

DIN EN 17488



ICS 97.195

Einsprüche bis 2020-07-15

Entwurf**Erhaltung des kulturellen Erbes –
Methodologie für die Bewertung von Reinigungsmethoden –
Verfahren für die analytische Prüfung der Objekte des kulturellen Erbes;
Deutsche und Englische Fassung prEN 17488:2020**

Conservation of cultural heritage –
Procedure for the analytical evaluation and selection of cleaning methods for porous
inorganic materials used in cultural heritage;
German and English version prEN 17488:2020

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 et anglaise prEN 17488:2020

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2020-05-15 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 Saatwinkler Damm 42/43, 13627 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 107 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 17488:2020) 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.

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*

<i>Titel de:</i>	Erhaltung des kulturellen Erbes — Methodologie für die Bewertung von Reinigungsmethoden — Verfahren für die analytische Prüfung der Objekte des kulturellen Erbes
<i>Titel en:</i>	Conservation of cultural heritage — Procedure for the analytical evaluation and selection of cleaning methods for porous inorganic materials used in cultural heritage
<i>Titel fr:</i>	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

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	9
4 Abkürzungen	10
5 Allgemeine Vorgehensweisen (Teil A)	10
5.1 Überblick über die Vorgehensweisen	10
5.2 Identifizierung des Untergrunds und Charakterisierung von unerwünschten 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 Planung des Bewertungsverfahrens	13
6 Untersuchung der Oberfläche vor Ort	15
6.1 Optische Betrachtung	15
6.1.1 Tragbares Digitalmikroskop	15
6.1.2 Streiflicht	16
6.1.3 Tragbares Digital-Stereomikroskop	16
6.1.4 Ultraviolettfluoreszenz-Spektroskopie	16
6.2 Chemische/physikalische Analyse	16
6.2.1 Farbmessung	16
6.2.2 Elementanalyse durch tragbare XRF	17
6.2.3 Molekularanalyse mit tragbarem FTIR-Spektrometer	17
6.2.4 Oberflächliche Ionenanalyse	17
6.3 Beurteilung der Wasserabsorption	18
6.3.1 Allgemeines	18
6.3.2 Messung der Wasserabsorption mit Prüfrohr	18
6.3.3 Messung der Wasserabsorption mit Kontaktschwammverfahren	18
6.3.4 Wassertropfen-Prüfung	18
7 Laboranalyse von Proben, die aus Versuchsbereichen entnommen wurden	19
7.1 Allgemeines	19
7.2 Probenahme	19
7.3 Chemische/physikalische Analyse	20
7.3.1 Untersuchungen an Fragmentoberflächen durch Mikroanalyse mithilfe von RLOM, SEM-ESEM und EDS	20
7.3.2 Untersuchungen an Dünnschliffen und polierten Schliffen durch Mikroanalyse mithilfe von RLOM, SEM-ESEM und EDS	21
7.3.3 Schwingungsspektroskopie (FTIR, Mikro-FTIR und Raman)	21
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	22
7.5.1 Extraktionsverfahren	22
7.5.2 Analyse von wässrigem Extrakt	24
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	30
9.4.3	Farbmessung auf Oberflächen.....	30
9.4.4	Betrachtung der Oberfläche mit dem Stereomikroskop	30
9.4.5	Bestimmung der Masseänderung.....	30
9.4.6	Analyse von Dünnschliffen und polierten Schliffen durch RLOM, SEM-ESEM/EDS.....	31
9.4.7	Analyse von dünnen und polierten Schliffen an Fragmenten aus der Oberfläche durch RLOM, SEM-ESEM/EDS.....	32
9.4.8	Analyse eines wässrigen Extrakts für die chemische Reinigung	32
9.5	Durchführung der Reinigung.....	32
9.6	Prüfbericht.....	33
9.6.1	Allgemeine Angaben.....	33
9.6.2	Ergebnisse aus den Messungen an Probekörpern	33
	Anhang A (normativ) Beispiele für die Durchführung von Versuchen.....	36
	Anhang B (informativ) Durchgeführte Prüfungen, Ergebnisse und Schlussfolgerungen	41
	Anhang C (informativ) Für verschiedene Reinigungsverfahren anzugebende Daten (siehe EN 17138:2018)	50
C.1	Reinigung mit Wasser	50
C.1.1	Nebelsprühen und Wassersprühen	50
C.1.2	Wässrige Kompressen mit saugfähigem Material	50
C.1.3	Dampfreinigung	50
C.2	Mechanische Reinigung.....	51
C.2.1	Mikrostrahlen.....	51
C.2.2	Nass-Mikrostrahlen	51
C.2.3	Kryogene Reinigung	51
C.3	Physikalische Reinigung	51
C.4	Chemische Reinigung.....	52
C.4.1	Organische Lösemittel.....	52
C.4.2	Saure oder alkalische Lösungen, Komplexbildner, Tenside	52
C.4.3	Ionenaustauschharze	52
	Literaturhinweise.....	53

Bilder

Bild 1 — Ablaufdiagramm für die Vorgehensweise zur Bewertung der Reinigung.....	11
Bild 2 — Ablaufdiagramm für Beobachtungen und Analysen in Zusammenhang mit den Reinigungsverfahren.....	13
Bild 3 — Schematische Darstellung des Versuchsbereichs und der Probenahme eines Fragments zu Herstellung von Schliffen (Dünnschliffe oder polierte Schliffe). Größe des Versuchsbereichs 10 cm × 5 cm. Größe der gereinigten Fläche 5 cm × 5 cm. Größe der nicht gereinigten Fläche 5 cm × 5 cm.....	20

Bild 4 — Ablaufdiagramm für die Analyse des wässrigen Extrakts.....	22
Bild 5 — Verfahren für die Reinigung mit Wasser, für die mechanische Reinigung und für die physikalische Reinigung	27
Bild 6 — Verfahren für die chemische Reinigung.....	28
Bild A.1 — Sechs chemische Zusammensetzungen nach der Reinigung bei gleicher Anwendungsdauer	38
Bild A.2 — Vier Konzentrationen derselben Chemikalie.....	38
Bild A.3 — Sieben Versuchsbereiche vor und nach der chemischen Reinigung	39
Bild A.4 — Drei Versuchsbereiche nach dem Auftragen von sieben chemischen Zusammensetzungen bei gleicher Anwendungsdauer	40

Tabellen

Tabelle 1 — Beobachtungen und Analysen in Zusammenhang mit den verschiedenen Reinigungsklassen.....	14
Tabelle A.1 — Vergleichen von drei verschiedenen chemischen Zusammensetzungen über dieselbe Dauer	36
Tabelle A.2 — Vorgegebene chemische Zusammensetzung mit unterschiedlicher Dauer	37
Tabelle A.3 — Vergleichen von drei Schleifmitteln mit unterschiedlicher Härte über dieselbe Dauer	37
Tabelle A.4 — Vergleichen eines ausgewählten Schleifmittels mit unterschiedlicher Anwendungsdauer	37

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 17488:2020) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 346 „Erhaltung des kulturellen Erbes“ erarbeitet, dessen Sekretariat von UNI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Einleitung

Die Reinigung ist eine Konservierungsbehandlung mit dem Ziel, Material natürlichen oder künstlichen Ursprungs zu entfernen, welches den Untergrund schädigen kann oder welches die korrekte Interpretation des Objekts oder von Teilen davon einschränken kann.

Die erforderlichen Reinigungsmaßnahmen stellen für das Objekt ein Risiko dar und sind daher mit äußerster Vorsicht durchzuführen. Die Reinigung muss wirkungsvoll erfolgen, darf aber gleichzeitig keine Schäden am Objekt hervorrufen.

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 erfordert die sorgfältige Abwägung zahlreicher Aspekte, zu denen unter anderem Folgende zählen:

- Kontext und Empfindlichkeit des zu bewertenden Objekts (z. B. Vorhandensein von polychromen und vergoldeten Oberflächen);
- Erhaltungszustand des Untergrunds, der während der Prüfung ein erhöhtes Risiko einer Beschädigung bedeuten kann;
- das Ziel der Reinigung im Hinblick darauf, welche Materialien zu entfernen sind und welche zu erhalten sind;
- Funktion und 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 die Verwitterung des Untergrunds, eine erhöhte 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 somit ist eine kontinuierliche Bewertung der Reinigung und der Auswirkungen auf den Untergrund 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).

Die in EN 17138:2018 betrachteten 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 (siehe Bild 2 und Bild 6, Tabelle 1).

Prüfungen zur Bewertung von Verfahren oder Materialien, die sich in der Entwicklung befinden, sollten nicht an Objekten des kulturellen Erbes durchgeführt werden. Stattdessen sind die in diesem Dokument beschriebenen Verfahren an vergleichbaren Materialien anzuwenden, die einen ähnlichen Zerfallszustand aufweisen, wobei ausreichend Material zu verwenden ist, um die Zustände vor und nach der Reinigung vollständig zu bewerten. Zur Prüfung neuartiger Reinigungsverfahren ist die Vorgehensweise von Teil B einzuhalten.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument enthält das Prüfverfahren zur Bewertung der Schädlichkeit sowie auch der Wirksamkeit eines Reinigungsverfahrens, das auf porösen anorganischen Materialien angewendet wird. Dazu zählen Materialien wie beispielsweise Naturstein oder künstlicher Stein einschließlich solcher Steine mit Farbschichten auf den Oberflächen. Die Bewertung gestattet die instrumentelle Analytik und die Probenahme vor Ort; diese Proben werden später im Labor untersucht.

Die Bewertung der Schädlichkeit hat Vorrang vor der Bewertung der Wirksamkeit.

Dieses Dokument gilt für:

- a) alle Reinigungsverfahren, die Merkmale der Parametrisierung und Reproduzierbarkeit aufweisen (siehe EN 17138:2018) — Teil A;
- b) alle neuartigen Verfahren, die sich in der Entwicklung befinden — Teil B.

