

6. Prüfmethode für Gesteinskörnungen und Korngemische

Gesteinskörnungen und Korngemische werden in Form von Schotter und Kies sowohl in gebundener Form als Zuschlagstoff für Asphalt und Beton als auch in ungebundener Form für Schüttungen und Tragschichten in der Bauindustrie verwendet. Die jährlich verwendeten Mengen liegen im Bereich von ca. 12 Millionen Tonnen. Natürlich werden an diese Baustoffe Qualitätsanforderungen gestellt, welche durch eine Reihe von Prüfungen belegt werden müssen.

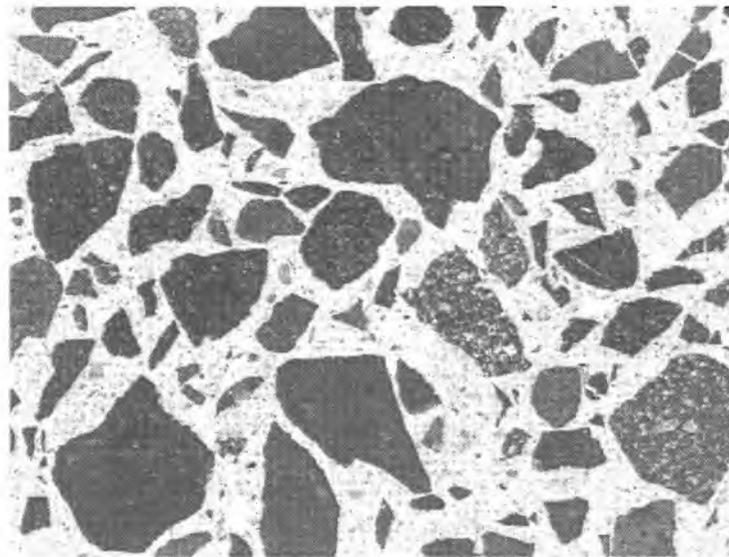


Abb. 35: Zuschlagskörnungen in einem Betonprobenkörper

Allgemeines

Körnungen: Je nach Herkunft des Materials unterscheidet man:

Natürliche Gesteinskörnungen werden einem mineralischen Vorkommen entnommen und unterliegen ausschließlich einer mechanischen Aufbereitung (Kies und Schotter).

Künstliche Gesteinskörnungen sind gleichfalls mineralischen Ursprungs, entstammen aber einem industriellen Prozess durch thermische oder „sonstige“ Veränderungen (Hochofenschlacke, Schlackensand, Stahlschrott, Blähton, Glasbruch etc.).

Recycling-Gesteinskörnungen sind aufbereitetes anorganisches Material, welches zuvor als Baustoff eingesetzt war (z.B. Betondecken).

Korngruppen werden unter Verwendung zweier Siebgrößen (d/D) bezeichnet, wobei die Toleranzen für den Siebdurchgang (Überkorn und Unterkorn) einzuhalten sind. Übliche Korngruppen sind z.B.: 0/2 – 2/4 – 4/8 – 8/16 mm etc.

Korngemische müssen grobe und feine Anteile enthalten und setzen sich aus mehreren Korngruppen zusammen. Man unterscheidet natürliche und künstlich zusammen gesetzte Korngemische. Für letztere können zusätzliche Anforderungen durch festgelegte Zwischensiebe gelten.

Fullerkurve: Die künstliche Zusammensetzung von Korngemischen aus einzelnen Korngruppen erfolgt zumeist gemäß einer Fullerkurve. Im Gegensatz zu natürlichen Korngemischen erhöht sich die Tragfestigkeit einer Schotterschicht, wenn die Kornverteilungskurve einen parabolischen Verlauf besitzt – es sind dann die Zwischenräume zwischen den einzelnen Körnern optimal mit Stützkorn ausgefüllt. Allerdings ist hier zu bedenken, dass die Maximierung der Tragfähigkeit auf Kosten der Entwässerung geht.

Die Berechnung der Fullerkurve erfolgt nach der Formel: $\%_{x/y}=(d/D)^q$.

$\%_{x/y}$: Anteil der gesuchten Kornfraktion im Korngemisch

d: obere Kornbegrenzung der gesuchten Fraktion

D: Größtkorn des Korngemisches

q: Parabelexponent. (liegt zumeist zwischen 0,4 und 0,6)

Steine: Bezeichnung für Korngrößen über 63 mm.

