



# **Fließkoeffizienten von feinen Gesteinskörnungen aus der Schweiz**

**Coefficients d'écoulement de granulats fins en Suisse**

**Flow coefficient of fine aggregates from Switzerland**

## **IMP Bautech AG**

**Roger Rütli, Dr. sc. nat., Géologue diplômé**  
**Christoph Bürgi, Dr. sc. nat., dipl. Natw. ETH**  
**Christian Angst, Dr. sc. techn., dipl. Ing. ETH**

## **Holcim Suisse SA**

**Stéphane Cuchet, Dr. ès Sciences, Géologue diplômé**

## **Ertec SA**

**Laure Chastan, Ingénieur en matériaux**

**Forschungsprojekt VSS 2005/403 auf Antrag des Verbandes der  
Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Impressum .....</b>	<b>4</b>
	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>7</b>
	<b>Résumé .....</b>	<b>9</b>
	<b>Summary .....</b>	<b>11</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>13</b>
1.1	Ausgangslage.....	13
1.2	Vorgehensweise.....	13
1.3	Prüfmethode und Stand der Forschung.....	14
<b>2</b>	<b>Auswahl der Materialien .....</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>Prüfungen der Gesteinskörnungen.....</b>	<b>19</b>
3.1	Auswertung der Daten des Forschungsprojektes .....	19
3.1.1	Kornform.....	19
3.1.2	Fließkoeffizient.....	21
3.1.3	Vergleich Kornform - Fließkoeffizient .....	22
3.1.4	Fließkoeffizienten in Abhängigkeit der Korngrößenverteilung .....	23
3.2	Auswertung der Daten der IMP Bautest AG .....	26
3.2.1	Brechsande 0/2 .....	26
3.2.2	Brechsande 0/4 .....	30
3.3	Fließkoeffizient in Abhängigkeit des kleinsten Kornes .....	34
3.3.1	Versuchsanordnung .....	34
3.3.2	Interpretation des Versuches .....	37
<b>4</b>	<b>Prüfungen am Mischgut .....</b>	<b>39</b>
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerungen.....</b>	<b>41</b>
<b>6</b>	<b>Ausblick und Empfehlungen.....</b>	<b>43</b>
	<b>Anhänge .....</b>	<b>45</b>
	<b>Glossar .....</b>	<b>51</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>53</b>
	<b>Projektabschluss .....</b>	<b>55</b>
	<b>Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen .....</b>	<b>59</b>

## Zusammenfassung

Die Einführung der Prüfung des Fließkoeffizienten hatte zum Ziel, die Beurteilung der Kornform und Kornrundung durch eine einfachere Prüfung, welche zudem nicht auf einer visuellen Beurteilung der feinen Gesteinskörnung beruhte, abzulösen. Das vorliegende Forschungsprojekt hatte zum Ziel, die notwendigen Grundlagen zu erarbeiten, um sinnvolle und praxisgerechte Anforderungen für den Fließkoeffizienten zu definieren.

In einem ersten Schritt wurde ein Ringversuch der drei Labore, bzw. Forschungsstellen zu Kornform, Kornrundung und Fließkoeffizient durchgeführt. Der Ringversuch zeigt, dass es schwierig ist, bei der Kornform /-rundung auf ein valables Ergebnis zu kommen. Die Erklärung für die Schwierigkeiten liegt in der Tatsache, dass es sich bei diesen Prüfungen um visuelle Beurteilungen handelt, welche naturgemäss stark vom Betrachter abhängen. Im Weiteren konnte der Ringversuch kein Zusammenhang zwischen der Kornform /-rundung und dem Fließkoeffizient herstellen. Dieses Resultat bedeutet, dass mit der Prüfung des Fließkoeffizienten keine Rückschlüsse auf die Kornform /-rundung gezogen werden können.

Bei der Auswertung der Daten der Versuche von Sand 0/4 kam zudem der Verdacht auf, dass der Fließkoeffizient durch die Korngrößenverteilung beeinflusst wird. Bei einem ersten Versuch, bei welchem mit dem gleichen Sand unterschiedliche Korngrößenverteilungskurven mit unterschiedlichen Körnungsziffern hergestellt wurden, ergaben sich Fließkoeffiziente, welche von der Korngrößenverteilungskurve abhängig waren.

Nach dem Vorliegen der Resultate von Stütz et al. [4], welche keinen Zusammenhang zwischen dem Fließkoeffizienten und asphalttechnologischen Kennwerte feststellen konnten, wurde im vorliegenden Forschungsprojekt entschieden, dass die Prüfungen am Mischgut keinen Sinn mehr machten und dieser Schritt im Forschungsprojekt nicht mehr weiterverfolgt werden sollte. Es wurde vielmehr versucht, die vermutete Abhängigkeit des Fließkoeffizienten von der Korngrößenverteilung abzuklären.

