historischer und/oder künstlerischer Bedeutung sollten abgeplatzte Teile und Bruchstücke wo immer möglich *in situ* beibehalten und nicht absichtlich entfernt werden.

Es sollte auch beachtet werden, dass das Endergebnis der Reinigung vom Wissen und der Fähigkeit des Konservators/Restaurators sowie der Wirksamkeit der angewendeten Materialien und Verfahren abhängt.

5 Vorbereitende Untersuchung zur Optimierung des Reinigungsauswahlprozesses

5.1 Vorbereitende Zustandsaufnahme

5.1.1 Es sollte eine vorbereitende Zustandsaufnahme nach EN 16095 und EN 16096 durchgeführt werden, die besonders die folgenden Elemente berücksichtigt:

- a) historische Informationen über vorherige Konservierungsarbeiten (Reinigung/Behandlung);
- b) Beschreibung der Art der einzelnen Bestandteile und deren Anordnung am Objekt durch Sichtkontrolle, die zusätzliche Untersuchungen einschließen kann, falls Oberflächenausführungen vorliegen;
- c) Beschreibung und Zuordnung der verschiedenen Verfallsarten durch Sichtkontrolle;
- d) Beschreibung und Verortung von Spuren vorheriger Reinigungsvorgänge und anderer Eingriffe, wenn sie durch eine Sichtkontrolle feststellbar sind;
- e) Untersuchung des Umweltkontexts. Ein volles Verständnis des Kontexts des Standorts sollte erlangt werden, um zersetzende Umweltfaktoren, die sich aus dem Reinigungsprozess ergeben können, zu identifizieren und zu minimieren;
- f) Feststellung möglicher Testbereiche;
- g) Hintergrundinformationen zur Empfindlichkeit von Untergründen als vorbereitende Anleitung für die Auswahl der Reinigungsverfahren;
- h) Suche nach Nachweisen für frühere Farbschichten.

5.1.2 Es sollten Aufzeichnungen über sämtliche Arbeiten von Bedeutung am Objekt geführt werden, einschließlich:

- a) Fotos des Objekts, die den Zustand und die Erscheinung zeigen, bevor eine Reinigung durchgeführt wird;

- b) Zeichnungen der verschiedenen Materialien, aus denen das Kulturerbeobjekt besteht;
- c) Zeichnungen des Orts unerwünschter Materialien, deren Stärke und Art sowie des gegenwärtigen Zustand des Objekts.

Zum Zwecke einer fortlaufenden Aufzeichnung sollten spezifische Phänomene charakterisiert und eine Beschreibung mit Bildern angegeben werden. Dies kann mit Verweisungen auf ein bestehendes Bildglossar, das benannt werden sollte, durchgeführt werden.

Sofern nicht-invasive Verfahren nicht zur Verfügung stehen oder nicht die benötigten Informationen liefern können, sollten, wenn möglich, Proben für Laboranalysen genommen werden. Diese Proben sind erforderlich, um die Materialien und die Abbauprodukte genau zu bestimmen und infolgedessen das am besten geeignete Reinigungsverfahren auszuwählen.

5.2 Feststellung des Untergrunds und Charakterisierung unerwünschter Materialien

5.2.1 Nach der vorbereitenden Zustandsaufnahme sollten die zu reinigenden Objekte sorgfältig untersucht werden, und es sollte/n eine Analyse bzw. Prüfungen unter Verwendung des folgenden Ablaufs durchgeführt werden:

- a) jedes einzelne konstituierende Material sollte in ausreichender Genauigkeit identifiziert werden, damit eine Reinigung mit minimalem Risiko für das Objekt vorgenommen werden kann. Es ist wichtig, dass die chemischen, mineralogischen und strukturellen Eigenschaften des Materials, aus dem das Objekt besteht, und die Eigenschaften des Untergrunds nahe der äußeren Oberfläche bekannt sind. Dies ist eine genauere Bewertung von 5.1.1 b);
- b) der Zustand des Objekts und der verbundenen Materialien sollte bewertet und erfasst werden (digitale Aufzeichnung), dies gilt auch für die Art und Auswirkungen früherer Behandlungsvorgänge, (siehe 5.1.1 c) und d));
- c) der Umfang, die Art, die Stärke und die Verteilung der Materialien, die zu entfernen sind, sollten identifiziert werden. Die Schicht der unerwünschten Materialien und die veränderte Oberfläche des Untergrunds sollten während der Untersuchungsphase voneinander unterschieden werden, sodass das Niveau der Reinigung ausgewählt werden kann;
- d) das Vorhandensein von Oberflächenarbeiten und/oder absichtlicher Schichtung, wie z. B. Deck-, Farb- und polychrome Schichten, sollte identifiziert werden;
- e) Bewertung der mittel- und langfristigen Wirksamkeit und Schädlichkeit der zu verwendenden Reinigungsprodukte und -verfahren an ähnlichen Materialien mittels vorbereitender Labortests.

