



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)**

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen unterstützten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs ayant obtenu l'appui de l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 « Clôture du projet », qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

La responsabilità per il contenuto di questo rapporto spetta unicamente agli autori sostenuti dall'Ufficio federale delle strade. Tale indicazione non si applica al modulo 3 "conclusione del progetto", che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e di cui risponde solo quest'ultima.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) supported by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



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)**

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Roger Rütli, Dr. sc. nat., Géologue diplômé (ab September 2012)

Mitglieder

Christoph Bürgi, Dr. sc., dipl. Natw. ETH (Projektleitung bis September 2012)

Christian Angst, Dr. sc. techn., dipl. Ing. ETH

Stéphane Cuchet, Dr. ès sciences, Géologue diplômé

Laure Chastan, Ingénieur en matériaux

Federführende Fachkommission

Fachkommission 4: Baustoffe

Begleitkommission

Präsident

Giuseppe Manitta

Jean-Gabriel Hammerschlag (Nachfolger 2009)

Mitglieder

François Röthlisberger

Antragsteller

Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://www.mobilityplatform.ch> heruntergeladen werden.

Inhaltsverzeichnis

	Impressum	4
	Zusammenfassung	7
	Résumé	9
	Summary	11
1	Einleitung	13
1.1	Ausgangslage.....	13
1.2	Vorgehensweise.....	13
1.3	Prüfmethode und Stand der Forschung.....	14
2	Auswahl der Materialien	17
3	Prüfungen der Gesteinskörnungen.....	19
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
4	Prüfungen am Mischgut	39
5	Schlussfolgerungen.....	41
6	Ausblick und Empfehlungen.....	43
	Anhänge	45
	Glossar	51
	Literaturverzeichnis	53
	Projektabschluss	55
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	59

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 signifiante 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.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Die Kornform und die Oberflächenbeschaffenheit von Gesteinskörnungen beeinflussen das Verformungsverhalten von bituminösen Belägen massgebend. Bis Ende 2004 wurde in der Schweiz die Kornform und die Kornrundung an Sand-, Splitt- und Schotterfraktionen aufgrund einer visuellen Prüfung nach SN 670 130 [7] bestimmt.

Mit der Einführung der Europäischen Normen (EN) anfangs 2005 wurden die Prüfungen der Kornform /-rundung und der Oberflächenbeschaffenheit durch die Prüfungen Plattigkeitskennzahl FI (Kornform), Anteil gebrochene Oberflächen (Kornrundung) für Gesteinskörnungen > 4 mm abgelöst. Für Gesteinskörnungen < 4 mm wurde die Prüfung des Fliesskoeffizienten (Ecs) eingeführt. Der Fliesskoeffizient ist bei der Herstellung von feinen Gesteinskörnungen für Asphalte (SN EN 670 103b-NA [2]) zu prüfen, die Werte sind dabei lediglich zu deklarieren.

Der Fliesskoeffizient ist ein Sammelparameter zur Beurteilung der Kornform und der Kornoberflächeneigenschaften von feinen Gesteinskörnungen. Zum Zeitpunkt der Vergabe des Forschungsprojektes (2006) war aufgrund fehlender Erfahrungen die Aussagekraft und Interpretation des Fliesskoeffizienten noch ungenügend geklärt. Die dazumal existierende Literatur auf internationaler Ebene ergab ebenfalls keine Hinweise um entsprechende Anforderungskategorien in der Schweiz zu definieren.

Das Ziel des Forschungsprojektes ist es, mit der Erarbeitung der notwendigen Grundlagen eine sinnvolle und praxisgerechte Festlegung der Anforderungen an den Fliesskoeffizienten zu ermöglichen.