Schotter: Durch Brechen zerkleinerte Mineralstoffe in Korngrößen zwischen 32 und 63 mm.

Splitt: Bezeichnung für Korngrößen zwischen 2 - 32 mm, welche aus gebrochenem Gestein hergestellt werden.

Kies: Bezeichnung für Korngrößen zwischen 2 - 63 mm, welche aus Rundkorn bestehen.

Sand: Bezeichnung für Korngrößen zwischen 0,063 - 2 mm. Im technischen Gebrauch werden aus Korngemische bis 4 oder 5 mm Größtkorn als Sand bezeichnet.

Silt bzw. Schluff: Dies sind Korngrößen zwischen 0,002 - 0,063 mm.

Ton: Damit werden Korngrößen <0,002 mm bezeichnet – auch wenn diese nicht aus Tonmineralen bestehen. Im Sinne der Korngrößenmesstechnik werden somit auch Quarz- oder Kalksteinmehle, die kleiner als 0,002 mm sind, als „Ton“ bezeichnet. Umgangssprachlich werden aber auch bindige Feinkorngemische (Lehm, Löss, Mergel etc.) als „Ton“ bezeichnet, da sie zum überwiegenden Teil aus Tonmineralen aufgebaut sind. Tonminerale lassen sich verschiedenen Gruppen zuordnen. Die häufigsten Gruppen sind „Kaolinitgruppe“, „Glimmergruppe“, „Chloritgruppe“ und „Smektitgruppe“.

Unter **Füller** werden heute Gesteinskörnungen verstanden, deren überwiegender Teil (70 %) durch das 0,063 mm (früher 0,09 mm) Sieb hindurch geht und welchen Baustoffen zur Erreichung bestimmter Eigenschaften zugegeben werden können. Wenn diese feinen Anteile aus dem gleichen Gestein gewonnen worden sind wie auch der Sand und Splitt, spricht man von

„Eigenfüller“. Da sich in dieser feinen Fraktion jedoch die Verwitterungsprodukte (Tonminerale) anhäufen, welche z.B. durch Quellung qualitätsmindernd wirken, wird diese Fraktion sehr oft durch Kalksteinmehl ersetzt, welches dann als „Fremdfüller“ bezeichnet wird. Dieser Fremdfüller verbessert auch einige Eigenschaften des Produktes – so wird beispielsweise Beton geschmeidiger und besser pumpbar.

Festigkeitsprüfung

Für die Festigkeitsprüfung stehen mehrere Prüfmethode zur Verfügung. Die am meisten angewendeten sind:

Die Los-Angeles-Prüfung

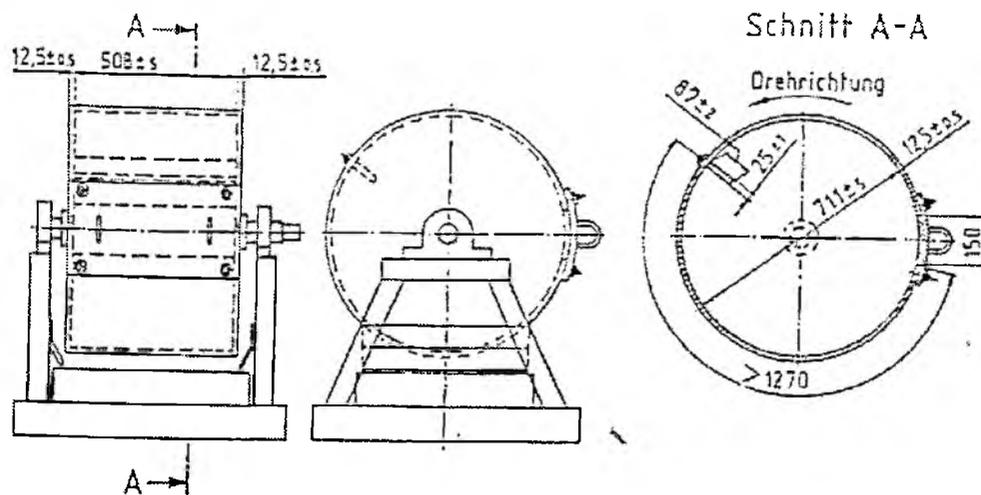


Abb. 36: Skizze der Los-Angeles-Trommel aus ÖNORM B 3128.