5.2.2 Die Stärke unerwünschter Materialien auf der Oberfläche eines Objekts kann von wenigen Mikrometern bis zu einigen Millimetern variieren, und eine Reinigung kann eine Entfernung von einem oder mehreren der folgenden Materialien umfassen, die als gängigere Beispiele gelten:

- a) atmosphärische Partikel, die oftmals aneinander sowie mit der Objektoberfläche gebunden sind, bestehend aus Calciumsulfat, Calciumcarbonat oder Silica, je nach Untergrund;
- b) Biofilme, die aus heterotrophen Bakterien, Cyanobakterien, Algen, Pilzen, Flechten bestehen;
- c) Mörtelspritzer und verlaufener Mörtel;
- d) Calciumcarbonat-Verkrustungen;
- e) ausgeblühte Salze;

- f) Vogelkot;
- g) Farbe und Graffiti;
- h) Vögel verscheuchendes Gel;
- i) Öle, Fett und Wachse;
- j) Flecken;
- k) Verschmutzung oder Erdverkrustungen an archäologischen Gegenständen;
- l) Übermalungen;
- m) Anti-Graffiti-Beschichtungen;
- n) vorherige Behandlungen oder von vorherigen Behandlungen herrührende Reaktionsprodukte.

5.2.3 Es sollten Aufzeichnungen über vorherige Arbeiten von Bedeutung am Objekt geführt werden, einschließlich Zeichnungen (Fotos oder Analysen) von:

- a) den verschiedenen Materialien, aus denen das Objekt des kulturellen Erbes besteht, sofern abweichend von 5.1.1 b);
- b) Umfang, Art, Stärke und Verteilung der Materialien, die zu entfernen sind, und vom Zustand des Objekts, sofern abweichend von 5.1.1 c) und d);
- c) die Oberflächenbeschaffenheiten oder Werkzeugspuren, Farb- und polychrome Schichten;
- d) der Probenahmeort, falls zutreffend.

Festlegungen und andere Dokumente, die für ein Reinigungsprojekt erforderlich sein könnten, sollten in ausreichender Detailtiefe vorbereitet werden, um bei der Erstellung von Schätzungen und bei der Ausführung der Arbeiten als geeignete Anleitung zu dienen. Kopien aller relevanten Dokumente sollten allen betroffenen Parteien verfügbar sein, inklusive des Personals vor Ort, das für die Überwachung verantwortlich ist. Die Dokumente sollten aufbewahrt werden, um Hintergrundinformationen vor weiteren Beurteilungen oder Arbeiten bereitzustellen. Nach diesen Aufnahmen sollte die Entscheidung darüber getroffen werden, ob und welche Reinigungsverfahren geeignet sind.

6 Auswahl des Reinigungsverfahrens

Nach der vorbereitenden Zustandserhebung und Identifizierung des Untergrunds und unerwünschter Materialien (siehe 5.2) sollte unter den in Abschnitt 8 erläuterten Reinigungsverfahren ein geeignetes ausgewählt werden.

Da ein Reinigungsprozess vielfache Anwendungen eines Systems oder mehrere Entfernungssysteme umfassen kann, sollten Tests *vor Ort* an repräsentativen Bereichen durchgeführt werden.

Wirksamkeit und Eignung der getesteten Produkte und Verfahren (siehe Abschnitt 7) müssen einer vorherigen Beurteilung unterzogen werden.

Da ein einzelnes Objekt aus einem komplexen Gefüge von Bestandteilen bestehen kann, die sich durch ihre physikalischen und chemischen Merkmale unterscheiden, kann die Expertise eines Teams aus Fachleuten, die jeweils auf einem definierten Wissensgebiet spezialisiert sind, notwendig sein, um einen Konservierungsplan zu erstellen, der mehrere verschiedene Produkte und Verfahren verwendet.

7 Probereinigungsbereiche

Das Ziel einer Reinigung eines Probereichs sollte sein, Folgendes zu bestimmen:

- die Eignung des Reinigungsverfahrens für das Objekt, seinen Zustand und die unerwünschten Materialien;
- den Grad der Reinigung, der erreicht werden kann, und seine Angemessenheit.

