

Frostsicherheit im Straßenbau – ein verbessertes Mineralkriterium

(Kurzfassung der Dissertation)

Hannes KUGLER

1 Problemstellung

Das Mineralkriterium (MK) ist Teil eines 3-stufigen Beurteilungsverfahrens der Frostempfindlichkeit ungebundener Tragschichtmaterialien im Straßenbau (ÖNORM B 4811; 2001). Überschreitet ein Material zunächst den granulometrischen Grenzwert von 5 M.-% < 63 µm, muss die Fraktion < 20µm hinsichtlich ihres Mineralbestandes gemäß MK untersucht werden. Dieses definiert mineralogische Grenzwerte für bestimmte (aktive) Tonminerale, bzw. Tonmineralgemische innerhalb der Fraktion < 20µm (s. Tab. 1).

Tab. 1: Grenzwerte des MK gemäß ÖNORM B 4811 (2001).

Anteil < 0,020 mm	Mineralbestand des Korngrößenanteiles < 0,020 mm
bis 3 M.-%	Keine Mineralbestimmung erforderlich, 100 % aktive Minerale zulässig
> 3 - 5 M.-%	Bei erprobten Materialien keine Mineralbestimmung erforderlich Bei nicht erprobten Materialien ist Folgendes zulässig: 1. Nicht aktive Minerale: 100 % 2. Gemenge aus nicht aktiven und aktiven Mineralen, wobei die nachstehend angeführten Grenzwerte (a bis e) und <i>zusätzlich</i> die Grenzwerte (f bis i) von Kombinationen der aktiven Minerale nicht überschritten werden dürfen: a) 10 % Kaolinitgruppe b) 30 % Chloritgruppe c) 30 % Vermiculitgruppe d) 40 % Smektitgruppe e) 50 % Glimmergruppe f) 60 % Glimmergruppe + Chloritgruppe g) 50 % Glimmergruppe + Chloritgruppe + Kaolinitgruppe h) 50 % Glimmergruppe + Kaolinitgruppe i) 40 % Glimmergruppe + Chloritgruppe + Kaolinitgruppe + Smektitgruppe Weitere hier nicht angeführte Mischungen von Schichtsilikaten sind bis zu einer Gesamtsumme von max. 40 % zulässig, ansonsten sind Frosthebungsversuche durchzuführen. Zwischen 3 M.-% (100% aktive Minerale zulässig) und 5 M.-% (Grenzwerte a-i) sind die zulässigen Grenzwerte zu interpolieren. 3. Wenn auf Grund einer intensiven rotbraunen Färbung des Materials der Verdacht auf das Vorhandensein von Eisenhydroxiden besteht, sind ebenfalls Frosthebungsversuche durchzuführen.
> 5 - 8 M.-%	Bei einem Anteil von 8 M.-% sind nur mehr nicht aktive Minerale zulässig. Zw. 5 – 8 % sind die entsprechenden zulässigen Werte zu interpolieren.

Werden auch diese Grenzwerte überschritten, müssen Frosthebungsversuche durchgeführt werden, welche die Verwendung in der Praxis simulieren sollen und die endgültige Entscheidung hinsichtlich der Frostempfindlichkeit erlauben.

Das MK dient einerseits dem Zweck, Materialien nicht nur auf Basis der hinsichtlich der Frostempfindlichkeit wenig indikativen Kornverteilung zu überprüfen und soll andererseits zeit- und kostenintensive Frosthebungsversuche vermeiden helfen.

Auf Grund zahlreicher Erfahrungen zeigte sich aber, dass zum Teil große Diskrepanzen zwischen der Beurteilung von Materialien nach dem MK und dem tatsächlichen Verhalten in der Praxis bestehen.

In vielen Fällen stellten sich die mineralogischen Grenzwerte als zu streng heraus, sodass potenziell geeignete Materialien das MK oft nicht bestanden.

Darüberhinaus bestand das Problem zeitraubender, uneinheitlicher und ungenauer mineralogischer Auswertungen, was weiterer Anlass zur Kritik am MK war.

2 Ziele

Einerseits sollte die mineralogische Auswertung durch Integration neuer Methoden genauer und reproduzierbarer werden. Auf Basis der verbesserten Analytik sollten durch Gegenüberstellung mit den Ergebnissen der Frosthebungsversuche die Grenzwerte des MKs verifiziert und gegebenenfalls modifiziert werden.