Diese Prüfmethode, welche auch Schlagabriebsprüfung genannt wird, gilt in Österreich als Standardtest für die Festigkeit von Körnungen und Korngemischen. Es werden zumeist 5 kg Prüfgut mit einer definierten Menge von Stahlkugeln in eine Stahltrommel mit 71 cm Durchmesser eingebracht. In dieser Trommel befindet sich eine Leiste, welche bei Drehung der Trommel (31 – 32 U/min) die Stahlkugeln und das Prüfgut in eine gewisse Höhe bringt, von wo Kugeln und Prüfmaterial gemeinsam zurück auf den Boden fallen. Dabei erfährt das Prüfmaterial einen „Schlag“ durch die Stahlkugeln, der „Abrieb“ erfolgt durch die drehende Bewegung der Trommel, wodurch Kugeln und Material durchmengt werden. Nach 500 Umdrehungen der Mühle wird das beanspruchte Material entnommen und die Feianteile über einem Sieb mit 1,6 mm Maschenweite ausgewaschen. Die Differenz zwischen der Einwaage vor der Prüfung und der Rückwaage des Materials nach dem Auswaschen der Feianteile

wird durch die Einwaage dividiert. Dieser Wert mit 100 multipliziert ergibt den Los-Angeles-Wert in Masse-%. Je geringer der Wert, desto höher ist die Gesteinsfestigkeit.

Die Prüfung simuliert die Belastung des Gesteins unter der Einwirkung von Schwerverkehrachsen in Bereichen, wo diese beschleunigt oder abgebremst werden (z.B. Kreisverkehreinfahrten, Busbuchten etc.)

Der Schlagzertrümmerungswert

Der Schlagzertrümmerungswert ist die in der Bundesrepublik Deutschland bevorzugte Prüfmethode für die Gesteinsfestigkeit im Straßenbau und wird in Österreich zur Prüfung von Gleisschotter eingesetzt. Bei dieser Prüfung wird ein 50 kg schweres Gewicht aus 50 cm Höhe auf die in einem Topf eingebrachte Probe fallen gelassen. Gemessen wird wieder die Absplitterung der Prüfkörnung. Simuliert wird bei diesem Test das Verhalten des Gesteines unter einer schlagenden Belastung, wie sie z.B. unter Bahnschwellen auftritt.

Die Deval-Prüfung

Diese Prüfung diente zur Ermittlung des Abschleifverlustes eines Gesteins. 50 Körner mit einem Gesamtgewicht von 5 kg wurden ohne Zusatz von Reibmittel geprüft. Genormt war diese Prüfung im Rahmen einer ASTM, welche von 1908 bis 1972 verwendet wurde. Heute wird der 1978 in Frankreich entwickelte **Micro-Deval-Test** verwendet, welcher nunmehr auch als europäische Norm vorliegt. Geprüft werden kann jede Kornklasse und jedes Korngemisch, wobei die Masse der Prüfkörnung 500 g beträgt. Zugesezt wird eine Reibmittelladung aus 5000 g Stahlkugeln mit einem Durchmesser von 10 mm. Die Prüfung kann nass oder trocken erfolgen. Nach der Beanspruchung wird das Material über dem 1,6 mm Sieb gewaschen und der verbleibende Rest getrocknet. Es wird wieder die Differenz zwischen Einwaage und Rückwaage gebildet. Dieser Wert dividiert durch 5 ergibt den Devalwert.

In Österreich wird die Micro-Devalprüfung nur untergeordnet eingesetzt.

Korngrößenanalyse

Durch die Korngrößenanalyse wird die Korngrößenzusammensetzung von Korngemischen beschrieben. Unter dem Begriff der Korngröße wird allerdings nicht die längste Kornachse verstanden, sondern die Breite des Kornes senkrecht dazu.