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

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

Mit Bezug auf die Unversehrtheit der Objektoberfläche kann die Art der Analyse und Diagnose wie folgt beschrieben werden:

3.1

nicht-invasiv

Kontakt zwischen der Objektoberfläche und dem verwendeten Messgerät wird vermieden. Dem Objekt wird kein Material entnommen

3.2

mikro-invasiv

ohne sichtbare Beschädigung der Oberfläche

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

3.3

invasiv

Entfernen von pulverförmigen oder fragmentierten Materialmengen an der Oberfläche oder aus der Hauptmasse des Objekts

Im Hinblick auf das entnommene Material könnte die Analyse wie folgt erfolgen:

3.4

zerstörungsfrei

Proben könnten für verschiedene Analysezwecke wiederverwendet werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Proben, die kaum verändert wurden (z. B. Schliffe, Stichprobe, durch ESEM gesputterte Proben) fallen ebenfalls in diese Kategorie.

3.5

zerstörend

Probenmaterial wird modifiziert (verbrannt, aufgelöst, geht eine Reaktion ein usw.)

3.6

Wirksamkeit

Fähigkeit zum Entfernen unerwünschter Materialien

3.7

Schädlichkeit

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

3.8

Versuchsbereiche

Gruppierung von Bereichen, in denen das geplante Reinigungsverfahren geprüft wird

3.9

unerwünschtes Material

Material, das aus Gründen der Lesbarkeit oder zu Konservierungszwecken zu entfernen ist, wie im Restaurierungsentwurf vorgegeben

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 RLOM: Reflexionslichtmikroskopie (en: reflected light optical microscopy)

4.4 UVOM: UV-Mikroskopie (en: ultraviolet optical microscopy)

4.5 ESEM-EDS/WDS: atmosphärische Rasterelektronenmikroskopie mit energie- oder wellenlängendispersiver Röntgenanalytik (en: environmental scanning electron microscopy with energy or wavelength dispersive spectroscopy)

4.6 FTIR: Fourier-Transform-Infrarot-Spektroskopie (en: Fourier transmission infrared spectroscopy)

4.7 Raman: Raman-Spektroskopie (en: Raman spectroscopy)

4.8 IC: Ionenleitfähigkeit (en: ionic conductivity)

4.9 pH-m: pH-Wert-Messung (en: pH measurement)

4.10 WDT: Wassertropfen-Prüfung (en: water drop test)

5 Allgemeine Vorgehensweisen (Teil A)

5.1 Überblick über die Vorgehensweisen

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 von Zeit zu Zeit anzupassen und liegt in der Verantwortung des zuständigen Fachmanns.

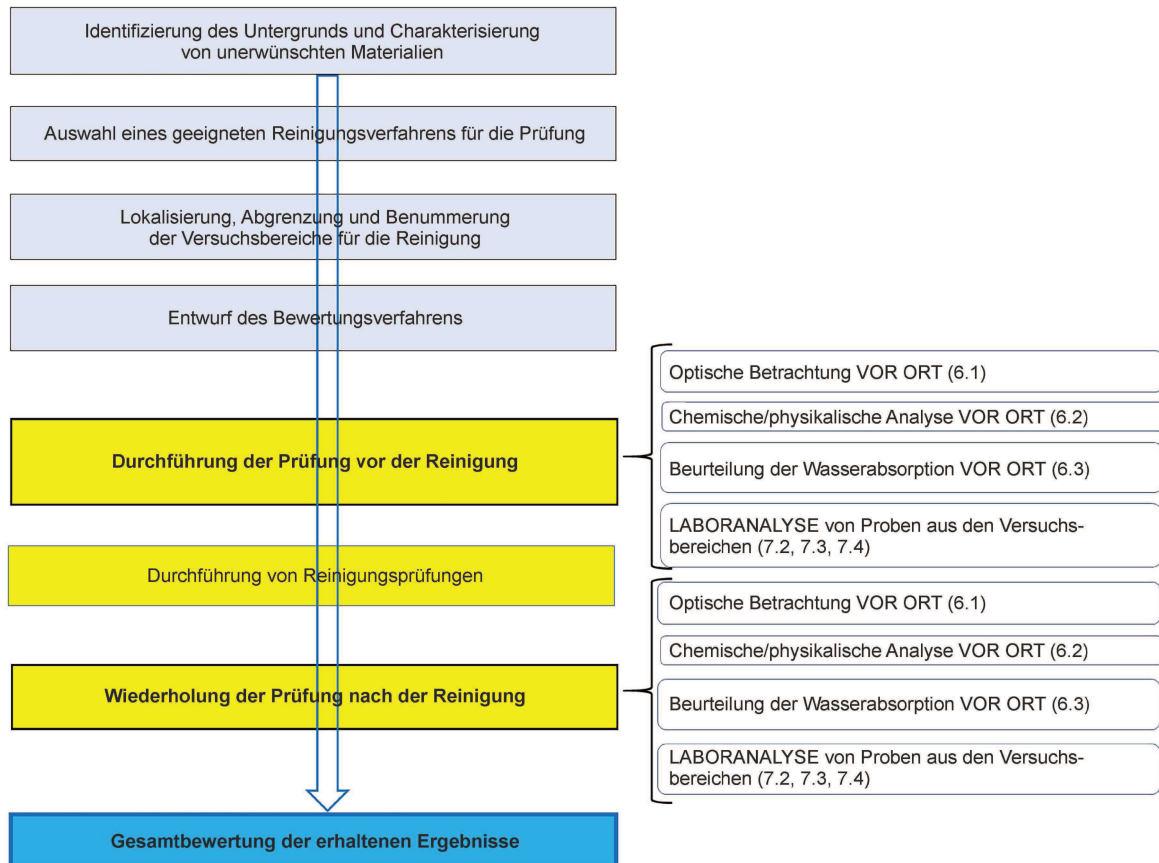


Bild 1 — Ablaufdiagramm für die Vorgehensweise zur Bewertung der Reinigung

5.2 Identifizierung des Untergrunds und Charakterisierung von unerwünschten Materialien

Die chemischen, mineralogischen und strukturellen Merkmale des Materials, aus dem das Objekt besteht, müssen vorab identifiziert werden (EN 16515:2015) 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 Reinigungsgrad ausgewählt werden kann (siehe EN 17138:2018, 5.2).

Die Untersuchung sollte mit der Verwendung nicht-invasiver Systeme beginnen, gefolgt von geeigneten mikro-invasiven oder invasiven Untersuchungen im Labor, sofern erforderlich.

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

Zu den betrachteten nicht-invasiven Systemen zählen:

- tragbares Mikroskop für optische Betrachtungen;
- tragbares Röntgenfluoreszenzspektrometer für die Identifizierung chemischer Elemente;
- tragbares Ultraviolettfluoreszenz-Spektrometer zur Identifizierung fluoreszierender Verbindungen. Sind organische Materialien vorhanden, die mithilfe von UV-Fluoreszenz identifiziert wurden, sollte ein tragbares FTIR-Spektrometer verwendet werden.

Bei Untersuchungen im Labor muss die in EN 16515:2015 angegebene Vorgehensweise (Untersuchung von Probekörpern mit einem Stereomikroskop, Untersuchung unter einem petrographischen Mikroskop, mineralogische Analyse durch Röntgenbeugung (XRD), Untersuchungen durch atmosphärische Rasterelektronenmikroskopie (ESEM), chemische Analysen) eingehalten werden.

Die Identifizierung von organischen Komponenten, die nicht in EN 16515:2015 betrachtet wurden, muss durch FTIR-Spektroskopie sowie, sofern notwendig, durch GC/MS-Verfahren (Gaschromatographie-Massenspektrometrie) erfolgen.

5.3 Auswahl geeigneter Reinigungsverfahren für die Prüfung

Nach der Identifizierung 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 Reinigungsverfahren betrachtet (siehe EN 17138:2018):

- a) Reinigung mit Wasser (auf Folgendes beschränkt: Nebelsprühen oder intermittierendes Nebelsprühen, Wassersprühen bei niedrigem Druck, Dampfreinigung, wässrige Kompressen mit oder ohne 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).

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 sich die Versuchsbereiche an unauffälligen Stellen befinden. 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 einschließlich der Art des Untergrunds und der 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 des Versuchsbereichs und die Vorgehensweise im Versuchsbereich sind im normativen Anhang A beschrieben.

5.5 Planung des Bewertungsverfahrens

Das Bewertungsverfahren besteht aus einer Reihe von Prüfungen, 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 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 Schädlichkeit und Wirksamkeit von Reinigungsverfahren in den Versuchsbereichen. Die Anwendung von nur einem Teil der Ablauffolge hängt von den besonderen Merkmalen (Besonderheiten) der zu bewertenden Fallstudie 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 Kenntnissen in der Werkstoffkunde und über die Schädlichkeit der Reinigungsverfahren durchgeführt werden (z. B. von Konservierungswissenschaftlern, Konservatoren/Restauratoren).