Andererseits sollte das MK durch Untersuchung von Schnelltests beschleunigt werden und umfangreiche Mineralanalysen nur mehr in unklaren Fällen zur Anwendung kommen.

Zur Umsetzung dieser Ziele wurde das Forschungsvorhaben „Frostsicherheit im Straßenbau – ein neues Mineralkriterium“ unter der Leitung von Univ. Prof. Dr. Bernd SCHWAIGHOFER initiiert und dankenswerter Weise vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie finanziell unterstützt.

3 Material und Methoden

Es wurden 15 teils sehr unterschiedliche, überwiegend frostsichere und bereits verwendete Materialien untersucht.

An den abgesiebten Fraktionen < 20µm wurden möglichst genaue Mineralanalysen (unter Einbeziehung besonders der Simultanen Thermoanalyse und mineralogischer Standards), granulometrische und geochemische Untersuchungen durchgeführt.

Die zur Beschleunigung der Beurteilung der Frostempfindlichkeit vorgesehenen Schnelltests wurden meist ebenfalls an den Fraktionen < 20µm durchgeführt und umfassten folgende Untersuchungen:

- Wasseraufnahme nach Enslin (DIN 18132; 1995)
- Wasserdampfadsorption (DIN EN ISO 12571; 2000)
- Methylenblauadsorption (ÖNORM EN 933-9; 1999; modifiziert)
- Kationenaustauschkapazität mittels Cu-Komplex (KAHR, G., 1998)
- Sandäquivalent (Fraktion < 2mm) (ÖNORM prEN 933-11; Entwurf 1995)
- Spezifische Oberflächenladung (Fraktion < 2µm) (DIN 66131; 1993)

Die ermittelten Mineralgehalte sowie die Ergebnisse der Schnelltests wurden schließlich den parallel durchgeführten Frosthebungsversuchen der Gesamtkörnungen gegenübergestellt, um Zusammenhänge zu erkennen und regressiv auswerten zu können.

4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Aus dem Vergleich von 3 mineralogischen Auswerteverfahren stellte sich die so bezeichnete komplexe Mineralanalyse (KMA) als die vertrauenswürdigste Methode heraus.

Diese berücksichtigt - neben den Ergebnissen der Röntgendiffraktometrie als Methode zentraler Bedeutung - auch die Resultate der Simultanen Thermoanalyse und der geochemischen Verrechnung. Die KMA ist somit in der Lage, im Wesentlichen alle Minerale quantitativ zu erfassen, auch jene, die bisher vom Mineralkriterium unberücksichtigt blieben und nach alter Auswertemethodik zu einer Überbestimmung der frostgefährlichen Tonminerale führten.

Die Resultate der KMA zeigten, dass 6 der 15 untersuchten Materialien nach den bisherigen mineralogischen Grenzwerten als nicht frostsicher einzustufen und daher Frosthebungstests zu unterziehen wären. Diese aber qualifizierten alle Materialien als frostsicher und bestätigten damit die Diskrepanz zwischen bestehendem Mineralkriterium und Frosthebungsversuchen, bzw. Erfahrungen aus der Praxis.

Nach Vorliegen sämtlicher Resultate wurden umfangreiche Korrelationen durchgeführt, wobei sich neben der gemeinsamen Betrachtung aller Materialien eine Differenzierung in genetische und / oder petrologische Materialgruppen z.T. als sinnvoll herausstellte.

Durch Gegenüberstellung der Ergebnisse der Frosthebungsversuche mit den ermittelten Gehalten an Mineralgruppen, bzw. an bestimmten Mineralgemischen konnten kaum signifikante Zusammenhänge festgestellt werden. Lediglich wenige Mineralmischungen zeigten einigermaßen frostrelevante Eigenschaften im Sinne erkennbarer Zusammenhänge mit den Frosthebungen. Für diese Mischungen wurden entsprechende Grenzwerte vorgeschlagen, welche in das bestehende Mineralkriterium ergänzend integriert werden könnten.