Reinigungsprozesse sollten vorher an Oberflächen des Objekts getestet werden, die stellvertretend für alle Oberflächen sind, auf denen die Reinigung ausgeführt werden wird. Wenn möglich, sollten sich die Probereiche an unauffälligen Stellen befinden, und sie sollten in jedem Fall klein sein, für den Fall, dass nach der Probe entschieden wird, nicht mit der vollständigen Reinigung fortzufahren.

Wenn verschiedene Reinigungsverfahren getestet werden, müssen jene, die am wenigsten aggressiv sind (bzw. als am wenigsten aggressiv erachtet oder angenommen werden), zuerst getestet werden. Aggressivere Verfahren sollten nur wenn notwendig getestet und angewendet werden.

Über die Probereinigung und die Lokalisierung der Probereiche sollte eine detaillierte Aufzeichnung geführt werden.

Diese sollte zur Bezugnahme über die Dauer des Reinigungsablaufs aufbewahrt werden.

Die Probereinigung sollte von den für die Erstellung der Reinigungsspezifikation Verantwortlichen beobachtet und bewertet werden. Die Testbereiche sollten für eine Inspektion durch die zuständigen Behörden verfügbar sein.

Die Probereinigung sollte im Vorfeld vereinbart und von geschulten und erfahrenen Fachleuten ausgeführt werden, die mit einer Vielfalt an Reinigungssystemen vertraut sind.

Die Probereiche sollten, sofern dies hilfreich ist, in nassem und trockenem Zustand bewertet werden.

Eine umfassende Bewertung sollte enthalten:

- a) die potenzielle Beschädigung des Objekts als Resultat der Reinigung;
- b) aus dem Reinigungsprozess resultierende Farbänderungen;
- c) die allgemeinen Veränderungen am Aussehen der Objektoberfläche nach der Reinigung;
- d) die Wirksamkeit der Entfernung der unerwünschten Materialien.

8 Reinigungsverfahren

8.1 Reinigung mit Wasser

8.1.1 Allgemeines

Eine Reinigung mit Wasser umfasst eine Reihe verschiedener Systeme unter Verwendung von Wasser in flüssigem oder dampfförmigem Zustand.

Wasser kann auf verschiedene Arten zugeführt werden – als Tröpfchennebel, Sprühnebel, Dampf usw. – oder in einem Gel oder Kompressenmedium enthalten sein.

Die Lösungsfähigkeit von Wasser wird hauptsächlich von der Temperatur und der spezifischen Oberfläche der Tröpfchen beeinflusst, die mit der Oberfläche des Objekts in Kontakt kommen. Zusätzlich zur Lösungsfähigkeit gibt es aufgrund des Wasserkontaktdrucks eine mechanische Wirkung.

Wenn es der Zustand der Oberfläche erlaubt, kann die Wirkung des gesprühten Wassers durch eine sanfte mechanische Einwirkung, z. B. unter Verwendung von Nylon- oder Borstenpinseln, verstärkt werden.

Vor Auswahl eines dieser Verfahren muss die Porosität und der Zustand des Materials bewertet werden, um die erforderliche Wassermenge und Dauer abzustimmen.

Besondere Beachtung sollte auf die Bereiche gelegt werden, in denen Materialwechsel auftreten, z. B. bei Mörtelfugen.

Die Leitfähigkeit des verwendeten Wassers muss im Allgemeinen kleiner als 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sein; ein Niveau bei dem das meiste Leistungswasser für die Reinigung geeignet ist.

Im Fall historischer Gebäude sollten einige vorbereitende Arbeiten vor einer Reinigung in Betracht gezogen werden, wie z. B. ein vorübergehendes Ausfugen oder Füllen von Rissen, durch die Reinigungsflüssigkeiten in die Wand oder in das Gebäude eindringen könnten. Verglasung und Fensterrahmen müssen mit Kunststoffolie und Klebeband geschützt werden. Sofern am Ort anfällige Elemente oder Materialien vorhanden sind, müssen diese im Reinigungsbereich geschützt werden.

Vor einer Reinigung der Außenseite eines Gebäudes muss das Regenwasserableitsystem des Gebäudes überprüft werden, um sicherzustellen, dass seine Kapazität ausreichend, es in gutem Zustand und frei von Verstopfungen ist. Wasserbasierte Verfahren dürfen nicht angewendet werden, falls das Risiko besteht, dass während der Reinigung und vor ausreichender Trocknung des Materials nach der Reinigung die Außentemperaturen unter 5 °C fallen (Risiko von Frostbildung), um die Möglichkeit der Frostbildung zu verringern.

