

DIN EN 16682



ICS 97.195

**Erhaltung des kulturellen Erbes –
Verfahren zur Bestimmung des Feuchte- bzw. Wassergehalts in Materialien
des unbeweglichen kulturellen Erbes;
Deutsche Fassung EN 16682:2017**

Conservation of cultural heritage –
Methods of measurement of moisture content, or water content, in materials constituting
immovable cultural heritage;
German version EN 16682:2017

Conservation du patrimoine culturel –
Méthodes de mesurage de la teneur en humidité, ou teneur en eau, de matériaux constituant
un patrimoine culturel immatériel;
Version allemande EN 16682:2017

Gesamtumfang 70 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 16682:2017) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 346 „Erhaltung des kulturellen Erbes“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom UNI (Italien) gehalten wird.

Für die deutsche Mitarbeit ist der Arbeitsausschuss NA 005-01-36 AA „Erhaltung des kulturellen Erbes (SpA zu CEN/TC 346)“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau) verantwortlich.

Deutsche Fassung

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

Conservation of cultural heritage —
Methods of measurement of moisture content,
or water content, in materials constituting
immovable cultural heritage

Conservation du patrimoine culturel —
Méthodes de mesurage de la teneur en humidité,
ou teneur en eau, de matériaux constituant un
patrimoine culturel immatériel

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 25. Dezember 2016 angenommen.

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

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

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



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

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	8
4 Symbole und Abkürzungen	12
5 Feuchte- und Wassergehalt in Materialien	13
5.1 Feuchtegehalt	13
5.1.1 Allgemeines	13
5.1.2 Trockenes und feuchtes Verfahren im Vergleich	13
5.1.3 Gravimetrisches und volumetrisches Verfahren im Vergleich	14
5.2 Wassergehalt	14
5.3 Vergleich zwischen Feuchtegehalt und Wassergehalt	15
6 Absolute und relative Verfahren	15
6.1 Absolute Verfahren	15
6.2 Relative Verfahren	16
6.3 Vergleich zwischen absoluten und relativen Verfahren	17
7 Entnahme und Handhabung von Proben	18
8 Kalibrierung	18
8.1 Allgemeines	18
8.2 Kalibrierung von Messgeräten	19
8.2.1 Allgemeines	19
8.2.2 Kalibrierung für den Feuchtegehalt	19
8.2.3 Kalibrierung für den Wassergehalt	19
8.3 Reproduzierbarkeit	19
8.3.1 Messgeräte für absolute Messungen	19
8.3.2 Messgeräte für relative Messungen	19
8.3.3 Vergleich zwischen absoluten und relativen Verfahren	20
9 Anwendung bestehender Europäischer Normen zu modernen Baumaterialien	20
10 Prüfbericht	21
Anhang A (normativ) Absolute Verfahren	22
A.1 Allgemeines	22
A.2 Gravimetrisches Verfahren	22
A.2.1 Allgemeines	22
A.2.2 Prüfgerät	23
A.2.3 Verfahren	23
A.3 Trocknungsverfahren im Rahmen des gravimetrischen Verfahrens	23
A.3.1 Allgemeines	23
A.3.2 Schranktrocknungsverfahren	24
A.3.3 Vakuumtrocknung	25
A.3.4 Drucklufttrocknung	26
A.3.5 Adsorptionstrocknung	26

A.3.6	Thermogravimetrische Analyse (TGA).....	27
A.4	Karl-Fischer-Titration	28
A.4.1	Allgemeines	28
A.4.2	Prüfgerät.....	29
A.4.3	Verfahren.....	30
A.4.4	Volumetrische Karl-Fischer-Titration (V-KFT)	30
A.4.5	Coulometrische Karl-Fischer-Titration (C-KFT)	32
A.4.6	Karl-Fischer-Titration mit Vaporisation im Trockenschrank (OV-KFT)	33
A.4.7	Karl-Fischer-Titration von ausgewählten Materialien.....	34
A.5	Azeotrope Destillation.....	35
A.5.1	Allgemeines	35
A.5.2	Prüfgerät.....	36
A.5.3	Verfahren.....	36
A.6	Calciumcarbidprüfung.....	37
A.6.1	Allgemeines	37
A.6.2	Prüfgerät.....	38
A.6.3	Verfahren.....	38
Anhang B (normativ) Relative Verfahren.....		43
B.1	Allgemeines	43
B.2	Elektrischer Widerstand (Leitfähigkeit)	44
B.3	Kapazität (dielektrisch)	44
B.4	Relative Luftfeuchte im Gleichgewicht mit dem Material	45
B.4.1	Allgemeines	45
B.4.2	Gebodrter Hohlraum.....	46
B.4.3	Dichter äußerer Kasten (ESB)	46
B.4.4	Prüfgerät.....	47
B.4.5	Verfahren.....	47
Anhang C (informativ) Andere relative Verfahren		52
C.1	Allgemeines	52
C.2	Mikrowellen	52
C.3	Evanescenzfeld-Dielektrometrie	53
C.4	Zeitbereichsreflektometrie	54
C.5	Magnetische Kernresonanz	54
C.6	Nahinfrarotspektroskopie (NIRS)	55
C.7	Ultraschallimpulse	55
C.8	Thermographie	56
Anhang D (informativ) Verfahren mit speziellen Sicherheitsanforderungen		61
D.1	Allgemeines	61
D.2	Röntgenstrahlung.....	61
D.3	Gammastrahlung	62
D.4	Neutronenstreuung	62
Literaturhinweise.....		65

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 16682:2017) 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 September 2017, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis September 2017 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 ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Einleitung

Das spezielle Fachgebiet des kulturellen Erbes ist durch besondere Erfordernisse gekennzeichnet und in den meisten Fällen können die bestehenden Normen, die für übliche Materialien entwickelt wurden, nicht angewendet werden. Der Feuchtegehalt oder der Wassergehalt in Materialien ist für die Erhaltung des kulturellen Erbes von vorrangiger Bedeutung. Ein hoher Gehalt kann sich stark schädigend auswirken (z. B. Auflösung und Mobilisierung von Salz, Pilzbefall, Korrosion, Quellen) ebenso wie niedriger Gehalt (z. B. Salzkristallisation, Schrumpfung, Rissbildung in Holz) oder Wechsel von hohem und niedrigem Gehalt. Daher ist es wichtig, diese veränderliche Größe zu bestimmen und zu steuern, um das Risiko für Schädigungen zu beurteilen und vorbeugende Erhaltungsmaßnahmen zu ergreifen.

