

DIN EN 17488

ICS 97.195

**Erhaltung des kulturellen Erbes –
Methodologie für die analytische Prüfung zur Auswahl von
Reinigungsverfahren von porösen anorganischen Objekten des kulturellen
Erbes;
Deutsche Fassung EN 17488:2021**

Conservation of cultural heritage –
Procedure for the analytical evaluation to select cleaning methods for porous inorganic
materials used in cultural heritage;
German version EN 17488:2021

Conservation du patrimoine culturel –
Procédure pour l'évaluation analytique et le choix des méthodes de nettoyage des matériaux
inorganiques poreux dans les bâtiments d'intérêt patrimonial;
Version allemande EN 17488:2021

Gesamtumfang 55 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 17488:2021) 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).

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 25178 siehe DIN EN ISO 25178

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

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 25178, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Oberflächenbeschaffenheit: Flächenhaft*

Deutsche Fassung

Erhaltung des kulturellen Erbes —
Methodologie für die analytische Prüfung zur Auswahl von
Reinigungsverfahren von porösen anorganischen Objekten
des kulturellen Erbes

Conservation of cultural heritage —
Procedure for the analytical evaluation to select
cleaning methods for porous inorganic materials used
in cultural heritage

Conservation du patrimoine culturel —
Procédure pour l'évaluation analytique et le choix des
méthodes de nettoyage des matériaux inorganiques
poreux dans les bâtiments d'intérêt patrimonial

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 23. Mai 2021 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, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, 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	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	9
4 Abkürzungen	10
5 Allgemeine Vorgehensweisen (Teil A)	10
5.1 Überblick	10
5.2 Feststellung des Untergrunds und Charakterisierung unerwünschter Materialien	11
5.3 Auswahl geeigneter Reinigungsverfahren für die Prüfung	12
5.4 Lokalisierung, Abgrenzung und Benummerung der Versuchsbereiche für die Reinigung	12
5.5 Gestaltung des Bewertungsprozesses und Festlegung eines gereinigten Referenzbereichs	13
6 Untersuchung der Oberfläche vor Ort	16
6.1 Optische Betrachtung	16
6.1.1 Tragbares Digitalmikroskop	16
6.1.2 Streiflicht	16
6.1.3 Tragbares Digital-Stereomikroskop	16
6.1.4 Ultraviolettfluoreszenz-Spektroskopie	17
6.2 Chemische/physikalische Analyse	17
6.2.1 Farbmessung	17
6.2.2 Elementanalyse durch tragbare XRF	17
6.2.3 Molekularanalyse mit tragbarem FTIR-Spektrometer	18
6.2.4 Oberflächliche Ionenanalyse	18
6.3 Beurteilung der Wasserabsorption	18
6.3.1 Allgemeines	18
6.3.2 Messung der Wasserabsorption mit Prüfrohr (<i>in situ</i>)	18
6.3.3 Bestimmung der Wasseraufnahme durch Kontaktschwamm-Methode (<i>in situ</i>)	19
6.3.4 Wassertropfen-Prüfung (<i>in situ</i>)	19
7 Laboranalyse von Proben, die aus Versuchsbereichen entnommen wurden	19
7.1 Allgemeines	19
7.2 Probenahme	20
7.3 Chemische/physikalische Analyse	21
7.3.1 Untersuchungen an Fragmentoberflächen durch Mikroanalyse mithilfe von TL0M, RLOM, SEM/ESEM und EDS	21
7.3.2 Untersuchungen an Dünnschliffen und polierten Schliffen durch Mikroanalyse mithilfe von TL0M, RLOM, SEM/ESEM und EDS	21
7.3.3 Schwingungsspektroskopie (FTIR, Mikro-FTIR und Raman)	22
7.4 Analyse der Oberflächenmorphologie	22
7.4.1 Messung der Rauigkeit (siehe ISO 25178)	22
7.5 Nasschemische Analyse (auf wässrigem Extrakt) im Fall der chemischen Reinigung	23
7.5.1 Extraktionsverfahren	23
7.5.2 Analyse von wässrigem Extrakt	25
8 Gesamtbewertung der erhaltenen Ergebnisse	25