Der Wasserabfluss muss gesteuert und begrenzt werden.

8.1.2 Nebelartiges Sprühen oder pulsierendes Nebelsprühen

8.1.2.1 Beschreibung

Nebelartiges Sprühen, auch bekannt als intermittierendes Nebelsprühen, ist eine Entwicklung einer Niederdruckwäsche mit Wasser, die häufig als die am wenigsten aggressive Form der Reinigung betrachtet wird.

Das System des nebelartigen Sprühens beruht auf dem Prinzip, Wasser durch ein sehr feines Sieb oder einen Filter zu leiten, um einen Nebel zu erzeugen, der dann durch feine Düsen geleitet wird. Die Einwirkung des Nebels, der über die Oberfläche des Objekts wirbelt, befeuchtet die Schmutzschichten und weicht sie auf. Die Einwirkung des Nebels aktiviert auch die Mobilisierung der Schmutzpartikel und hebt damit die Kohäsion der Schmutzschicht und die Adhäsion am Untergrund darunter auf.

Das Ziel des nebelartigen Sprühens ist es, die geringste Wassermenge über die minimale Dauer anzuwenden, um den Schmutz aufzuweichen, und dadurch seine Entfernung durch Bürsten oder eine andere vergleichsweise sanfte mechanische Reinigung zu ermöglichen.

Die Position der Düse in Bezug auf die Oberfläche, die gereinigt werden soll, sollte sorgfältig kontrolliert werden, um jegliche mechanische Wirkung der Wassertröpfchen zu vermeiden, da das Reinigungsverfahren nur durch den Prozess der Solubilisierung wirken sollte. Zum Erreichen dieser Zielsetzung sollte der Strahl aus zerstäubtem Wasser nicht direkt auf die zu reinigende Oberfläche prallen, sondern sollte diese erreichen, wenn er herabzufallen beginnt.

Eine Reihe von Sprühköpfen oder Düsen werden an einem Auslegerarm vor dem Bereich montiert, der gereinigt werden soll. Diese werden über einen Schlauch mit der Wasserversorgung verbunden.

Das Anbringen der Düsenköpfe an Auslegern ermöglicht die Flexibilität, den Nebel zur Reinigung dort zu erzeugen, wo er benötigt wird. Eine Umhüllung mit einer schützenden, wasserdichten Abdeckung unterstützt den Reinigungsprozess, da sie eine Beeinträchtigung durch externe Witterungsbedingungen verhindert.

Um jegliche Migration von kontaminiertem Wasser in untere Ebenen zu vermeiden, muss ein geeignetes Auffang- und Entsorgungssystem für Abwässer installiert werden.

Das Wasser muss bei Umgebungstemperatur unter Verwendung hydraulischer Zerstäubungsdüsen zerstäubt werden, die einen feinen Sprühnebel in der Form eines Hohlkegels erzeugen. Der empfohlene Durchmesser der Öffnung ist kleiner als 1 mm, was das Erzeugen von Tröpfchen mit einem variierenden Durchmesser von 80 µm bis zur maximal empfohlenen Größe von 120 µm ermöglicht. Die Abmessungen und die Verteilung der Tröpfchen können unter Verwendung des geeigneten wasserempfindlichen Papiers bestimmt werden.

Etwa alle 15 min bis 20 min sollte der Reinigungsfortschritt kontrolliert werden, um eine gleichförmige Anwendung sicherzustellen, die für die spezifische Behandlung des Materials, das entfernt werden soll, geeignet ist.

Die Wassermenge kann elektronisch oder durch Zeitschalter geregelt werden, was ein Impuls- oder intermittierendes Sprühen ermöglicht, um zu vermeiden, dass Wasser über die Oberfläche des Objekts läuft.

Das System sollte so konstruiert sein, dass es hoch flexibel ist und den Sprühnebel nur dorthin richtet, wo es notwendig ist.