Es gibt verschiedene Verfahren für die Messung des Feuchtegehalts oder des Wassergehalts in modernen Baumaterialien, die auf verschiedenen physikalischen oder chemischen Prinzipien basieren; die meisten davon sind jedoch nicht auf kulturelles Erbe anwendbar und müssen diesem Zweck angepasst werden.

Im Allgemeinen werden zerstörungsfreie Verfahren empfohlen, aber ihre Genauigkeit kann möglicherweise begrenzt sein. Die genauesten Verfahren wiederum erfordern eine Probennahme und können nur im Ausnahmefall angewendet werden. Ablesewerte, die durch zerstörungsfreie Verfahren gewonnen wurden, sind möglicherweise nicht vergleichbar, weil sie in unterschiedlichen Einheiten angegeben werden. Die Auswertung von Messungen kann durch eine Anzahl von Faktoren erschwert werden (z. B. Material, Salze, Temperatur), denen die Verfahren unterliegen.

Diese Europäische Norm berücksichtigt und spezifiziert Merkmale, operative Verfahrensweisen, Vor- und Nachteile aller Messverfahren, und führt eine einheitliche Darstellung von Daten und Einheiten ein. Sie richtet sich an alle, die Messwerte für den Feuchte- oder Wassergehalt in Baumaterialien (vor allem Mauerwerk und Holz) ermitteln oder interpretieren müssen, und generell an alle, die für Erhaltung und Instandhaltung von Bauten des kulturellen Erbes Verantwortung tragen.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm dient der Information und Unterstützung von Anwendern bei der Auswahl und Anwendung des geeignetsten Verfahrens zur Durchführung verlässlicher Messungen des Feuchte- oder Wassergehalts in Holz und Mauerwerk (einschließlich Ziegel- und Steinmauerwerk, Beton, Gips, Mörtel usw.) speziell des gebauten kulturellen Erbes.

Sie bietet einen grundsätzlichen Rahmen für die Durchführung und Auslegung solcher Messungen an den o. g. Materialien des kulturellen Erbes, die im Laufe der Zeit Verwitterung, Schädlingsbefall, Salzmigration und anderen Veränderungen ausgesetzt waren.

Sie legt vier absolute Verfahren fest (Gravimetrie, Karl-Fischer-Titration, azeotropische Destillation und Calciumcarbidverfahren), erklärt deren Merkmale, Vor- und Nachteile und gibt Vorgaben für die Umrechnung von Ablesewerten in eine gemeinsame Einheit, um mit unterschiedlichen Verfahren gewonnene Messwerte vergleichbar zu machen.

Sie legt die drei hauptsächlichen relativen Verfahren fest (d. h. elektrischer Widerstand, Kapazität und relative Gleichgewichtsfeuchte mit dem Material) und weist dabei auf deren Merkmale und die Unsicherheiten ihrer Anwendung auf dem Gebiet des kulturellen Erbes hin.

Außerdem bietet sie einen informativen Überblick über zehn weitere relative Verfahren, deren Merkmale sowie Vor- und Nachteile.

Sie enthält Spezifikationen für die Kalibrierung der verschiedenen Verfahren. Außerdem vergleicht sie die oben genannten Verfahren bezüglich ihrer Genauigkeit, der Anforderungen an die Probenahme, des Probenumfangs, der Labor- oder Praxisanwendung und anderer Probleme im Zusammenhang mit dem kulturellen Erbe, um den falschen Gebrauch von Messinstrumenten zu verhindern, Unsicherheiten zu reduzieren und die Fehlinterpretation von Ablesewerten zu vermeiden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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 ISO 374-1, *Schutzhandschuhe gegen Chemikalien und Mikroorganismen — Teil 1: Terminologie und Leistungsanforderungen*

EN 420:2003+A1:2009, *Schutzhandschuhe — Allgemeine Anforderungen und Prüfverfahren*

EN 455-1:2000, *Medizinische Handschuhe zum einmaligen Gebrauch — Teil 1: Anforderungen und Prüfung auf Dichtheit*

EN 772-10:1999, *Prüfverfahren für Mauersteine — Teil 10: Bestimmung des Feuchtegehalts von Kalksandsteinen und Mauersteinen aus Porenbeton*

EN 837-1:1996, *Druckmeßgeräte — Teil 1: Druckmeßgeräte mit Rohrfedern; Maße, Meßtechnik, Anforderungen und Prüfung*

EN 1428:2012, *Bitumen und bitumenhaltige Bindemittel — Bestimmung des Wassergehaltes von Bitumenemulsionen — Azeotropisches Destillationsverfahren*

EN 13183-1:2002, *Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz — Teil 1: Bestimmung durch Darrverfahren*

EN 13183-2:2002, *Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz — Teil 2: Schätzung durch elektrisches Widerstands-Messverfahren*

EN 13183-3:2005, *Feuchtegehalt eines Stückes Schnittholz — Teil 3: Schätzung durch kapazitives Messverfahren*

EN 15758:2010, *Erhaltung des kulturellen Erbes — Verfahren und Geräte zur Messung der Temperatur der Luft und der Oberflächen von Objekten*

EN 15898:2011, *Erhaltung des kulturellen Erbes — Allgemeine Begriffe*

EN 16085:2012, *Erhaltung des kulturellen Erbes — Verfahren der Probenahme an Materialien des kulturellen Erbes — Allgemeine Regeln*

EN 16096:2012, *Erhaltung des kulturellen Erbes — Zustandserhebung und Bericht für das gebaute Kulturerbe*

EN 16242:2012, *Erhaltung des kulturellen Erbes — Verfahren und Geräte zur Messung der Luftfeuchte und des Austausches von Feuchtigkeit zwischen Luft und Kulturgut*

EN ISO 10304-1:2009, *Wasserbeschaffenheit — Bestimmung von gelösten Anionen mittels Flüssigkeits-Ionenchromatographie — Teil 1: Bestimmung von Bromid, Chlorid, Fluorid, Nitrat, Nitrit, Phosphat und Sulfat (ISO 10304-1:2007)*

EN ISO 11461:2014, *Bodenbeschaffenheit — Bestimmung des Wassergehalts des Bodens als Volumenanteil mittels Stechzylinder — Gravimetrisches Verfahren (ISO 11461:2001)*

