

## Granulometrische Eigenschaften von feinen Gesteinskörnungen

FA 6.091

Forschungsstelle: Technische Universität München, Centrum Baustoffe und Materialprüfung (Ltd. Akad. Dir. Dr.-Ing. T. Wörner)

Bearbeiter: Wörner, T. / Neidinger, S. / Westiner, E.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: August 2012

### 1 Aufgabenstellung

Die granulometrischen Eigenschaften (Korngrößenverteilung, Kornform, Oberflächenbeschaffenheit) der feinen Gesteinskörnung beeinflussen sowohl die Eigenschaften von Gesteinskörnungsgemischen als auch die Asphalt- bzw. Betoneigenschaften maßgeblich. Derzeit gibt es keine allgemeinverbindlichen Festlegungen zur Beschreibung von Kornform und Oberflächenbeschaffenheit von feinen Gesteinskörnungen. Insbesondere für den Kornbereich von 2 bis 4 mm gibt es im Regelwerk eine Lücke, die es zu schließen gilt.

### 2 Untersuchungsmethodik

Um die Regelungslücke zwischen 2 und 4 mm im Hinblick auf die Kornform und die Oberflächenbeschaffenheit zu schließen, wurden im Rahmen des Vorhabens grundsätzlich drei Ansätze verfolgt:

- Es wurde überprüft, inwieweit sich der Fließkoeffizient nach DIN EN 933-6, der derzeit – trotz der Einflüsse aus Korngrößenverteilung, Kornform und Oberflächenrauheit – überwiegend zur Charakterisierung der granulometrischen Eigenschaften von feinen Gesteinskörnungen bis maximal 2 mm herangezogen wird, hierfür eignet. Dabei wurde das Verfahren über die Prüfkörnung 0,063/2 mm hinaus für die Prüfkörnung 0,063/4 mm erprobt und die Aussagekraft des Verfahrens überprüft.
- Des Weiteren wurde untersucht, inwieweit sich die derzeit bestehenden direkten Verfahren zur Bestimmung der granulometrischen Eigenschaften der groben Gesteinskörnungen auf den Bereich der Regelungslücke übertragen lassen. Hierfür wurden die Kornformkennzahl nach DIN EN 933-4 und die Plattigkeitskennzahl nach DIN EN 933-3 im Hinblick auf die Kornform sowie die "Bruchflächigkeit" nach DIN EN 933-5 zur Charakterisierung der Oberflächenbeschaffenheit in Betracht gezogen. Es wurde u. a. getestet, bis zu welcher kleinsten Korngröße diese Prüfungen verfahrenstechnisch durchführbar und sinnvoll sind.
- Der Schwerpunkt des Forschungsprojekts lag auf der Erprobung von alternativen fotooptischen Messsystemen zur Beurteilung der granulometrischen Eigenschaften insbesondere von feinen Gesteinskörnungen. Dabei kam hauptsächlich das CPA-Gerät (Computer-gestützte Partikelanalyse) der Firma Haver & Boecker OHG zum Einsatz. Bei diesem wird die Prüfkörnung im

freien Fall abfotografiert und anschließend werden die sich ergebenden zweidimensionalen Teilchenbilder computerunterstützt in die Dreidimensionalität umgerechnet und nach der Größe, Form und Oberflächenausprägung ausgewertet. Für das CPA-Gerät wurde ein umfangreicher Bewertungshintergrund für feine und grobe Gesteinskörnungen geschaffen. Hierbei wurden mit der "Sphärizität" (Maß für die Rundheit), "Max.L/Min.Fer" (Verhältnis aus Länge zu Breite) und der "Rauheit" (Maß für die Oberflächenbeschaffenheit) die für die Kornform und die Oberflächenbeschaffenheit relevanten Kennwerte ausgewertet. Darüber hinaus wurden Vergleiche zwischen den Ergebnissen des CPA-Geräts und den konventionellen granulometrischen Kenngrößen (Plattigkeitskennzahl, Kornformkennzahl, Fließkoeffizient, "Bruchflächigkeit") angestellt. Letztlich wurde auch der Tatsache, dass es neben dem CPA-Gerät andere fotooptische Messsysteme gibt, durch vergleichende Untersuchungen mit alternativen Messgeräten Rechnung getragen.

