

Determination of the slaking potential of rock using the combined method of wetting-drying and crystallization tests

Recommendation No. 27 by Commission 3.3. of the DGGT and Working Group 5.1.5 of the FGSV

Bestimmung der Zerfallsneigung von Gesteinen im kombinierten Befeuchtungs-Trocknungs-Verfahren mit Kristallisationsversuch

Gemeinsame Empfehlung Nr. 27 des AK 3.3 der DGGT und des AK 5.1.5 der FGSV

The Commission on Rock Testing of the Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V. (German Geotechnical Society) is compiling suggestions for rock testing in laboratory and in situ and for monitoring of rock masses and civil engineering structures. Recommendation no. 27 deals with the determination of the slaking potential of rock by applying a combined testing procedure, including a three-cycle wetting-drying test and a subsequent crystallization test with up to 10 cycles. The requirements for testing equipment, samples performing and evaluating the wetting-drying procedures and the crystallization tests, as well as the classification of the slaking potential are specified. This recommendation was prepared in collaboration with the Working Group 5.1.5 for nondurable rock of the Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswege (German Research Society for Roads and Transportation Infrastructure).

Keywords slaking potential; durability; nondurable rock; weak rock

Der Arbeitskreis AK 3.3 „Versuchstechnik Fels“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V. erarbeitet Empfehlungen für felsmechanische Labor- und Feldversuche sowie Messungen im Gebirge und an Bauwerken. Die vorliegende Empfehlung Nr. 27 behandelt die Bestimmung der Zerfallsneigung von Gesteinen im kombinierten Befeuchtungs-Trocknungs-Verfahren mit Kristallisationsversuch. Es werden die Anforderungen an die Prüfeinrichtungen und Probekörper sowie die Vorgehensweisen für die Durchführung und Auswertung der Befeuchtungs-Trocknungs-Versuche, der Kristallisationsversuche und für die darauf basierende Klassifizierung der Zerfallsneigung festgelegt. Die vorliegende Empfehlung wurde in Zusammenarbeit mit dem Arbeitskreis 5.1.5 „Veränderlich feste Gesteine“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswege (FGSV) bearbeitet.

Stichworte Veränderlichkeit; Zerfallsbeständigkeit; veränderlich feste Gesteine; Nickmann-Verfahren

1 Purpose

The purpose of this recommendation is to standardize the “combined method of wetting-drying and crystallization tests” according to [1] for the investigation and classification of the slaking potential of rocks, in order to achieve comparable test results and assessment. The test results are intended to characterize and classify rocks with regard to their potential of responding to changes in water content and/or temperature with a reduction in strength, up to and including disintegration. The knowledge of such behavior is relevant for sampling, transport, formatting of test specimens, and testing of such rocks, as well as for an accurate assessment of geotechnical and structural engineering issues, such as stability, excavation, loading, conveying, processing, temporary storage, installation, compaction, or use as construction material.

This method is not suitable for the assessment of rock types with water-soluble components (especially evaporites such as salt, gypsum, or anhydrite).

This recommendation complements the test procedure of a 24 h water submersion according to [2] and the slake durability test according to national DGGT test recommendation no. 20 [3]. Compared to the single water submersion test according to [2], the presented method also allows the assess-

1 Zweck

Zweck dieser Empfehlung ist es, das sogenannte „kombinierte Befeuchtungs-Trocknungs-Verfahren mit Kristallisationsversuch“ nach [1] zur Untersuchung und Klassifizierung der Zerfallsneigung von Gesteinen so zu vereinheitlichen, dass darauf beruhende Versuchsergebnisse und Beurteilungen miteinander vergleichbar sind. Die Versuchsergebnisse dienen der Charakterisierung und Klassifizierung von Gesteinen hinsichtlich deren Eigenschaft, auf Änderungen des Wassergehalts und/oder der Temperatur mit Festigkeitsreduzierung bis hin zum Zerfall zu reagieren. Dieses Kenntnis ist sowohl für Probenahme, Transport, Herstellung der Probekörper und Prüfung derartiger Gesteine relevant, als auch für eine zutreffende Beurteilung geotechnischer und bautechnischer Fragestellungen, z. B. Standsicherheit, Lösen, Laden, Fördern, Aufbereiten, Zwischenlagern, Einbauen, Verdichten oder die Verwendung als Baustoff.

Das Verfahren eignet sich nicht für die Beurteilung der Zerfallsneigung von Gesteinen mit wasserlöslichen Bestandteilen (v. a. Evaporite wie Salz, Gips oder Anhydrit).

Die vorliegende Empfehlung ergänzt die Versuchsverfahren der 24-stündigen Wasserlagerung nach [2] und des Siebtrommelversuchs nach [3]. Gegenüber dem einmaligen Wasserlagerungsversuch nach [2] erlaubt das hier vorgestellte

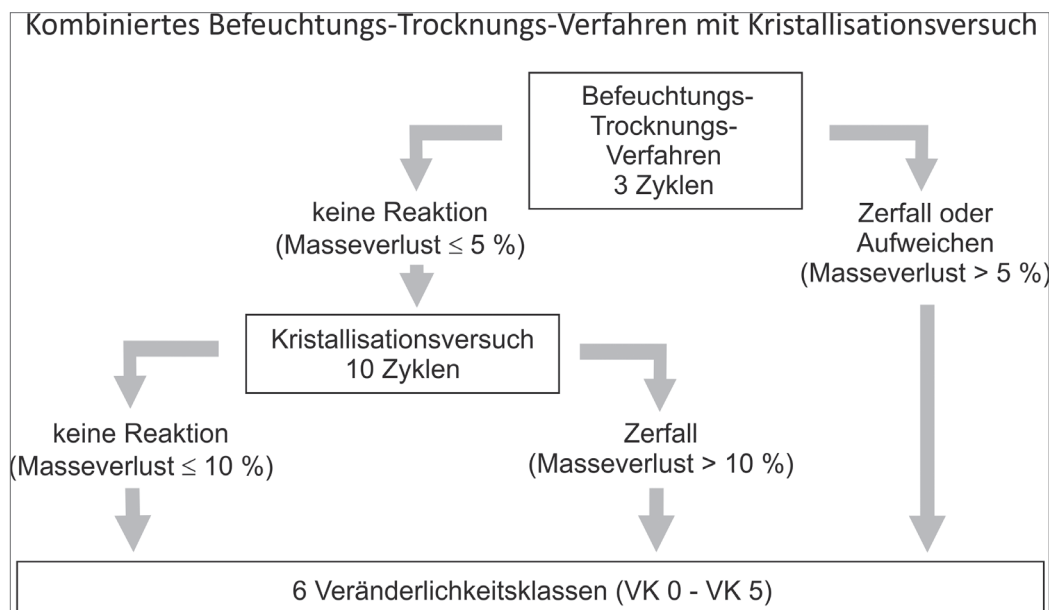


Fig. 1 Flow chart for the combined method of wetting-drying and crystallization tests according to [5]

Bild 1 Ablaufschema zum kombinierten Befeuchtungs-Trocknungs-Verfahren mit Kristallisationsversuch nach [5]

ment of rocks that disintegrate only after drying or that exhibit medium- to long-term slaking potential. Compared to the slake durability test according to DGGT test recommendation no. 20, the process requires less equipment and does not apply any mechanical influence to the sample.

This recommendation takes into account the standards DIN EN ISO 14689 [2] and DIN EN 12370 [4], but deviates or goes beyond them in the details of the test execution and evaluation.

2 Short description of the method

The wetting-drying test includes three cycles of wetting and drying. If test specimens do not show significant changes (loss of mass $\leq 5\%$), a crystallization test with sodium sulfate is subsequently carried out, including up to 10 cycles (Fig. 1). The slaking potential is classified based on the specific mass reduction of the test specimen at different stages of testing.

3 Terms

The slaking potential of a rock describes its potential of responding to changes in water content and/or temperature with a reduction in strength (up to disintegration) within a time period relevant for construction engineering.

A wetting-drying cycle is a test cycle that includes submersion of a rock specimen in water for 24 h, subsequent sieving, and oven-drying at 60°C . In the context of this recommendation, a sequence of three cycles of wetting and drying is designated as wetting-drying test.