EN ISO 13130:2011, *Laborgeräte aus Glas — Exsikkatoren (ISO 13130:2011)*

EN ISO 14911:1999, *Wasserbeschaffenheit — Bestimmung der gelösten Kationen Li^+ , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mn^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Sr^{2+} und Ba^{2+} mittels Ionenchromatographie — Verfahren für Wasser und Abwasser (ISO 14911:1998)*

EN ISO 15512, *Kunststoffe — Bestimmung des Wassergehaltes (ISO 15512)*

ISO 760:1978 *Determination of water — Karl Fischer method (General method)*

ISO 3567:2011, *Vacuum gauges — Calibration by direct comparison with a reference gauge*

ISO 5272:1979, *Toluene for industrial use — Specifications*

ISO 5280:1979, *Xylene for industrial use — Specification*

ISO 7183:2007, *Compressed-air dryers — Specifications and testing*

ISO 11465:1993, *Soil quality — Determination of dry matter and water content on a mass basis — Gravimetric method*

ISO 16979:2003, *Wood-based panels — Determination of moisture content*

ISO Guide 34:2009, *General requirements for the competence of reference material producers*

ISO/IEC Guide 98-3:2008, *Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*

EN ISO/IEC 17025:2005, *Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025:2005)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 15898:2011 und die folgenden Begriffe.

3.1

absolutes Verfahren

absolute Messung

Messverfahren, dessen Messwerte in SI-Einheiten angegeben werden können

3.2

aktiver Sensor

Sensor, für dessen Betrieb elektrische Spannungsversorgung erforderlich ist

3.3

atmosphärischer Luftdruck

barometrischer Luftdruck

Druck ist die Kraft je Flächeneinheit, die von der Luftsäule über der Messstelle auf die Unterlage ausgeübt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Er wird in hPa (Hektopascal) angegeben.

[QUELLE: EN 16242:2012, 3.2]

3.4

gebundenes Wasser

in Mauerwerk: physikalisch oder chemisch im Material gebundene Wassermoleküle; gebundenes Wasser kann lösliche Substanzen nicht lösen. In Holz: in Zellwänden gebundenes Wasser; es ist verantwortlich für Schrumpfung/Quellen

3.5

Kristallwasser

Hydratationswasser

Wassermoleküle, die Teil eines hydratisierten Kristalls oder Moleküls sind

3.6

Exsikkator

Apparatur, die mit Hilfe eines Trocknungsmittels den Grad der Lufttrockenheit so nahe wie möglich an absoluter Trockenheit hält

[QUELLE: EN 322:1993; 4.3]

3.7

Trocknung mit Trocknungsmittel

Verfahren, bei dem die Trocknung durch einen kontinuierlichen Strom trockener Luft (aus Druckluft) oder durch Feuchteabsorption durch eine als Trocknungsmittel verwendete stark hygroskopische Substanz erreicht wird

[QUELLE: EN 322:1993; 4.3]

3.8

zerstörend

Verursachen von Zerstörung oder Beschädigung von Materialien des kulturellen Erbes

3.9

Taupunkt-Hygrometer

Gerät zur Messung der Temperatur, bei der für ein gekühltes Volumen feuchter Luft die Sättigung mit Wasserdampf erreicht wird

[QUELLE: EN 16242:2012; 3.4]

3.10

Taupunkttemperatur

Temperatur, auf die Luft bei konstantem Druck und konstantem Wasserdampfgehalt herabgekühlt wird, um Sättigung zu erreichen

Anmerkung 1 zum Begriff: Sie wird in Grad Celsius (°C) angegeben.

[QUELLE: EN 15758:2010; 3.6]

3.11

Trockenluft

atmosphärische Luft ohne Wasserdampf

[QUELLE: EN 16242:2012; 3.6]

3.12

Trockenmasse

Gesamtheit der Substanzen, die sich unter den Trocknungsbedingungen nach dieser Norm nicht verflüchtigen

[QUELLE: ISO 1026:1982; 2.1]

3.13

Gleichgewichtsfeuchtegehalt

Gleichgewichtsfeuchte

EMC

(en: equilibrium moisture content)

Feuchtegehalt, bei dem ein Material Feuchtigkeit an die Umgebung bei gegebener Temperatur und relativer Luftfeuchte weder abgibt noch aus ihr aufnimmt

Anmerkung 1 zum Begriff: Er wird in g/kg als Verhältnis der in dem Material enthaltenen Masse an Wasser zur Trockenmasse desselben Materials angegeben.

[QUELLE: EN 16242:2012; 3.8]

3.14

dichter äußerer Kasten

ESB

(en: external sealed box)

Kasten mit fünf wärmedämmenden und undurchlässigen Flächen und einer fehlenden Fläche, die auf der Oberfläche eines Materials angebracht ist, um eine Lufttasche zu bilden, die in hygrometrischem Gleichgewicht mit dem Material steht

3.15

Fasersättigungspunkt

Feuchtegehalt, bei dem kein freies Wasser im Holz vorliegt, während die Zellwände mit gebundenem Wasser gesättigt sind

3.16

freies Wasser

in Mauerwerk: flüssiges Wasser in Poren. In Holz: in Zellhohlräumen enthaltenes Wasser. Es kann lösliche Substanzen lösen.

3.17

Hygrometer

Gerät zur Messung der relativen Luftfeuchte

Anmerkung 1 zum Begriff: Es enthält im Allgemeinen einen Sensor, der einen Gleichgewichtszustand mit der Luft erlangt, und ein System, das das von dem Sensor empfangene Signal in einen Ausgabewert für die Feuchte umwandelt.

[QUELLE: EN 16242:2012; 3.11]

3.18

invasiv

erfordert das Eindringen einer Sonde oder eines anderen Messinstruments zu Diagnosezwecken in ein Material des kulturellen Erbes

3.19

irreversibler Sensor zur Messung der relativen Luftfeuchte

Sensor, in dem erreichte Niveaus der relativen Luftfeuchte dauerhaft gekennzeichnet bleiben

3.20

geringfügig zerstörend

minimalinvasiv

sehr kleine und nicht leicht erkennbare erfolgte Beschädigung oder entnommene Probe, so dass sie als annehmbar oder in Anbetracht der erwarteten Vorteile durch die Analyse als gerechtfertigt betrachtet werden kann

3.21

Feuchtegehalt

MC

(en: moisture content)

Wassermenge im Material, bestimmt in Übereinstimmung mit einem gravimetrischen Verfahren nach dieser Europäischen Norm; das Verfahren darf die flüchtigen organischen Verbindungen einschließen, die beim Erwärmen des Materials bei mittleren Temperaturen verloren gehen können

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

3.22

Schrantrocknung

Trocknungsverfahren, das mit einem belüfteten Trockenschrank bei einer Temperatur von $(103 \pm 2) ^\circ\text{C}$ durchgeführt wird

[QUELLE: EN 322:1993, 4.2]

3.23

passiver Sensor

Sensor, für dessen Betrieb keine elektrische Energie erforderlich ist

3.24

Stellvertretermaterial

Material oder Probekörper, das/der ein Ersatz für ein anderes Material/einen anderen Probekörper ist, unter der Annahme eines identischen Verhaltens des zu untersuchenden Materials

3.25

relative Luftfeuchte

RH

(en: relative humidity)

Verhältnis des tatsächlichen Dampfdrucks zum Sättigungsdampfdruck

Anmerkung 1 zum Begriff: Die relative Luftfeuchte wird in Prozent (%) angegeben.