Die nachfolgenden Beispiele sind indikativ für einige Methoden, mit denen das System angepasst werden kann:

- a) die Düsen des Schlauchs können je nach Zustand der Oberfläche und nach Schwere des Schmutzes oder der Verkrustungen, die behandelt werden, gruppiert oder mit Abstand zueinander angebracht sein;
- b) flache Oberflächen erfordern weniger Wasser als ein stark verschmutztes, geschnittes Detail, was eine Gruppe von Düsen erfordern kann, die an einem gelenkigen Schlauch zum Profil der Schnitzerei gerichtet sind;
- c) die Sprühdüsen werden auch mit einem elektronischen Abschaltssystem betrieben. Dieses arbeitet in Verbindung mit Sensoren, die sich unterhalb des jeweils gereinigten Bereichs befinden. Wenn die anhand von Prüfbereichen bestimmte, erforderliche Wassermenge auf die Wand aufgebracht wurde, wird die Wasserzufuhr zu den Düsenarmen mittels dieser Sensoren abgeschaltet;
- d) ein intermittierendes Sprühsystem, wobei auf eine kurze Sprühdauer eine längere Zeitdauer ohne Sprühen folgt, um die Wirkung des Sprühnebels auf die äußeren Schichten zu begrenzen.

Der angewendete Zyklus hängt weitgehend von den physikalischen Eigenschaften des Untergrunds des Objekts und seinem Zustand ab.

8.1.2.2 Technische Angaben

- a) Öffnungsdurchmesser hydraulisch zerstäubender Düsen: 0,4 mm bis 0,8 mm;
- b) mittlerer Tröpfchendurchmesser: 80 µm bis 120 µm.

8.1.2.3 Variablen

Je nach Art der Oberfläche müssen im Anschluss an Prüfungen an Prüfbereichen die unten aufgeführten Variablen nach der Art und Stärke des zu entfernenden Schmutzes und nach dem Oberflächenzustand festgelegt werden:

- a) spezifische Leitfähigkeit des Wassers (für einige Anwendungen wird entionisiertes Wasser mit weniger als 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ empfohlen);
- b) Wasserverbrauch (l/h);
- c) Tröpfchenverteilung (visuelle Bewertung);
- d) Abstand zwischen der Düse und der Oberfläche (cm);
- e) räumliche Anordnung (Ausrichtung und Dichte der Düsenzahl/ m^2);
- f) Dauer (min) jeder Befeuchtungs- und Trocknungsphase und Anzahl der Zyklen (nass und trocken).

8.1.2.4 Vorteile

- a) Der Aufprall des Nebels auf die Oberfläche ist nur äußerst gering, was das Risiko einer mechanischen Beschädigung reduziert, es sei denn, die Oberfläche ist extrem zersetzt.
- b) Dickere Verkrustungen von Verschmutzungen, die sich in geschützten Bereichen eines Objekts bilden können, die nicht regelmäßig durch Regenwasser gereinigt werden, können durch das Wasser aufgeweicht und anschließend mechanisch entfernt werden.
- c) Verkrustungen und Verschmutzungen werden fortschreitend aufgeweicht, was eine kontrollierte Entfernung ermöglicht, so dass das Risiko einer übermäßigen Reinigung verringert wird.
- d) Im Vergleich zu anderen wasserbasierten Waschsystemen verwendet ein Sprühnebel weniger Wasser und vermeidet damit das übermäßige Abfließen zu anliegenden Bereichen der Oberfläche.
- e) Entfernen aufgeweichten Materials durch Abbürsten zwischen Sprühzyklen kann den Reinigungsprozess beschleunigen und hat den zusätzlichen Vorteil, dass eine Überwachung des Fortschritts möglich ist.
- f) Das Wasser weist weniger Gefahren für die Öffentlichkeit und die Anwender auf als einige der anderen Verfahren.

8.1.2.5 Nachteile

- a) Dieses Verfahren ist nicht wirksam zum Entfernen von Verschmutzungen oder Flecken, die nicht wasserlöslich sind.
- b) Die Wasserreinigung durch nebelartiges Sprühen oder intermittierendes Nebelsprühen wird nicht für poröses anorganisches Material mit einem hohen Wasseraufnahmevermögen, für verwitterte Oberflächen und für salzreichen Untergrund empfohlen. Wasserreinigungsverfahren können einen Abbau verstärken, wenn sie auf einer schwer zersetzten Oberfläche verwendet werden, und sie können gefährliche Auflösungs-/Rekristallisierungsvorgänge auslösen, sofern der Untergrund salzreich ist.
- c) Ein häufiges Problem bei vielen Kalksteinen und einigen Sandsteinen ist die Bildung brauner oder orangefarbener Flecken, verursacht durch natürlich vorkommende Eisenverbindungen im Stein, die mobilisiert und zur Oberfläche getragen werden.