9	Analyseverfahren für Prüfungen, die sich in der Entwicklung befinden, an Probekörpern analogen Materials (Teil B)	26
9.1	Allgemeines Verfahren.....	26
9.2	Herstellung der Probekörper	28
9.2.1	Anzahl und Maße der Probekörper	28
9.2.2	Vorbehandlung der Probekörper.....	29
9.3	Bewertungsprozess für das/die zu prüfende(n) Reinigungsverfahren.....	29
9.4	Analyse von Probekörpern vor und nach der Durchführung der Reinigungsverfahren	29
9.4.1	Allgemeines	29
9.4.2	Bestimmung der Wasserabsorption durch Kapillarität	29
9.4.3	Farbmessung auf Oberflächen.....	30
9.4.4	Betrachtung der Oberflächen mit dem Stereomikroskop.....	30
9.4.5	Bestimmung der Masseänderung.....	30
9.4.6	Analyse von Dünnschliffen und polierten Schliffen durch TLOM, RLOM, SEM/ESEM-EDS.....	31
9.4.7	Analyse von dünnen und polierten Schliffen an Fragmenten aus der Oberfläche durch TLOM, RLOM, SEM/ESEM-EDS.....	31
9.4.8	Durchführung der Reinigung.....	32
9.5	Analyse eines wässrigen Extrakts für die chemische Reinigung	32
9.6	Prüfbericht.....	32
9.6.1	Allgemeine Angaben.....	32
9.6.2	Ergebnisse aus den Messungen an Probekörpern	33
	Anhang A (normativ) Beispiele für die Durchführung von Versuchen.....	35
A.1	Beispiele für die Durchführung von Versuchen.....	35
	Anhang B (informativ) Durchgeführte Prüfung, Ergebnisse und Schlussfolgerung.....	40
B.1	Durchgeführte Prüfung, Ergebnisse und Schlussfolgerung.....	40
	Anhang C (informativ) Für verschiedene Reinigungsverfahren anzugebende Daten (siehe EN 17138:2018).....	48
C.1	Reinigung mit Wasser	48
C.1.1	Nebelsprühen und Wassersprühen	48
C.1.2	Wässrige Kompressen mit saugfähigem Material.....	48
C.1.3	Dampfreinigung	48
C.2	Mechanische Reinigung.....	49
C.2.1	Mikrostrahlen.....	49
C.2.2	Nass-Mikrostrahlen	49
C.2.3	Kryogene Reinigung.....	49
C.3	Physikalische Reinigung.....	50
C.4	Chemische Reinigung.....	50
C.4.1	Organische Lösemittel.....	50
C.4.2	Saure oder alkalische Lösungen, Komplexbildner, Tenside	50
C.4.3	Ionenaustauschharze.....	51
	Literaturhinweise.....	52

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 17488:2021) 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 Dezember 2021, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Dezember 2021 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.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die Republik Nordmazedonien, 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.

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 Abbauprozesse 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 erforderlichen Reinigungsmaßnahmen stellen für das Objekt ein Risiko dar und sind daher mit äußerster Vorsicht durchzuführen. Die gewählten Reinigungsverfahren sollten weder das Objekt beschädigen, noch den Anwender, die Umgebung/Umwelt oder die Nutzer des Standorts schädigen.

Der Reinigungsvorgang muss den Begriff der Kompatibilität (EN 15898) im Sinne von dem „Ausmaß, in dem ein Material zusammen mit einem anderen Material verwendet werden kann, ohne Beeinträchtigung der Bedeutung oder Stabilität eines Objekts“ beachten. Bei Erweiterung des Kompatibilitätsbegriffs um die Reinigungsmaßnahme sollte daher in einer „Kompatibilitätsanalyse“ ermittelt werden, wie sich Reinigungsmaßnahmen (im Sinne von Wirksamkeit und Schädlichkeit) auf die Bedeutung und die Stabilität des Objekts des kulturellen Erbes auswirken würden.

Eine erfolgreiche Reinigungsstrategie muss sich an der Strategie für das gesamte Konservierungsprojekt in Übereinstimmung mit dem Erhaltungsprozess und dem Zustandsbericht (EN 16853, EN 16085 und EN 16095) orientieren und erfordert die sorgfältige Berücksichtigung einer Reihe von Aspekten, die unter anderem Folgendes umfassen:

- die Bedeutung des Objekts;
- das Ziel der Reinigung;
- eine eindeutige Beschreibung der Art der Materialien, die zu entfernen sind, einschließlich einer Begründung hierfür;
- Kontext und Empfindlichkeit des zu bewertenden Objekts (z. B. Vorhandensein von polychromen und vergoldeten Oberflächen);
- Zustand des Untergrunds, der während der Prüfung ein erhöhtes Risiko einer Beschädigung bedeuten kann;
- Form des Untergrunds (ebenmäßige oder geschnitzte Oberfläche).

Mithilfe dieser Faktoren kann die Anwendung eines Reinigungsverfahrens bzw. die Anwendung mehrerer Reinigungsverfahren, das/die ungeeignet wäre(n), ausgeschlossen werden.

Dieses Dokument berücksichtigt die Vielzahl der einzelnen Bestandteile sowie der Erhaltungszustände des Objekts, legt ein Verfahren für analytische Prüfungen fest und vergleicht das Ausmaß möglicher Schäden, die aus jedem geprüften Reinigungsverfahren resultieren können.

Die „Schädlichkeit“ kennzeichnet das Risiko für eine Vielzahl an unerwünschten Veränderungen, die nicht nur kurzfristig, sondern auch noch lange nach der Reinigung auftreten können.