[QUELLE: EN 15757:2010, 3.9]

3.26

relatives Verfahren

relative Messung

Messverfahren, dessen Messwerte nicht in SI-Einheiten angegeben werden können und die in Verhältnis zu anderen Referenzwerten gesetzt werden sollten

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Skala ist von der spezifischen Wahl der Referenz abhängig; sie kann auch als Fraktion eines bestimmten Werts angegeben werden.

3.27

Probe

Teilmenge des Materials, idealer Weise repräsentativ, die dem Kulturobjekt zur wissenschaftlichen Untersuchung entnommen wurde

[QUELLE: EN 16085:2012, 3.2]

3.28

Temperatur

Temperatur, die an einem Thermometer abgelesen wird, das an einer Stelle der Luft ausgesetzt ist, an der es vor direkter Sonnenstrahlung und sonstigen Energiequellen geschützt ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Temperatur wird in Grad Celsius (°C) angegeben.

[QUELLE: EN 15758:2010, 3.1]

3.29

Thermometer

Gerät zur Messung der Temperatur bestehend aus einem mit der Luft (wenn es die Lufttemperatur misst) oder der Oberfläche ins thermische Gleichgewicht gebrachten Sensor, gegebenenfalls einer Sonde, die den Sensor enthält und schützt, sowie einem System, das den Eingangswert des Sensors in einen in Grad Celsius (°C) angegebenen Ausgangswert umwandelt

[QUELLE: EN 15758:2010, 3.20]

3.30

Vakuumtrocknung

Trocknungsverfahren, bei dem in einer Trocknungskammer der atmosphärische Luftdruck mithilfe von Vakuumpumpen auf (4 ± 2) hPa gesenkt wird

3.31

Vakuummessgerät

Messgerät zur Messung von Gas- oder Dampfdrücken unterhalb des umgebenden atmosphärischen Luftdrucks

[QUELLE: ISO 3529-3:2014, 2.1.2]

3.32

Wassergehalt

WC

(en: water content)

Wassermenge im Material, bestimmt in Übereinstimmung mit der Karl-Fischer-Titration nach dieser Europäischen Norm; dieses Verfahren darf Kristallwasser einschließen

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

4 Symbole und Abkürzungen

EFD	Evaneszenzfeld-Dielektrometrie (en: evanescent field dielectrometry)
EMC	Gleichgewichtsfeuchtegehalt (en: equilibrium moisture content)
ESB	dichter äußerer Kasten (en: external sealed box)
IAEA	Internationale Atomenergie-Organisation (en: International Atom Energy Agency), Wien
KF	Karl Fischer
KFT	Karl-Fischer-Titration
C-KFT	coulometrische KFT
V-KFT	volumetrische KFT
MC	Feuchtegehalt auf wasserfreier Bezugbasis (en: moisture content expressed on dry basis)
MC _w	Feuchtegehalt auf Bezugbasis Feuchtmasse (en: moisture content expressed on wet basis)
NIR	Nahinfrarot (en: near infrared)
NIRS	Nahinfrarotspektroskopie (en: near infrared spectroscopy)
NMR	kernmagnetische Resonanz (en: nuclear magnetic resonance)
OV-KFT	Karl-Fischer-Titration mit Vaporisation im Trockenschrank (en: oven-vaporization Karl Fischer titration)
C-OV-KFT	coulometrische Karl-Fischer-Titration mit Vaporisation im Trockenschrank
V-OV-KFT	volumetrische Karl-Fischer-Titration mit Vaporisation im Trockenschrank
RH	relative Luftfeuchte (en: relative humidity)
SI-Einheiten	Internationales Einheitensystem
SRXTM	Synchrotron-röntgentomographische Mikroskopie (en: synchrotron-based X-ray tomographic microscopy)
TDR	Zeitbereichsreflektometrie (en: time domain reflectometry)
TGA	thermogravimetrische Analyse
VOC	flüchtige organische Verbindungen (en: volatile organic compounds)
WC	Wassergehalt auf wasserfreier Bezugbasis (en: water content expressed on dry basis)
WC _w	Wassergehalt auf Bezugbasis Feuchtmasse (en: water content expressed on wet basis)
ϵ	dielektrische Konstante
m_H	Ausgangsmasse (feucht) des Probekörpers
m_0	Probenmasse nach Trocknung
m_w	Masse des aus der Probe extrahierten Wassers

5 Feuchte- und Wassergehalt in Materialien

5.1 Feuchtegehalt

5.1.1 Allgemeines

Der Feuchtegehalt (MC) ist als das Verhältnis zwischen der Masse des einer Materialprobe entzogenen Wassers und der Masse der trockenen Probe festgelegt und wird in Prozent (%) angegeben, d. h.

$$MC = \frac{m_w}{m_0} \times 100 = \frac{m_H - m_0}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

dabei ist m_H die Ausgangsmasse der feuchten Probe, m_0 die Masse der Probe nach Trocknung und $m_w = m_H - m_0$ die Masse des aus der Probe extrahierten Wassers (ISO 16979:2003, EN 13183-1:2002, EN 772-10:1999 und EN ISO 11461:2014). Der Feuchtegehalt reicht von 0 (vollständig trockene Probe) bis zu einem Wert, der durch die Porosität des Materials bei Sättigung bestimmt wird.

Der Feuchtegehalt wird eigens durch Gravimetrie (ISO 16979:2003) oder andere Verfahren gemessen, die mit der grundlegenden Gleichung (1) übereinstimmen. Aus praktischer Sicht kann das als Referenz angenommene Schranktrocknungsverfahren flüchtige organische Verbindungen¹⁾ (VOC) einschließen, die möglicherweise freigesetzt werden, wenn das Material bei mittleren Schranktemperaturen erwärmt wird.