Verfahren auch eine Beurteilung von Gesteinen, die erst nach vorhergehender Trocknung zerfallen, oder die eine mittel- bis langfristige Zerfallsneigung aufweisen. Gegenüber dem Siebtrommelversuch [3] erfordert das Verfahren einen geringeren apparativen Aufwand und es findet keine mechanische Beanspruchung statt.

Die vorliegende Empfehlung berücksichtigt die Normen DIN EN ISO 14689 [2] und DIN EN 12370 [4], weicht aber in Details der Versuchsdurchführung und -auswertung von diesen ab bzw. geht darüber hinaus.

2 Kurzbeschreibung des Verfahrens

Das Befeuchtungs-Trocknungs-Verfahren umfasst drei Befeuchtungs-Trocknungs-Wechsel. Zeigen die Probekörper hierbei keine nennenswerte Veränderung (Masseverlust $\leq 5\%$), erfolgt anschließend ein Kristallisationsversuch mit Natriumsulfat mit bis zu zehn Zyklen (Bild 1). Die Zerfallsneigung wird anhand des Masseverlusts des Probekörpers zu verschiedenen Zeitpunkten des Versuchs klassifiziert.

3 Begriffe

Unter der Zerfallsneigung eines Festgesteins wird dessen Eigenschaft verstanden, in einem bautechnisch relevanten Zeitraum auf Änderungen von Wassergehalt und/oder Temperatur mit Integritätsverlust (bis hin zum völligen Zerfall) zu reagieren.

Als Befeuchtungs-Trocknungs-Wechsel wird ein Versuchszyklus bezeichnet, der die Wasserlagerung eines Gesteinsprobekörpers für eine Dauer von 24 h, eine nachfolgende Siebung und eine Ofentrocknung bei 60°C beinhaltet. Als Befeuchtungs-Trocknungs-Verfahren wird im Rahmen der

In the course of this recommendation, the term crystallization test refers to up to 10 cycles of submersion in a saturated sodium sulfate solution and subsequent oven-drying at 105 °C.

The slaking index I_V is an index value, indicating the tendency of rocks to withstand disintegration in the course of the combined method of wetting-drying with crystallization test [1]. The slaking index ranges between 0 % and 300 %. Durable rocks exhibit high I_V indices. As the tendency to disintegrate increases, the slaking index I_V decreases. For rocks that almost completely disintegrate in response to their first submersion in water, the slaking index approaches 0 %.

Based on the value of the slaking index I_V , the slaking potential is classified based on six slaking classes (VK 0–VK 5).

4 Testing equipment

For the wetting-drying test, the following minimum technical equipment is required:

- heat-resistant laboratory containers, e.g., made of glass, aluminum, stainless steel, or ceramic;
- drying oven capable of maintaining a temperature of 60 ± 5 or 105 ± 5 °C. Air circulation must not significantly entrain sample components;
- Analysis sieves according to [6] and [7] with suitable trays. It is recommended to use sieves with mesh sizes of 63, 20, 6.3, 2.0, 0.63, 0.2, and 0.063 mm;
- deionized (demineralized) water;
- thermometer for determining the temperature of liquids, measuring range at least $+10 - +50$ °C, resolution ± 0.5 °C;
- balance with an accuracy of 0.01 g in a measuring range of 0 – 1100 g; and
- root or vegetable brush.

Additionally, the following minimum technical equipment is required to carry out the crystallization test:

- containers with lid, suited for complete submersion of the test specimens in test solution (one container per test specimen) and
- sodium sulfate (Na_2SO_4), at least 99 % by mass, dry, pure, or sodium sulfate 10-hydrate ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10 \text{ H}_2\text{O}$), at least 99 % by mass, dry, pure, crystalline.

vorliegenden Empfehlung eine Abfolge von drei Zyklen von Befeuchtungs-Trocknungs-Wechseln bezeichnet.

Als Kristallisationsversuch im Sinne der vorliegenden Empfehlung wird ein Versuch bezeichnet, bei dem ein Gesteinsprobekörper in bis zu zehn Zyklen einer Lagerung in gesättigter Natriumsulfat-Lösung und nachfolgender Ofentrocknung bei 105 °C unterzogen wird.

Der Veränderlichkeitsindex I_V ist ein Indexwert für die Zerfallsneigung von Gesteinen im kombinierten Befeuchtungs-Trocknungs-Verfahren mit Kristallisationsversuch [1]. Der Veränderlichkeitsindex liegt zwischen 0 % und 300 %. Dauerhafte Gesteine haben hohe Veränderlichkeitsindizes. Mit zunehmender Zerfallsneigung sinkt der Veränderlichkeitsindex. Bei Gesteinen, die bereits bei der ersten Wasserlagerung fast vollständig zerfallen, tendiert der Veränderlichkeitsindex gegen 0 %.

Anhand des Veränderlichkeitsindex I_V wird eine Einstufung in eine von sechs Veränderlichkeitsklassen (VK 0–VK 5) vorgenommen.

4 Prüfeinrichtungen

Für die Durchführung des Befeuchtungs-Trocknungs-Verfahrens ist folgende technische Mindestausstattung erforderlich:

- Hitzebeständige Laborschalen, z. B. aus Glas, Aluminium, Edelstahl oder Keramik
- Trocknungsöfen, der in der Lage ist, eine Temperatur von $60^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ bzw. $105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ aufrechtzuerhalten. Eine Luftzirkulation darf Probenbestandteile nicht nennenswert mitreißen.
- Analysensiebe nach [6, 7] mit geeigneten Aufnahmeschalen. Es wird empfohlen, Siebe der Maschenweiten 63 mm, 20 mm, 6,3 mm, 2,0 mm, 0,63 mm, 0,2 mm und 0,063 mm zu verwenden.
- Deionat (entmineralisiertes Wasser)
- Thermometer zur Bestimmung der Temperatur von Flüssigkeiten, Messbereich mindestens $+10^\circ\text{C} - +50^\circ\text{C}$, Auflösung $\pm 0,5^\circ\text{C}$
- Waage mit einer Genauigkeit von 0,01 g in einem Messbereich von 0 g – 1100 g
- Handelsübliche Wurzel- oder Gemüsebürste

Zusätzlich ist für die Durchführung des Kristallisationsversuchs folgende technische Mindestausstattung erforderlich:

- Behälter mit geeigneter Abdeckvorrichtung für die vollständige Bedeckung der Probekörper mit Glaubersalzlösung (ein Behälter je Probekörper)
- Natriumsulfat (Na_2SO_4), mindestens 99 % Massenanteil, trocken, rein oder Natriumsulfat-10-Hydrat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10 \text{ H}_2\text{O}$), mindestens 99 % Massenanteil, trocken, rein, kristallin

5 Preparation of test specimens

5.1 Instructions for sampling

Changes in the natural water content can have a significant influence on the test result. When collecting and transporting samples, care must be taken to ensure that samples are sealed, packaged, and stored in such a way that their water content is not significantly changed. If the water content is significantly altered, the immediate slaking potential of the rock under natural conditions cannot be determined.

5.2 Preparation of test specimens

The test specimens can be gained from drill cores or hand-picked samples. Mechanical tools, such as hammer, chisel, or rock splitter, shall be used to reduce the original samples to the required size. The use of drilling, grinding, cutting, and sawing tools is not permitted, as rinsing and cooling media or heat might cause a test-relevant change in water content.

Prismatic test specimens with edge lengths of approx. 6–10 cm and a mass of approx. 800–1000 g shall be produced. Before carrying out the test, specimens must be cleaned of loose parts using a brush.

To determine the initial water content in accordance with [8], separate sample material is required. This should be obtained from leftover pieces from the formatting of test specimens and must be representative for the tested material.

6 Testing

6.1 General requirements

At least two test specimens must be tested for each rock to be examined. Before the test, the test specimens must be described macroscopically in accordance with [2], with a special focus on discontinuities, zones of weakness, and/or signs of weathering. The test specimens must be documented photographically. The test has to be carried out at a room temperature of $20 \pm 5^\circ\text{C}$.