Dazu können der Abbau des Untergrunds, eine veränderte Porosität oder Oberflächenrauigkeit, die Freisetzung von Reststoffen und die Bildung von Flecken zählen, die nicht mit dem Material kompatibel sind und/oder zukünftige Konservierungsmaßnahmen beeinträchtigen könnten.

Die potentielle Schädlichkeit eines Reinigungsverfahrens kann sich erhöhen, wenn es auf verwittertem Material angewendet wird.

Die Bewertung der Wirksamkeit und der potentiellen Schädlichkeit der Reinigungsverfahren muss vor Ort erfolgen, indem ein „Versuchsbereich“ als Vorstufe zu sämtlichen umfangreichen Arbeiten erstellt wird.

Der Reinigungsprozess erfordert eine sorgfältige Bewertung während der gesamten Arbeiten. Dies beginnt bei der Erstbewertung mithilfe von Versuchen und setzt sich mit der Überwachung und Optimierung während des ausgewählten Prozesses fort. Ziel von Versuchen ist es, das/die Reinigungsverfahren zu ermitteln, das/die zu einem akzeptablen Ergebnis bei minimalem Risiko für das Objekt führt/führen. Selbst mit einem umfangreichen Probenahmeverfahren können möglicherweise nicht alle Erhaltungszustände aufgedeckt werden, die an einem Objekt des kulturellen Erbes vorliegen, und eine kontinuierliche Bewertung der Reinigung und der Auswirkungen auf den Untergrund ist von entscheidender Bedeutung. Sofern notwendig, muss die Reinigung unterbrochen werden, um die angewendeten Verfahren erneut zu bewerten oder um zusätzliche Prüfungen durchzuführen, wenn Bereiche mit erhöhter Empfindlichkeit oder Unsicherheit aufgedeckt werden. Dieses Dokument legt die Punkte fest, anhand derer die Reinigungsverfahren als Teil der Konservierungsmaßnahmen ausgewählt und bewertet werden können.

Unterschiedliche Kombinationen von Untergrundarten und Reinigungsverfahren können unerwünschte Wechselwirkungen hervorrufen. Einige Merkmale eines bestimmten Untergrunds können abhängig von der Art und Weise und den Umständen seiner Verwendung zu einer besonders starken Beschädigung führen. Diese spezifischen Kombinationen erhöhen die Wahrscheinlichkeit einer Beschädigung. Unter bestimmten Umständen können die synergistischen Wirkungen leicht vorhergesagt werden, z. B. kann ein salzhaltiges Wandmauerwerk durch ein wasserbasiertes Verfahren stark gefährdet werden, selbst wenn bekannt ist, dass dieses Reinigungsverfahren im Allgemeinen schonend und wenig aggressiv ist. Bei der Beurteilung der synergistischen Wirkungen sollte berücksichtigt werden, dass Schäden auch noch nach langer Zeit zum Vorschein kommen können.

Die Erstbeurteilung eines Gebäudes oder eines vergleichbaren ortsfesten Objekts erfolgt vor Ort mit nicht-invasiven Systemen. Sofern notwendig, dürfen im Anschluss geeignete mikro-invasive oder invasive Laboranalysen durchgeführt werden (Bild 1, Tabelle 1).

Da es viele verschiedene Reinigungsverfahren gibt, deren Ergebnisse sich stark voneinander unterscheiden können, ist es notwendig, jede vorgeschlagene Reinigungstechnik/jedes vorgeschlagene Reinigungssystem vor den Versuchen und dem anschließenden Einsatz sorgfältig zu bewerten. Hierzu ist eine Verweisung auf EN 17138 erforderlich.

Die in EN 17138 behandelten Reinigungsverfahren wurden in vier Kategorien unterteilt: Reinigung mit Wasser, mechanische Reinigung, physikalische Reinigung und chemische Reinigung. Jedes Verfahren erfordert unterschiedliche Überlegungen, um die am besten geeigneten Untersuchungen auszuwählen.

Eine Beurteilung der Schädlichkeit chemischer Reinigungsverfahren erfordert zusätzliche Untersuchungen der möglichen Wechselwirkungen zwischen den Chemikalien und den zu entfernenden Produkten, d. h. eine Untersuchung im Hinblick auf die Entstehung von Nebenprodukten, die den Untergrund schädigen könnten. Demnach folgt das chemische Reinigungsverfahren einem anderen Pfad (Bild 2 und Bild 6, Tabelle 1).

Dieses Dokument setzt sich aus zwei Teilen zusammen:

- a) Allgemeine Vorgehensweisen (Teil A), die anzuwenden sind, wenn die Bewertung der Reinigungsauswirkungen an der Oberfläche eines Objekts des kulturellen Erbes gefordert wird.
- b) Analyseverfahren (Teil B) für die Prüfung von Reinigungsverfahren, die sich in der Entwicklung befinden, an Probekörpern analogen Materials, die ähnlichen Verfall aufweisen.