Der Feuchtegehalt wird als Verhältnis von homogenen Größen angegeben und aus diesem Grund ist er unabhängig von der Einheit, die für die Angabe von m_H und m_0 verwendet wird. Allerdings wird für den Messbericht die Verwendung der SI-Einheit für die Masse (d. h. g) empfohlen. Der Feuchtegehalt muss auf 0,1 % gerundet angegeben werden; dabei ist darauf zu verweisen, dass sich der Wert auf die Trockenmasse bezieht.

5.1.2 Trockenes und feuchtes Verfahren im Vergleich

Der nach Gleichung (1) festgelegte MC wird anhand der wasserfreien Bezugsbasis angegeben, d. h. es wird Bezug auf die Masse m_0 der getrockneten Probe genommen (z. B. unter Anwendung des gravimetrischen Verfahrens in A.2). Es gibt andere Verfahren (z. B. azeotrope Destillation in A.5, Calciumcarbidprüfung in A.6), die eine direkte Bestimmung von m_H und m_w ermöglichen, jedoch die Probe zerstören, so dass es unmöglich ist, m_0 mit einer Waage zu bestimmen. Bei diesen Verfahren wird der Feuchtegehalt üblicherweise auf der Bezugsbasis Feuchtmasse (MC_w) angegeben, wobei die Masse der feuchten Probe m_H als Referenz genommen wird, d. h.

$$MC_w = \frac{m_w}{m_H} \times 100 \quad (2)$$

Selbstverständlich ist $MC > MC_w$. Die Differenz zwischen MC und MC_w erschwert den Vergleich zwischen Ablesewerten. Der Eindeutigkeit wegen empfiehlt diese Norm die Verwendung des MC auf wasserfreier Bezugsbasis bei sämtlichen Verfahren.

Sofern ein Verfahren Proben zerstört, ist eine der beiden folgenden Optionen zu verwenden:

Option 1: $m_0 = m_H - m_w$ berechnen und mit Gleichung (1) fortfahren.

1) Durch Zersetzung, Reduktion und/oder andere chemische Reaktionen gebildete Gase sollten ausgeschlossen werden.

Option 2: MC_w auf der Bezugsbasis Feuchtmasse, d. h. mit Gleichung (2) bestimmen; anschließend erfolgt die Umrechnung auf die wasserfreie Bezugsbasis unter Verwendung von Gleichung (3), die MC zu MC_w ins Verhältnis setzt:

$$MC = \left(\frac{MC_w}{100 - MC_w} \right) \times 100 \quad (3)$$

Das umgekehrte Verhältnis ist

$$MC_w = \left(\frac{MC}{100 + MC} \right) \times 100 \quad (4)$$

5.1.3 Gravimetrisches und volumetrisches Verfahren im Vergleich

Wenn der MC gemessen wird, kann dieser, wie folgt, als prozentualer Anteil der Probe angegeben werden:

- a) Gravimetrisches Verfahren, d. h. der MC ist das Verhältnis zwischen der Masse des entfernten Wassers und der Masse der getrockneten Probe (wasserfreie Bezugsbasis) oder der feuchten Probe (Bezugsbasis Feuchtmasse). Das Ergebnis wird in Masseprozent (%) angegeben.
- b) Volumetrisches Verfahren, d. h. der MC ist das Verhältnis zwischen dem Volumen des entfernten Wassers (seine Masse in g entspricht dem Volumen in cm^3) und dem tatsächlichen Volumen der feuchten Probe. Das Ergebnis wird in Volumenprozent angegeben.

Um Verwechslungen zu vermeiden, ist es notwendig, genau anzugeben, ob ein Prozentsatz gravimetrisch oder volumetrisch bestimmt wurde. Das gravimetrische Verfahren ist unabhängig vom Vorhandensein von Hohlräumen oder Gradienten; das volumetrische Verfahren variiert mit der Materialdichte und dem Vorhandensein von Hohlräumen. Dies ist ein Problem, wenn die Materialdichte nicht homogen ist. Sie kann von Punkt zu Punkt variieren (z. B. aufgrund von Abbau, Schädlingen oder Hohlräumen) oder sie kann sich mit der Zeit ändern, was typischerweise bei Materialien des kulturellen Erbes vorkommt.

5.2 Wassergehalt

Der Wassergehalt (WC) besteht aus allen Arten von Wasser, die in einem Material auftreten, d. h. freies Wasser, gebundenes Wasser und Kristallwasser, VOC sind jedoch ausgenommen.

Der WC wird durch Karl-Fischer-Titration (A.4) gemessen, die wasserspezifisch ist, z. B. freies Wasser, gebundenes Wasser, Kristallwasser (ISO 760:1978).

Obwohl es üblich ist, den Wassergehalt auf Bezugsgrundlage der Feuchtmasse anzugeben, empfiehlt diese Norm aus Gründen der Homogenität die Verwendung des WC auf wasserfreier Bezugsbasis, um die Ablesewerte mit anderen Verfahren vergleichbar zu machen. Der WC ist auf Grundlage der wasserfreien Bezugsbasis anzugeben, wie im vorstehenden Abschnitt für den Feuchtegehalt festlegt, wobei der Feuchtegehalt durch den Wassergehalt ersetzt wird.

5.3 Vergleich zwischen Feuchtegehalt und Wassergehalt

Wenn die Proben VOC oder Kristallwasser in hydratisierten Mineralien enthalten, ist die Feuchte nicht der ausschließliche Grund für den Masseverlust nach der Trocknung. Die Differenz zwischen Ablesewerten bei Anwendung unterschiedlicher Verfahren kann durch das Vorhandensein von VOC oder Kristallwasser (beide erhöhen scheinbar die Bewertung der aus der Probe extrahierten m_w), die Empfindlichkeit des Messverfahrens gegenüber diesen Faktoren und die Betriebstemperatur ermittelt werden. Es sollte eine klare Vorstellung davon bestehen, welche Art von Wasser nachgewiesen wird und welchem Zweck die Messung dient: z. B. Feuchtegehalt: Feuchte, die in Austausch mit der Umgebung treten kann (Schrumpfung/Quellen von Holz; Mobilisierung löslicher Salze, Schimmelpilze), oder Wassergehalt: der gesamte Wassergehalt einschließlich Kristallwasser. Es ist in einigen Fällen möglich, die Differenz zu berechnen, um die Ergebnisse zu vergleichen oder den Beitrag von VOC oder Kristallwasser zu beseitigen. In anderen Fällen kann eine genaue Bestimmung des WC einem WC-spezifischen Verfahren vorzuziehen sein (oder umgekehrt), da kleinere Proben benötigt werden.