5 Herstellung der Probekörper

5.1 Hinweise für die Probenahme

Die Veränderung des natürlichen Wassergehalts hat auf das Versuchsergebnis einen maßgeblichen Einfluss. Bei Proben-gewinnung und -transport ist daher darauf zu achten, dass die Proben so versiegelt, verpackt und aufbewahrt werden, dass sich ihr Wassergehalt möglichst nicht verändert. Wird der Wassergehalt signifikant verändert, kann das Sofortverhalten der unveränderten Probe unter natürlichen Bedingungen nicht mehr erfasst werden.

5.2 Probenvorbereitung

Die Probekörper können aus Bohrkernen oder Handstücken hergestellt werden. Sie werden mechanisch, z. B. mit Hammer und Meißel oder einem Gesteinsspalter, auf die erforderliche Größe reduziert. Unzulässig ist die Verwendung von Bohr-, Schleif-, Schneid- und Sägewerkzeugen, da eine versuchsrelevante Veränderung des Wassergehalts durch Spül- und Kühlmedien bzw. Wärmeeintrag nicht auszuschließen ist.

Es sind gedrungene Probekörper mit Kantenlängen von ca. 6 cm–10 cm und einer Masse von ca. 800 g–1000 g herzustellen. Vor der Versuchsdurchführung müssen die Probekörper mit einer Bürste von losen Teilen befreit werden.

Zur Ermittlung des Ausgangswassergehaltes gemäß [8] ist separates Probematerial erforderlich. Dieses sollte aus Reststücken aus der Probekörperherstellung gewonnen werden und muss repräsentativ für das getestete Material sein.

6 Versuchsdurchführung

6.1 Allgemeines

Für jedes zu untersuchende Gestein sind mindestens zwei Probekörper zu prüfen. Vor dem Versuch sind die Probekörper gemäß [2] makroskopisch zu beschreiben, wobei v. a. auf Trennflächen, Schwächezonen und/oder Verwitterungsanzeichen einzugehen ist. Die Probekörper sind fotografisch

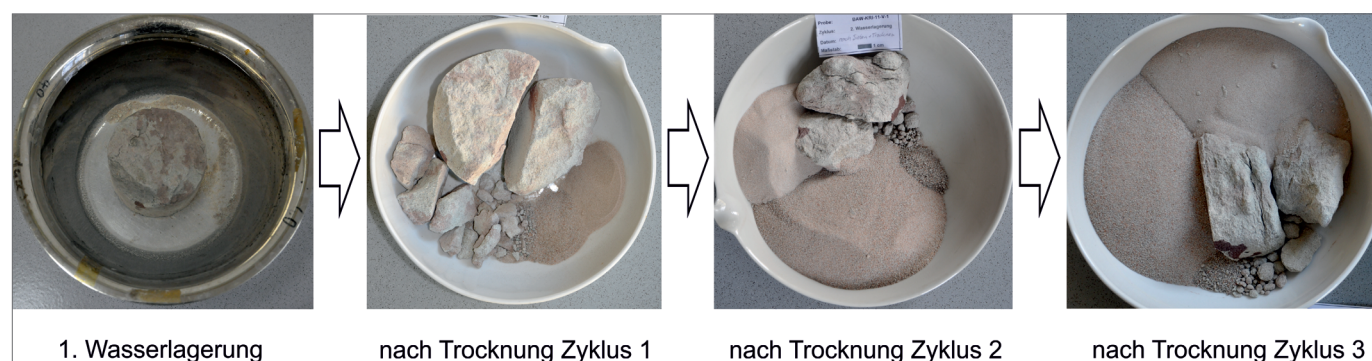


Fig. 2 Example of the experimental setup and photo documentation of the wetting-drying test
Bild 2 Beispiel für die Versuchsanordnung und die Fotodokumentation des Befeuchtungs-Trocknungs-Verfahrens

6.2 Wetting-drying test

At the beginning of the wetting-drying test, the initial wet mass (m_f) of the test specimens must be determined to an accuracy of 0.01 g and recorded in the test protocol.

For a wetting-drying cycle, each test specimen is placed in a separate container and covered with deionized water with a temperature of $20 \pm 5^\circ\text{C}$. The temperature must be recorded in the test protocol. After placing the test specimen in deionized water, the immediate reaction is observed and described in terms of its type, intensity, and duration (e.g., strong crumbling, weak sanding, etc.). It is recommended to observe and describe the reaction at least within the first 10 and 30 min after the start of the test.

After wetting for 24 h, the products of the disintegration of each test specimen must be described (see form, Section 9) and their grain size distribution is determined using gentle wet hand sieving based on [9].

The sieve residues are dried in a drying oven at $60 \pm 5^\circ\text{C}$ to a constant mass. After cooling, the dried fractions are described and documented photographically (Fig. 2). In addition, the mass of the largest remaining piece m_{BTn} is determined and recorded in the test protocol. Afterward, all sieve fractions of a test specimen are recombined into a full test specimen and subjected to the next wetting-drying cycle.

In general, three wetting-drying cycles are carried out (measured values m_{BT1} to m_{BT3}). Testing can be terminated, if the test specimen is completely disintegrated after the first or second test cycle.

6.3 Crystallization test

If the test specimen shows no significant change after three wetting-drying cycles (i.e., mass loss $\leq 5\%$), it is subjected to the crystallization test described below. Otherwise (i.e., mass loss $> 5\%$), it is not required to perform a crystallization test.

6.3.1 Preparation of test solution

Prior to testing, a test solution of saturated sodium sulfate must be prepared. About 750 g of sodium sulfate decahydrate or 350 g of anhydrous, dried sodium sulfate is dissolved in 1000 ml of deionized water. The test solution must be prepared at a temperature of at least 40°C and then cooled to the test temperature ($20 \pm 5^\circ\text{C}$). The crystallization of solid sodium sulfate at the bottom of the container indicates saturation. A sufficient volume of test solution must be provided, so that any loss during the testing can be replaced.

Note: The concentration and preparation procedure of the test solution described here differs from DIN EN 12370 [4]. They correspond to the saturated solution described in the "Procedure A" of the withdrawn DIN 52111 [10]. This procedure

zu dokumentieren. Die Versuche sind bei einer Raumtemperatur von $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ durchzuführen.

6.2 Befeuchtungs-Trocknungs-Verfahren

Zu Beginn des Befeuchtungs-Trocknungs-Verfahrens ist die Ausgangsfeuchtmass (m_f) der Probekörper auf 0,01 g genau zu bestimmen und zu protokollieren.

Für einen Befeuchtungs-Trocknungs-Wechsel wird jeder Probekörper in eine separate Schale gelegt und mit Deionat bedeckt. Die Temperatur des Deionats muss $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ betragen und ist zu protokollieren. Nach dem Einlegen in das Deionat wird die Sofortreaktion beobachtet und hinsichtlich ihrer Art, Intensität und Dauer beschrieben (z.B. starkes Abbröckeln, schwaches Absanden etc.). Es wird empfohlen, die Reaktion zumindest innerhalb der ersten 10 min und 30 min nach Versuchsbeginn zu beobachten und zu beschreiben.

Nach einer Befeuchtung von 24 h Dauer sind die Zerfallsprodukte eines jeden Probekörpers zu beschreiben (vgl. Formblatt, Abschn. 9) und die Kornverteilung mittels schonender Nass-Handsiebung in Anlehnung an [9] zu bestimmen.

Die Trocknung der Rückstände erfolgt im Trockenschrank bei $60^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ bis zur Massenkonstanz. Die getrockneten Fraktionen werden nach dem Abkühlen beschrieben und fotografisch dokumentiert (Bild 2). Zusätzlich wird die Einzelmass des größten verbliebenen Stücks m_{BTn} ermittelt und protokolliert. Danach werden alle Siebfractionen eines Probekörpers wieder zu einer Gesamtprobe vereinigt und dem nächsten Befeuchtungs-Trocknungs-Wechsel unterzogen.