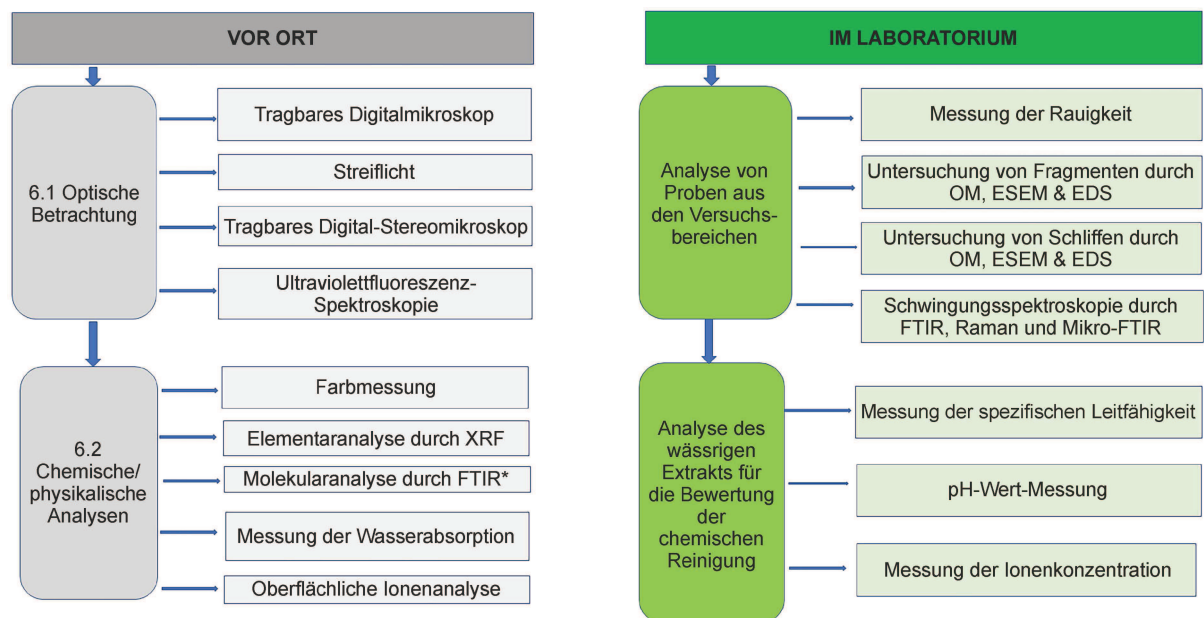


Bild 2 — Ablaufdiagramm für Beobachtungen und Analysen in Zusammenhang mit den Reinigungsverfahren

Tabelle 1 — Beobachtungen und Analysen in Zusammenhang mit den verschiedenen Reinigungsklassen

6 Untersuchung der Oberfläche vor Ort			
6.1 Optische Betrachtung	Reinigung mit Wasser	Mechanische/physikalische Reinigung	Chemische Reinigung^a
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 Elementanalyse mit tragbarem XRF-Spektrometer	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
7 Analyse von Proben im Labor			
7.3.1 RLOM und ESEM-EDS an Fragmenten	X	X	X
7.3.2 RLOM und ESEM-EDS an Dünnschliffen	X	X	X
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 die Konzentrationen von löslichen Salzen (falls vorhanden) beeinflussen;
- 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 Konzentrationen löslicher Salze bewirken.

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

Besonders einige der in EN 17138:2018 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. Substanzen mit einem pH-Wert im Bereich von 5,5 bis 8,0 sind am häufigsten aufgeführt. Eine besondere Ausnahme hiervon ist die Verwendung von Ammoniumcarbonat oder Bicarbonat (mit einem pH-Wert zwischen 8 und 10), das seit vielen Jahren erfolgreich eingesetzt wird, 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 polychromen 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 alkalische anionische Harze setzen Hydroxidionen (OH^-) frei, die eine schädliche Wirkung auf Wandgemälde haben, wenn Pigmente vorhanden sind, die gegenüber einer alkalischen Umgebung empfindlich sind.

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.

Zusätzlich zu den herkömmlichen Prüfungen jedes Reinigungsverfahrens (Reinigung mit Wasser, mechanische und physikalische Reinigung) sind die folgenden Messungen am wässrigen Extrakt zu berücksichtigen:

- i) pH-Wert;
- ii) spezifische Leitfähigkeit;
- iii) qualitative und quantitative Analysen von löslichen Salzen.

6 Untersuchung der Oberfläche vor Ort

6.1 Optische Betrachtung

6.1.1 Tragbares Digitalmikroskop

Mithilfe eines tragbaren Digitalmikroskops ist es möglich, die Oberfläche (Stein, Mörtel, Farbschichten, Oberflächenausführungen) und die Zerfallsprodukte zu betrachten. Diese Vorprüfung könnte helfen, die Probenahme zu optimieren. In Vorstudien und während der Planung von Restaurationsarbeiten hilft sie auch bei der Beurteilung der Ergebnisse der Reinigungsprüfungen und bei der Beurteilung, wie die verschiedenen Reinigungssysteme die Oberflächenmorphologie beeinflussen. Es können unterschiedliche Vergrößerungen und spezielle Lichtarten verwendet werden (sichtbares Licht, ultraviolettes Licht), um verschiedene Oberflächen zu charakterisieren und auch um Rückstände und Übermalungen aufzudecken.

Es müssen digitale Bilder aufgenommen werden, um den Oberflächenzustand zu dokumentieren und auch um Rückstände zu identifizieren.

6.1.2 Streiflicht

Licht, das in einem sehr kleinen Einfallswinkel (üblicherweise zwischen 5° und 20°) auf die Objektoberfläche gerichtet ist, betont seine Oberflächenmorphologie und seine Reliefunterschiede. Diese Untersuchung liefert Informationen über den Anfangszustand der Oberfläche vor den Reinigungsprüfungen (Rauigkeit, Oberflächenfehler usw.) und Angaben über sämtliche Veränderungen nach der Reinigung. Die Feststellungen in den untersuchten Bereichen müssen mit einer angemessenen Vergrößerung photographiert werden.

6.1.3 Tragbares Digital-Stereomikroskop

Die Untersuchungen der Oberfläche mit einem Stereomikroskop vor und nach der Reinigung müssen in dem ausgewählten Oberflächenbereich des Objekts erfolgen.

Die Untersuchungspunkte auf der Oberfläche müssen vor und nach der Reinigung dieselben sein. Für jeden Untersuchungspunkt muss mindestens eine Mikrophotographie mit einer Skala für jede Vergrößerung aufgenommen werden. Im Abschlussbericht müssen qualitative Beurteilungen aller sichtbaren Veränderungen der Oberflächenmorphologie, zusammen mit Photographien zum Vergleichen einzelner Untersuchungspunkte enthalten sein.

Jede Art von morphologischer Veränderung ist ein Anzeichen für eine potentielle Beschädigung der Oberfläche durch das Reinigungsverfahren.

6.1.4 Ultraviolettfluoreszenz-Spektroskopie

Diese Phototechnik ist ein nicht-invasives und tragbares Verfahren für die Analyse von Kunstobjekten. Es wird üblicherweise zur Identifizierung von Lacken, Schutzbehandlungen, Bindemitteln und Nachlackierungen angewendet, wodurch es bei der Beurteilung der Wirksamkeit von aufeinanderfolgenden Reinigungsphasen sehr nützlich sein kann.

Ultraviolettfluoreszenz kann durch die Verwendung einer geeigneten Strahlenquelle bzw. von geeigneten Strahlenquellen (UV-Emission ungefähr 365 nm) und einer Kamera mit Filter, der reflektiertes ultraviolettes Licht von der Oberfläche und der Umgebung ausblenden kann, erreicht werden. Im Allgemeinen ist das Fluoreszenz-Signal nicht sehr stark, weshalb die Umgebung nahezu dunkel sein sollte. Für jeden Bereich muss mindestens eine Photographie vor und eine nach der Reinigung mit denselben Einstellungen aufgenommen werden.

6.2 Chemische/physikalische Analyse

6.2.1 Farbmessung

Die Farbmessungen werden nach EN 15886 durchgeführt. Die zu messende Oberfläche sollte so glatt und ebenmäßig wie möglich sein, um externes Licht auszuschließen. Sind keine glatten, ebenmäßigen Bereiche verfügbar, muss dies im Bericht angegeben werden.

Die Anzahl und die Stellen der Messpunkte und deren Durchmesser müssen an das Objekt angepasst sein, um statistisch repräsentative Werte zu erhalten. Fünf Messungen an zufällig ausgewählten Stellen wären die Mindestanzahl; es können jedoch mehr benötigt werden.

Die Messpunkte müssen vor und nach der Reinigung dieselben sein. Gibt es nach der Reinigung Bereiche mit auffallenden Farbveränderungen, die vor der Prüfung nicht gemessen wurden, sollte ihre Anzahl bestimmt und ihre Stelle in der photographischen Dokumentation gekennzeichnet werden.

Einige Beispiele für die Anwendung dieser Technik sind im Folgenden aufgelistet:

- anhand von Veränderungen der Helligkeit kann die Wirksamkeit der Entfernung von schwarzen Krusten oder kohlenstoffhaltigen schwarzen Ablagerungen auf Untergründen mit heller Farbe beurteilt werden;
- anhand von Veränderungen im Farbton der Oberfläche können unerwünschte Nebenwirkungen der Laserstrahlreinigung beurteilt werden;
- anhand von Veränderungen im Farbton kann die Schädlichkeit einer spontanen chemischen Reaktion zwischen dem verwendeten Reinigungsmittel und dem unerwünschten Material bewertet werden;
- anhand von Veränderungen im Farbton kann die Bildung gelblicher oder bräunlicher Verfärbungen bewertet werden, die durch eine zusätzliche Menge Wasser verursacht werden, das eisenlösliche Verbindungen vom Substrat auf die Oberfläche mobilisiert.

6.2.2 Elementanalyse durch tragbare XRF

Die Spektroskopie mit tragbarem Röntgenfluoreszenzspektrometer ist eine Elementtechnik, mit der Elemente auf der Oberfläche oder unter der Oberfläche (abhängig von den Grundsubstanzen) nachgewiesen werden können, weshalb sie zum Aufspüren von Elementen verwendet werden kann, die für das zu entfernende Material charakteristisch sind. Die kann durch Messung desselben Bereichs vor und nach der Reinigungsprüfung erfolgen. Beschränkungen der Technik müssen bei der Bewertung der Ergebnisse berücksichtigt werden: i) die Messabweichung beim Nachweis von leichteren Elementen, und ii) die mögliche Überlagerung von Peaks (d. h. Schwefel in Gegenwart von Blei oder Titan in Gegenwart von Barium).