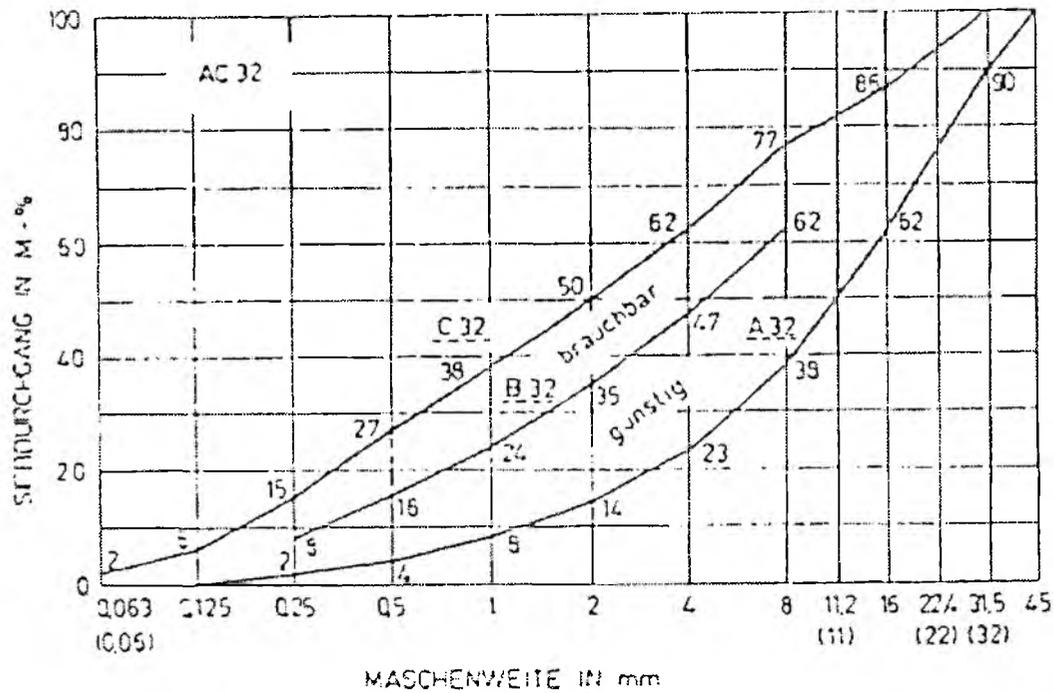


Abb. 37: Beispiel einer Kornverteilungskurve aus der ÖNORM B 4710.

Die Ermittlung der Korngrößen wird durch Siebung der Probe durchgeführt. Die graphische Darstellung der Zusammensetzung der Korngemische erfolgt zeichnerisch in einem Diagramm, der sogenannten **Kornverteilungskurve**. Auf der Abszisse (der horizontalen Achse) werden die Siebdurchmesser in logarithmischem Maßstab aufgetragen, d.h. die sich verdoppelnden Lochdurchmesser haben gleiche Abstände, auf der Ordinate (der lotrechten Achse) werden in gleichmäßiger Teilung die jeweiligen Gesamtsiebdurchgänge in % des gesamten Probengewichtes dargestellt.

Kornform

Die **Kornform** von Gesteinskörnungen beeinflusst die Kornfestigkeit und den Hohlraumgehalt des Korngemisches oder des daraus erzeugten Asphalt- oder Betonmörtels. Die Kornform soll möglichst rund und gedrunen sein, d.h. die Länge soll nicht mehr als den dreifache Korndurchmesser betragen. Bestimmt wird die Kornform nach EN 933-3, der Plattigkeitskennzahl FI (mit der Kornformschiebelehre) bzw. nach EN 933-4, der Kornformkennzahl SI (mit Stabsieben). Die Plattigkeitskennzahl ist das Referenzprüfverfahren.

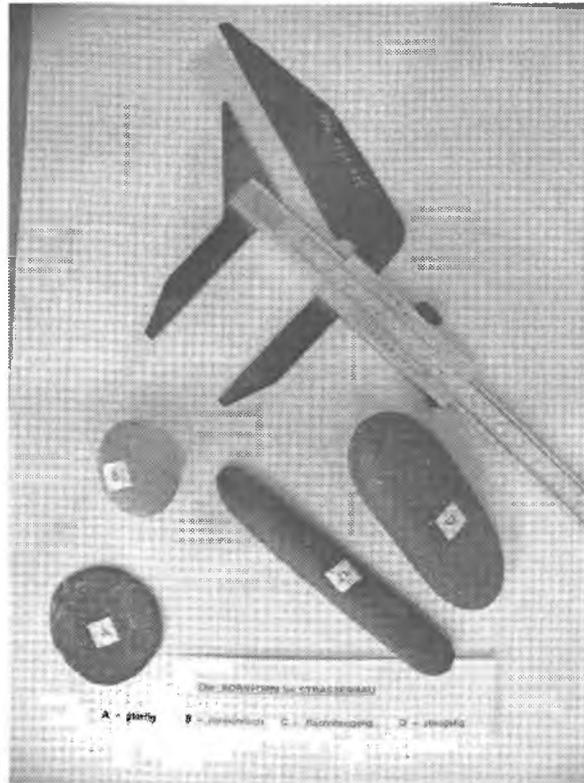


Abb. 38: Kornformschiebelehre zur Bestimmung der Kornform nach ÖNORM EN 933-3.