In der Regel werden drei Befeuchtungs-Trocknungs-Wechsel durchgeführt (Messwerte m_{BT1} bis m_{BT3}). Der Versuch kann vorzeitig abgebrochen werden, falls die Probekörper bereits nach dem ersten oder zweiten Versuchszyklus vollständig desintegriert sind.

6.3 Kristallisationsversuch

Zeigt der Probekörper nach drei Befeuchtungs-Trocknungs-Wechseln keine nennenswerte Veränderung (d.h. Masseverlust $\leq 5\%$), wird er dem nachfolgend beschriebenen Kristallisationsversuch unterzogen. Andernfalls (d.h. Masseverlust $> 5\%$) ist ein Kristallisationsversuch nicht erforderlich.

6.3.1 Vorbereitung der Prüflösung

Vor Beginn des Kristallisationsversuchs ist eine Prüflösung aus gesättigter Natriumsulfatlösung herzustellen. Hierzu werden etwa 750 g Natriumsulfatdekahydrat oder 350 g wasserfreies, getrocknetes Natriumsulfat in 1000 ml Deionat gegeben. Die Prüflösung ist bei mindestens 40°C herzustellen und anschließend auf die Versuchstemperatur ($20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$)

ensures a safe and practical preparation of a defined test solution as well as direct comparability with the original work [1, 5].

6.3.2 Testing

For the crystallization test, each test specimen is placed in a separate container and covered with the test solution. The liquid level should reach at least 1 cm above the test specimens. To reduce evaporation, it is recommended to cover the container. The test specimens are submersed in the test solution for 16 h. After removal from the immersion container, they are dried in a drying oven at $105 \pm 5^\circ\text{C}$ for 6 h. Then, the test specimens are cooled to room temperature for at least 2 h.

Loose parts are removed from the cooled test specimens with a brush. The size and type of removed material must be described in the test protocol. The remaining mass of the test specimens must be determined to an accuracy of 0.01 g and documented in the test protocol (measured values m_{K1} to m_{K10}). If a test specimen disintegrates into two or more parts, the largest fragment must be weighed and used for further testing.

A total of 10 test cycles have to be carried out. The test can be terminated if the test specimens are completely disintegrated after less than 10 test cycles. If the test has to be interrupted, the samples must remain in the drying oven at $105 \pm 5^\circ\text{C}$.

abzukühlen, wobei die Bildung von Bodensatz die Sättigung anzeigt. Es ist so viel Prüflösung bereitzustellen, dass während des Versuchs ggf. auftretende Verluste ersetzt werden können.

Anmerkung: Die hier beschriebene Konzentration und die Herstellprozedur der Prüflösung weichen von DIN EN 12370 [4] ab. Sie entsprechen der im sogenannten „Verfahren A“ der zurückgezogenen DIN 52111 [10] beschriebenen gesättigten Lösung. Diese Vorgehensweise erlaubt eine sichere und praktikable Herstellung einer definierten Prüflösung sowie eine direkte Vergleichbarkeit mit den Originalarbeiten [1, 5].

6.3.2 Durchführung

Für den Kristallisationsversuch wird jeder Probekörper in einen separaten Behälter („Tauchbehälter“) gelegt und mit der Prüflösung bedeckt. Der Flüssigkeitsstand der Prüflösung sollte bis mindestens 1 cm über die Probekörper reichen. Um die Verdunstung zu reduzieren, wird empfohlen, den Behälter abzudecken. Die Probekörper werden für eine Dauer von 16 h in der Prüflösung gelagert. Nach der Entnahme aus dem Tauchbehälter werden sie im Trockenschrank bei $105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ für eine Dauer von 6 h getrocknet. Danach werden die Probekörper für mindestens 2 h auf Raumtemperatur abgekühlt.

Von den abgekühlten Probekörpern werden mit einer Bürste lose Teile entfernt. Größe und Art des abgelösten Materials sind im Versuchsprotokoll zu beschreiben. Die Masse der

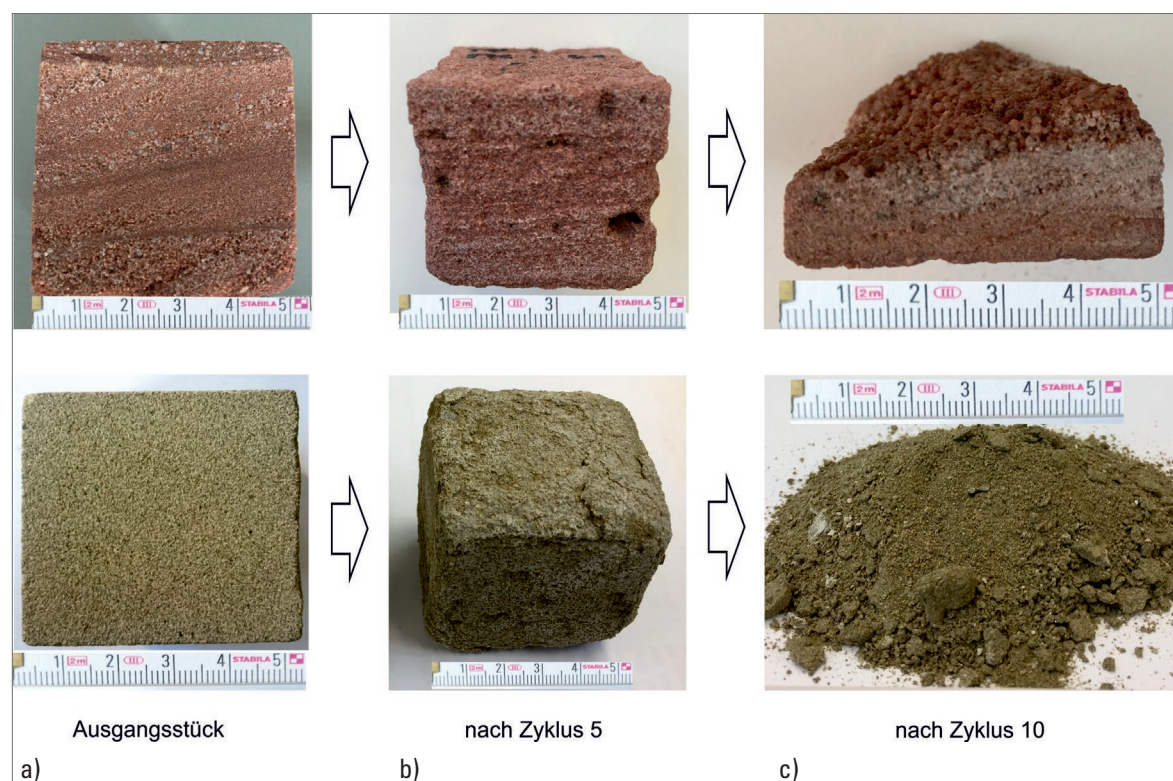


Fig. 3 Examples of the disintegration behaviour of two sandstones in the crystallization test, a) at the start of the test, b) after five cycles and c) at the end of the test

Bild 3 Beispiele für das Zerfallsverhalten zweier Sandsteine im Kristallisationsversuch, jeweils a) zu Versuchsbeginn, b) nach fünf Zyklen und c) am Versuchsende

After the last cycle, the test specimens should be stored in deionized water at room temperature ($20 \pm 5^\circ\text{C}$) for 24 h to dissolve salt residues from the pores. The water should be replaced once, ideally after approximately 12 h. Finally, the test specimens must be washed carefully under running water.

The test specimens are then dried at $105 \pm 5^\circ\text{C}$ and documented photographically (Fig. 3). The masses of the remaining pieces (m_{KW}) are weighed and documented in the test protocol.

Note:

- It is possible that the mass of the test specimens increases due to the precipitation of sodium sulfate in the pore space, in particular during the first cycles of the crystallization test.
- The number of test cycles and the duration of the individual work steps described here differ from DIN EN 12370 [4]. They correspond to the procedure described in “Procedure A” of the withdrawn DIN 52111 [10] when using a saturated solution.