Gegenüberstellungen von Schnelltests mit Mineralgehalten, besonders mit den als frostrelevant identifizierten, bzw. im Mineralkriterium angegebenen, erbrachten kaum deutlichere Zusammenhänge. Vergleichbar war die Situation bei Gegenüberstellungen der Schnelltests mit den Frosthebungsversuchen, wo sich ebenfalls nur punktuell bei bestimmten Materialgruppen und Versuchen Zusammenhänge erahnen ließen.

Aus den ermittelten Resultaten aller Analysen, Versuche und Korrelationen können folgende wesentliche Schlussfolgerungen abgeleitet werden:

1. Bei der KMA handelt es sich um die vertrauenswürdigste der untersuchten mineralogischen Auswertemethodiken. Durch Integration der Stärken verschiedener Methoden können im Wesentlichen alle Minerale berücksichtigt werden, eine damit nach alter Vorgangsweise einhergehende Überbestimmung aktiver Tonminerale wird dadurch unterbunden. Auf Grund eines vergleichsweise nur geringen Mehraufwandes an Zeit, Arbeit und Kosten erscheint die in dieser Arbeit vorgeschlagene Durchführung einer Routine-KMA als sehr geeignet für künftige mineralogische Beurteilungen sowie als Basis für weitere Verbesserungen des Mineralkriteriums.

Wesentliche Voraussetzungen für eine qualitativ hochwertige und gleichzeitig reproduzierbare KMA sind: Einerseits eine möglichst breite Palette an mineralischen Standards zu Verfügung zu haben (und auch zu stellen) und andererseits eine standardisierte Vorgangsweise, bzw. Auswerteroutine laborübergreifend zu erarbeiten.

2. Auf Basis der untersuchten Proben konnten vergleichsweise frostrelevante Mineralmischungen identifiziert werden (s. Abb. 1).