Reinigungsverfahren und Materialien, die sich in der Entwicklung befinden, sollten nicht an Objekten des kulturellen Erbes geprüft werden, sondern sollten nach dem in Teil B beschriebenen Analyseverfahren geprüft werden.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument enthält das Prüfverfahren zur Bewertung der Schädlichkeit sowie der Wirksamkeit eines Reinigungsverfahrens, das auf porösen anorganischen Materialien angewendet wird. Wandmalereien und Polychromie sind hiervon ausgenommen.

Die Bewertung umfasst die Durchführung von Analysen vor Ort und/oder Untersuchungen im Labor.

Die Bewertung des möglichen Schadens hat eine höhere Priorität als die Wirksamkeit, um eine Überreinigung zu vermeiden. Es ist wichtig, dass die Reinigung stets auf dem niedrigsten Niveau erfolgt, das als wirksam erachtet wird, und dass sie unter Berücksichtigung der ursprünglichen Oberfläche und Beschichtungen erfolgt. Überreinigung ist ein Begriff, der darauf hinweist, dass durch die unnötige Entfernung von Materialien, die zum Wert des Objekts beitragen, irreversible Schäden entstanden sind.

Dieses Dokument gilt für:

- a) Teil A: alle Reinigungsverfahren, die Merkmale der Parametrisierung und Reproduzierbarkeit aufweisen (siehe EN 17138);
- b) Teil B: alle neuartigen Verfahren, die sich in der Entwicklung befinden.

Dieses Dokument dient der Bewertung der optimalen Reinigungsverfahren und der Optimierung der Parameter von ausgewählten Reinigungsprozessen.

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 15801, *Erhaltung des kulturellen Erbes — Prüfverfahren — Bestimmung der Wasserabsorption durch Kapillarität*

EN 15886, *Erhaltung des kulturellen Erbes — Prüfmethoden — Farbmessung von matten Oberflächen*

EN 16095, *Erhaltung des kulturellen Erbes — Zustandsaufnahme an beweglichem Kulturerbe*

EN 16096, *Erhaltung des kulturellen Erbes — Zustandserhebung und Bericht für das gebaute Kulturerbe*

EN 16302, *Erhaltung des kulturellen Erbes — Prüfverfahren — Messung der Wasseraufnahme mit Prüfrohr*

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

EN 16515:2015, *Erhaltung des kulturellen Erbes — Leitfaden zur Charakterisierung von Naturstein in der Denkmalpflege*

EN 17138:2018, *Erhaltung des kulturellen Erbes — Verfahren und Materialien für die Reinigung von porösen anorganischen Materialien*

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

3.1

Reinigungswirksamkeit

Fähigkeit zum Entfernen unerwünschten Materials

3.2

Schädlichkeit

jede unerwünschte Änderung des zu reinigenden Untergrunds, mit Ausnahme der Entfernung unerwünschter Materialien

3.3

invasive Analyse

erfordert das Entfernen von pulverförmigen oder fragmentierten Materialmengen an der Oberfläche oder aus der Grundmasse des Objekts

3.4

mikro-invasive Analyse

ohne sichtbare Beschädigung der Oberfläche

Anmerkung 1 zum Begriff: Es wird eine geringe Materialmenge entnommen (1 mg oder weniger).

3.5

nicht-invasive Analyse

Kontakt zwischen der Objektoberfläche und dem verwendeten Messgerät wird vermieden; es wird kein Material aus dem Objekt entfernt

3.6

Probe

Teilmenge des Materials, idealerweise repräsentativ, die dem Kulturobjekt zur *wissenschaftlichen Untersuchung* entnommen wurde

[QUELLE: EN 16085:2012, 3.2]

3.7

Probekörper

repräsentativer Teil des Materials, aus dem ein Objekt besteht

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Probekörper können unterschiedlicher Herkunft sein und können entnommen werden von:

- Materialien ähnlich denen des zur Untersuchung vorliegenden Objektes (z. B. „Steinbruch“);
- Referenzmaterialien, beispielsweise speziell angefertigte Vergleichsmaterialien;
- vom Objekt bereitgestellte Materialien

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Anzahl und Maße der Probekörper können sich unterscheiden, je nachdem wie schwierig sich die Probenahme gestaltet.

[QUELLE: EN 15886:2010, 3.11]

3.8

Versuchsbereich

Stelle, an der das zu bewertende Reinigungsverfahren geprüft wird

3.9

unerwünschtes Material

zu entfernende Substanzen, wie im Konservierungsplan angegeben

4 Abkürzungen

Folgende Analysetechniken werden berücksichtigt:

- 4.1** UVF: Ultraviolettfluoreszenz-Spektroskopie (en: fluorescence induced by ultraviolet radiation)
- 4.2** pXRF: Spektroskopie mit tragbarem Röntgenfluoreszenzspektrometer (en: portable X ray fluorescence)
- 4.3** TLOM: Durchlichtmikroskopie (en: transmitted light optical microscopy)
- 4.4** RLOM: Reflexionslichtmikroskopie (en: reflected light optical microscopy)
- 4.5** UVOM: UV-Mikroskopie (en: ultraviolet optical microscopy)
- 4.6** ESEM/SEM: atmosphärische Rasterelektronenmikroskopie/Rasterelektronenmikroskopie (en: environmental scanning electron microscopy/scanning electron microscopy)
- 4.7** WDS: wellenlängendispersive Röntgenanalytik (en: wavelength dispersive spectroscopy)
- 4.8** EDS: energiedispersive Röntgenanalytik (en: energy dispersive spectroscopy)
- 4.9** FTIR: Fourier-Transformations-Infrarotspektroskopie (en: Fourier transform infrared spectroscopy)
- 4.10** Raman: Raman-Spektroskopie (en: Raman spectroscopy)
- 4.11** IC: Ionenchromatographie (en: ion chromatography)
- 4.12** pH-m: pH-Wert-Messung (en: pH measurement)
- 4.13** WDT: Wassertropfen-Prüfung (en: water drop test)

5 Allgemeine Vorgehensweisen (Teil A)

5.1 Überblick

Bevor mit der Bewertung von Reinigungsverfahren begonnen wird, sind eine Zustandserhebung und ein Zustandsbericht nach EN 16095 und EN 16096 erforderlich.

Die Erstbeurteilung eines Gebäudes oder eines vergleichbaren ortsfesten Objekts sollte vor Ort mit nicht-invasiven Systemen erfolgen. Sofern notwendig, dürfen im Anschluss geeignete mikro-invasive oder invasive Laboranalysen durchgeführt werden (Bild 1, Tabelle 1).

Um die analytische Bewertung von Reinigungsverfahren zu unterstützen, wird für jeden einzelnen Fall die folgende systematische Vorgehensweise empfohlen. Sie besteht aus einer bestimmten Anzahl aufeinanderfolgender Phasen, die im Ablaufdiagramm von Bild 1 beschrieben sind. Aufgrund der starken Variabilität jedes einzelnen Falls ist die gesamte Abfolge für jeden Fall gezielt anzupassen und liegt in der Verantwortung des zuständigen Fachmanns.

Bewertungsverfahren hängen auch von der zur Verfügung stehenden Zeit und den Ressourcen (Budget und Personal) ab. In allen Fällen sollte das Ergebnis das bestmögliche für das Objekt sein.

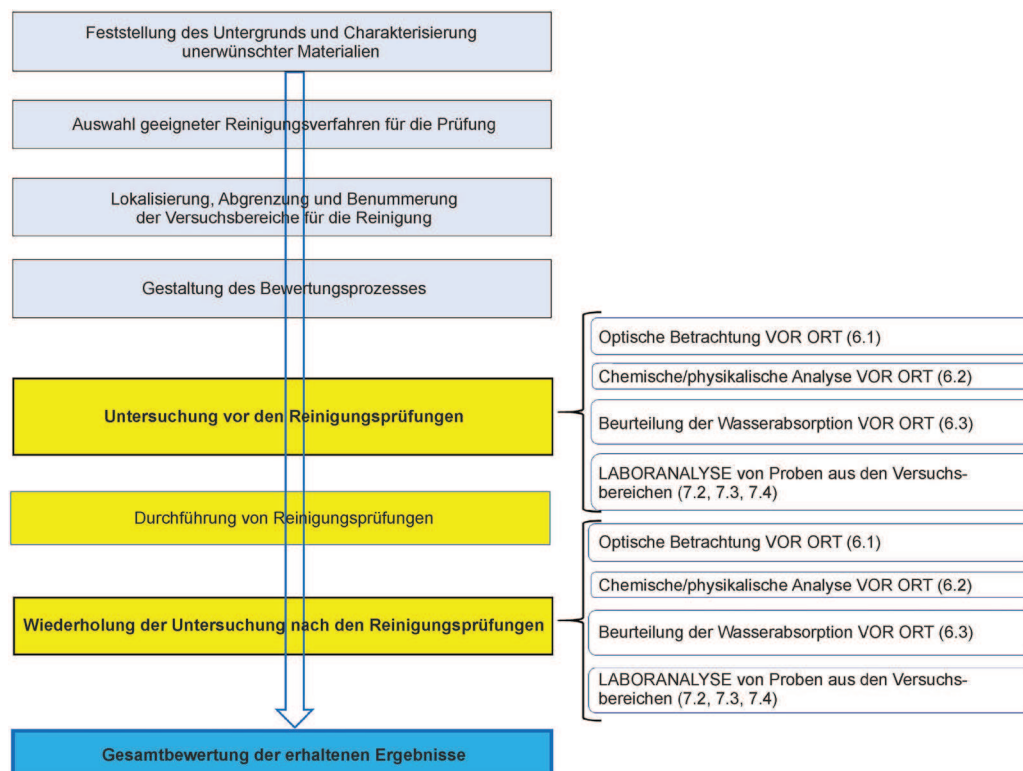


Bild 1 — Ablaufdiagramm für die Vorgehensweise zur Bewertung der Reinigung

5.2 Feststellung des Untergrunds und Charakterisierung unerwünschter Materialien

Die chemischen, mineralogischen und mikrostrukturellen Merkmale des Materials, aus dem das Objekt besteht, müssen bekannt sein oder vorab identifiziert werden (EN 16515) genau wie das Ausmaß, die Art und die Dicke der unerwünschten Materialien, die entfernt werden sollen.