7 Evaluation of test results and reporting

7.1 General requirements

The following information must be documented for each sample:

- origin of the sample, e.g., borehole, sampling depth or sampling location;
- visual description of the test specimens, including grain size, special features, and inhomogeneities (especially foliation, bedding, signs of weathering) according to [2];
- photographic documentation of the test specimen before testing, after each cycle in the wetting-drying test and in the final state after the crystallization test;
- testing laboratory and operator/executer;
- time(s) of testing;
- initial wet mass (m_f) of the test specimens;
- initial water content (w), determined on separate sample material;
- temperatures of water and test solution; and
- any deviations from the recommendations given here.

7.2 Evaluation of wetting-drying test

The initial dry mass m_{d0} is approximated based on the initial wet mass m_f determined by weighing and the water content w determined on separate test specimens (Eq. (1)):

$$m_{\text{d0}} = \frac{m_f}{1 + \frac{w}{100}} \quad (1)$$

with:

- m_{d0} initial dry mass of test specimen before testing (g);
- m_f initial wet mass of test specimen before testing (g);
- w water content according to DIN EN ISO 16383-1 (%).

Probekörper ist auf 0,01 g zu bestimmen und zu protokollieren (Messwerte m_{K1} bis m_{K10}). Zerfällt ein Probekörper in zwei oder mehrere Teile, so ist jeweils das größte Bruchstück zu wiegen und für den weiteren Versuch zu verwenden.

Insgesamt sind zehn Versuchszyklen durchzuführen. Der Versuch kann vorzeitig abgebrochen werden, falls die Probekörper bereits nach weniger als zehn Versuchszyklen vollständig desintegriert sind. Muss die Prüfung unterbrochen werden, müssen die Proben bei $105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ im Trockenschrank verbleiben.

Nach dem letzten Zyklus sind die Probekörper für 24 h bei Raumtemperatur ($20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$) in Deionat zu lagern, um Salzreste aus den Poren zu lösen. Das Deionat ist einmal auszutauschen, idealerweise nach ca. 12 h. Abschließend sind die Probekörper sorgfältig unter fließendem Wasser zu waschen.

Danach werden die Probekörper bei $105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ getrocknet und fotografisch dokumentiert (Bild 3). Die Massen der Reststücke (m_{KW}) werden gewogen und protokolliert.

Anmerkungen:

- Insbesondere bei den ersten Zyklen des Kristallisationsversuchs ist es möglich, dass durch die Einlagerung von Natriumsulfat in den Porenraum die ermittelte Masse der Probekörper zunimmt.
- Die hier beschriebene Anzahl von Versuchszyklen und die Dauer der Einzelarbeitsschritte weichen von DIN EN 12370 [4] ab. Sie entsprechen der im sogenannten „Verfahren A“ der zurückgezogenen DIN 52111 [10] beschriebenen Vorgehensweise bei Verwendung einer gesättigten Lösung.

7 Versuchsauswertung und Darstellung der Ergebnisse

7.1 Allgemeine Angaben

Für jede Probe sind folgende Angaben zu protokollieren:

- Herkunft der Probe, z. B. Bohrung und Entnahmetiefe oder Entnahmestelle
- Beschreibung der Probekörper, Ansprache der Korngröße, Besonderheiten und Inhomogenitäten (v. a. Schieferung, Schichtung, Verwitterungsanzeichen) nach [2]
- Fotodokumentation der Probekörper vor Versuchsbeginn, nach jedem Zyklus im Befeuchtungs-Trocknungs-Verfahren sowie im Endzustand nach Kristallisationsversuch
- Prüfstelle und Ausführende
- Zeitraum der Versuchsdurchführung
- Ausgangsfeuchtmasse (m_f) der Probekörper
- Ausgangswassergehalt (w), bestimmt an separatem Probematerial
- Temperaturen von Wasser und Prüflösung
- Eventuelle Abweichungen von den hier gegebenen Empfehlungen

Note: The indirect determination of m_{d0} is required because oven-drying of the test specimens before the first wetting could have a significant effect on the immediate behavior.

After each wetting-drying cycle, the grain size distribution of the deterioration products must be determined and visualized in a cumulative grain size distribution diagram (Fig. 4).

In addition, for each wetting-drying cycle n ($n = 1 \dots 3$), the mass fraction R_{BTn} is calculated according to Eq. (2) from the dry mass m_{BTn} of the largest remaining piece and the initial dry mass m_{d0} of the test specimen:

$$R_{BTn} = \frac{m_{BTn}}{m_{d0}} \cdot 100 \quad (2)$$

with:

- R_{BTn} mass fraction of largest remaining piece after cycle n (%);
 m_{BTn} dry mass of largest remaining piece after cycle n (g);
 m_{d0} initial dry mass of test specimen before testing (g).

For each test specimen, the mass fraction of the largest remaining piece (R_{BT1} , R_{BT2} , and R_{BT3}) shall be plotted over the number of cycles n (Fig. 6).

7.3 Evaluation of crystallization test

For each cycle n ($n = 1 \dots 10$) in the crystallization test, the mass fraction r_{Kn} has to be determined from the dry mass m_{Kn} of the largest remaining piece and the dry mass m_{BT3} at the beginning of the crystallization test (corresponding to the dry mass at the end of the wetting-drying test R_{BTn} , $n = 1, 2$, or 3) according to Eq. (3):

$$r_{Kn} = \frac{m_{Kn}}{m_{BT3}} \cdot 100 \quad (3)$$

with:

- r_{Kn} mass fraction after cycle n (%);
 m_{Kn} dry mass of specimen after cycle n (g);
 m_{BT3} dry mass of specimen before begin of crystallization test (g).

For each test specimen, the mass fraction of the largest remaining piece ($r_{K1 \dots 10}$) shall be plotted over the number of cycles n (Fig. 5).

The mass fraction R_{K10} remaining after finishing the crystallization test is calculated according to Eq. (4):

$$R_{K10} = \frac{m_{KW}}{m_{BT3}} \cdot 100 \quad (4)$$

with:

- R_{K10} mass fraction at the end of the crystallization test (%);
 m_{KW} dry mass of washed specimen at the end of the crystallization test (g);
 m_{BT3} dry mass of specimen before the crystallization test (g).

7.2 Auswertung des Befeuchtungs-Trocknungs-Verfahrens

Die Ausgangstrockenmasse m_{d0} wird näherungsweise anhand der durch Wägung bestimmten Ausgangsfeuchtmasse m_f und dem an separaten Probekörpern bestimmten Wassergehalt w ermittelt, Gl. (1):

$$m_{d0} = \frac{m_f}{1 + \frac{w}{100}} \quad (1)$$

mit:

- m_{d0} Ausgangstrockenmasse Probekörper vor Versuchsbeginn (g)
 m_f Ausgangsfeuchtmasse Probekörper vor Versuchsbeginn (g)
 w Wassergehalt nach DIN EN ISO 16383-1 (%)

Anmerkung: Die indirekte Ermittlung von m_{d0} ist erforderlich, da eine Ofentrocknung der Probekörper vor Durchführung der ersten Befeuchtung das Sofortverhalten nachhaltig beeinflussen könnte.

Nach jedem Befeuchtungs-Trocknungs-Wechsel ist die Korngrößenverteilung der Zerfallsprodukte zu bestimmen und als Kornsummenkurve darzustellen (Bild 4).

Zusätzlich wird für jeden Befeuchtungs-Trocknungs-Zyklus n ($n = 1 \dots 3$) der Massenanteil R_{BTn} gemäß Gl. (2) aus der Trockenmasse m_{BTn} des größten verbleibenden Stücks und der Ausgangstrockenmasse m_{d0} des Probekörpers bestimmt:

$$R_{BTn} = \frac{m_{BTn}}{m_{d0}} \cdot 100 \quad (2)$$

mit:

- R_{BTn} Massenanteil des größten verbleibenden Stücks nach Zyklus n (%)
 m_{BTn} Trockenmasse des größten verbleibenden Stücks nach Zyklus n (g)
 m_{d0} Ausgangstrockenmasse des Probekörpers vor Versuchsbeginn (g)

Für jeden Probekörper ist der Massenanteil des größten verbleibenden Stücks (R_{BT1} , R_{BT2} und R_{BT3}) grafisch über die Anzahl der Zyklen n darzustellen (Bild 6).