Kornoberfläche und Bruchflächigkeit

Durch diese Parameter wird die Oberflächenausbildung der einzelnen Gesteinskörner beschrieben, welche entsprechende Auswirkungen auf die technischen Eigenschaften der Korngemische hat.

Kornoberfläche

Die Ausbildung der Kornoberfläche beeinflusst unterschiedlich die Eigenschaften der Zuschlagstoffe. Glatte Körner verhalten sich im Mörtel geschmeidiger; raue, poröse oder kavernöse Kornoberflächen bewirken einen erhöhten Bindemittelanteil. Absandende oder umkrustete Oberflächen senken die Festigkeit des Baustoffes. Harte Körner mit einer hohen Mikrorauigkeit erhöhen die Polierresistenz.

Bruchflächigkeit

Die Bruchflächigkeit der Körnungen wirkt sich auf den Hohlraumgehalt und die Standfestigkeit der Baumaterialien aus. Durch die Erhöhung des Rundkornanteils nimmt der Hohlraumgehalt ab. Dies ergibt einen geringeren Bindemittelbedarf, ein geringeres Wasseraufnahmevermögen, eine geringere Wasserdurchlässigkeit und eine größere Frostbeständigkeit. Rundgeformtes Material bewirkt größere Setzungen als dies bei Mineralgemischen aus gebrochenem Material der Fall ist.

Man unterscheidet:

Rundkorn: ein Korn besitzt zumindest noch 50% Oberflächenanteil mit natürlicher Rundung.

Kantkorn: liegt dann vor, wenn der Bruchflächenanteil $> 50\%$ ist.

Bei einem **Brechkorn** muss der Bruchflächenanteil über 90% betragen.

Polierresistenz

Die in Asphalt- oder Betonstraßendecken eingebauten Körnungen werden durch die Autoreifen poliert, wodurch die Straße ihre Griffigkeit verliert und die Unfallgefahr entsprechend ansteigt. Daher werden an die verwendeten Gesteine entsprechende Anforderungen gestellt.

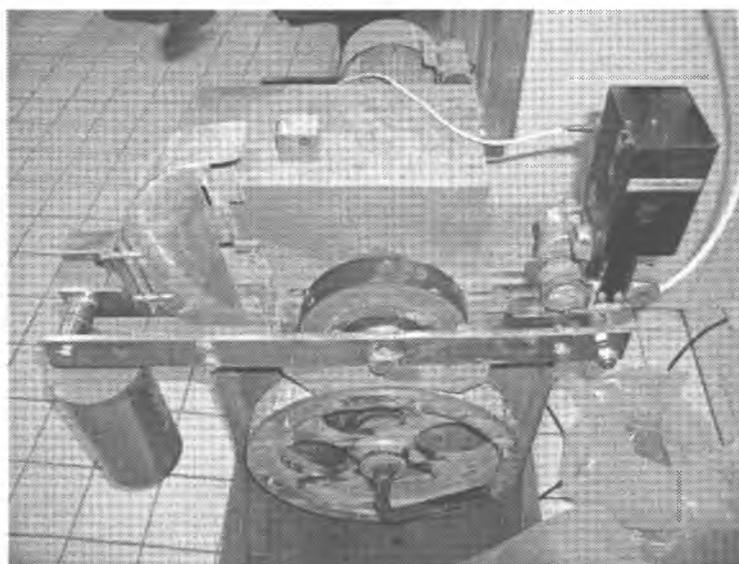


Abb.39: Prüfmaschine zur Ermittlung des PSV-Wertes.



Abb. 40: Pendelgerät und Prüfkörper zur Bestimmung der Griffigkeit.