6.2.3 Molekularanalyse mit tragbarem FTIR-Spektrometer

In einem ausgewählten Bereich können vor und nach dem Reinigungsvorgang die Muster der Schwingungsspektroskopie aufgezeichnet werden. FTIR ist speziell dafür vorgesehen, die Entfernung von organischen Schichten nachzuweisen, auch wenn sie in anderen Fällen nützlich sind. Bei Verwendung eines tragbaren FTIR-Spektrometers werden die Spektren im Reflexionsmodus aufgezeichnet. Wenn das Spektrometer auf einem Baugerüst verwendet wird, ist es wichtig, eine gute Standfestigkeit sicherzustellen und Schwingungen an den Geräten zu vermeiden, die exakt fokussiert werden müssen.

6.2.4 Oberflächliche Ionenanalyse

Es kann eine Prüfung mit plastifizierten Streifen mit bestimmten Reaktionszonen durchgeführt werden; normalerweise werden diese in eine Lösung getaucht, um festzustellen, ob ein bestimmtes Ion vorhanden ist; der Streifen ändert seine Farbe in verschiedenen Abstufungen entsprechend der Ionenmenge. Im letzteren Fall können sie vor Ort verwendet werden, indem ein befeuchteter Reagenzstreifen direkt auf eine Ausblühung gelegt wird. Natürlich ist das Ergebnis in diesem Fall qualitativ und nicht quantitativ und es bezieht sich lediglich auf die Außenfläche, die den Reagenzstreifen berührt. Jede Art von Streifenprüfung spricht nur auf einen Ionentyp an.

Die Empfindlichkeit der Streifenprüfungen variiert je nach Ionentyp; zwischen den Ionentypen gibt es deutliche Abweichungen (z. B. Sulfate 200 ppm bis 1 600 ppm (mg/l), Nitrate 10 ppm bis 500 ppm).

Farbmetrik-Testkits (basierend auf dem farbmetrischen Vergleich mit einer genormten Farbskala) können ebenfalls vor Ort verwendet werden. Sie basieren auf Reaktionen, die zur Bildung von farbigen Verbindungen führen, die zwischen jedem Ion und dessen spezifischen Reaktionsmittel entstehen. Jedes Testkit ist nur gegenüber einem Ionentyp empfindlich (und die Empfindlichkeit ändert sich bei jedem Ionentyp). Alle Reaktionsmittel und Ausrüstungen, die für die Analyse benötigt werden, befinden sich zusammen mit einer Gebrauchsanleitung in diesem Testkit. In diesem Fall wird mithilfe einer Farbtonkarte, die ebenfalls im Testkit enthalten ist, die Farbtintensität gemessen, welche die Ionenkonzentration anzeigt, die in der Lösung enthalten ist.

6.3 Beurteilung der Wasserabsorption

6.3.1 Allgemeines

Es ist wichtig, mithilfe eines geeigneten Verfahrens die Absorptionseigenschaft des Untergrunds zu bewerten, d. h. die Wasserabsorption, anhand derer untersucht werden kann, ob eine Materialoberfläche porös und kapillar, benetzbar aber undurchlässig, oder hydrophob ist. Solche Eigenschaften hängen von der Beschaffenheit und dem Erhaltungszustand des Untergrunds sowie von in der Vergangenheit durchgeführten Reinigungen oder von Ablagerungen ab.

Es gibt drei alternative Verfahren zur Messung der Wasserabsorption.

Die Versuchsfläche sollten trocken sein und keinem direkten Sonnenlicht oder Regen ausgesetzt werden. Es wird empfohlen, die Temperatur (T) und die relative Luftfeuchte (RH) nahe der Prüfoberfläche zu dokumentieren.

Mechanische Reinigungsverfahren, welche die Oberflächenporosität verändern, können eine Änderung der Wasserabsorption bewirken.

6.3.2 Messung der Wasserabsorption mit Prüfrohr

Die Messung der Wasserabsorption muss nach EN 16302 erfolgen. Die Messungen werden vor und nach der Reinigung in demselben Prüfbereich durchgeführt. Die Versuchsfläche sollte flach und ebenmäßig sein und keine sichtbaren Risse aufweisen, um eine Haftung ohne Undichtigkeiten sicherzustellen.

6.3.3 Messung der Wasserabsorption mit Kontaktschwammverfahren

Die Messung der von einer festgelegten Oberfläche eines porösen Materials aufgenommenen Wassermenge erfolgt durch den Kontakt mit einem Schwamm, der mit entionisiertem Wasser vollgesaugt ist (Kontaktschwamm). Diese Vorgehensweise wurde speziell für die Bewertung „vor Ort“ entwickelt.

6.3.4 Wassertropfen-Prüfung

Ein kleiner kalibrierter Tropfen entionisiertes Wasser (z. B. 100 µl) wird mit einer Eppendorf-Mikropipette vorsichtig auf die Oberfläche des zu prüfenden Materials aufgebracht. Das Verhalten dieses Tropfens im Verlauf der Zeit wird beobachtet.

Auf vertikalen Oberflächen fließt der Wassertropfen. Die Breite (W) und die Länge (L) des Absorptionspfads werden unmittelbar nach der vollständigen Absorption des Tropfens (Glanzverlust) gemessen. Die Breite wird zwei Mal gemessen, einmal am Anfang (W₁) und einmal am Ende (W₂) des Absorptionspfads; anschließend wird die mittlere Breite wie folgt berechnet:

$$W_m = (W_1 + W_2)/2 \quad (1)$$

Der Grad der Hydrophobie (HD) der Oberfläche wird aus der Länge (L) des Absorptionspfads geteilt durch seine mittlere Breite, multipliziert mit 100 zur besseren Lesbarkeit der Ergebnisse, wie folgt berechnet:

$$HD = (L/W_m) \times 100 \quad (2)$$

Ein hoher Wert weist auf eine wasserabweisende Oberfläche hin; ein niedriger Wert weist auf eine wasserabsorbierende Oberfläche hin.

Auf horizontalen Oberflächen ermöglicht die Entfaltung des Tropfens, der eine Halbkugelform annimmt und in das Substrat eindringt oder sich auf dem Substrat ausbreitet, die Charakterisierung der Materialeigenschaften der Oberfläche (wasserabweisende Oberfläche, poröses und kapillares Material ohne wasserabweisende Behandlung, benetzbarer aber undurchlässiger und dichter Untergrund).

Zur Quantifizierung der Feststellungen muss die Zeit, bis der Tropfen vollständig vom Material aufgenommen wurde (Glanzverlust), gemessen werden.

Um Werte zu erhalten, die für eine bestimmte Oberfläche repräsentativ sind, sollten 10 Messungen durchgeführt werden und daraus ist der Mittelwert zu berechnen.

7 Laboranalyse von Proben, die aus Versuchsbereichen entnommen wurden

7.1 Allgemeines

Sind weitere Untersuchungen notwendig, wird empfohlen, eine Reihe von Laboranalysen durchzuführen, für die Proben aus dem gewählten Versuchsbereich entnommen werden, um die Ergebnisse vor und nach der Durchführung des untersuchten Reinigungsverfahrens zu vergleichen.

7.2 Probenahme

Werden Proben benötigt, um deren Schliffe oder Fragmente zu betrachten, müssen sie an der Grenze zwischen gereinigten und nicht gereinigten Bereichen entnommen werden, wie in Bild 3 gezeigt.

Die Grenzlinie und die damit zusammenhängenden morphologischen Unterschiede zwischen dem gereinigten und dem nicht gereinigten Bereich sind bei physikalischen und mechanischen Reinigungsverfahren einfacher zu identifizieren, da diese möglicherweise eine deutliche morphologische Veränderung bewirken, die als Höhenunterschied erkennbar ist.

Bei einem chemischen Reinigungsverfahren kann die Grenzlinie, sofern sie entsteht, wesentlich differenzierter und schwieriger zu erkennen sein, was eine höhere Anzahl an Proben erforderlich macht, um eine korrekte Betrachtung aller Auswirkungen sicherzustellen, die an den Rändern der Proben selbst erzeugt werden. Der nicht gereinigte Kontrollbereich kann mit einer Abdeckung aus geeignetem Material geschützt werden.

Die Fragmentproben aus dem Versuchsbereich (an der Grenze zwischen gereinigter und nicht gereinigter Oberfläche) müssen durch Kernbohren geschnitten werden, um eine kreisrunde Probe zu erhalten, oder durch eine kleine Kreissäge, die mit einem runden Sägeblatt ausgestattet ist, um eine rechteckige Probe zu erhalten. Danach besteht die Möglichkeit, ein Metallstück als Hebel zu verwenden, um die Probe vom Stein zu lösen und aufzunehmen.



Bild 3 — Schematische Darstellung des Versuchsbereichs und der Probenahme eines Fragments zu Herstellung von Schliffen (Dünnschliffe oder polierte Schliffe). Größe des Versuchsbereichs 10 cm × 5 cm. Größe der gereinigten Fläche 5 cm × 5 cm. Größe der nicht gereinigten Fläche 5 cm × 5 cm

Bei der chemischen Reinigung gehört zu den zusätzlichen Untersuchungen üblicherweise die Analyse des wässrigen Extrakts, wie in 7.5 angegeben.

Reinigungsversuche sollten von Personen überwacht und beurteilt werden, die für die Erstellung der Reinigungsspezifikation verantwortlich sind. Versuchsbereiche müssen für die Inspektion durch die zuständigen Behörden zugänglich sein.

Wenn möglich, muss der Reinigungsversuch im Voraus vereinbart und von geschulten und erfahrenen Fachleuten durchgeführt werden, die mit einer Vielzahl von Reinigungssystemen vertraut sind.

Die vollständige Beurteilung des gesamten Erscheinungsbilds der Objektoberfläche nach der Reinigung muss Folgendes enthalten:

- a) mögliche Beschädigung des Objekts infolge der Reinigung;
- b) Farbveränderungen infolge des Reinigungsprozesses;
- c) die Wirksamkeit der Entfernung unerwünschter Materialien.