- d) Das Risiko von durch nicht-dichte Fugen oder Risse eindringendem Wasser ist auch beim nebelartigen Sprühsystem weiter vorhanden, was die Notwendigkeit verdeutlicht, eine sorgfältige Zustandsaufnahme der Außenseite und während des Fortgangs der Reinigung eine kontinuierliche Überwachung der Innenseite durchzuführen. Trotz des relativ niedrigen Wasservolumens kann es gelegentlich vorgekommen, dass Wasser zur Innenseite des Gebäudes eindringt.
- e) Das Verfahren kann nicht angewendet werden, wenn wasserempfindliche Ursprungsmaterialien, einschließlich Wandgemälden vorhanden sind.

8.1.2.6 Anwendungsbeispiele

Die Anwendung ist besonders nützlich an Gebäudefassaden, an denen unerwünschte wasserlösliche Materialien vorhanden sind.

Dieses Verfahren funktioniert gut auf dünnen Verschmutzungsschichten, die empfindlich gegen Wasser sind. Die Wasserreinigung durch nebelartiges Sprühen war in der Vergangenheit weitverbreitet zur Reinigung von Marmor und Kalkstein mit niedriger Porosität, da die Verschmutzung generell an relativ lösliche Verbindungen gebunden ist.

In einigen Fällen kann eine Reinigung weniger effizient auf kieselhaltigen Steinen, wie z. B. Granit oder Sandstein, sein, wo die Verschmutzung als unlösliche Verbindungen an die Silikatoberfläche gebunden ist.

Wenn die Anwendung invasiverer Reinigungsverfahren nicht vermeidbar ist, kann es von Vorteil sein, das nebelartige Sprühsystem anzuwenden, um den Schmutz vorab aufzuweichen.

8.1.3 Wassersprühen bei niedrigem Druck

8.1.3.1 Beschreibung

Das Verfahren beruht auf der Verwendung eines Wassersprühsystems mit dem Prinzip, Wasser durch Düsen zu leiten und damit Tröpfchen zu erzeugen, die auf die Oberfläche des Objekts aufprallen. Verwendet wird Wasser mit einem niedrigen Druck (0,2 MPa bis 0,3 MPa).

Zum Niederdruckwaschen (heißes oder kaltes Wasser) sollten normalerweise Fächer- oder Kegelstrahldüsen mit mindestens 25 Grad verwendet werden. Wasserdruck und Art der Düsen sollten dem Zustand des Untergrunds angepasst werden.

Zum Wässern der Aussparungen komplexer Oberflächen (z. B. Schnitzereien) sollten rotierende Düsen verwendet werden.

Druck, Winkel und Düsenabstand von der Oberfläche sollten sorgfältig kontrolliert werden.

Reinigung sollte durch Befeuchten und Aufweichen (anstelle einer mechanischen Einwirkung des Wassers) durchgeführt werden.

Druckreinigungssysteme, die mit Hilfe einer mechanischen Sprüheinrichtung mittleren bis hohen Druck einsetzen, um unerwünschte Materialien von Gebäudeoberflächen zu entfernen, werden in diesem Abschnitt nicht berücksichtigt. Das Waschen mit mittlerem und hohem Druck und Hydroblasting (Waschen mit sehr hohem Druck) werden nicht zur Reinigung von Objekten des kulturellen Erbes empfohlen.

8.1.3.2 Technische Angaben

- a) Düsenöffnungsdurchmesser: 1 mm bis 2 mm;
- b) Wasserdruck: 0,2 MPa bis höchstens 0,3 MPa.

8.1.3.3 Variablen

- a) Abstand zwischen dem Wasserauslass und der Oberfläche;
- b) Winkelrichtung der Düse;
- c) Wasserverbrauch.

8.1.3.4 Vorteile

Niedrige Kosten. Erfordert keine hochspezialisierte Ausrüstung.

Das Verfahren ist wirksam beim Entfernen wasserlöslichen Schmutzes von Materialien mit niedriger Porosität (z. B. Beton, zementbasierte Putze, einige Ziegelsteinarten, Betonstein usw.).

8.1.3.5 Nachteile

Zusätzlich zu den angeführten Nachteilen in 8.1.2.5 a), b), c), d), e) müssen die folgenden berücksichtigt werden:

- a) große Wassermengen, d. h. größere Mengen als sie beim nebelartigen Sprühen angewendet werden, sind potenziell schädlich für Gebäude und es sollten geeignete Vorsichts- und Überwachungsmaßnahmen vorgesehen werden, damit kein Wasser in das Kernmaterial vordringt;
- b) provisorische Reservoirs und Rinnen sollten vorgesehen werden, um Wasser effizient von den Gebäudewänden zu entfernen und um eine Übersättigung auf unteren Ebenen zu vermeiden sowie für eine Entsorgung des Wassers in geeigneter Weise;
- c) die Einwirkung dieser Techniken auf zersetzte Oberflächen wird zu Materialverlust führen.