1.2 Vorgehensweise

Schritt 1:

Aufgrund geographischer, mineralogisch-petrographischer sowie ökonomischer Kriterien wird eine für die Schweiz repräsentative Auswahl von 10 Brechsanden getroffen. Die Auswahl soll die Gesteinskörnungen berücksichtigen, welche bis anhin über Jahre erfolgreich im Strassenbau eingesetzt wurden und die bisherigen Anforderungen an die Petrographie, die Kornform und die Kornrundung erfüllt haben.

Folgende Eigenschaften werden im ersten Teil des Forschungsauftrages an den ausgewählten Brechsanden bestimmt:

- Korngrössenverteilung EN 933-1 [6]
- Kornform/-Kornrundung SN 670 130 [7]
- Fliesskoeffizient EN 933-6 [1]
- Mineralogisch-petrographische Zusammensetzung SN 670 115 [8]

Basierend auf diesen Untersuchungen soll einerseits die Variationsbreite des Fliesskoeffizienten für Gesteinskörnungen aus der Schweiz bestimmt und andererseits eine mögliche Korrelation zwischen dem Fliesskoeffizienten und der Kornform/-rundung untersucht werden. Mit dieser parallelen Untersuchung der Gesteinskörnungen nach den alten und neuen Prüfmethoden soll versucht werden, die bisherigen Anforderungen an die Kornform/Kornrundung auf das neue Prüfverfahren zu übertragen.

Schritt 2:

Im zweiten Teil des Forschungsauftrages sollen die Eigenschaften eines bituminösen Mischgutes in Abhängigkeit des Fliesskoeffizienten der verwendeten Gesteinskörnungen untersucht werden. Einerseits soll abgeklärt werden, in welchem Ausmass die Verwendung von Sanden mit unterschiedlichen Fliesskoeffizienten das Verformungsverhalten von Mischgut zu beeinflussen vermag. Andererseits soll es mit dem vorliegenden Forschungsprojekt gelingen, Anforderungen an den Fliesskoeffizienten für feine Gesteinskörnungen der Schweiz festzulegen. Zu diesem Zweck werden drei Probemischungen des Mischgutes AC 8 mit Sanden mit unterschiedlichen Fliesskoeffizienten hergestellt und an diesen Mischungen das Verformungsverhalten mittels Druckschwellversuchen (SN EN 12697-25 [9]) untersucht.

1.3 Prüfmethode und Stand der Forschung

Die sich aktuell in Kraft befindliche Prüfnorm der EN 933-6 [1] sieht vor, dass der Fliesskoeffizient an groben Gesteinskörnungen von 4 bis 20 mm und an feinen Gesteinskörnungen bis 4 mm geprüft wird.

In der Schweiz wird die Prüfung des Fliesskoeffizienten gemäss der SN 670 103b-NA [2] lediglich für feine Gesteinskörnungen 0/2 und Gesteinskörnungsgemische 0/4 vorgesehen. Die Prüfung muss in der Schweiz an groben Gesteinskörnungen nicht durchgeführt werden. Gemäss [2] muss der Wert des Fliesskoeffizienten mangels Anforderungswerte lediglich deklariert werden. Der Fliesskoeffizient nach EN 933-6 wird als sogenannter Sammelparameter betrachtet, dessen Grösse ist abhängig von der Kornform, der Oberflächenbeschaffenheit und eventuell der Korngrössenverteilung der geprüften Gesteinskörnungen.

Der Fliesskoeffizient einer Gesteinskörnung ist die Zeit in Sekunden, die ein festgelegtes Volumen einer Gesteinskörnung benötigt, um unter festgelegten Bedingungen bei Verwendung einer genormten Prüfeinrichtung durch eine definierte Öffnung zu fliessen. Bei der Prüfung von groben Gesteinskörnungen wird zusätzlich zum Prüftrichter ein Rütteltisch verwendet, damit die Gesteinskörnung gleichmässig durch die Trichteröffnung fliesst. Bei der Prüfung von feinen Gesteinskörnungen wird kein Rütteltisch benötigt.