7.3 Chemische/physikalische Analyse

7.3.1 Untersuchungen an Fragmentoberflächen durch Mikroanalyse mithilfe von RLOM, SEM-ESEM und EDS

Ein Fragment, das nach Bild 3 entnommen wurde, wird mithilfe von Lichtmikroskopie und atmosphärischer Rasterelektronenmikroskopie untersucht, wobei sich auf jegliche Veränderungen der Oberflächenmorphologie vor und nach der Reinigung konzentriert werden muss. Jedes Fragment sollte durch mindestens drei Bilder dokumentiert werden, in denen die relative Vergrößerung und die instrumentellen Versuchsbedingungen angegeben sind.

Bei Reinigungsverfahren ist es wichtig, die Abfolge von Schichten vor und nach der Reinigung zu betrachten.

Wenn die vorgeschlagenen Reinigungsverfahren die Freisetzung von chemischen Elementen an der Oberfläche bewirken könnten, die durch EDS/WDS nachweisbar sind, wird eine Elementanalyse und eine Aufnahme von Elementverteilungsbildern vor und nach der Reinigung empfohlen.

7.3.2 Untersuchungen an Dünnschliffen und polierten Schliffen durch Mikroanalyse mithilfe von RLOM, SEM-ESEM und EDS

Ein Fragment, das nach Bild 3 entnommen wurde, wird in Harz eingebettet, um einen Dünnschliff und einen polierten Schliff zu erhalten (siehe auch EN 16515:2015, 5.3).

Dünne und polierte Schliffe werden mithilfe von Lichtmikroskopie untersucht, beginnend bei kleiner Vergrößerung bis hin zur größten Vergrößerung, um den Reinigungsgrad zu ermitteln und mögliche durch das Reinigungssystem hervorgerufene Veränderungen festzustellen.

Bei der Untersuchung von Schliffen wird üblicherweise eine Mikroaufnahme (ein Schliffbild) einschließlich der Skala erstellt.

Polierte Schliffe dürfen auch mithilfe von ESEM mit einer Vergrößerung untersucht werden, die für das Aufdecken der durch das Reinigungssystem hervorgerufenen Veränderungen als maßgeblich gilt. Die Beobachtungen werden in einem ausführlichen Bericht dokumentiert, der mindestens eine Photographie enthält, die eine Skala für jede Vergrößerung aufweist.

Die Messgerätebedingungen und die optimalen Betriebsbedingungen müssen im Prüfbericht angegeben werden.

Es ist eine qualitative Betrachtung vorzunehmen, bei der alle Schliffe vor und nach der Reinigung miteinander verglichen und Veränderungen festgestellt werden, die Hinweise auf Schwankungen der Oberflächenrauigkeit, Porosität und das Vorhandensein von Mikrofrakturen geben können.

Es sollte beachtet werden, dass Reinigungsverfahren zu Materialverlusten des Untergrunds führen können; diese Materialverringerung ist beim Vergleichen von Schliffen aus gereinigten und nicht gereinigten Bereichen im Hinblick auf die Schädlichkeit zu berücksichtigen.

7.3.3 Schwingungsspektroskopie (FTIR, Mikro-FTIR und Raman)

7.3.3.1 FTIR und Raman

Fragmente oder Schliffe von Fragmenten werden mithilfe eines FTIR- oder Raman-Spektrometers untersucht. Allgemein gesagt, dient ersteres dazu, die Entfernung von organischen Schichten zu erfassen, und letzteres dient dazu, die Entfernung von Übermalungen hervorzuheben, die den Pigmentmarkern folgen; daher hängt ihre Wahl im Reinigungsbewertungsplan stark vom zu entfernenden Material ab.

Bei Verwendung eines ortsfesten FTIR-Spektrometers könnten die Spektren im Transmissions- oder Reflexionsmodus aufgezeichnet werden.

7.3.3.2 Mikro-FTIR

Mikro-FTIR-Spektren, die an Fragmenten oder auf Schliffen aufgenommen wurden, die nach Bild 3 entnommene wurden, werden miteinander verglichen. Eine Technik mit abgeschwächter Totalreflexion (ATR, en: attenuated total reflection) könnte angewendet werden; eine FTIR-Aufnahme von Elementverteilungsbildern der Probe kann durch Aufzeichnen einer geeigneten Anzahl an Spektren erstellt werden.

7.4 Analyse der Oberflächenmorphologie

7.4.1 Messung der Rauigkeit (siehe ISO 25178)

Die Rauigkeit eines Materials bezeichnet die Höhe eines Oberflächenintervalls im Vergleich zu seiner sonstigen Formgebung. Sie wird entweder durch einen Spitzenkontakt (taktiler Rauigkeitsmessgerät) gemessen oder durch einen Lichtstrahl, der auf die Oberfläche gerichtet und reflektiert wird, um so die Höhenunterschiede auf der Oberfläche zu messen (optisches Verfahren).

Die Amplitude der auftretenden Fehler wird ermittelt und die mittlere Abweichung vom Mittelwert festgestellt, um die arithmetische Rauigkeit und somit den Oberflächenzustand zu quantifizieren.

Techniken, bei denen Mikroskope eingesetzt werden, können die kleinsten und die größten Höhen auf der Oberfläche messen, und können durch Erstellen der z-Dimension (Höhe), die durch die Deformation der Wellenfront erhalten wird, ein 3-D-Bild erzeugen. Alternativ kann ein 2-D-Profil erzeugt werden. Die Größen der zu messenden Amplituden und die im endgültigen Bild erforderliche Auflösung bestimmen die Auswahl einer Objektivlinse mit geeigneter Vergrößerung.

Die Beurteilung der Rauigkeit darf in verschiedenen Phasen des Reinigungsversuchs erfolgen, insbesondere beim Vergleich verschiedener Reinigungssysteme und gegebenenfalls während der gesamten Arbeiten.

7.5 Nasschemische Analyse (auf wässrigem Extrakt) im Fall der chemischen Reinigung

7.5.1 Extraktionsverfahren

7.5.1.1 Allgemeines

Bei der Prüfung der chemischen Reinigung wäre es notwendig, Informationen über die Chemikalienrückstände oder die schädlichen Produkte einzuholen, die durch die Wechselwirkung der Chemikalien mit den unerwünschten Materialien (Bild 4) gebildet werden, wobei das wässrige Extrakt analysiert wird, das vor Ort aufgenommen wurde, um jegliche Nebenprodukte nachzuweisen, die durch eine chemische Substanz freigesetzt worden sind. Dies könnte erfolgen durch:

- 1) Auflösen einer pulverförmigen Probe, die an der Oberfläche entnommen wurde;
- 2) Abwaschen mit Wasser;
- 3) Verwendung von Kompressen, die sämtliche Rückstände aufnehmen können, die auf dem Untergrund und innerhalb des Untergrunds verbleiben.

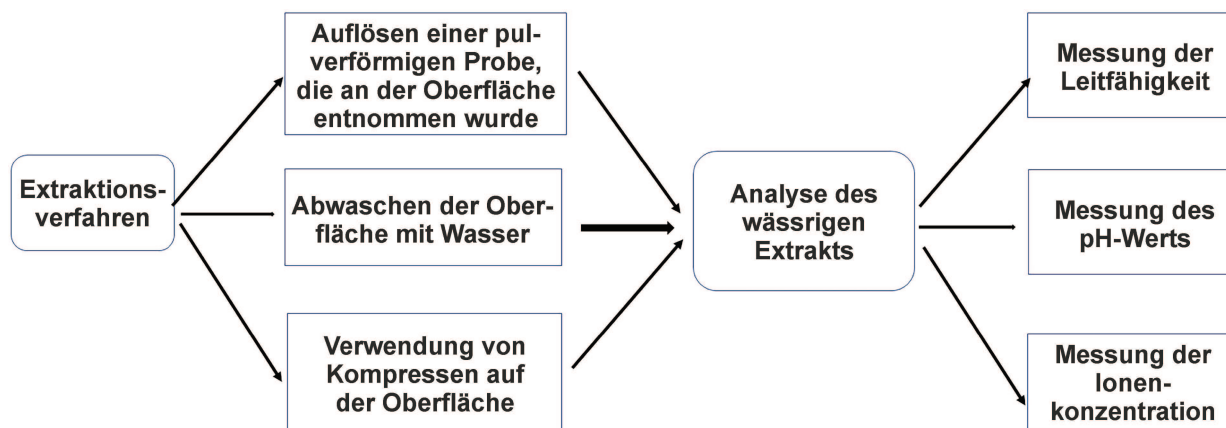


Bild 4 — Ablaufdiagramm für die Analyse des wässrigen Extrakts

7.5.1.2 Auflösen einer pulverförmigen Probe, die an der Oberfläche entnommen wurde

Wasserlösliche Probekörper werden aus einer pulverförmigen Probe durch Auflösen in einem festgelegten Volumen an hochreinem Wasser extrahiert. Das Verfahren wird ausführlich in EN 16455 beschrieben.

7.5.1.3 Abwaschen mit Wasser

Abwaschen mit Wasser erfolgt, um wasserlösliche Probekörper von einer bestimmten Oberfläche zu entfernen. Die folgenden Möglichkeiten sollten betrachtet werden:

- i) eine Prüffläche der Größe 10 cm × 5 cm erfordert 30 ml bis 50 ml destilliertes Wasser;
- ii) eine Prüffläche der Größe 5 cm × 5 cm erfordert 10 ml bis 20 ml destilliertes Wasser.

Es wird empfohlen, dass nach der Reinigung mindestens drei aufeinanderfolgende Wasserextraktionen in Zeitabständen von 10 min bis 30 min durchzuführen sind, um den pH-Wert, die spezifische Leitfähigkeit und lösliche Salzkonzentrationen zu kontrollieren.

7.5.1.4 Verwendung von Kompressen

7.5.1.4.1 Allgemeines

Um alle Rückstände zu absorbieren, die auf und innerhalb des Untergrunds verblieben sind, ist ein Sammelsystem, bestehend aus Kompressen, bei denen Filterpapier in mehreren Schichten aufgelegt wird, wesentlich zuverlässiger und reproduzierbarer als das Verfahren zum Abwaschen mit Wasser.