Die Situation ist komplexer im Fall elektromagnetischer Kräfte (z. B. Kapazität) oder wenn ein Mikrowellenstrahl in das Innere eines Materials eindringt (z. B. Mikrowelle, Evaneszenzfeld-Dielektrometrie, Zeitbereichsreflektometrie). Die elektromagnetischen Kräfte oder der Mikrowellenstrahl treten mit den H_2O -Molekülen aufgrund ihrer polaren Struktur in Wechselwirkung. Die Wechselwirkung ist jedoch unterschiedlich, je nachdem, ob das Wassermolekül Teil der Materialstruktur (z. B. Cellulosekette, Kristallwasser) ist oder frei auf die Erregung ansprechen kann. Als Folge werden alle H_2O -Moleküle auf das Signal ansprechen, die stärker gebundenen H_2O -Moleküle werden jedoch schwächer ansprechen und die freie Feuchte wird stärker ansprechen. In einem solchen Fall ist die Auslegung der Ablesewerte des Messgeräts weniger eindeutig.

In den folgenden Richtlinien werden Feuchte- oder Wassergehalt die in einer feuchten Probe verfügbare Wassermenge darstellen, die extrahiert und mit einem der Messverfahren nach dieser Norm gemessen werden kann. Zur Hilfestellung für den Anwender wird für jedes Verfahren festgelegt, ob es MC oder WC misst, falls dies relevant ist. Derartige Verfahren werden als „absolut“ bezeichnet, weil die mit ihnen erzeugten Ablesewerte repräsentativ für den MC oder den WC und ansonsten unabhängig sind (ausgenommen Unsicherheiten bei der Beobachtung).

Wenn ein Messverfahren nicht anhand eines geeigneten Bezugsstandards kalibriert werden kann, bleibt der absolute Wert des MC (oder des WC) unbekannt, aber es kann nützlich sein, relative Vergleiche zwischen einem Messpunkt (zu einem angegebenen Zeitpunkt) und einem anderen Messpunkt (zu nachfolgenden Zeitpunkten) anzustellen, um raum- oder zeitbezogene Gradienten nachzuweisen. Derartige Verfahren werden als „relative“ Messwerte erbringend angesehen.

6 Absolute und relative Verfahren

6.1 Absolute Verfahren

Absolute Verfahren sind Messverfahren, die mit den grundlegenden Definitionen nach Abschnitt 5 übereinstimmen und deren Messwerte in SI-Einheiten angegeben werden können. Die absoluten Verfahren beruhen auf der Extraktion von Wasser aus der Materialprobe (einschließlich VOC oder Kristallwasser). Wenn die Probenahme möglich ist, wird die Wassermenge in der Probe direkt durch Gravimetrie, Titration, Destillation oder Gasdruck bestimmt und als prozentualer Anteil der Masse der Materialprobe angegeben. Die Probenahme ist erforderlich, um m_H und m_0 oder m_w zu messen; die dritte Variable wird als Differenz der anderen beiden berechnet.

Die in dieser Norm berücksichtigten absoluten Verfahren sind in Tabelle 1 aufgeführt. Das Prüfgerät, die operative Verfahrensweise, die speziellen Probleme im Bereich des kulturellen Erbes und die normativen Empfehlungen sind in Anhang A festgelegt.

Tabelle 1 — In dieser Norm berücksichtigte absolute Verfahren wie in Anhang A festgelegt, und physikalische oder chemische Prinzipien für die Bestimmung von m_H , m_0 , m_w

Abschnitt	Verfahren	Physikalisches oder chemisches Prinzip			Speziell für
		m_H	m_0	m_w	
A2	gravimetrisch	Masse	Trocknung	(berechnet)	MC
A4	KF-Titration	Masse	(berechnet)	Titration	WC
A5	azeotrope Destillation	Masse	(berechnet)	Destillation	MC
A6	Calciumcarbid	Masse	(berechnet)	Gasdruck	MC

Alle absoluten Verfahren mit Ausnahme des Calciumcarbidverfahrens sind für Laboranalysen bestimmt und können nur im Ausnahmefall für Messungen vor Ort angewendet werden.

6.2 Relative Verfahren

Relative Verfahren sind Messverfahren, die nicht in direkter Übereinstimmung mit den grundlegenden Definitionen nach Abschnitt 5 stehen, sondern auf andere physikalische Mechanismen Bezug nehmen. Die Messwerte können nicht in SI-Einheiten angegeben werden, jedoch im Verhältnis zu anderen Referenzwerten stehen. Relative Verfahren werden insbesondere zum Nachweis von raum- oder zeitabhängigen Unterschieden angewendet, z. B. zur Bewertung der relativen Änderung des MC (oder des WC) an einem festgelegten Punkt im Vergleich mit einem anderen Punkt ohne Berücksichtigung des absoluten Wertes. Die Hauptvorteile bestehen darin, dass relative Verfahren Messungen in Echtzeit bieten, für schnelle Beobachtungen vor Ort geeignet sind und insbesondere zumeist zerstörungsfrei oder minimalinvasiv sind.

Die in dieser Norm berücksichtigten relativen Verfahren sind in Tabelle 2 aufgeführt. Spezifikationen, damit verbundene Probleme und Empfehlungen, die den Bereich des kulturellen Erbes betreffen, werden in Anhang B (normativ) und Anhang C (informativ) angegeben.