8.1.3.6 Anwendungsbeispiele

Diese Technik kann nur auf Oberflächen in sehr gutem Zustand angewendet werden (z. B. monolithischer Beton).

8.1.4 Injektion-Extraktions-Reinigung

8.1.4.1 Beschreibung

Das Injektion-Extraktions-Verfahren beruht auf einer spezifischen Vakuum-Waschtechnologie. Wasser wird auf die verschmutzte Oberfläche durch einen Kopf gesprüht, der auch das schmutzige Wasser durch eine Saugwirkung rückgewinnt. Die Düse des Reinigers verfügt über eine Bürste mit weichen Borsten und ein Gelenk aus weichem Kunststoff zum Bewegen über die Oberfläche, ohne diese zu beschädigen. Ein Tensid kann in geringer Konzentration hinzugefügt werden, um die Benetzbarkeit zu verbessern.

8.1.4.2 Technische Angaben

- a) Wasserdruck: 0,2 MPa bis 1,0 MPa;
- b) Saugvakuum: 34 kPa $\pm$ 4 kPa.

8.1.4.3 Variablen

- a) Wasserverbrauch (l/h);
- b) hinzugefügtes Tensid (%).

8.1.4.4 Vorteile

Die Reinigung beruht auf Wasserwirkung (Auflösung und Auswaschen), aber die Oberfläche wird sehr leicht befeuchtet und fast sofort wieder getrocknet. Speziell konstruierte Vorrichtungen ermöglichen die Anwendung auf einer sehr großen Vielzahl von Oberflächenkonstruktionen. Geräteköpfe verschiedener Breiten und Formen sind verfügbar, um die Anwendung auf mehr oder weniger regelmäßigen, relativ flachen Oberflächen zu ermöglichen.

Das Wasser wird eingedämmt; die Lösung und der Schmutz werden in einen Behälter abgesaugt, kein Abwasser läuft an den Wänden und Decken herunter.

Die Umgebung erfordert keine größeren Schutzmaßnahmen gegen Wasser, Staub und Lärm; der Ort kann kontinuierlich benutzt werden (z. B. Kirche, Büro, Treppen usw.).

8.1.4.5 Nachteile

- a) Das System wurde zur Verwendung auf flachen Oberflächen entwickelt, weshalb es extrem schwer ist, es auf konturenreichen Oberflächen zu verwenden.
- b) Es besteht das Risiko eindringenden Wassers durch defekte Fugen oder Risse.
- c) Ein häufiges Problem bei vielen Kalksteinen und einigen Sandsteinen ist die mögliche Bildung brauner oder orangefarbener Flecken, verursacht durch natürlich vorkommende Eisenverbindungen im Stein, die mobilisiert und zur Oberfläche getragen werden.
- d) Das System lässt nicht genug Zeit, um Verschmutzungen aufzuweichen oder zu lösen.

Dieses Verfahren wird nicht empfohlen für:

- e) empfindliche Oberflächen wegen des Risikos von Materialverlust;
- f) Entfernung von Verschmutzung oder Flecken, die nicht wasserlöslich sind;
- g) Steine mit einer hohen, offenen integralen Porosität und für verwitterte Oberflächen;
- h) salzreicher Untergrund wegen des Auftretens gefährlicher Auflösungs- bzw. Rekristallisierungsprozesse.

8.1.4.6 Anwendungsbeispiele

Das Verfahren ist zum Entfernen lockerer Ablagerungen geeignet (z. B. Rußablagerungen), die häufig an Innenwänden vorhanden sind (Beton-, Ziegel- und Steinwandmauern, Putze usw.).

8.1.5 Dampfreinigung

8.1.5.1 Beschreibung

Die meisten Dampfreinigungsgeräte erzeugen ein 2-Phasen-System, in dem die Dampfphase in einem dynamischen Gleichgewicht mit der flüssigen Phase ist.

Das Gleichgewicht wird hauptsächlich durch Temperatur und Druck beeinflusst.