7.3 Auswertung des Kristallisationsversuchs

Für jeden Zyklus n ($n = 1 \dots 10$) im Kristallisationsversuch ist der Massenanteil r_{Kn} gemäß Gl. (3) aus der Trockenmasse m_{Kn} des größten verbleibenden Stücks und der Trockenmasse m_{BT3} bei Beginn des Kristallisationsversuchs (entspricht der Trockenmasse bei Beendigung des Befeuchtungs-Trocknungs-Verfahrens R_{BTn} , $n = 1, 2$ oder 3) zu ermitteln:

$$r_{Kn} = \frac{m_{Kn}}{m_{BT3}} \cdot 100 \quad (3)$$

mit:

- r_{Kn} Massenanteil nach dem Zyklus n (%)
 m_{Kn} Trockenmasse des Probekörpers nach Zyklus n (g)

If the crystallization test is terminated before the 10th cycle due to a high loss of mass of the test specimen, the mass fraction must be labeled according to the number of test cycles carried out (e.g., R_{K6} when finished after six cycles).

8 Classification

From the test results, the slaking index I_V is calculated according to Eq. (5):

$$I_V = R_{BT1} + R_{BT3} + R_{K10} \tag{5}$$

- with:
- I_V slaking index (%);
 - R_{BT1} mass fraction of largest remaining piece after first wetting-drying cycle (%);
 - R_{BT3} mass fraction of largest remaining piece after wetting-drying test (%);

m_{BT3} Trockenmasse des Probekörpers vor Beginn des Kristallisationsversuchs (g)

Für jeden Probekörper ist der Massenanteil des größten verbleibenden Stücks ($r_{K1...10}$) grafisch über die Anzahl der Zyklen n darzustellen (siehe Bild 5).

Der nach Durchführung des Kristallisationsversuchs verbleibende Massenanteil wird gemäß Gl. (4) bestimmt:

$$R_{K10} = \frac{m_{KW}}{m_{BT3}} \cdot 100 \tag{4}$$

- mit:
- R_{K10} Massenanteil bei Versuchsende des Kristallisationsversuchs (%)
 - m_{KW} Trockenmasse des gewaschenen Probekörpers nach Abschluss des Kristallisationsversuchs (g)
 - m_{BT3} Trockenmasse des Probekörpers vor Beginn des Kristallisationsversuchs (g)

Tab. 1 Classification of the slaking potential based on [5]
Tab. 1 Klassifizierung der Zerfallsneigung in Anlehnung an Nickmann [5]

VK	Slaking Index I_V (%) Veränderlichkeitsindex I_V (%)	Interim results (%) Einzelergebnisse (%)			Slaking potential Zerfallsneigung	Description of the typical slaking behaviour Beschreibung des typischen Zerfallverhaltens
		R_{BT1}	R_{BT3}	R_{K10}		
VK 0	285–300	≥ 95	≥ 95	≥ 90	no slaking potential (durable rock) nicht veränderlich (dauerhaft fest)	no changes up to the third wetting-drying cycle (maybe small losses ≤ 5 %). Loss of mass in the crystallisation test ≤ 10 % bis zum 3. Zyklus im Befeuchtungs-Trocknungs-Verfahren keine Veränderung (ausgenommen geringer Masseverlust von insgesamt ≤ 5 %) Masseverlust im Kristallisationsversuch ≤ 10 %
VK 1	190–<285	≥ 95	≥ 95	< 90	low slaking potential gering veränderlich	no changes up to the third wetting-drying cycle (maybe small losses ≤ 5 %). Loss of mass in the crystallisation test > 10 % bis zum 3. Zyklus im Befeuchtungs-Trocknungs-Verfahren keine Veränderung (ausgenommen geringer Masseverlust von insgesamt ≤ 5 %) Masseverlust im Kristallisationsversuch > 10 %
VK 2	145–<190	≥ 95	≥ 50 < 95	0	slow slaking potential langsam veränderlich	no changes during first wetting-drying cycle (maybe small losses ≤ 5 %), up to the third cycle cracking and /or beginning of decay with ≤ 50 % loss of mass im ersten Befeuchtungs-Trocknungs-Zyklus keine Veränderung (ausgenommen geringer Masseverlust von insgesamt ≤ 5 %), bis zum 3. Zyklus Rissbildung und/oder beginnender Zerfall mit ≤ 50 % Masseverlust
VK 3	90–<145	≥ 90	< 50	0	medium slaking potential mäßig schnell veränderlich	cracking or loss of smaller aggregates (≤ 10 % of mass) during first wetting-drying cycle, more than 50 % loss of mass until third cycle im ersten Befeuchtungs-Trocknungs-Zyklus Rissbildung bzw. Abbrechen von kleineren Aggregaten (≤ 10 % Masseverlust), mehr als 50 % Masseverlust bis zum 3. Zyklus
VK 4	25–<90	≥ 25 < 90	< 5	0	rapid and high slaking potential schnell und stark veränderlich	considerable decay (> 10–75 % loss of mass) during first wetting-drying cycle. More than 95 % loss of mass until third cycle. im ersten Befeuchtungs-Trocknungs-Zyklus deutlicher Zerfall (> 10–75 % Masseverlust). Mehr als 95 % Masseverlust bis zum 3. Zyklus
VK 5	<25	< 25	0	0	immediate and very high slaking potential unmittelbar und sehr stark veränderlich	spontaneous decay during first wetting (> 75 % loss of mass) unmittelbarer Zerfall im ersten Befeuchtungs-Trocknungs-Zyklus (Masseverlust > 75 %)

R_{K10} mass fraction at the end of the crystallization test (%).

In case that no crystallization test was carried out or the test was terminated before the 10th cycle, R_{K10} is zero.

The rocks slaking potential is classified based on the slaking index I_V . According to [5], six slaking classes VK 0–VK 5 are defined (Tab. 1 and Fig. 6). VK 1–VK 5 refer to nondurable rocks with different tendencies to disintegrate. Rocks, for which all test specimens show no significant losses of mass ($I_V \geq 285$ %) during the entire testing procedure, are classified as durable rock (VK 0).

The descriptions and ranges of interim results shown in Tab. 1 are based on a large number of test results and represent typical disintegration processes. In individual cases (e.g., highly heterogeneous samples, alternating layers, samples with predetermined weak zones), samples can also have a disintegration behavior that deviates from the interim results of Tab. 1 (R_{BT1} , R_{BT3} , R_{K10}). Even in such cases, the classification of the slaking potential shall be solely based on the slaking index I_V calculated according to Eq. (5).

9 Examples for testing protocols

Note on the presented test protocols: For clarity, two different rock samples with different slaking behavior were selected for the form examples.

The results of the crystallization test shown (Form 2) are not taken into account in the evaluation (Form 3).

Wird der Kristallisationsversuch aufgrund des hohen Masseverlusts am Probekörper vor Abschluss des zehnten Zyklus vorzeitig beendet, so ist der Massenanteil entsprechend der durchgeführten Anzahl der Versuchszyklen zu bezeichnen (z. B. R_{K6} bei Beendigung nach sechs Zyklen).

8 Klassifizierung

Aus den Versuchsergebnissen ist der Veränderlichkeitsindex I_V gemäß Gl. (5) zu berechnen:

$$I_V = R_{BT1} + R_{BT3} + R_{K10} \quad (5)$$

mit:

I_V	Veränderlichkeitsindex (%)
R_{BT1}	Massenanteil des größten verbleibenden Stücks nach dem ersten Befeuchtungs-Trocknungs-Wechsel (%)
R_{BT3}	Massenanteil des größten verbleibenden Stücks nach Abschluss des Befeuchtungs-Trocknungs-Verfahrens (%)
R_{K10}	Massenanteil des verbleibenden Stücks nach Kristallisationsversuch (%)

Für den Fall, dass kein Kristallisationsversuch durchgeführt wurde oder der Versuch vor dem zehnten Zyklus beendet wurde, ist R_{K10} mit 0 anzusetzen.