An Prüfmethoden stehen folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

PSV-Wert (Polish-Stone-Value)

Bei diesem Polierversuch steht ein Vollgummireifen (=Polierrad) mit einem zweiten Rad (=Prüfrad) in Kontakt, an dessen Umfangseite insgesamt 14 Probekörper befestigt sind (drei Prüfkörper pro Probe = 4 Proben und zwei Vergleichskörper aus Normgestein). Jeder davon besteht aus Splittkörnern der Fraktion 8/10 mm, die in Kunststoff eingebettet sind. Das Prüfrad besitzt einen Durchmesser von 40 cm, eine Breite von 4,5 cm und wird mit 320 U/min angetrieben, wobei der Gummireifen mit einem Druck von 725 N angepresst wird. Die Versuchsdauer beträgt 6 Stunden, wobei kontinuierlich Wasser und Poliermittel zugegeben werden. In den ersten drei Stunden wird mit grobem Korund, in den weiteren drei Stunden mit feinem Korund poliert. Danach wird der Reibungsbeiwert mit Hilfe des modifizierten britischen Pendelgerätes (Skid Resistance Tester – SRT) bestimmt.

Weitere Prüfmethoden der europäischen Normung sind der **Aggregate-Abrasion-Value** und der **Nordische Abriebswert**.

Frostbeständigkeit

Unter Frostbeständigkeit versteht man die Beständigkeit des Einzelkorns gegenüber der Absplitterung und Gefügeauflockerung unter Frosteinwirkung. Dieser Begriff wird sehr oft mit „Frostsicherheit“ verwechselt.

Die wassergesättigte Prüfkörnung wird luftdicht in Kunststoffsäcken eingeschweißt. Diese Säckchen werden zunächst mindestens 30 Minuten in Eiswasser gelagert und danach drei Stunden in ein Kältebad von -20°C gebracht. Anschließend werden sie in ein Wärmebad von +20°C umgelagert, worin sie mindestens 2 Stunden verbleiben. Dieser Frost-Tau-Wechsel wird zehnmal wiederholt. Danach werden die Säcke aufgeschnitten und der Inhalt in einer Schale bis zur Massenkonzanz getrocknet. Anschließend werden die Prüfkörner auf Sieben mit der halben Nennweite der unteren Kornklassengrenze sowie auf dem 1,6 mm Sieb abgeseibt, die Siebdurchgänge genau abgewogen. Die Absplitterung darf bei Rund-, Kant- und Brechkörnungen die 2 % Grenze nicht überschreiten. Für Edelbrech- und Edelkantkorn gilt die 1 % Grenze.

Nach Feststellung der Absplitterung wird an den Körnungen der Los-Angeles-Test durchgeführt. Im Vergleich zu einer unbefrostenen Probe darf der LA-Wert der befrostenen Probe um max. 20 % schlechter sein.

Proctordichte und Verfeinerungsgrad

Beim Proctorversuch wird mit einem Fallgewicht (Proctorhammer) auf ein in einem Topf eingebauten Korngemisch eine bestimmte Verdichtungsenergie übertragen, durch welche das Korngerüst verdichtet wird. Aus dem Volumen des Proctortopfes und dem Gewicht der eingebauten Probe kann deren Dichte errechnet werden. Der Versuch wird mit steigenden Wassergehalten durchgeführt, wodurch zunächst auch die Dichte des eingebauten Materials ansteigt. Ab dem Erreichen der Wassersättigung fällt die Dichte wieder ab. Die höchste im Versuch erreichte Dichte wird als Proctordichte bezeichnet, ihr Wassergehalt als „optimaler Wassergehalt“. Dieser ist beim Bau von Tragschichten einzuhalten.

Je nach Verdichtungsenergie spricht man von „Standardproctor“, auch „einfacher Proctorversuch“ genannt oder von einem „verbesserten“ bzw. „modifizierten Proctorversuch“, bei welchem die Verdichtungsenergie das Vierfache des Wertes beim Standardproctorversuch ist. Der einfache Proctorversuch wird zumeist für bodenmechanische Fragen, der modifizierte für Prüfungen im Straßenbau herangezogen.