### 3 Untersuchungsergebnisse und Folgerungen für die Praxis

Im Hinblick auf den Fließkoeffizienten konnte bestätigt werden, dass es sich dabei um einen "Summenparameter" handelt, der von verschiedenen granulometrischen Eigenschaften (Korngrößenverteilung, Kornform, Oberfläche) beeinflusst wird und der keine Rückschlüsse auf die Einzelmerkmale ermöglicht. Daneben konnte erneut gezeigt werden, dass anhand des Fließkoeffizienten keine eindeutige Unterscheidung zwischen "Brechsand" und "Natursand" möglich ist (vgl. Bild 1).

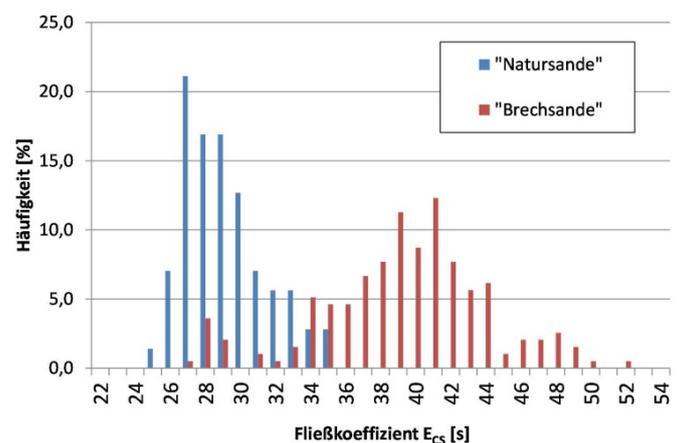
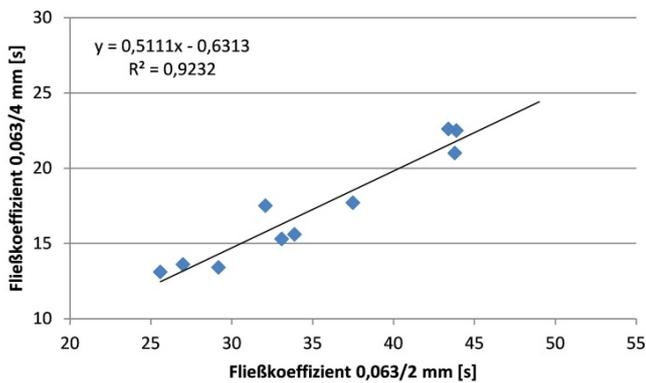


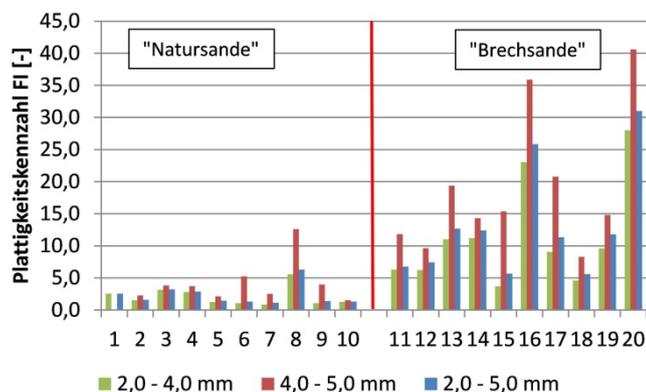
Bild 1: Häufigkeitsverteilung der Fließkoeffizienten bei den Proben, welche auch zur Erstellung des Bewertungshintergrunds für die CPA herangezogen wurden

Darüber hinaus wurde ein sehr guter Zusammenhang zwischen dem Fließkoeffizienten an der Prüfkörnung 0,063/2 mm und an der Prüfkörnung 0,063/4 mm nachgewiesen (vgl. Bild 2). Folglich kann von einer zusätzlichen Prüfung an der Prüfkörnung 0,063/4 mm abgesehen werden. Insgesamt bestätigt sich, dass eine beschreibende Prüfung der granulometrischen Eigenschaften durch den Fließkoeffizienten nicht zwingend notwendig ist und dass eine Charakterisierung einer feinen Gesteinskörnung durch die alten Begriffe "Brechsand" und "Natarsand" eine gleichwertige Alternative darstellt.