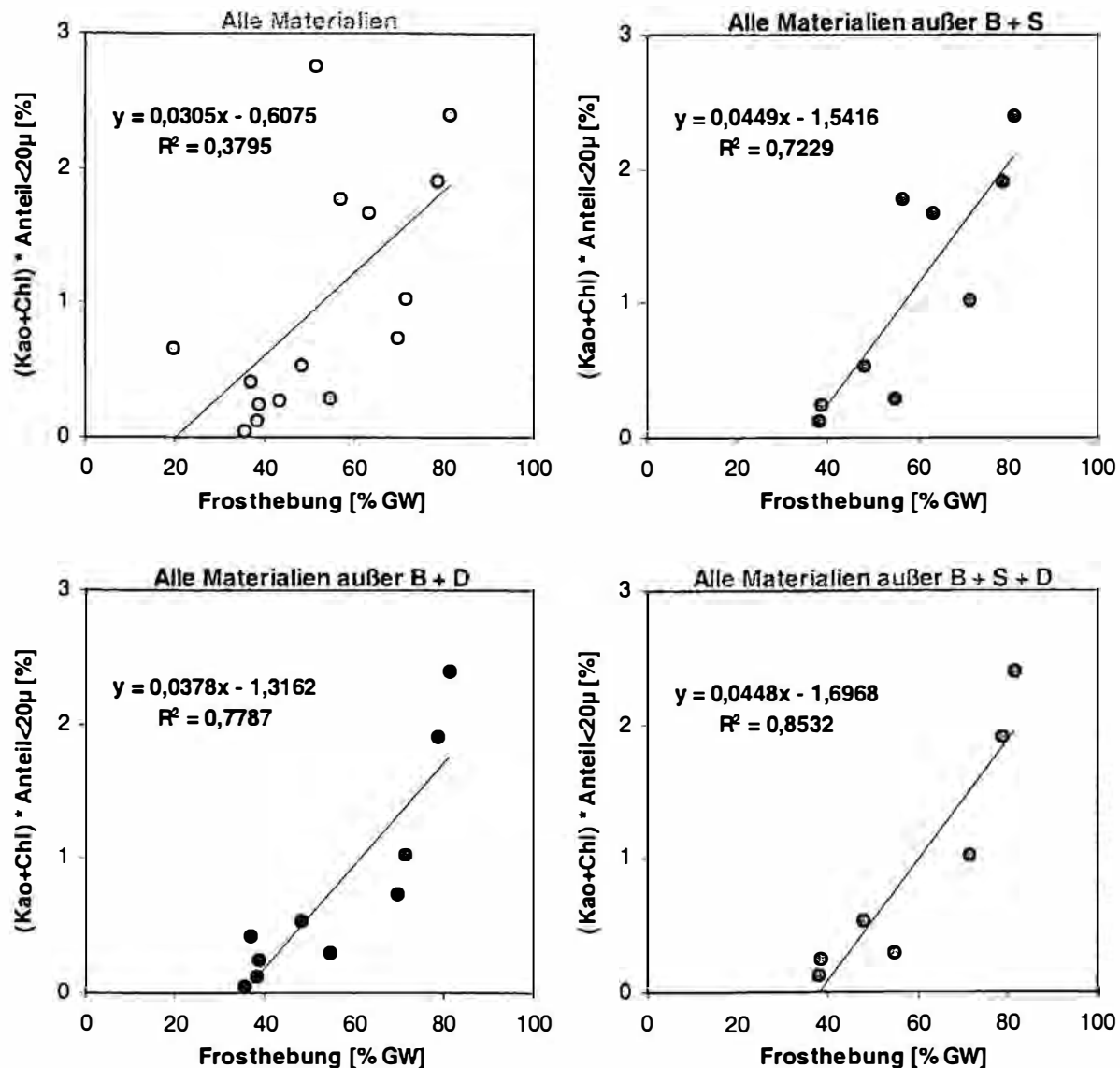


Abb. 1: Korrelation der Summe von Kaolinit + Chlorit (gewichtet um den Anteil < 20µ) mit den Frosthebungen in Bezug auf verschiedene Materialgruppen (B = Basalte, D = Diabase, S = Serpentine).

Für diese Mineralmischungen wurden Grenzwerte vorgeschlagen, welche mit den bereits im Mineralkriterium existierenden zu harmonisieren scheinen und diese ergänzen können.

3. Abgesehen von der Gruppe der „Weiteren, nicht angeführten Mischungen“ (s. Tab. 1) wurden angesichts vager Zusammenhänge keine Grenzwertveränderungen vorgeschlagen. Vielmehr erwies sich als sinnvoll, die bestehenden Grenzwerte nicht isoliert voneinander, sondern gesamtheitlich zu betrachten. Zahlreiche Korrelationen zeigten, dass einzelne Minerale, zum Teil auch Mineralgemische alleine keine erkennbaren Zusammenhänge mit den Frosthebungen aufwiesen. Als Konsequenz der in den meisten Fällen offenbar geringen Relevanz einzelner Minerale oder Mineralmischungen sollte das

Überschreiten eines einzigen Grenzwertes auch nicht automatisch dazu führen, daß ein Material das MK nicht bestehen kann.

Daher wird empfohlen, zur Beurteilung der Frostepfindlichkeit eines Materials sämtliche positiven und negativen relativen Grenzwert-Abweichungen der in diesem Material enthaltenen frostrelevanten Minerale oder Mineralgemische in Form eines Summenparameters zu berücksichtigen.

Abb. 2 zeigt beispielhaft die relativen Grenzwertabweichungen der im Kies K1 enthaltenen Minerale, bzw. Mineralmischungen gemäß MK. Bei genauer Befolgung des MKs würde dieses Material mineralogisch trotz massiver Grenzwertunterschreitungen nicht bestehen, weil es zu einer einzigen minimalen Grenzwertüberschreitung kommt.