Tabelle 2 — In dieser Norm berücksichtigte relative Verfahren, wie in den Anhängen B und C festgelegt

Abschnitt	Verfahren	Physikalisches Prinzip
B.2	elektrischer Widerstand	Ohmsches Gesetz
B.3	Kapazität	dielektrische Kapazität von Wasser
B.4	Gleichgewichtsfeuchtegehalt (RH)	Gleichgewicht zwischen RH und MC
C.2	Mikrowellen	Wechselwirkung des Wassermoleküls mit der elektromagnetischen Strahlung (Mikrowellenfrequenz)
C.3	Evaneszenzfeld-Dielektrometrie (EFD)	Wechselwirkung des Wassermoleküls mit der elektromagnetischen Strahlung (Mikrowellenfrequenz)
C.4	Zeitbereichs-Reflektometrie (TDR)	Wechselwirkung des Wassermoleküls mit der elektromagnetischen Strahlung (Hochfrequenz)
C.5	kernmagnetische Resonanz (NMR)	magnetisches Moment und Resonanzfrequenz des Wassermoleküls
C.6	Nahinfrarotspektroskopie (NIRS)	Reflexion der Nahinfrarotstrahlung
C.7	Ultraschallimpulse	Geschwindigkeit der Ultraschallimpulse
C.8	Thermographie	Wärmeemission von Körpern

Relative Verfahren beruhen auf indirektem Nachweis und indirekter Bewertung von Feuchte in einem Baumaterial. Im Allgemeinen könnten sämtliche relativen Messwerte nach einer Kalibrierung anhand eines Referenzmaterials in Massenanteile in % umgewandelt werden – durch Vergleich mit einem gravimetrischen Verfahren oder Karl-Fischer-Titration. Im Fall von Materialien, die durch VOC oder Kristallwasser gekennzeichnet sind, erfordert der Vergleich von MC mit WC eine Korrektur. Obwohl eine automatische Umrechnung oder die Umrechnungstabellen der Hersteller nützlich sind, ist jede Kalibrierung schwierig aufgrund von Veränderungen, denen altes Material durch Alterung, Verwitterungsfaktoren, chemische oder biologische Angriffe unterliegen kann.

Weitere Verfahren, die spezielle Sicherheitsanforderungen erfordern, sind in Tabelle 3 aufgeführt und werden in Anhang D angegeben.

Tabelle 3 — Verfahren, die spezielle Sicherheitsanforderungen erfordern, wie in Anhang D festgelegt

Abschnitt	Verfahren	Physikalisches Prinzip
D.2	Röntgenstrahlung	Absorption von Röntgenstrahlung
D.3	Gammastrahlung	Absorption von Gammastrahlung
D.4	Neutronenstreuung	Streuung von Neutronen

6.3 Vergleich zwischen absoluten und relativen Verfahren

Absolute und relative Verfahren, die für die Bewertung des MC oder WC angewendet werden, beruhen auf verschiedenen physikalischen oder chemischen Prinzipien, und die Messwerte können möglicherweise nicht vergleichbar sein. So wird zum Beispiel mit dem gravimetrischen Verfahren (A.2) und der Karl-Fischer-Titration (A.4) die Gesamtmasse der Wassermoleküle in einer Probe unabhängig von deren räumlicher Verteilung innerhalb dieser bestimmt. Andererseits schwankt der elektrische Widerstand (B.2) mit dem Feuchtegehalt und dem Vorhandensein löslicher Salze. Die Kapazitätsverfahren (B.3) und Mikrowellenverfahren (C.2) sprechen ebenfalls auf die Gesamtmenge der Wassermoleküle an, der Messwert ist jedoch auch von anderen Faktoren abhängig, einschließlich der Verteilung der Moleküle im Material, wobei das Signal bei Molekülen, die sich nah am Sensor befinden, stärker ist. Dies stellt bei ungleichmäßigen Feuchteverteilungen und -gradienten eine erhebliche Schwierigkeit dar. Das auf Sensoren oder Stellvertretermaterialien (B.4) beruhende Verfahren zur Bestimmung der relativen Luftfeuchte im Gleichgewichtszustand mit dem Material wird durch die hygroskopischen Merkmale des Materials und das Vorhandensein von Salzen beeinflusst. Dieses Verfahren liefert nur im unteren Teil des MC-Bereichs bis zu dem Punkt genaue Ergebnisse, an dem flüssiges Wasser in den Poren auftritt. Kurz gesagt, werden alle Verfahren durch eine Reihe von Störfaktoren beeinflusst, die fallweise unterschiedliche Relevanz besitzen.

Aufgrund der vorstehend genannten Messunsicherheiten geben einige Messgeräte, die relative Ergebnisse bringen (relative Verfahren), Messwerte in beliebigen Einheiten an, die zur Beurteilung der relativen Veränderungen des MC oder WC nützlich sind. Andere Messgeräte geben nach der Kalibrierung mit einigen ausgewählten Materialien die Messwerte entsprechend praktischen Notwendigkeiten in Prozent (%) an. In den meisten Fällen ist ein derartiges Messgerät ausschließlich bei der Feststellung angemessen zuverlässig, ob der MC oder WC in einem bestimmten Teil eines Materials des kulturellen Erbes höher oder niedriger ist, als in einem anderen Teil, d. h. ausschließlich für relative Messwerte. Einige Hersteller kalibrieren ihre Messgeräte mit bekannten modernen Materialien, um eine Skala absoluter Messwerte bereitzustellen, die für gewerbliche oder bauliche Zwecke nützlich ist. Eine derartige Kalibrierung kann jedoch für Materialien des kulturellen Erbes ungeeignet sein und muss fallweise überprüft werden.

7 Entnahme und Handhabung von Proben

Grundsätzlich sind alle auf der Analyse von Proben beruhenden Verfahren invasiv (ein Teil des Materials wird entnommen) und zerstörend (eine gewisse Schädigung wird verursacht) und sollten vermieden werden. Alle absoluten Verfahren erfordern die Entnahme einer kleinen Materialmenge, die für die allgemeinen Eigenschaften und die Zusammensetzung des zu untersuchenden Baumaterials repräsentativ ist. Die Masse der für die Messung benötigten Probe kann jedoch je nach Verfahren unterschiedlich sein, wie in Anhang A, Tabelle A.1 und Bild A.2 angegeben.

Wenn eine Probenahme erforderlich ist, muss sie durch Personen, die hinsichtlich des Kulturguts qualifiziert und sachkundig sind, und anhand eines genauen Probenahmeplans in Übereinstimmung mit EN 16085:2012 erfolgen. EN 16085:2012 bietet eine allgemeine Methodik sowie Kriterien für die Probenahme aus Materialien des kulturellen Erbes für deren wissenschaftliche Untersuchung. Sie befasst sich jedoch nicht speziell mit dem Problem des Austauschs von Feuchte; dafür sind die folgenden Spezifikationen zu berücksichtigen.

Der Probenahmeplan muss berücksichtigen, dass die Feuchte zwischen Oberfläche und tieferen Schichten in Abhängigkeit von aktuellen und früheren Wetterereignissen, ständigem oder zeitweisem Schutz usw. beträchtlich schwanken kann. Aus den genannten Gründen muss der Probenahmeplan an die Umstände angepasst und zum aktuellen und früheren Wetter (mindestens 30 Tage) und der Jahreszeit in Beziehung gesetzt werden.