**Bild 2:** Zusammenhang zwischen dem Fließkoeffizienten der Prüfkörnung (0,063/2 mm) und dem Fließkoeffizienten der Prüfkörnung (0,063/4 mm)

Bezüglich einer Ausweitung der derzeit bestehenden direkten Verfahren zur Bestimmung der granulometrischen Eigenschaften der groben Gesteinskörnungen auf den Bereich der Regelungslücke 2 bis 4 mm wurde zunächst nachgewiesen, dass eine Prüfung dieses Kornbereichs tatsächlich notwendig ist und dass die derzeit in einigen Anwendungsbereichen praktizierte Vorgehensweise, die Ergebnisse der Kornklasse 4/5 mm im Hinblick auf die Kornform oder die "Bruchflächigkeit" auf die feine Gesteinskörnungen zu übertragen, als kritisch anzusehen ist. So zeigten vergleichende Kornformuntersuchungen an den Kornklassen 2/4, 4/5 und 2/5 mm, dass die Kornformkennwerte der Kornklasse 4/5 mm nicht repräsentativ für die Kornklassen 2/4 bzw. 2/5 mm sind (vgl. Bild 3).



**Bild 3:** Plattigkeitskennzahlen von 20 verschiedenen Proben in Abhängigkeit von der Kornklasse

Des Weiteren konnte nachgewiesen werden, dass die Plattigkeitskennzahl gut geeignet ist, um die Regelungslücke im Hinblick auf die Kornform zu schließen. Die Plattigkeitskennzahl ist aussagekräftig und lässt sich im Gegensatz zur Kornformkennzahl – bei vergleichbarem Prüffehler – bis zu einer kleinsten Korngröße von 1,25 mm problemlos bestimmen, sodass sie damit auch den größten Teil der Kornklasse 1/3 mm umfasst und damit auch für Abstreumaterialien u. ä. zur Anwendung kommen könnte. Für die Bestimmung der Plattigkeitskennzahl von feinen Gesteinskörnungen wurde eine Arbeitsanleitung erstellt.

Die "Bruchflächigkeit" erwies sich hingegen als nicht geeignet, die Oberfläche von feinen Gesteinskörnungen hinreichend zu beschreiben. Diese Erkenntnis resultiert einerseits aus der begrenzten Aussagekraft der auch bei den groben Gesteinskörnungen umstrittenen Prüfung und andererseits aus der stark eingeschränkten Durchführbarkeit des Verfahrens (großer Prüffehler) im Kornbereich von 2 bis 4 mm. Beides konnte im Rahmen dieses Projekts belegt werden.

Daneben konnte gezeigt werden, dass die Beschreibung der granulometrischen Eigenschaften von feinen Gesteinskörnungen über fotooptische Messsysteme (hier: CPA-Gerät) prinzipiell möglich ist. Die Spreizung der Werte und die "Wiederholpräzision" des Verfahrens sind – im Hinblick auf die betrachteten granulometrischen Parameter (Sphärizität, Max.L/Min.Fer und Rauheit) – als ausreichend zu bezeichnen, die festgestellten Tendenzen und Zusammenhänge zu den konventionellen Prüfverfahren (insbesondere Zusammenhang zwischen Max.L/Min.Fer und Kornformkennzahl bzw. Plattigkeitskennzahl) sind vielversprechend (vgl. Bild 4 und Bild 5).

Die Ergebnisse der CPA an ausgewählten Gesteinskörnungen deuten darauf hin, dass für die Kornklasse 1,25/4,0 mm eine Unterscheidung zwischen "Natarsand" und "Brechsand" anhand der Sphärizität und anhand des Verhältnisses Max.L/Min.Fer möglich ist (vgl. Bild 4), für die Kornklasse 0,063/2 mm sind zur Bestätigung weitere Versuche erforderlich. Inwieweit die ermittelten "CPA-Algorithmen" als Beurteilungskriterium für die Kornform bzw. Oberflächenrauheit von Gesteinskörnungen praxisrelevant sind, kann derzeit noch nicht beantwortet werden. Hierfür müssten die Auswirkungen von Gesteinskörnungen mit unterschiedlichen Sphärizitäten, Max.L/Min.Fer bzw. Rauheiten auf Baustoffgemische bzw. Asphalte oder Betone in großem Umfang überprüft werden.