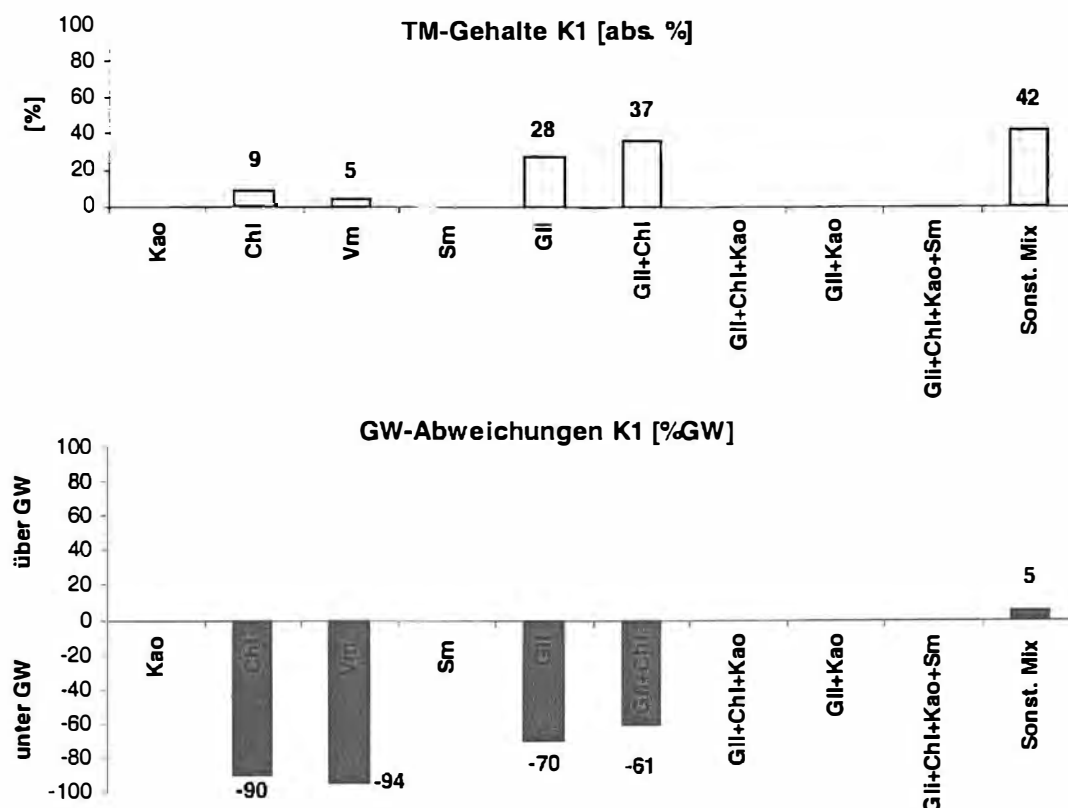


Abb. 2: Tonmineralgehalte des Kiesel K1 (oben) gemäß KMA und die entsprechenden korngößenabhängigen relativen Grenzwert (=GW)-Abweichungen in Bezug auf das MK (unten). Kao = Kaolinit, Chl = Chlorit, Vm = Vermikulit, Sm = Smektit, Sonst. Mix = weitere im MK nicht angeführte Mischungen.

Wird hingegen das einfache arithmetische Mittel aus den eruierten relativen Grenzwertabweichungen gebildet, zeigt sich ein wesentlich realistischeres Bild:

$$\text{Mittlere GW-Abweichung}_{K1} [\%] = \frac{\sum_{j=1}^n \text{GW-Abweichungen}_j}{n} = \frac{(-90) + (-94) + (-70) + (-61) + 5}{5} = -62$$

n = Anzahl der identifizierten aktiven Mineralgruppen, bzw. -gemische, für die im MK Grenzwerte existieren.

Gesamtheitlich betrachtet ergibt sich rechnerisch somit eine deutliche Grenzwertunterschreitung (-62%). Dies korrespondiert mit dem Frosthebungsversuch bedeutend besser, weil dieser lediglich 55% der erlaubten Frosthebung aufweist, der Kies also eindeutig als frostsicher zu bezeichnen ist.

Bei der Gegenüberstellung dieser gemittelten, summarischen Grenzwert-Abweichungen mit den Frosthebungen zeigten sich auch vergleichsweise gute Zusammenhänge. Die Beurteilung der Frostempfindlichkeit eines Materials mittels dieses sämtliche Abweichungen berücksichtigenden Summenparameters dürfte auf Basis der durchgeführten Untersuchungen daher vertrauenswürdiger sein als die bisherige Handhabung der Grenzwerte des Mineralkriteriums.

Die auf Grund der Summenparameter durchgeführten mineralogischen Beurteilungen ergaben schließlich, dass nur mehr (max.) 2 statt bisher 6 der 15 Materialien das Mineralkriterium nicht bestehen würden, obwohl an den bestehenden Grenzwerten nichts verändert wurde. Diese Resultate korrespondieren wesentlich besser mit den Ergebnissen der Frosthebungsversuche, welche alle Materialien als frostsicher qualifizierten.