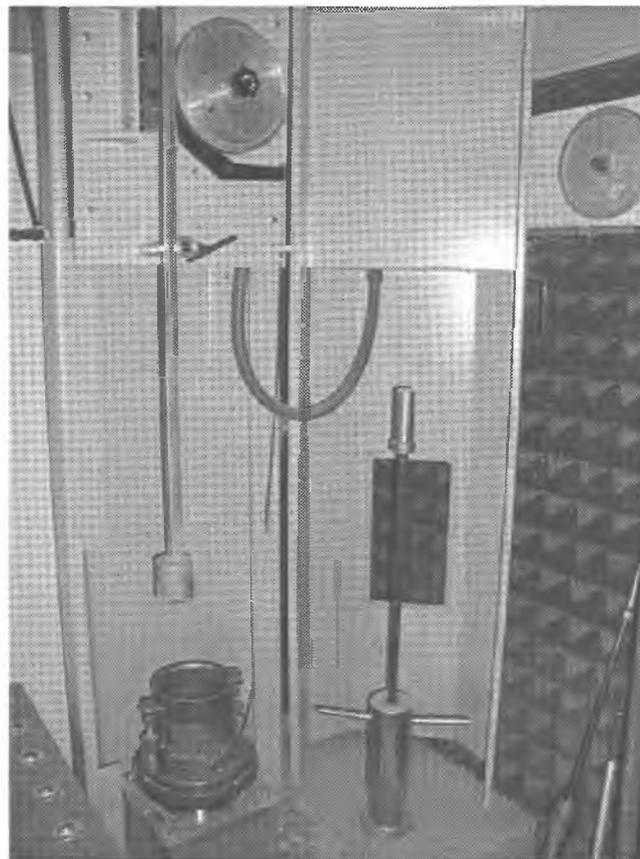


Abb. 41: Proctorhammer und Proctortopf.

Durch die Materialbelastung mit dem Proctorhammer werden aber auch einzelne Körner im Korngemisch zerschlagen. Zur Erfassung der Kornzertrümmerung ungebundener Tragschichten beim Einbau und allenfalls durch spätere Verkehrseinwirkung ist der Verfeinerungsgrad ΔG zu bestimmen. Dieser ergibt sich als Differenz der Grobfaktoren G vor und nach der Verdichtung eines Korngemisches. Er ist definiert als jene Fläche, die bei einer halblogarithmischen Darstellung der Kornverteilung von der Abszissenparallele durch 100 M-% Siebdurchgang und von der Kornverteilungskurve zwischen Größtkorn und dem 0,063 mm Durchmesser eingeschlossen wird. Seine Dimension sind cm^2 , der zulässige Bereich ist in Abhängigkeit vom Größtkorn festgelegt. Weiters darf die durch die Verdichtung hervorgerufene Feinkornanreicherung beim Korndurchmesser von 0,1 mm 4 M-% nicht überschreiten (= ΔW).

Frostsicherheit

Durch die Quellung der Tonminerale und der Eislinnenbildung in einem Korngemisch entstehen Schäden in Fundamentierungen und Straßenunterbauten in Folge von Frost- und/oder Tauwirkung. Überschreitet der Anteil $<0,02$ mm nach Durchführung eines verbesserten Proctorversuches die 3 %-Grenze (= Casagrandekriterium), so sind an diesem Material röntgendiffraktometrische Bestimmungen des Mineralbestandes durchzuführen.

Durch die Identifikation der Tonminerale und der semiquantitativen Bestimmung ihres Anteils in der Probe kann der Gehalt an Feinanteilen $<0,02$ mm bestimmt werden, bis zu dem die Probe als frostsicher eingestuft werden kann (= Mineralkriterium). Wird dieser Anteil im Korngemisch überschritten, kann die Frostsicherheit eventuell noch durch einen aufwändigen Frosthebungsversuch ermittelt werden. Der Anteil $<0,02$ mm ist in einem Korngemisch, welches für Tragschichten im Straßenbau verwendet wird, generell mit 8 Massen-% beschränkt. Chlorit und Muskovit bewirken eher Frosthebungsschäden, Smektite führen zu Tauschäden, Kaolinit kann für beide Schadensbilder verantwortlich sein.

Wasserempfindliche Substanzen

Darunter versteht man neben den quellfähigen Mineralen vor allem Mineralneubildungen wie Goethit (Rost) u.a. Minerale, die bei Wasserzutritt nicht volumenbeständig sind. Für die Ausdehnung eines Baustoffes gibt es unterschiedliche Grenzwerte, jedoch sollte die Volumsvergrößerung (in Straßen) in der Regel Werte zwischen 0,5 bis 1 % nicht übersteigen. Auf län-

gere Zeit betrachtet, müssen bezüglich der Verwitterung alle gesteinsbildenden Minerale – Quarz ausgenommen – als wasserempfindlich bezeichnet werden.

Schädliche Mineralbeimengungen

Einige Minerale können durch ihre Umwandlungsreaktionen ganze Bauwerke (Straßen, Staumauern etc.) unbrauchbar machen. Die häufigsten Schäden treten bei folgenden Mineralen auf.