Die Schicht der unerwünschten Materialien und die veränderte Oberfläche des Untergrunds müssen in der Untersuchungsphase getrennt voneinander behandelt werden, damit der erforderliche Reinigungsgrad bestimmt werden kann (siehe EN 17138:2018, 5.2).

Vorbereitende Untersuchungen mithilfe nicht-invasiver Systeme sollten in einem festgelegten Versuchsbereich durchgeführt werden, der für die Zusammensetzung und das Reinigungsproblem des Oberflächengrundmaterials als repräsentativ erachtet wird.

Die wichtigsten zu betrachtenden nicht-invasiven Systeme sind:

- tragbares Mikroskop für optische Betrachtungen;
- tragbares Röntgenfluoreszenzspektrometer für die Identifizierung chemischer Elemente;
- tragbares Ultraviolettfluoreszenz-Spektrometer zur Identifizierung fluoreszierender Verbindungen;
- tragbares FTIR-Spektrometer, besonders bei Vorhandensein von organischen Materialien.

Bei Untersuchungen im Labor muss die in EN 16515 angegebene Vorgehensweise (Untersuchung von Probekörpern mit einem Stereomikroskop, Untersuchung unter einem petrographischen Mikroskop, mineralogische Analyse durch Röntgenbeugung (XRD), Untersuchungen durch Rasterelektronenmikroskopie (SEM)/atmosphärische Rasterelektronenmikroskopie (ESEM), chemische Analysen) eingehalten werden.

Die Identifizierung von organischen Komponenten, die nicht in EN 16515 betrachtet wurden, muss durch FTIR-Spektroskopie sowie, sofern notwendig, durch GC/MS-Verfahren (Gaschromatographie-Massenspektrometrie) erfolgen.

5.3 Auswahl geeigneter Reinigungsverfahren für die Prüfung

Da einige Reinigungsverfahren für lackierte Oberflächen ungeeignet sind, muss vor Beginn der Bewertung deren Vorhandensein bzw. Nichtvorhandensein festgestellt werden.

Nach der Feststellung des Untergrunds und der Zusammensetzung der unerwünschten Materialien wird für den „Versuchsbereich“ entsprechend den erhaltenen Ergebnissen eine Auswahl der geeigneten Reinigungsverfahren getroffen.

Für die Anwendung dieses Dokuments werden die folgenden Kategorien von Reinigungsverfahren betrachtet (siehe EN 17138):

- a) Reinigung mit Wasser (auf Folgendes beschränkt: Nebelsprühen oder intermittierendes Nebelsprühen, Wassersprühen bei niedrigem Druck, Dampfreinigung, wässrige Kompressen oder Packungen mit saugfähigem Material);
- b) mechanische Reinigung (auf Folgendes beschränkt: Mikrostrahlen, Nass-Mikrostrahlen, kryogene Reinigung);
- c) chemische Reinigung (Anwendung von organischen Lösemitteln, Anwendung saurer oder alkalischer Lösungen, Anwendung von Komplexbildnern, Anwendung von Tensiden, Reinigung mit Gel, Anwendung von Ionenaustauschharzen);
- d) physikalische Reinigung (Laserstrahlreinigung);
- e) diejenigen Reinigungsverfahren, die nicht durch die Änderung der bekannten physikalischen Parameter angepasst werden können (wie beispielsweise Reinigung mit einer Lanzette oder einer Bürste), werden von dieser Norm ausgeschlossen.

5.4 Lokalisierung, Abgrenzung und Benummerung der Versuchsbereiche für die Reinigung

Versuchsbereiche sollten so ausgewählt werden, dass sie für das gesamte Objekt repräsentativ sind (Bestandteile, Oberflächen und zu entfernende Materialien); sofern möglich, sollten die Versuchsbereiche unauffällig sein. Die Versuchsbereiche sollten unter Berücksichtigung des gewählten Reinigungsverfahrens, der Bedeutung des Objekts und des Bewertungsverfahrens so klein wie möglich und dennoch repräsentativ sein.

Bei der Auswahl des Versuchsbereichs bzw. der Versuchsbereiche sollte außerdem Folgendes berücksichtigt werden:

- die Verfallsmuster, die Art des Untergrunds und die Art des unerwünschten Materials;
- die Größe des Objekts;
- die Anzahl der erforderlichen Versuche;

- die Stelle, an welcher der Reinigungsversuch den geringsten Einfluss auf die Bedeutung des Objekts hat, falls ein Bereich im Zuge des Versuchs überreinigt oder anderweitig beschädigt werden sollte;
- weitere Optimierung der Parameter für den ausgewählten Reinigungsprozess.