Die Proben können während der Handhabung und Wägung in einen Feuchteaustausch mit der Umgebung treten; aus diesem Grund müssen die Proben in abgedichteten Behältern aufbewahrt und vor Temperaturänderungen geschützt werden. Kleine Proben werden bevorzugt, um den Schaden am kulturellen Erbe zu verringern, obwohl zu kleine Probengrößen zu einem gesteigerten Fehlerrisiko führen können. Proben, die von der Oberfläche oder der darunter liegenden Schicht genommen werden, sind nicht repräsentativ für das Materialinnere.

Die Probenahme-Gerätschaft und die Probenbehälter müssen inert sein, d. h. aus Aluminium oder Glas, mit dem das Material nicht reagiert. Sie müssen sauber, trocken und vollständig abgedichtet sein, um jeden Austausch von Feuchte mit der Umgebung während des Transports oder der Lagerung zu verhindern.

Der direkte Kontakt mit Fingern kann auch, aufgrund der Übertragung von Fett und/oder Schweiß, zu einer Zunahme der Masse führen. Die Handhabung der Proben muss mit undurchlässigen Laborhandschuhen oder medizinischen Handschuhen (z. B. Latex, Vinyl, Polychlorpropen, Polyisopropen, Nitril, Polyurethan, Styrol-Butadien) gemäß EN 420:2003+A1:2009, EN ISO 374-1 oder EN 455-1:2000 erfolgen, um Handkontakt mit schädlichen Stoffen und die Aufnahme von Feuchtigkeit zu vermeiden.

8 Kalibrierung

8.1 Allgemeines

Die Kalibrierung legt eine metrologische Rückführbarkeit über andere Messstandards, Messgeräte oder Messsysteme fest, die eine zu vernachlässigende Messunsicherheit aufweisen, in Übereinstimmung mit EN ISO/IEC 17025. Die Kalibrierung besteht aus einer Kette, die die Messeinheit (d. h. das Messgerät), die Messverfahren und das Referenzmaterial, anhand dessen das Kalibrierdiagramm, die Kalibrierkurve oder die Kalibriertabelle erstellt wurde, umfasst. Dies erfordert, dass unter den gleichen Bedingungen gearbeitet wird.

8.2 Kalibrierung von Messgeräten

8.2.1 Allgemeines

Alle Messgeräte müssen mit einem Kalibrierzertifikat ausgestattet sein, das durch ein Prüflabor in Übereinstimmung mit EN ISO/IEC 17025 ausgestellt wurde. Das Kalibrierzertifikat muss die Korrektur der Messwerte des kalibrierten Messgeräts und die zugehörige Unsicherheit im Einklang mit ISO/IEC Guide 98-3:2008 angeben. Das Zertifikat legt die verifizierte Klasse für die Fehlergrenze eines Messgeräts fest. Die Kalibrierung von Messgeräten muss häufig überprüft werden. Falls festgestellt wird, dass die Kalibrierung außerhalb der Herstellerspezifikation liegt, muss das Messgerät rekaliert werden.

8.2.2 Kalibrierung für den Feuchtegehalt

Die Kalibrierung für MC-Messungen muss mit dem gravimetrischen Verfahren unter Anwendung des am besten geeigneten Trocknungsverfahrens (A.3) erfolgen.

8.2.3 Kalibrierung für den Wassergehalt

Die Kalibrierung für WC-Messungen muss mit der Karl-Fischer-Titration (A.4) erfolgen. Obwohl V-KFT ein absolutes Verfahren ist, muss die Titerbestimmung des Reagenzes weiterhin unter Verwendung einer Standard-Kalibriersubstanz (hauptsächlich pulverförmiges Natriumtartrat-Dihydrat) erfolgen. Dagegen ist bei der C-KFT keine Titerbestimmung erforderlich. Die C-KFT erfordert jedoch mindestens eine Überprüfung des gesamten Titrationssystems durch Analyse eines zertifizierten Referenzmaterials (Leistungsqualifizierung).

ANMERKUNG Die Probenahme für die Kalibrierung ist eine zerstörende Vorgehensweise und kann bei Materialien des kulturellen Erbes ein ernstzunehmendes Problem darstellen. Allerdings kann berücksichtigt werden, dass die Kalibrierung nur eine begrenzte Probenanzahl erfordert, was die Anwendung bei der Erstellung einer Kalibrierkurve rechtfertigen kann. Die Probenahme kann mit der Genehmigung und unter der strengen Aufsicht von qualifiziertem Konservierungsfachpersonal durchgeführt werden.

8.3 Reproduzierbarkeit

8.3.1 Messgeräte für absolute Messungen

Die Messgeräte der absoluten Messverfahren nach Anhang A müssen kalibriert werden, um genaue und wiederholte MC- oder WC-Messungen bereitzustellen.

8.3.2 Messgeräte für relative Messungen

Die Messgeräte der relativen Messverfahren nach Anhang B und den informativen Anhängen C und D müssen kalibriert werden, um wiederholte Messwerte unter denselben Arbeitsbedingungen und mit demselben speziellen Referenzmaterial zu erhalten. Das Ergebnis der Kalibrierung muss ein Kalibrierzertifikat einschließlich eines Kalibrierdiagramms, einer Kalibrierkurve oder einer Kalibriertabelle für das Referenzmaterial sein. Die Messwerte des Messgeräts können einfach ausgelegt werden und werden durch eine geringe Unsicherheit beeinträchtigt, wenn das zu untersuchende Material homogen ist und seine Merkmale denen des bei der Kalibrierung verwendeten Referenzmaterials stark ähneln, z. B. moderne Baumaterialien oder gealterte Materialien in gutem Erhaltungszustand. Falls das Material nicht homogen ist oder von dem bei der Kalibrierung verwendeten Referenzmaterial abweicht oder seine physikalischen, chemischen oder mineralogischen Eigenschaften im Verlauf der Zeit einer Änderung unterlagen, werden die Messwerte durch eine größere Unsicherheit beeinträchtigt, wodurch die Auslegung erschwert wird. Das kann auf gealterte oder verwitterte Materialien zutreffen, aus denen kulturelles Erbe besteht. Zum Beispiel werden die meisten relativen Verfahren durch das Vorhandensein von internen Poren, Hohlräumen, Feuchtegradienten, hygroskopischen Salzen oder polaren Materialien beeinträchtigt.