Unter Verwendung der Labor-Datenbank der IMP Bautest AG aus den Jahren 2005 bis 2013 wurden Prüfaufträge mit Korngrößenverteilungskurven und zugehörigen Fließkoeffizienten von Sanden 0/2 und 0/4 systematisch untersucht.

Dabei wurde festgestellt, dass bei den Sanden 0/2 je nach Werk die Korrelationen zwischen Korngrößenverteilung und Fließkoeffizient in grösserem oder geringerem Masse vorhanden sind. Das gleiche Bild zeigt sich bei den Sanden 0/4. Da es aber eindeutig Werke gibt, welche starke Korrelationen zeigen, ist der Fließkoeffizient nicht die geeignete Prüfung, um die Kornform, bzw. Kornrundung abschliessend zu beurteilen oder zwischen Brechsand oder Rundsand zu unterscheiden.

Mit der neuen EN 933-6, welche 2015 in Kraft tritt, wird der zu prüfende Korngruppenanteil bei feinen Gesteinskörnungen weiter reduziert. Es wird in Zukunft bei feinen Gesteinskörnungen nur noch der Anteil 0.063 bis 2 mm geprüft. Das heisst, bei einem Sand 0/4 wird zukünftig der Anteil 2 – 4 mm nicht durch die Prüfung des Fließkoeffizienten beurteilt. Der Versuch in diesem Forschungsauftrag, in welchem die das kleinste Korn variiert wurde, hat klar gezeigt, dass die Abhängigkeit des Fließkoeffizienten von der Korngrößenverteilung damit noch grösser wird. Mit der bereits verabschiedeten Revision der EN 933-6 wird die Aussagekraft der Prüfung damit unseres Erachtens weiter reduziert.

Der vorliegende Forschungsauftrag hat gezeigt, dass mit der Prüfung des Fließkoeffizienten keine Hinweise über die Güte eines Sandes gewonnen werden können. Die Arbeit von Stütz et al. [4] hat im Weiteren gezeigt, dass auch kein Zusammenhang mit asphalttechnologischen Werten hergestellt werden kann. Aus diesen Gründen ist die Prüfung des Fließkoeffizienten an feinen Gesteinskörnungen, wie sie in der Schweiz gebraucht wird, ersatzlos zu streichen.

Es muss überlegt werden, ob wieder eine Prüfung der Kornform, resp. Kornrundung in das Schweizer Normenwerk aufgenommen werden soll, ohne auf die ehemalige, ebenfalls nicht befriedigende Prüfung Kornform und Kornrundung (gemäss SN 670 130) zurückzukommen. Nur mit einer entsprechenden Prüfung kann sichergestellt werden, dass mit dem entsprechenden Verhältnis Brechsand/Rundsand die gewünschten Festigkeiten des Mischgutes erreicht werden können.

## Résumé

L'introduction de l'essai de l'écoulement des granulats avait comme but de remplacer les essais de la forme du grain et de l'arrondi du grain par un essai plus simple, qui en plus n'est pas basé sur une évaluation visuelle des sables. Le présent projet de recherche avait comme objectif de fournir les bases nécessaires afin de pouvoir définir des exigences raisonnables et praticables relatives à ce nouvel essai.

Dans un premier pas, trois laboratoires distincts ont réalisé des essais croisés pour l'essai de la forme du grain, de l'arrondi du grain et de l'écoulement des gravillons.

Ces essais croisés montraient la difficulté d'obtenir des résultats consistants au niveau de la détermination de la forme et de l'arrondi du grain. L'explication pour les difficultés rencontrées se trouve dans le fait, que ces propriétés sont évaluées de manière visuelle et dépendent donc fortement de l'observateur. En outre, aucune corrélation ne pouvait être établie entre la forme du grain respectivement de l'arrondi du grain et l'essai de l'écoulement du sable. Ce résultat signifie que l'essai de l'écoulement du sable ne permet aucune déduction sur la forme du grain ou sur l'arrondi du grain.

Lors de l'exploitation des résultats des essais réalisés sur les sables 0/4, le soupçon apparaissait que le coefficient de l'écoulement du sable pourrait être influencé par la granulométrie des granulats. De l'essai réalisé sur un sable 0/2, fractionné et recomposé de manière à obtenir trois courbes granulométrique différentes, résultait en effet une série de valeurs pour l'écoulement du sable montrant une claire dépendance entre le paramètre Ecs et la courbe granulométrique.

Après la publication du travail de Stütz et al. [4], démontrant qu'aucune corrélation entre l'écoulement du sable et les caractéristiques techniques des enrobés ne pouvait être établies, il a été décidé que dans le présent projet de recherche, les essais sur les enrobés étaient devenus inutiles et ont donc été arrêtés. Dans la suite, l'accent des investigations a été mis sur la vérification de l'hypothèse, que l'écoulement du sable dépende de la granulométrie du matériel.