Die Klassifizierung der Zerfallsneigung erfolgt anhand des Veränderlichkeitsindex I_V . Nach [5] werden sechs Veränderlichkeitsklassen VK 0 bis VK 5 definiert (Tab. 1 und Bild 6). VK 1 bis VK 5 bezeichnen veränderlich feste Gesteine unterschiedlicher Zerfallsneigung. Gesteine, bei denen alle Probekörper während des gesamten Verfahrens keinen nennenswerten Masseverlust ($I_V \geq 285$ %) zeigen, sind als dauerhaft fest zu klassifizieren (VK 0).

Die in Tab. 1 aufgeführten Beschreibungen und Bandbreiten der Einzelergebnisse basieren auf einer Vielzahl von Versuchsergebnissen und stellen typische Zerfallsverläufe dar. In Einzelfällen (z. B. stark heterogene Proben, Wechsellagerungen, Proben mit vorgezeichneten Schwächezonen) können Proben auch ein Zerfallsverhalten mit von Tab. 1 abweichenden Einzelergebnissen (R_{BT1} , R_{BT3} , R_{K10}) aufweisen. Auch in solchen Fällen ist die Klassifizierung der Zerfallsneigung anhand des nach Gl. (5) berechneten Veränderlichkeitsindex I_V vorzunehmen.

9 Beispiele für Versuchsprotokolle

Anmerkung zu den dargestellten Versuchsprotokollen: Aus Gründen der Anschaulichkeit wurden für die Formblattbeispiele zwei verschiedene Gesteine mit unterschiedlichem Zerfallsverhalten ausgewählt.

Die Ergebnisse des dargestellten Kristallisationsversuchs (Formblatt 2, Bild 5) sind nicht in der Auswertung (Formblatt 3, Bild 6) berücksichtigt.

Befeuchtungs-Trocknungs-Verfahren mit Kristallisationsversuch

Formblatt 1 von 3: Befeuchtungs-Trocknungs-Verfahren (3 Zyklen)

Projekt:	AAA-BBB	Gestein:	Tonschluffstein
Entnahmeort:	BK-01 / 14-14,5 m	Proben-/Versuchs-Nr.:	AAA-BBB-01-BTV
Entnahme durch:	A. Muster	Datum des Tests:	12.08.22 - 10.09.22
Entnahmedatum:	04.08.2022	Bearbeiter*in:	B. Muster

Gesteinsbeschreibung:	Dunkelgrau-schwarzer Tonschluffstein, feinkörnig, homogen, glimmerführend, geringer Karbonatgehalt, Feinschichtung senkrecht zur Bohrkernachse
Inhomogenitäten, Trennflächen:	Feinschichtung senkrecht zur Bohrkernachse
Entnahme / Lagerung:	Bohrkern, bergfeucht, luftdicht verpackt

Probendaten:	Masse der bergfeuchten Probe m_f :	899,17 g	natürlicher Wassergehalt w :	2,1%
	Masse der trockenen Probe m_{d0} :	880,90 g	(ermittelt an separatem Probekörper)	

Zyklus n	1	2	3
Temperatur Deionat	T1: 21,3 °C	T2: 21,0 °C	T3: 20,5 °C
Sofortreaktion	Trübung des Wassers, schichtparalleles Abplatzen, Öffnung der Trennflächen, Auseinanderbrechen des Prüfkörpers	keine Reaktion	keine Reaktion
Zustand nach 24 h	Gesteinsverband aufgelöst, Bohrkern entlang der Schichtung zerfallen	deutlich sichtbare Abnahme der Korngröße	deutlich sichtbare Abnahme der Korngröße

größtes Stück R_{BT}	Masse m_{BT1} [g]	Anteil R_{BT1} [%]	Masse m_{BT2} [g]	Anteil R_{BT2} [%]	Masse m_{BT3} [g]	Anteil R_{BT3} [%]
	65,46 g	7,43%	6,06 g	0,69%	0,51 g	0,06%

Maschenweite Sieb [mm]	Rückstand m [g]	Anteil f [%]	Rückstand m [g]	Anteil f [%]	Rückstand m [g]	Anteil f [%]
> 63	-	-	-	-	-	-
> 20	268,48	30,55	-	-	-	-
> 6,3	549,31	62,50	356,88	40,61	76,83	8,75
> 2,0	37,70	4,29	229,66	26,13	392,02	44,65
> 0,63	11,85	1,35	117,28	13,34	131,44	14,97
> 0,2	5,70	0,65	96,33	10,96	120,2	13,69
> 0,06	2,28	0,26	62,58	7,12	134,52	15,32
< 0,06	3,56	0,41	16,11	1,83	23,06	2,63
Summe	878,88	100,00	878,84	100,00	878,07	100,00

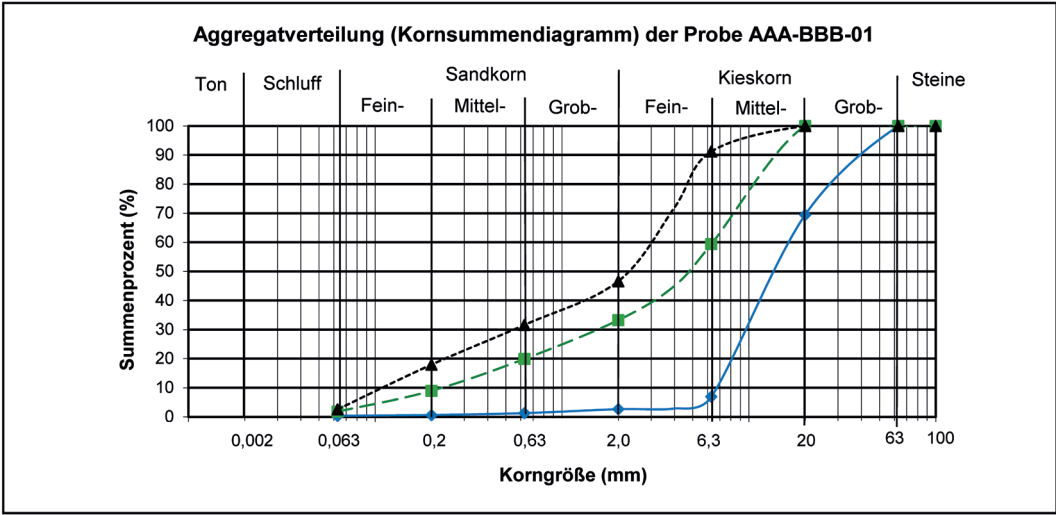


Fig. 4 Example of a test protocol (Form 1: Documentation of the wetting-drying test)
Bild 4 Beispiel eines Laborformblattes (Formblatt 1: Dokumentation Befeuchtungs-Trocknungs-Verfahren)

Befeuchtungs-Trocknungs-Verfahren mit Kristallisationsversuch

Formblatt 2 von 3: Kristallisationsversuch

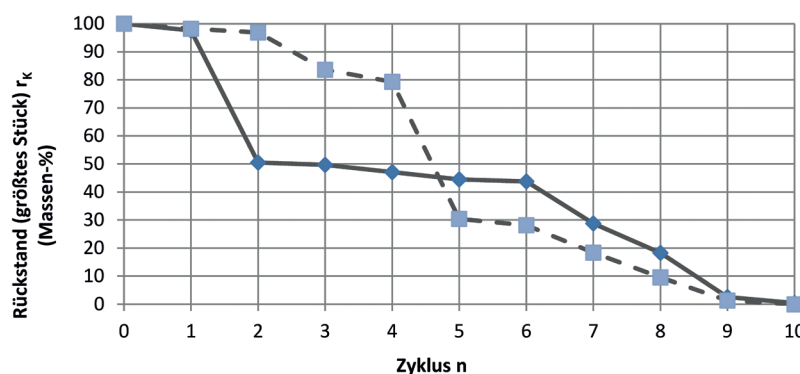
Projekt:	AAA-BBB	Gestein:	Sandstein
Entnahmeort:	BK-02 / 7,0-7,5m	Proben-Nr.:	AAA-BBB-02-K
Entnahmedatum:	04.08.2022	Datum des Tests:	20.09.2022
Entnahme durch:	A. Muster	Bearbeiter*in:	B. Muster