Die Auswahl der Versuchsbereiche und die Vorgehensweisen in den Versuchsbereichen sind im normativen Anhang A beschrieben.

5.5 Gestaltung des Bewertungsprozesses und Festlegung eines gereinigten Referenzbereichs

Der Bewertungsprozess basiert auf den Untersuchungen, die in Abschnitt 6 und Abschnitt 7 beschrieben sind, und die sowohl vor als auch nach der Reinigung durchgeführt werden müssen. Die Prüfungen werden auch dazu genutzt, um das Reinigungsniveau festzulegen, das erreicht werden soll, sowie das Reinigungsniveau, das tatsächlich erreicht werden kann.

Ein Ablaufdiagramm, bestehend aus Beobachtungen und Analysen, ist in Bild 2 und in Tabelle 1 dargestellt.

Die gesamte angegebene Ablauffolge ist der ideale Weg zur Bewertung der potentiellen Schädlichkeit und Wirksamkeit von geprüften Reinigungsverfahren in den Versuchsbereichen. Die Übernahme des Verfahrens hängt von bestimmten Merkmalen des zu bewertenden Falls (oder Objekts) ab und liegt in der Verantwortung des zuständigen Fachmanns. Jede Abweichung muss im Prüfbericht beschrieben werden.

Analyse und Interpretation von Ergebnissen müssen von Fachleuten mit entsprechenden Kompetenzen durchgeführt werden (z. B. von Konservierungs- oder Materialwissenschaftlern, Konservatoren/Restauratoren).

Für die meisten Projekte ist daher ein interdisziplinärer Ansatz erforderlich.

Die Bewertung sollte sowohl vor als auch unmittelbar nach der Reinigung durchgeführt werden. Eine Überwachung über längere Zeit ist ebenfalls möglich, wobei zu berücksichtigen ist, dass Verfall, Partikelablagerungen und verschiedene andere Phänomene die Interpretation von Ergebnissen, die sich ausschließlich auf die Reinigung beziehen, erschweren können.

Bei einigen speziellen Reinigungsverfahren ist auch eine Echtzeit-Bewertung während der Reinigung möglich, wie beispielsweise bei der Laserstrahlreinigung.

Der Versuchsbereich, der nach Meinung aller Beteiligten unter Berücksichtigung der Bewertungsergebnisse (*in situ* und/oder im Labor) das beste Ergebnis erzielt, sollte aufrechterhalten bleiben.

Dieser Bereich sollte während der gesamten Reinigungsmaßnahmen als optischer Referenzbereich für das erwartete Reinigungsergebnis dienen.

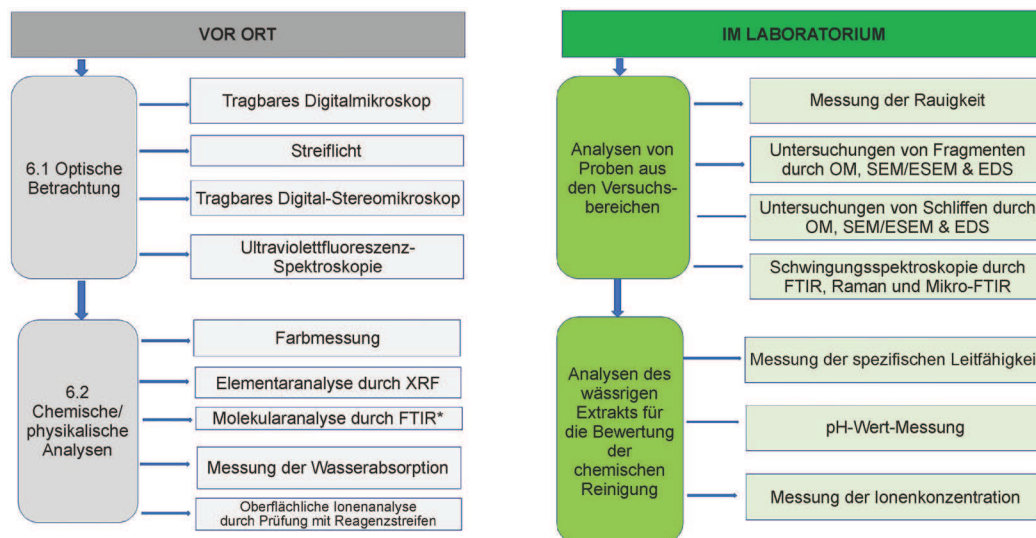


Bild 2 — Ablaufdiagramm für Beobachtungen und Analysen in Zusammenhang mit den Reinigungsverfahren

Tabelle 1 — Beobachtungen und Analysen in Zusammenhang mit den verschiedenen Kategorien von Reinigungsverfahren