En utilisant la base de données des mandats des années 2005 à 2013 de la société IMP Bautest SA, les résultats des essais d'écoulement du sable et des courbes granulométriques correspondantes ont été examinées de manière systématique.

L'exploitation des données montre des corrélations très variables pour les sables 0/2 et de même pour les sables 0/4. Néanmoins, étant donné que pour certaines gravières la corrélation entre le coefficient Ecs et la granularité est très évidente, l'essai de l'écoulement du sable n'est pas une méthode apte à caractériser la forme du grain ou l'arrondi du grain ou encore à distinguer entre les sables ronds ou concassés.

Avec la révision de la norme d'essai l'EN 933-6, qui entrera en vigueur en 2015, la fraction à tester a été redéfinie et limitée d'avantage : dans le futur, seule la fraction 0.063 à 2 mm sera testée. Pour un sable 0/4, la fraction 2 à 4 mm ne sera donc plus testée. Pourtant, en variant le grain le plus petit, les essais réalisés dans le cadre de ce projet de recherche ont clairement montré, que le coefficient de l'écoulement du sable dépend fortement de la granulométrie. Avec l'entrée en vigueur de la révision de l'EN 933-6, la signification de l'essai de l'écoulement du sable sera donc, à notre avis, encore plus réduite.

Le présent projet de recherche a démontré que l'essai de l'écoulement du sable n'est pas une méthode apte à caractériser correctement un sable. En outre, le travail de Stütz [4] a démontré qu'aucune corrélation entre les paramètres techniques des enrobés et le résultat de l'essai de l'écoulement du sable n'existe. Pour ces raisons, l'essai de l'écoulement du sable, comme il est appliqué actuellement en Suisse, doit être radié sans remplacement du recueil des normes.

Par contre, il doit être examiné, si un autre essai permettant de caractériser la forme du grain et l'arrondi du grain doit être réintroduit dans les normes suisses. Seule un essai approprié permettant de caractériser avec précision ces paramètres permettra de pouvoir assurer la stabilité des enrobés en utilisant des proportions déterminées de sables ronds et concassés.

## Summary

The concept of flow coefficient was introduced in order to replace the assessment of particle shape and particle roundness, which is particularly challenging and time consuming for fine aggregate. As the concept was new, and reference data were lacking from Swiss aggregate industry, the aim of the research project was to investigate the background of the method, necessary to define requirements for the flow coefficient of sand for application in the production of asphalt concrete.

In a first step, a round robin test (RTT) among the three participating laboratories and research institutes was performed. It consisted of the determination of particle shape and particle roundness and the measurement of flow coefficient. It revealed a lack of correlation for these test results between the different testing facilities. One possible reason could be, that some of the test methods rely on visual aspects and, therefore, are based to a certain extent on the experience and specific approach of the tester. In addition, it was impossible to establish a mathematical correlation between the results of particle shape and particle roundness, and the flow coefficient. The flow coefficient was found to be an unsuitable value to describe either the particle shape or particle roundness.

Analyzing the data of the RTT yielded the hypothesis, that the flow coefficient were influenced by the particle grading. The result of a series with artificially combined grading curves, using the same sand source, supports this hypothesis, as here the flow coefficient solely depends on the particle grading.

After the publication of the results of Stütz et al. [4], which showed that there is no correlation between the flow coefficient and specific values of asphalt concrete, it was decided that such tests were not useful anymore in the present research project and were therefore dropped in the research program. It was found more useful, and therefore decided by the supervising body of the project to focus on the suspected correlation between the grading of a sand and its flow coefficient.

Using the laboratory database of IMP Bautest AG from the years 2005 to 2013, mandates with grading curves of sands 0/2 and 0/4 and its associated flow coefficients were systematically investigated in order to check the interdependency of these parameters.

The review revealed more or less pronounced correlation of data from the investigated gravel quarries for both, the sand 0/2 mm and the sand 0/4 mm. As some of the investigated gravel quarries show a strong correlation between the grading curve and flow coefficient, the latter is not a suitable test to assess particle shape and particle roundness of fine aggregate.

In the new EN 933-6, which will become effective as of 2015, only the fraction between 0.063 to 2 mm for fine aggregate will be tested. In the case of the common commercial sand fraction 0/4 mm, a considerable amount will be excluded from the test. Results in this project have shown that such an approach will negatively affect the applicability of the test result from parts of the fraction to the whole of fraction under consideration.

The present project has clearly shown that the flow coefficient test is not a suitable indicator test for the quality of sand. The work of Stütz et al. [4] in addition could not establish a correlation between the flow coefficient and specific characteristics of asphalt concrete. Therefore, we strongly recommend this test procedure be discarded from tests in Switzerland. Efforts should be undertaken to introduce an alternative test method for the assessment of grain shape and grain roundness into Swiss standards. Only a suitable test yielding reliable results, is able to assure that stability requirements for asphalt concrete are attained.