Pyrit

Diese kubische Form des Eisensulfides (FeS_2) ist ein weit verbreitetes Mineral, welches optisch attraktiv in größeren Kristallen, aber auch fein pigmentiert in allen Gesteinen vorkommen kann. Leider unterliegt dieses Mineral sehr leicht der Verwitterung und ist dann für unterschiedliche Schadensbilder verantwortlich. Bei der Pyritverwitterung entstehen zumeist Eisenhydroxide, die neben ihrer Quellwirkung (z.B. im Asphalt) auch bei geringen Gehalten große optische Mängel durch Verfärbung (z.B. bei Fassaden) hervorrufen. Der Sulfidanteil des Pyrits wird oxidiert und verbindet sich mit der Luftfeuchtigkeit zu einer schwefeligen Säure. Wenn Pyrit in Splitten vorhanden ist, welche zu Asphaltmischgut verarbeitet werden, können diese sauren Reaktionsprodukte den Fremdfüller (Kalksteinmehl) auflösen, wodurch der Asphalt seine Tragfähigkeit verliert.

Nephelin

Als Sonnenbrenner wird eine bei basaltischen Gesteinen verbreitete Art der Verwitterung bezeichnet, bei der sich nach relativ kurzer Zeit mm-große höchstens cm-große hellgraue Flecken zeigen. Diese treten zunehmend deutlich hervor und das Gestein zerfällt in einen eckig-körnigen Grus.

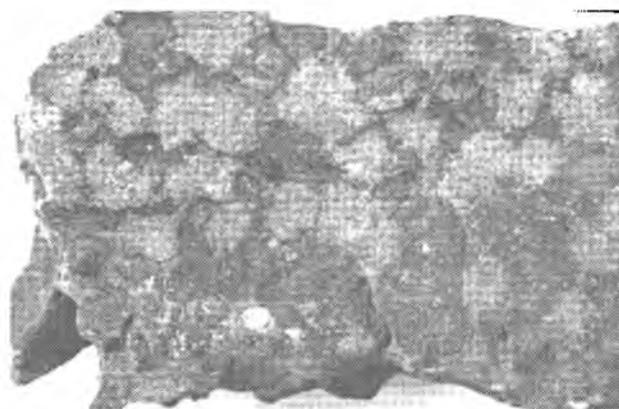


Abb. 42: Sonnenbrennerzerfall bei Basalt.

Dieser Vorgang wird durch Analcim verursacht, der oft als Umwandlungsprodukt von Nephelin auftritt. Er erscheint als sehr feinkristalline Füllung von Intergranularräumen (die als fleckige Verteilung im Gestein sichtbar wird) und ist mit feinsten Kapillarrissen durchzogen, welche das Eindringen von Wasser und damit die Verwitterung weiterer Gesteinsschichten sehr begünstigen. Diese Umwandlung ist mit einer Volumszunahme von 5,5 % verbunden. Wird eine derartige Gesteinsschicht im Steinbruch freigelegt, dann zerfällt dieses Gestein durch die Druckentlastung und die Temperaturschwankungen bedingt sehr rasch (einige Monate).

Flint (Feuerstein oder Hornstein)

sowie Opal und Opalsandstein sind kryptokristalline, alkalilösliche Kieselsäureminerale, die in einigen Zuschlagstoffen enthalten sein können (speziell als Knollen in Malmkalken). Diese Kieselsäure reagiert mit dem im Porenwasser des Betons gelösten Alkalihydroxid chemisch zu einer Alkalisilikatlösung. Diese Reaktion kann mit einer Volumenvergrößerung verbunden sein. Durch diese Treiberscheinungen sind Schädigungen des Betonbauwerkes möglich. Bei Verdacht sind Betonzuschläge nach ONR 23100 zu prüfen.

Andere Mineralanteile

Pyroxene, Muschelschalengehalt, sekundäre Mineralbildungen.

Literatur

Neben den entsprechenden Ö-Normen, welche im Anhang aufgelistet sind, gibt es noch eine Vielzahl weiterer Vorschriften.

Wesentlich sind z.B. die "Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau" (RVS) oder ON-Regeln (ONR), wie z.B.

RVS 8.01.11: "Gesteinskörnungen für den Straßenbau"

RVS 8S.05.11: "Ungebundene Tragschichten"

RVS 11.061: "Bodenphysikalische Prüfverfahren"

RVS 11.062: "Prüfverfahren für Steinmaterial"

ONR 23100: "Beurteilung von Gesteinskörnungen auf Alkalireaktionen"