	Reinigung mit Wasser	Mechanische/physikalische Reinigung	Chemische Reinigung ^a
6 Untersuchung der Oberfläche vor Ort			
6.1 Optische Betrachtung			
6.1.1 Tragbares Digitalmikroskop	X	X	X
6.1.2 Streiflicht	X	X	X
6.1.3 Tragbares Digital-Stereomikroskop	X	X	X
6.1.4 Ultraviolettfluoreszenz-Spektroskopie	X	X	X
6.2 Chemische/physikalische Analyse			
6.2.1 Farbmessung	X	X	X
6.2.2 Elementaranalyse durch tragbare XRF	X	X	X
6.2.3 Molekularanalyse mit tragbarem FTIR-Spektrometer	X	X	X
6.2.4 Oberflächliche Ionenanalyse	X	X	X
6.3 Beurteilung der Wasserabsorption	X	X	X
6.3.2 Messung der Wasserabsorption mit Prüfrohr	X	X	X
6.3.3 Messung der Wasserabsorption mit Kontaktschwammverfahren	X	X	X
6.3.4 Wassertropfen-Prüfung	X	X	X
7 Analyse von Proben im Labor			
7.3.1 TL0M, RLOM und SEM/ESEM-EDS an Fragmenten	X	X	X
7.3.2 TL0M, RLOM und SEM/ESEM-EDS an Dünnschliffen	X	X	X

	Reinigung mit Wasser	Mechanische/ physikalische Reinigung	Chemische Reinigung ^a
7.3.3 Schwingungsspektroskopie (FTIR, Mikro-FTIR und Raman)	X	X	X
7.4 Analyse der Oberflächenmorphologie (Rauigkeit)	X	X	X
7.5 Nasschemische Analyse (auf wässrigem Extrakt)			
7.5.2.2 Messung der spezifischen Leitfähigkeit	X		X
7.5.2.3 Messung des pH-Werts	X		X
7.5.2.4 Messung der Ionenkonzentration	X		X
^a Aufgrund möglicher schädlicher Reaktionen zwischen den Chemikalien und den unerwünschten Materialien, die entfernt werden sollen, wird die chemische Reinigung getrennt von den anderen Reinigungsverfahren betrachtet.			

Einige bedeutsame Beispiele für mögliche Nachteile oder Nebenwirkungen sind unten aufgelistet:

- i) Reinigung mit Wasser kann Schwankungen in der Verteilung und Konzentration von löslichen Salzen (falls vorhanden) bewirken;
- ii) mechanische Reinigung kann die Oberflächenrauigkeit beeinflussen und dadurch möglicherweise die Farbe, das Aussehen und die Wasserabsorption verändern;
- iii) physikalische Reinigung kann die Oberfläche verfärben;
- iv) chemische Reinigung kann Schwankungen des pH-Werts, der Leitfähigkeit und der Konzentration löslicher Salze bewirken.

Chemische Reinigungsverfahren, welche die Bildung schädlicher Nebenprodukte fördern (z. B. lösliche Salzurückstände, saure Substanzen usw.), müssen grundsätzlich vermieden werden.

Besonders einige der in EN 17138 genannten Chemikalien müssen während der Versuche vor Ort aufmerksam beobachtet werden. Dies bezieht sich auf:

- a) stark alkalische und saure Verbindungen, die in der Vergangenheit verwendet wurden, deren Verwendung für Objekte des kulturellen Erbes derzeit aber nicht mehr üblich ist. Gebräuchlich sind Substanzen mit einem pH-Wert im Bereich von 5,5 bis 8,0. Eine besondere Ausnahme hiervon ist die Verwendung von Ammoniumcarbonat oder Bicarbonat (mit einem pH-Wert zwischen 8 und 10), die seit vielen Jahren erfolgreich eingesetzt werden, insbesondere auf Kalksteinen und Marmor, die von Gipsbildungskrusten befallen sind, sowie auf Oberflächen, die von proteinhaltigen Rückständen sowie öligen und fettigen Materialien befallen sind;
- b) bei korrektem pH-Wert (zwischen 6 und 10) verwendete Komplexbildner können sehr selektiv und sehr wirkungsvoll sein und sind in der Regel nicht schädlich. Im Fall von lackierten Oberflächen darf der pH-Wert nicht über 8 liegen, der den kritischen Schwellenwert für das Auflösen von einigen der am häufigsten auftretenden Pigmente darstellt;
- c) stark saure kationische Harze setzen Wasserstoffionen (H^+) frei, die kalkhaltige Materialien beeinträchtigen können;
- d) stark basische anionische Harze setzen Hydroxidionen (OH^-) frei, die Pigmente beeinträchtigen können, die empfindlich gegenüber einer alkalischen Umgebung reagieren.

Infolge der vorangestellten Betrachtungen für die chemische Reinigung ist es wichtig, jede Änderung des pH-Werts und die Bildung von Nebenprodukten durch das ausgewählte Reinigungsverfahren zu beobachten.