Gesteinsbeschreibung: grüner Sandstein, Komponenten Quarz, Chlorit, Glimmer, z.T. tonig gebunden, homogen, isotrop

Inhomogenitäten, Trennflächen: keine

Probekörper		1 —————		2 - - - - -		Ø
Trockenmasse der Probe vor dem 1. Zyklus		$m_{BT3} = 800,0 \text{ g}$		$m_{BT3} = 820,0 \text{ g}$		
Zyklus n	Datum	Rückstand $m_K [\text{g}]$	Anteil $r_K [\%]$	Rückstand $m_K [\text{g}]$	Anteil $r_K [\%]$	
1	01.05.2015	780,5	97,6	805,3	98,2	
2	02.05.2015	403,7	50,5	794,5	96,9	
3	03.05.2015	397,5	49,7	685,8	83,6	
4	04.05.2015	376,4	47,1	650,1	79,3	
5	07.05.2015	355,5	44,4	249,0	30,4	
6	08.05.2015	350,1	43,8	230,4	28,1	
7	09.05.2015	230,4	28,8	150,8	18,4	
8	10.05.2015	145,9	18,2	78,8	9,6	
9	11.05.2015	20,4	2,6	10,7	1,3	
10	13.05.2015	3,4	0,4	0,0	0,0	
Probe nach 10. Zyklus, nach Waschen		Rückstand $m_{KW} [\text{g}]$	Anteil $R_{K10} [\%]$	Rückstand $m_{KW} [\text{g}]$	Anteil $R_{K10} [\%]$	
		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Zerfallsverlauf im Kristallisationsversuch



Bemerkungen:

Fig. 5 Example of a test protocol (Form 2: Documentation of the crystallization test)

Bild 5 Beispiel eines Laborformblattes (Formblatt 2: Dokumentation Kristallisationsversuch)

Befeuchtungs-Trocknungs-Verfahren mit Kristallisationsversuch

Formblatt 3 von 3: Auswertung und Klassifizierung

Projekt:	AAA-BBB	Gestein:	Tonschluffstein
Entnahmeort:	BK-01 / 14-14,5 m	Proben-/Versuchs-Nr.:	AAA-BBB-01-BTV
Entnahme durch:	A. Muster	Datum des Tests:	12.08.22 - 10.09.22
Entnahmedatum:	04.08.2022	Bearbeiter*in:	B. Muster

Gesteinsbeschreibung:	Dunkelgrau-schwarzer Tonschluffstein, feinkörnig, homogen, glimmerführend, geringer Karbonatgehalt, Feinschichtung senkrecht zur Bohrkernachse
Inhomogenitäten, Trennflächen:	Feinschichtung senkrecht zur Bohrkernachse
Entnahme / Lagerung:	Bohrkern, bergfeucht, luftdicht verpackt

Probendaten:	Trockenmasse m_{d0} :	880,9 g	natürlicher Wassergehalt:	2,1%
---------------------	-------------------------	---------	---------------------------	------

Zerfallsverlauf im Befeuchtungs-Trocknungs-Verfahren

Zyklus Nr.	größtes Stück R_{BT} (%)
1 R_{BT1}	7,43
2 R_{BT2}	0,69
3 R_{BT3}	0,06

Restanteil des größten verbleibenden Stückes R_{BT} (%)

Anzahl der Befeuchtungs-Trocknungs-Zyklen

Rückstand (größtes Stück) im Kristallisationsversuch:	$R_{K10} =$	0%
--------------------------------------------------------------	-------------	----

Auswertung und Klassifizierung

$I_V = R_{BT1} + R_{BT3} + R_{K10}$

Veränderlichkeitsindex I_V [%]

7,5

Veränderlichkeitsklasse

VK 5

VK	Veränderlichkeits-index I_V (%)	Zerfallsneigung
VK 0	285 - 300	nicht veränderlich (dauerhaft fest)
VK 1	190 - < 285	gering veränderlich
VK 2	145 - < 190	langsam veränderlich
VK 3	90 - < 145	mäßig schnell veränderlich
VK 4	25 - < 90	schnell und stark veränderlich
VK 5	< 25	unmittelbar und sehr stark veränderlich

Fig. 6 Example of a test protocol (Form 3: Evaluation and classification)
Bild 6 Beispiel eines Laborformblattes (Formblatt 3: Auswertung und Klassifizierung)

References

- [1] Nickmann, M. (2009): *Abgrenzung und Klassifizierung veränderlich fester Gesteine unter ingenieurgeologischen Aspekten*. Münchner Geologische Hefte, Reihe B, Heft 12, München.
- [2] DIN – Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN EN ISO 14689:2018-05 (2018) *Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels*. Berlin: Beuth Verlag.
- [3] Herzel, P. (2002) Empfehlung Nr. 20 des Arbeitskreises 3.3 „Versuchstechnik Fels“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V.: *Zufallsbeständigkeit von Gestein – Siebtrommelversuch*. Bautechnik 79, H. 2, S. 101–105. Berlin: Ernst & Sohn.
- [4] DIN – Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN EN 12370:2020-05 (2020) *Prüfverfahren für Naturstein – Bestimmung des Widerstandes gegen Kristallisation von Salzen*. Deutsche Fassung EN 12370:2020. Berlin: Beuth Verlag.
- [5] Nickmann, M. & Thuro, K. (2010) *Ingenieurgeologische Untersuchungen zur Charakterisierung veränderlich fester Gesteine*. geotechnik 33, H. 4, S. 320–325. Berlin: Ernst & Sohn.
- [6] DIN – Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN ISO 3310-1:2017-11 (2017) *Analysensiebe – Technische Anforderungen und Prüfung – Teil 1: Analysensiebe mit Metalldrahtgewebe* (ISO 3310-1:2016). Berlin: Beuth Verlag.
- [7] DIN – Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN ISO 3310-2:2015-07 (2015) *Analysensiebe – Technische Anforderungen und Prüfung – Teil 2: Analysensiebe mit Lochblechen* (ISO 3310-2:2013). Berlin: Beuth Verlag.
- [8] DIN – Deutsches Institut für Normung e. V.: E DIN EN ISO 16383-1:2024-08 (2024) *Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Felsproben – Teil 1: Bestimmung des Wassergehalts* (ISO/DIS 16383-1:2024). Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 16383-1:2024. Berlin: Beuth Verlag.
- [9] DIN – Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN EN ISO 17892-4:2017-04 (2017) *Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 4: Bestimmung der Korngrößenverteilung* (ISO 17892-4:2016). Deutsche Fassung EN ISO 17892-4:2016. Berlin: Beuth Verlag.
- [10] DIN – Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN 52111:1990-03 (1990) *Prüfung von Naturstein und Gesteinskörnungen; Kristallisationsversuch mit Natriumsulfat* (zurückgezogen). Berlin: Beuth Verlag.

Authors

Dr. rer. nat. Marion Nickmann
(corresponding author)
nickmann@tum.de
Technische Universität München
Lehrstuhl für Ingenieurgeologie
Arcisstraße 21
80333 Munich

Dr. rer. nat. Ralf J. Plinninger
geotechnik@plinninger.de
PG – Dr. Plinninger Geotechnik
Edenstetten 12
94505 Bernried

Dipl.-Ing. (Univ.) Tobias Baumgärtel
tobias.baumgaertel@ingerop.de
Ingérop Deutschland GmbH
Barthstraße 4
80339 Munich

How to Cite this Paper

Nickmann, M.; Baumgärtel, T.; Plinninger, R. J. (2025) *Determination of the slaking potential of rock using the combined method of wetting-drying and crystallization tests*. geotechnik 48, H. 2, S. 126–139.
<https://doi.org/10.1002/gete.202400039>

Zitieren Sie diesen Beitrag

Nickmann, M.; Baumgärtel, T.; Plinninger, R. J. (2025) *Bestimmung der Zerfallsneigung von Gesteinen im kombinierten Befeuchtungs-Trocknungs-Verfahren mit Kristallisationsversuch*. geotechnik 48, H. 2, S. 126–139. <https://doi.org/10.1002/gete.202400039>