4. Die durchgeführten Schnelltests erwiesen sich sowohl zur rascheren Bestimmung frostrelevanter Minerale oder Mineralgemische, als auch hinsichtlich der direkten Vorhersagbarkeit der Frosthebung als zumeist wenig geeignet.

Die Ursachen sind hauptsächlich darin zu finden, dass die meisten Schnelltests hauptsächlich auf die Bestimmung quellbarer Minerale abzielen und für die als frost(hebungs)relevant identifizierten Minerale, bzw. Mineralgemische wahrscheinlich kaum indikativ sind. Darüberhinaus beziehen sich die Schnelltests meist auf die Fraktion < 20µm, welche zwar unbestrittener Maßen von großer Bedeutung ist, etwa 95% der Masse eines Materials bleiben dadurch aber unberücksichtigt.

Es liegt daher nahe, Schnelltests zu entwickeln, die sich im Idealfall auf die Gesamtfraktion eines Materials beziehen. In diesem Zusammenhang wäre etwa ein Wasseraufnahmetest nach dem Prinzip von Enslin oder ein beschleunigter Frosthebeversuch überlegenswert. Dies bedürfte aber eigener Entwicklungs- und Forschungsarbeiten.

5. Angesichts der geringen Probenzahl, teils sehr unterschiedlicher Materialien, aber auch wegen der geringen Spreizung der Frosthebungswerte waren in vielen Fällen definitive (statistische) Aussagen nicht möglich.

Die Bedeutung der untersuchten Schnelltests für ein künftiges Mineralkriterium kann an Hand der bearbeiteten Proben trotz schwacher Zusammenhänge nicht endgültig beurteilt, bzw. deren Sinnhaftigkeit nicht definitiv ausgeschlossen werden.

Die oben angeführten Rahmenbedingungen waren vermutlich auch ein wesentlicher Mitgrund dafür, dass in vielen Fällen nur sehr schwache mineralogische Korrelationen ermittelt wurden und Grenzwert-Ableitungen oder – Überprüfungen weiterer Verifizierung bedürfen.

Daher wird empfohlen, die erhaltenen Ergebnisse mit weiteren Untersuchungen zu untermauern. Eine Materialgruppen-spezifische Differenzierung, bzw. Vorgangsweise wäre dabei anzuraten, wobei nur Materialien mit stark unterschiedlicher Frostempfindlichkeit eine große Wertespreizung hervorrufen und damit das Erkennen von Zusammenhängen erleichtern.

Quellenverzeichnis

DIN 18132 (1995): Bestimmung des Wasseraufnahmevermögens.

DIN 66131 (1993): Bestimmung der spezifischen Oberfläche von Feststoffen durch Gasadsorption nach Brunauer, Emmett, Teller (BET). 5 S.. Deutsches Inst. f. Normung.

DIN EN ISO 12571 (2000): Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten. Bestimmung der hygroskopischen Sorptionseigenschaften. Europäisches Komitee für Normung (CEN), Brüssel.

KAHR, G. (1998): Methoden zur Bestimmung des Smektitgehaltes von Bentoniten. - In: K.-H. HENNING & J. KASBOHM (Hrsg.): Tone in der Geotechnik und Baupraxis. Berichte der Deutschen Ton- und Tonmineralgruppe, 163-172, Greifswald, 1998.

ÖNORM B 4810 (2001): Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen. Frostsicherheit von Gemischen für ungebundene Tragschichten im Straßen- und Flugplatzbau.

ÖNORM B 4811 (2001): Gesteinskörnungen für ungebundene Tragschichten im Straßen- und Flugplatzbau. Beurteilung der Frostsicherheit.

ÖNORM EN 933-9 (Feb. 1999): Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen. Teil 9: Beurteilung von Feinanteilen, Methylenblau-Verfahren.

ÖNORM prEN 933-11 (Entwurf 1995): Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen; Teil 11: Beurteilung von Feinanteilen - Sandäquivalent-Verfahren.

Autor:

Vertr.-Ass. DI Dr. Hannes KUGLER:
Institut für Angewandte Geologie, Universität für Bodenkultur Wien
Peter Jordan-Straße 70, 1190 Wien
e-mail: kugler@edv1.boku.ac.at