Da mithilfe der Kompressen die Rückstände der verwendeten Chemikalien bestimmt werden, sind einige vorbeugende Analysen durchzuführen im Hinblick auf:

- a) die Reinheit der Bestandteile;
- b) die zur Herstellung der Komresse erforderliche Wassermenge.

Falls die Ergebnisse der vorbeugenden Analyse, die an der Komresse durchgeführte wurde, auf eine signifikante Menge an Verunreinigungen hinweisen, ist es notwendig, eine Vorwaschung der trockenen Komresse vorzunehmen. Alternativ besteht die Möglichkeit, die Komresse unbehandelt zu verwenden, wobei jedoch die Menge der Verunreinigungen zu berücksichtigen ist, die bei der Analyse des wässrigen Extrakts subtrahiert werden muss.

Die Komresse wird hergestellt, indem mehrere Schichten Filterpapier auf die Oberfläche aufgebracht werden, wobei Blatt für Blatt mit einer Pipette eingebettet wird, um eine Mehrfachsicht mit einer Dicke von 2 mm bis 3 mm zu bilden. Die auf die Blätter aufgetragene Wassermenge wird gemessen und muss bei jedem Auftragen dieselbe sein. Jeglicher Flüssigkeitsverlust der Kompressen sollte sorgfältig vermieden werden.

Da bereits das Filterpapier selbst einige Verunreinigungen enthält (in der Regel Chloride, Nitrate und Sulfate), muss vorab eine Bestimmung dieser Menge an einer Blanko-Komresse vorgenommen werden.

Für die Herstellung der Mehrfachsicht aus Filterpapier muss hochreines Wasser verwendet werden: spezifische Leitfähigkeit $\leq 1 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Der Zeitpunkt der Aufbringung hängt von der Art des unerwünschten Materials, der Porosität des Untergrunds und den Umgebungsbedingungen ab.

Oberstes Ziel dieser Prüfungen ist es, Informationen über die Chemikalienrückstände oder die schädlichen Produkte zu erhalten, die durch die Wechselwirkung der Chemikalien mit den unerwünschten Materialien gebildet werden. Aus diesem Grund sind die Prüfungen zur Bewertung unmittelbar nach der Reinigung durchzuführen, und die Zeit für das Aufbringen der Kompressen muss kurz gehalten werden, um die Identifizierung der enthaltenen Produkte zu ermöglichen, die nach längerer Zeit verschwinden könnten, da sie in den Untergrund eindringen.

Mindestens fünf aufeinanderfolgende Anwendungen von Kompressen sollten innerhalb eines bestimmten Zeitraums in demselben Bereich erfolgen. Der Zeitraum wird durch die Porosität des Untergrunds und die Umgebungsbedingungen bestimmt. Besteht eine Unsicherheit, dann sollten weitere Prüfungen über längeren Zeitraum durchgeführt werden, mit denen schnellstmöglich nach Abschluss der Reinigung begonnen wird.

7.5.1.4.2 Kompressen: Vorbereitung für die Analyse

Kompressen, die von der Oberfläche abgenommen wurden, werden in einem Umluftofen bei einer Temperatur von $(50 \pm 5)^\circ\text{C}$ für (24 ± 1) h oder bis eine konstante Masse erreicht ist getrocknet. Es wird davon ausgegangen, dass eine konstante Masse erreicht ist, wenn die Differenz der Ergebnisse von zwei Wägungen im Abstand von (24 ± 2) h weniger als 0,1 % der Masse der Probe beträgt.

Die getrocknete Probe wird quantitativ in einen 50-ml-Messbecher überführt. 50 ml hochreines Wasser mit bekannter spezifischer Leitfähigkeit (γ_b) ist in den Messbecher hinzuzugeben. Der Messbecher wird dicht verschlossen und für $(2,0 \pm 0,2)$ h bei einer Raumtemperatur von $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$ geschüttelt.

Das sich daraus ergebende Gemisch wird (mindestens 2 h) ruhen gelassen, bis sich das unlösliche Material absetzt.

7.5.2 Analyse von wässrigem Extrakt

7.5.2.1 Allgemeines

Im Anschluss an die Extraktion nach den Verfahren von 7.5.1.2, 7.5.1.3 und 7.5.1.4 werden die spezifische Leitfähigkeit, der pH-Wert und die löslichen chemischen Substanzen in der Lösung durch die folgenden in EN 16515:2015 beschriebenen Verfahren bestimmt.

7.5.2.2 Messung der spezifischen Leitfähigkeit

Um den Gesamtgehalt an löslichen Salzen vor der quantitativen Bestimmung jedes einzelnen Ions abzuschätzen, muss die spezifische Leitfähigkeit der klaren Lösung (γ_a) bestimmt und mit der Leitfähigkeit des hochreinen Wassers (γ_b) verglichen werden (siehe EN 16455).

Im Fall der chemischen Reinigung oder falls lösliche Salze vorhanden sind, kann es nützlich sein, die spezifische Leitfähigkeit einer Lösung zu messen, die durch lokale Extraktion (Kompressen) im Versuchsbereich erhalten wurde.

7.5.2.3 Messung des pH-Werts

Im Falle einer chemischen Reinigung kann es nützlich sein, die Menge der Chemikalienrückstände indirekt durch pH-Wert-Messung einer Lösung zu prüfen, die durch lokale Extraktion auf der Zieloberfläche erhalten wurde.

Ziel der pH-Wert-Bestimmung ist es, auf vorhandene Rückstände von Säureionen oder Alkaliionen zu überprüfen, die durch die für die Reinigung verwendeten Chemikalien freigesetzt wurden. Chemikalien, die Wasserstoffionen (H^+) freisetzen, reagieren nicht nur mit den zu entfernenden Materialien, sondern auch mit dem alkalischen Untergrund. Gleiches passiert mit Hydroxidionen (OH^-), die auf dem sauren Untergrund reaktionsfähig sind. In diesem Zustand wird die pH-Wert-Messung durch die Reaktionsfähigkeit des Untergrunds gegenüber den verwendeten Chemikalien beeinflusst. Die H^+ -Konzentration in der Lösung muss gemessen und mit der H^+ -Konzentration der Lösung, die mit den Blanko-Kompressen erhalten wurde, verglichen werden.

7.5.2.4 Messung der Ionenkonzentration

Die Lösung wird anschließend auf einem 0,45-µm-Filter filtriert und nach der Kalibrierung des Messsystems muss ein Teil des Filtrats abgenommen und verwendet werden, um die Konzentration (C), in mg/l, jedes einzelnen Ions zu bestimmen.

8 Gesamtbewertung der erhaltenen Ergebnisse

Das Bewertungsverfahren soll als Leitfaden für die Planung von Reinigungsmaßnahmen dienen, indem die Bewertung mehrerer Schlüsselfaktoren so festgelegt wird, dass die Subjektivität bei der Entscheidungsfindung verringert wird. Obwohl das Verfahren in erster Linie für die Planung gedacht ist, kann es auch als Bewertungs- oder Wissensinstrument für die Analyse älterer Maßnahmen dienen.

Das Bewertungsverfahren ist fallweise an der Art des Materials sowie an der Art, dem Umfang und der Dicke des unerwünschten Materials auszurichten. Es setzt sich aus einer Abfolge von Prüfungen zusammen, die den idealen Weg für die Bewertung der Schädlichkeit und Wirksamkeit von geeigneten Reinigungsverfahren repräsentieren. Die Durchführung von nur einem Teil der Prüfungen liegt in der Verantwortung des zuständigen Fachmanns.

Die durch das Bewertungsverfahren erhaltenen Ergebnisse müssen interpretiert werden, um die Schädlichkeit und die Wirksamkeit zu bewerten.

Analyse und Interpretation von Ergebnissen müssen von Fachleuten mit Kenntnissen in der Werkstoffkunde und über die Schädlichkeit der Reinigungsverfahren durchgeführt werden (z. B. von Konservierungswissenschaftlern, Konservatoren/Restauratoren).

Der Entscheidungsprozess erfordert eine umfassende Dokumentation der durchgeführten Prüfungen, der Ergebnisse und der Schlussfolgerungen entsprechend der in Anhang B enthaltenen Tabelle.

Wie schon bereits beschrieben, liefert die optische Betrachtung der Oberfläche Informationen über das Reinigungsniveau und über eine gegebenenfalls stattgefundene Überreinigung. Jede Art von morphologischer Veränderung des Untergrunds ist ein Anzeichen für eine mögliche Beschädigung der Oberfläche durch das Reinigungsverfahren.

Analysen mithilfe von Ultraviolettfluoreszenz-Spektrometern, Röntgenfluoreszenz-Spektrometern und FTIR-Spektrometern liefern Informationen über die Rückstände unerwünschter Materialien, die auf der Oberfläche verbleiben.

Oberflächenanalysen vor Ort, wie beispielsweise Farbmessungen, liefern Informationen über die Wirksamkeit des angewendeten Reinigungsverfahrens in Form einer Abschätzung, inwieweit unerwünschte Materialien entfernt worden sind, sowie über die mögliche Schädlichkeit des angewendeten Reinigungsverfahrens durch Abschätzung der Änderung im Farbton.

Messungen des pH-Werts, der Ionenkonzentration und der spezifischen Leitfähigkeit werden insbesondere dazu genutzt, die Auswirkungen der chemischen Reinigung zu bewerten. Für die chemische Reinigung ist eine Laborbewertung des wässrigen Extrakts aus der Oberfläche erforderlich. Sind chemische Verbindungen im wässrigen Extrakt vorhanden, ist dies ein Anzeichen für eine unvollständige Entfernung der unerwünschten Materialien oder für die Bildung von Nebenprodukten durch die für die Reinigung verwendeten Chemikalien.

Laboruntersuchungen von Fragmenten liefern genauere Hinweise auf eine Änderung der Oberflächenrauigkeit und Porosität sowie auf das Vorhandensein von schädlichen Rückständen nach der Reinigung.