Beim Vergleich der Ergebnisse des CPA-Geräts mit den Ergebnissen der anderen Messgeräte zeigte sich, dass die mit den verschiedenen Messsystemen ermittelten Kornformkennwerte zwar nicht direkt miteinander vergleichbar sind, aber zu einer einheitlichen Beurteilung der Proben im Hinblick auf ihre Kornform führen. Die ermittelten Ergebnisse sind deshalb nicht direkt miteinander vergleichbar, da unterschiedlich definierte Kornform-Kennwerte bestimmt wurden. Grundvoraussetzung für die Festlegung allgemeingültiger Algorithmen zur Bewertung von Kornform und Oberflächenbeschaffenheit ist, dass mit den verschiedenen fotooptischen Messsystemen die gleichen Rohdaten gemessen werden und dass diese vergleichbar sind. Zur Findung und Festlegung eines praxisbezogenen Algorithmus besteht weiterer Forschungsbedarf.

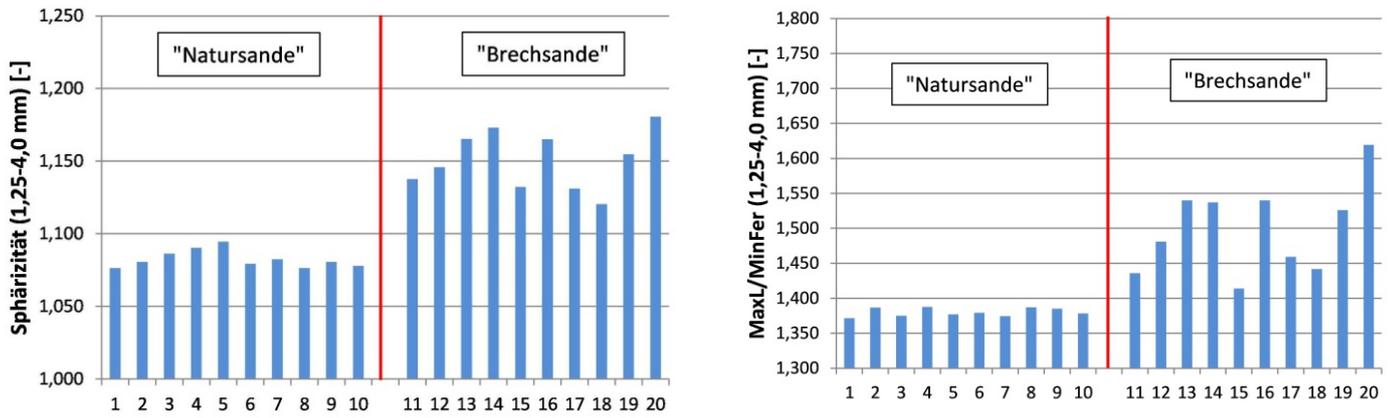


Bild 4: Ergebnisse der CPA im Hinblick auf die Sphärizität und Max.L/Min.Fer für die Kornklasse 1,25/4,0 mm

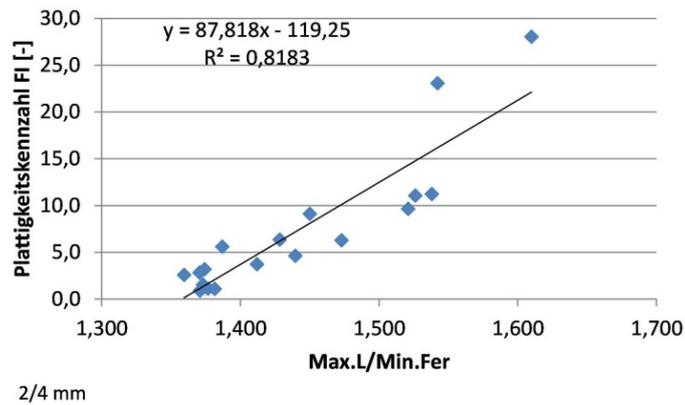


Bild 5: Zusammenhang zwischen der Plattigkeitskennzahl und Max.L/Min.Fer aus der CPA