Die meisten Dampfreinigungsgeräte erzeugen nassen Dampf, in dem sich auch wenige heiße Wassertropfen befinden. Der Druck entsteht durch den Dampferzeugungsprozess an sich. Mit der Erzeugung des Dampfes steigt der Druck im Behälter; Dampf bleibt bei über 150 °C in flüssiger Phase, solange der Druck im Behälter über etwa 0,4 MPa liegt. Durch Freisetzen des Drucks bei Öffnung der Düse verdampft das flüssige Wasser und kühlt sich bei Luftdruck auf den Siedepunkt von Wasser (100 °C) ab. Dabei dehnt es sich um

etwa das 1,5fache aus. Diese Ausdehnung erfolgt in der Düse und unterstützt dabei, den Dampfdruck bereitzustellen. Die Dampftemperatur neigt dazu, nach Austreten des Dampfs aus der Düse schnell zu fallen, und Anteile des Dampfs kondensieren zu Wassertröpfchen. Die Dampfreinigung unter Verwendung derartiger Geräte wird durch eine Kombination aus Dampf und der wenigen Tröpfchen aus heißem Wasser erreicht.

Solange die Temperatur im System hoch ist, ist der Druck auf die zu reinigende Oberfläche sehr sanft und das Wasservolumen ist niedrig. Die Oberfläche wird daher nicht gesättigt und trocknet innerhalb von Minuten.

Auf dem Markt sind viele verschiedene Arten von Dampfreinigern verfügbar, und sie sollten klar von Heißwasserreiniger unterschieden werden.

Die kleinen industriellen Dampfreinigungsmaschinen, die in der Konservierung verwendet werden, geben sehr kleine Wassermengen aus; normalerweise 2 l bis 4 l Wasser je Stunde bei einem Betriebsdruck von 0,2 MPa bis 0,6 MPa durch eine in der Hand gehaltene Düse. Diese Art Dampfreinigungsgerät bietet den Vorteil der Verwendung von weniger Wasser als bei den meisten anderen Reinigungsprozessen, was hinsichtlich Art und Zustand des Untergrunds oder wegen Einschränkungen vor Ort oder am Standort von Vorteil sein kann.

Größere Systeme sind verfügbar, die einen höheren Betriebsdruck haben. Allerdings wird ihre Verwendung an Kulturerbe nicht empfohlen.

Der Anwender muss im Vorfeld Tests durchführen, um die optimalen technischen Festlegungen und Variablen (Auswahl von Gerät, Druckpegel, Temperatur, Düsentyp und Reinigungsprozess) zu ermitteln, die am besten zu Art und Zustand des Untergrunds und der spezifischen Art der Verschmutzung passen.

Je breiter der Sprühwinkel ist, umso niedriger ist generell der Druck an der Oberfläche des Untergrunds. Ein Sprühwinkel von 40° wird normalerweise verwendet. Ein engerer Winkel kann in einem höheren Druck resultieren, der ausreichend sein kann, um eine Beschädigung an weichem oder verfallenem Kalkstein und Sandstein zu verursachen.

Die Düsenauswahl spielt eine wichtige Rolle beim Planen des Reinigungsprozesses und der Wirkungsweise der Dampfreinigung. Eine Vielzahl von Sprühformen und -winkeln sind verfügbar. Am meisten werden der solide Kegel (geeignet für geschnittene Oberflächen) und die Fächerform (geeignet zur Reinigung größerer Flächen von flachen Quadersteinen) verwendet. Diese verschiedenen Düsentypen haben auch verschiedene Eigenschaften in Bezug auf die Diffusionstemperatur des Dampfstrahls; eine Standarddüse kann z. B. bei Temperaturen über 140 °C an Schärfe verlieren. Diese Variable kann verwendet werden, um die Präzision und Wirksamkeit des Strahls zu steuern.

Es wird empfohlen, die Düse nicht zu nah an der Objektoberfläche anzuordnen, da dies zu Beschädigungen und ungleichmäßiger Reinigung der Oberfläche führen kann.

In vielen Fällen wird die beste Reinigung unter Verwendung einer 2-Schritt-Technik erreicht. Der erste Schritt wird mit einem niedrigeren Druck ausgeführt und weicht die Verschmutzung auf. Nach einer Weile (von Minuten bis zu ein paar Stunden – anhand von Versuchsbereichen festgelegt) ist das Aufweichen erfolgt und ein zweiter Schritt ermöglicht nun das vollständigere Entfernen der Verschmutzung, ohne dass die Düse zu nahe an die Oberfläche gehalten werden muss.

8.1.5.2 Technische Angaben

- a) Sprühwinkel: etwa 40°;
- b) Wasserdruck: 0,2 MPa bis 0,6 MPa.