Manche Reinigungsverfahren können typische Gegenanzeigen hervorrufen. Eine mechanische Reinigung könnte beispielsweise eine unterschiedliche Wasserabsorption vor und nach der Behandlung bewirken.

9 Analyseverfahren für Prüfungen, die sich in der Entwicklung befinden, an Probekörpern analogen Materials (Teil B)

9.1 Allgemeines Verfahren

Prüfungen zur Bewertung von Verfahren, die sich in der Entwicklung befinden, sollten nicht an Objekten des kulturellen Erbes durchgeführt werden.

Die in diesem Teil beschriebenen Bewertungsverfahren sind nützlich, um die potentielle Schädlichkeit der Reinigungsverfahren zu beurteilen, die sich in der Entwicklung befinden oder die zum ersten Mal für die Konservierung in Betracht gezogen werden sollen. Die Prüfungen zur Bewertung müssen an Probekörpern aus analogem Material (in ähnlichem Zerfallszustand) durchgeführt werden. In diesem Fall sollte ausreichend Material verwendet werden, um Probekörper für Prüfungen vor der Reinigung und nach der Reinigung bereitzustellen.

Das Verfahren setzt sich aus den folgenden Phasen zusammen:

- a) Herstellung der Probekörper;
- b) Planung des/der Reinigungsverfahren(s), das/die sich in der Entwicklung befindet/befinden;
- c) Messungen und Prüfungen vor der Reinigung;
- d) Messungen und Prüfungen nach der Reinigung.

Wie bereits in der Einleitung betont wurde, erfordert die chemische Reinigung im Gegensatz zu den anderen drei Kategorien (Reinigung mit Wasser, mechanische Reinigung und physikalische Reinigung) zusätzliche Untersuchungen; deshalb ist die Reihenfolge der Messungen nach zwei verschiedenen Modellen durchzuführen. Das Verfahren für die Reinigung mit Wasser, für die mechanische Reinigung und für die physikalische Reinigung ist in Bild 5 angegeben; das Verfahren für die chemische Reinigung ist in Bild 6 angegeben. Die in diesem Dokument beschriebenen Prüfungen müssen zuerst an nicht verwitterten Probekörpern durchgeführt werden, die speziell für diesen Zweck hergestellt wurden.

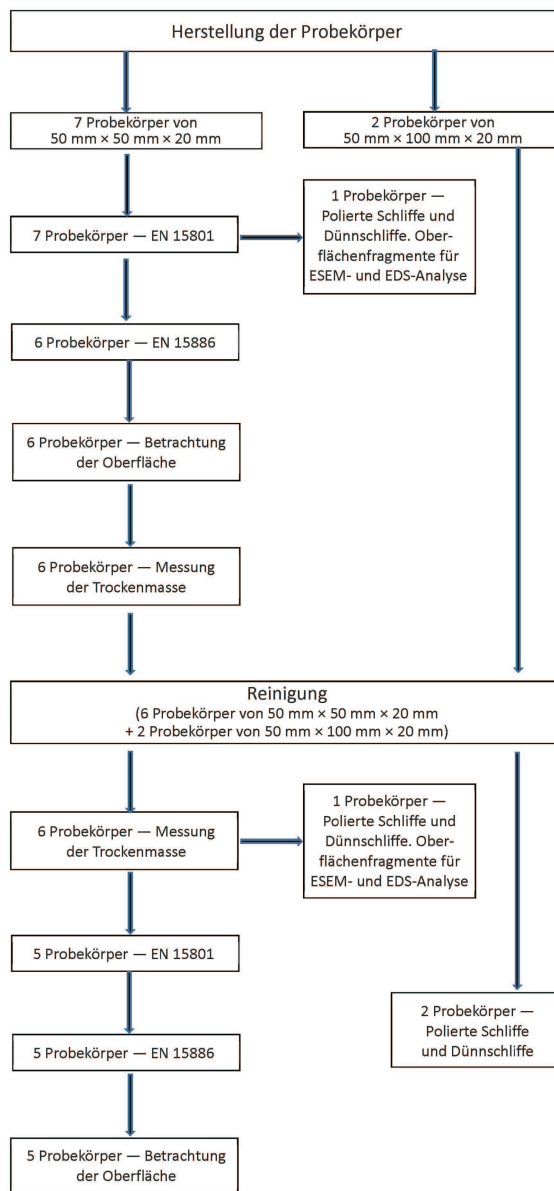


Bild 5 — Verfahren für die Reinigung mit Wasser, für die mechanische Reinigung und für die physikalische Reinigung

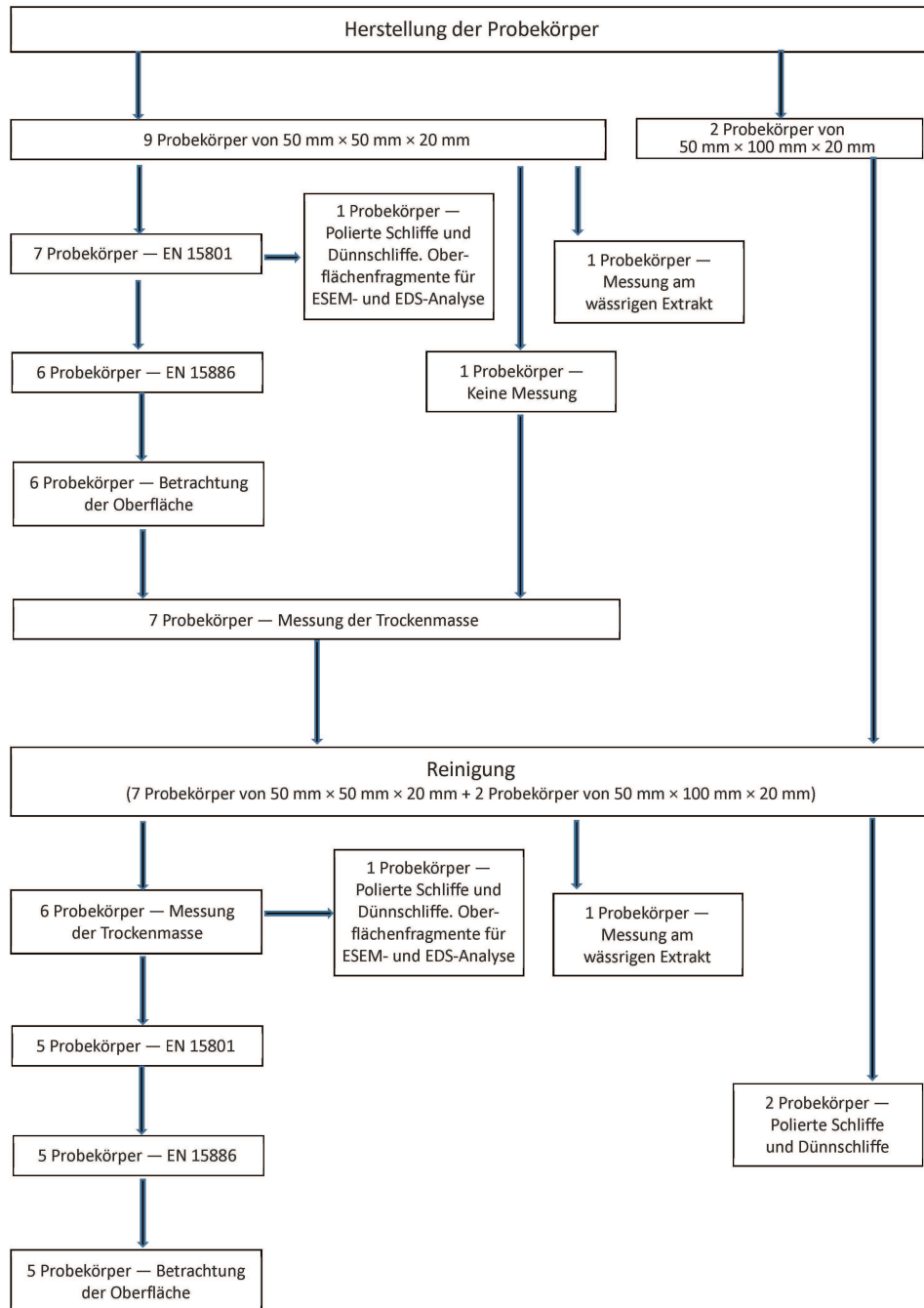


Bild 6 — Verfahren für die chemische Reinigung

9.2 Herstellung der Probekörper

9.2.1 Anzahl und Maße der Probekörper

Die in dieser Norm beschriebenen Prüfungen müssen zuerst an nicht verwitterten Probekörpern durchgeführt werden, die speziell für diesen Zweck hergestellt wurden.

Mindestanzahl der Probekörper für das Reinigungsverfahren:

- a) 7 Probekörper mit den Maßen 50 mm × 50 mm × 20 mm und 2 Probekörper mit den Maßen 50 mm × 100 mm × 20 mm zur Bewertung von physikalischen/mechanischen Reinigungsverfahren;
- b) 9 Probekörper mit den Maßen 50 mm × 50 mm × 20 mm und 2 Probekörper mit den Maßen 50 mm × 100 mm × 20 mm zur Bewertung von chemischen Reinigungsverfahren.

Bei anisotropem Material sollten die Oberflächen aller Probekörper, auf denen das jeweilige Reinigungsverfahren geprüft werden soll, dieselbe Ausrichtung besitzen.

Jede Abweichung der Anzahl und Größe der Probekörper von den oben genannten Daten muss im Abschlussbericht angegeben und begründet werden.

9.2.2 Vorbehandlung der Probekörper

Die Oberfläche, die für die Bestimmung der Wasserabsorption durch Kapillarität ausgewählt wurde, muss flach und befeuchtet sein oder muss mit Sandpapier (Körnung 82 Mikrometer entsprechend FEPA-Klassifizierung P180) im trockenen Zustand poliert sein.

Nach dem Polieren müssen die Probekörper mit Wasser gewaschen, sanft mit einer weichen Bürste abgebürstet und für 30 min in entionisiertes Wasser getaucht werden. Bei wasserempfindlichen Materialien, z. B. bei gipshaltigen Materialien, darf nur im trockenen Zustand poliert und Druckluft angewendet werden.

Die Probekörper müssen bis zur konstanten Masse in einem Umluftofen bei einer Temperatur von $(60 \pm 2)^\circ\text{C}$ getrocknet werden. Falls das Material temperaturempfindlich ist, muss die Vorbehandlung in einem Trockenschrank erfolgen, der mit einem Trocknungsmittel gefüllt ist, oder in einem Ofen bei einer Temperatur von $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$, bis die konstante Masse erreicht ist.

Die konstante Masse ist erreicht, wenn die Differenz der Ergebnisse von zwei aufeinanderfolgenden Wägungen im Abstand von 24 h weniger als 0,1 % der Masse des Probekörpers beträgt.

Vor jeder Wägung und vor Beginn der Prüfung muss der Probekörper in einen Trockenschrank gelegt werden, bis er eine Temperatur von $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ erreicht hat.

9.3 Bewertungsprozess für das/die zu prüfende(n) Reinigungsverfahren

Ähnlich wie bereits in Teil A beschrieben, muss die Bewertung des Reinigungsverfahrens, das sich in der Entwicklung befindet, durch eine Reihe von im Labor durchgeführten spezifischen Analysen erfolgen (unten aufgelistet).

Um eine abschließende Bewertung der Schädlichkeit und Wirksamkeit der geprüften Reinigungsverfahren vorzunehmen, muss die Analyse vor und nach der Anwendung des zu bewertenden Reinigungssystems erfolgen. Die Reihenfolge der Prüfungen ist in Bild 5 und Bild 6 dargestellt.

9.4 Analyse von Probekörpern vor und nach der Durchführung der Reinigungsverfahren

9.4.1 Allgemeines

Vor der Untersuchung eines neuartigen Reinigungsverfahrens aus beiden Kategorien — Reinigung mit Wasser, mechanische und physikalische Reinigung oder chemische Reinigung — ist es erforderlich, (an dem vorbereiteten Probekörper wie oben beschrieben) eine Reihe von Analysen zur Charakterisierung durchzuführen.

9.4.2 Bestimmung der Wasserabsorption durch Kapillarität

Die Bestimmung der Wasserabsorption durch Kapillarität muss an Probekörpern mit den Maßen 50 mm × 50 mm × 20 mm nach EN 15801 durchgeführt werden.

Ein Anstieg des Absorptionskoeffizienten des Kapillarwassers (AC) nach der Reinigung (gemessen auf der behandelten Oberfläche) steht in Zusammenhang mit einem Anstieg der Porosität, während eine Abnahme auf einen teilweisen Verschluss der Poren hindeuten könnte und/oder auf einen Anstieg der Hydrophobie der Oberfläche aufgrund der Zurückhaltung niedrigpolarer Produkte.

9.4.3 Farbmessung auf Oberflächen

Die farbmétrischen Messungen werden an denselben Probekörpern durchgeführt, noch bevor sie den Messungen der Wasserabsorption durch Kapillarität unterzogen werden, wobei darauf geachtet wird, dass sie zuvor getrocknet wurden, wie in EN 15886 beschrieben, und für zwei Stunden in einer Laborumgebung bei $T = (23 \pm 1) ^\circ\text{C}$ und $RH = (55 \pm 5) \%$ aufbewahrt wurden.

Für jeden Probekörper mit den Maßen 50 mm × 50 mm × 20 mm müssen mindestens sechs Messungen auf der polierten Oberfläche mit der Größe von 25 cm² vor und nach der Reinigung durchgeführt werden. Die Messpunkte müssen vor und nach der Reinigung dieselben sein.

Die Koordinaten der Messpunkte sind mithilfe von Photographien zu dokumentieren. Wenn nach der Reinigung auffallende lokale Farbveränderungen (Flecken) oder Bereiche mit unterschiedlichen Farbwerten im Vergleich zu den durchschnittlichen Farbwerten der Oberfläche auftreten, sollten diese gemessen werden, auch wenn diese Stellen nicht mit den ursprünglich in der photographischen Dokumentation festgelegten Stellen übereinstimmen.

Jede Änderung der Farbraumkoordinaten (L^*, a^*, b^*) nach der Reinigung muss als negativ angesehen werden.

9.4.4 Betrachtung der Oberfläche mit dem Stereomikroskop

Die Betrachtung der Oberfläche mit dem Stereomikroskop vor und nach der Reinigung muss an Probekörpern mit den Maßen 50 mm × 50 mm × 20 mm an fünf Stellen unter Schräglichteinfall in einem Winkel von $(30 \pm 5)^\circ$ und bei 10-facher bis 40-facher Vergrößerung erfolgen.

Die Untersuchungspunkte auf der Oberfläche müssen vor und nach der Reinigung dieselben sein. Für jeden Untersuchungspunkt sollte mindestens eine Mikrophotographie mit einer Skala für jede Vergrößerung aufgenommen werden. Im Abschlussbericht müssen qualitative Beurteilungen aller sichtbaren Veränderungen der Oberflächenmorphologie, zusammen mit Photographien zum Vergleichen einzelner Untersuchungspunkte enthalten sein.

Diese Untersuchungen sind wichtig, da sie eine zerstörungsfreie Prüfung zur Bewertung der morphologischen Veränderungen ermöglichen, die durch das Reinigungsverfahren an dieser Stelle der Oberfläche hervorgerufen worden sein könnten. Jede Art von morphologischer Veränderung ist ein Anzeichen für eine potentielle Beschädigung der Oberfläche durch das Reinigungsverfahren.

9.4.5 Bestimmung der Masseänderung

Die Trockenmasse der Probekörper muss an den Probekörpern mit den Maßen 50 mm × 50 mm × 20 mm vor und nach der Reinigung nach dem vorstehenden Verfahren bestimmt werden (siehe 9.1).

Die Masseänderung (Δm) zwischen der Trockenmasse der Probekörper vor der Reinigung (m_{bc}) und der Trockenmasse der Probekörper nach der Reinigung (m_{ac}) ist aufzuzeichnen.

Jede negative Änderung kann in Zusammenhang mit einem Materialverlust des Probekörpers stehen und ist somit ein Hinweis auf die Aggressivität des Verfahrens.

Eine Zunahme der Masse könnte auf eine Ansammlung von Reinigungsmitteln schließen lassen.

9.4.6 Analyse von Dünnschliffen und polierten Schliffen durch RLOM, SEM-ESEM/EDS

9.4.6.1 Herstellung von Dünnschliffen und polierten Schliffen

Wie in Bild 5 und in Bild 6 angegeben, muss ein polierter und dünner Schliff aus einem Probekörper mit den Maßen 50 mm × 50 mm × 20 mm hergestellt werden, der vor der Reinigung bereits der Prüfung der Wasserabsorption durch Kapillarität unterzogen worden ist (grauer Hintergrund). Ein weiterer polierter und dünner Schliff muss aus einem Probekörper hergestellt werden, der bereits gereinigt worden ist und dessen Trockenmasse bereits bestimmt wurde (blauer Hintergrund).

Falls nach der Reinigung Veränderungen an bestimmten Stellen der Oberfläche festgestellt werden, ist es erforderlich, in ihrer Entsprechung einen weiteren polierten und dünnen Schliff herzustellen.

Aus jedem Probekörper mit den Maßen 50 mm × 100 mm × 20 mm sollte, wie bereits in Bild 3 gezeigt, mindestens ein Fragment an der Grenzlinie zwischen gereinigtem und nicht gereinigtem Bereich entnommen werden. Dieses Fragment wird verwendet, um zwei polierte und dünne Schläffe herzustellen (grüner Hintergrund).

Die Grenzlinie und die damit zusammenhängenden morphologischen Unterschiede zwischen dem gereinigten und dem nicht gereinigten Bereich sind bei physikalischen und mechanischen Reinigungsverfahren exakter zu identifizieren, da diese möglicherweise eine deutliche morphologische Veränderung erzeugen, die als Höhenunterschied erkennbar ist. Bei einem chemischen Reinigungsverfahren kann die Grenzlinie, falls sie erzeugt wird, wesentlich differenzierter und schwieriger zu erkennen sein, was eine höhere Anzahl an Proben erforderlich macht, um eine korrekte Betrachtung aller Auswirkungen sicherzustellen, die an den Rändern des Probenbereichs selbst erzeugt werden.

9.4.6.2 Analysen durch RLOM, SEM-ESEM/EDS

Dünne und polierte Schläffe werden durch Lichtmikroskopie mit 50-facher bis 250-facher Vergrößerung untersucht, um mögliche Veränderungen aufzudecken, die durch das Reinigungssystem hervorgerufen wurden. Polierte Schläffe werden durch SEM/ESEM mit einer Vergrößerung untersucht, die für das Aufdecken der durch das Reinigungssystem hervorgerufenen Veränderungen als maßgeblich gilt. Die Beobachtungen werden in einem ausführlichen Bericht dokumentiert, der mindestens eine Photographie enthält, die eine Skala für jede Vergrößerung aufweist.

Die instrumentellen Versuchsbedingungen sind im Prüfbericht anzugeben.

Es ist eine qualitative Untersuchung durchzuführen, bei der alle Schläffe vor und nach der Reinigung miteinander verglichen werden, indem Veränderungen aufgedeckt werden, die Hinweise auf Schwankungen der Oberflächenrauigkeit, Porosität und das Vorhandensein von Mikrofrakturen geben können.

An der Grenzlinie zwischen gereinigtem und nicht gereinigtem Bereich von Probekörpern mit den Maßen 50 mm × 100 mm × 20 mm muss der Höhenunterschied zwischen gereinigtem und nicht gereinigtem Bereich gemessen werden.