Bei der Prüfung von feinen Gesteinskörnungen wird die Gesteinskörnung vorgängig auf dem 0.063 mm- und dem 2 mm oder 4 mm-Sieb entsprechend der zu prüfenden Korngruppe gesiebt. Die Anteile < 0.063 mm und > 2 mm oder > 4 mm werden verworfen.

Bei der Einführung der Prüfung ging man davon aus, dass sich im Bereich von Fliesskoeffizienten zwischen 30 und 35 s die Werte für Brech- und Rundsande überlappen würden. Es wurde allgemein angenommen, dass sich das Prüfverfahren eignen würde, um die Sand-Sorten (gebrochen, bzw. rund) zu unterscheiden [3].

		Kategorie
Brechsand	39	Ecs ₃₈
	38	
	37	
	36	
	35	
	34	
Natursand (Rundsand)	33	Ecs ₃₅
	32	
	31	
	30	
	29	
	28	
	27	
	26	Ecs ₃₀
		Ecs _{angeg.}

Abb. 1: Einteilung von Rund- und Brechsanden (Korngruppe 0/2) aufgrund erster Ergebnisse mit der Prüfung [3].

2008 stellte eine Forschungsarbeit des deutschen Bundesamt für Strassen (bast), welche an der TU München durchgeführt wurde [4], fest, dass es nicht möglich ist, die bisherigen (deutschen) Regelungen betreffend des Verhältnisses Brechsand/Natursand (Rundsand) mit dem Fließkoeffizient zu reproduzieren, da im oben angesprochenen Bereich zwischen 30 und 35 s nicht eindeutig zwischen den zwei Sanden unterschieden werden kann. Im Weiteren konnte das Forschungsprojekt keinen Zusammenhang zwischen Fließkoeffizient und asphalttechnologischen Kennwerten feststellen. Der Fließkoeffizient als Parameter für die Beurteilung von Sand wird als sehr kritisch beurteilt und es wurde empfohlen, weiterhin, wie in der Vergangenheit, ein Brechsand/Natursand (Rundsand)-Verhältnis im Rahmen der Eignung von Gesteinskörnungen für die Herstellung von Asphalten festzulegen.

Die von den CEN-Mitgliedstaaten verabschiedete Revision der EN 933-6 (Inkrafttreten geplant für 2015) sieht nun vor, dass, der Fließkoeffizient der feinen Gesteinskörnung nurmehr an der Korngruppe 0,063 - 2 mm geprüft wird. Bei einem Gesteinskörnungsgemisch 0/4 würde also der Anteil 2/4 am Gemisch nicht mehr von der Prüfung erfasst.

2 Auswahl der Materialien

Die Materialien, welche im Rahmen dieses Forschungsprojektes verwendet werden, sollten aus allen geologischen Provenienzen der Schweiz stammen (Jura, Mittelland, Alpen). Damit soll sichergestellt werden, dass die Resultate und etwaige Kategorien für den Fließkoeffizienten repräsentativ für die ganze Schweiz sind. Für das Forschungsprojekt wurden die in der Schweiz üblicherweise in der Mischgutherstellung verwendeten Sande 0/2 und 0/4 gewählt.

In einem ersten Schritt wurden, basierend auf dem Inventar der mineralischen Rohstoffe der Schweiz [5], die Kieswerke der Schweiz kontaktiert, mit dem Ziel Daten bezüglich der Produktion von Sanden und deren Petrographie und Fließkoeffizienten zu erheben. Mit der Umfrage sollte auch herausgefunden werden, wie gross die Streubreite der Fließkoeffizienten der in der Schweiz produzierten Sande ist.

Aufgrund des Rücklaufs der Umfrage konnten die für das Forschungsprojekt in Frage kommenden Produzenten eingegrenzt werden.

Die folgende Abbildung zeigt die Verteilung der Teilnehmer am Forschungsprojekt über die ganze Schweiz:

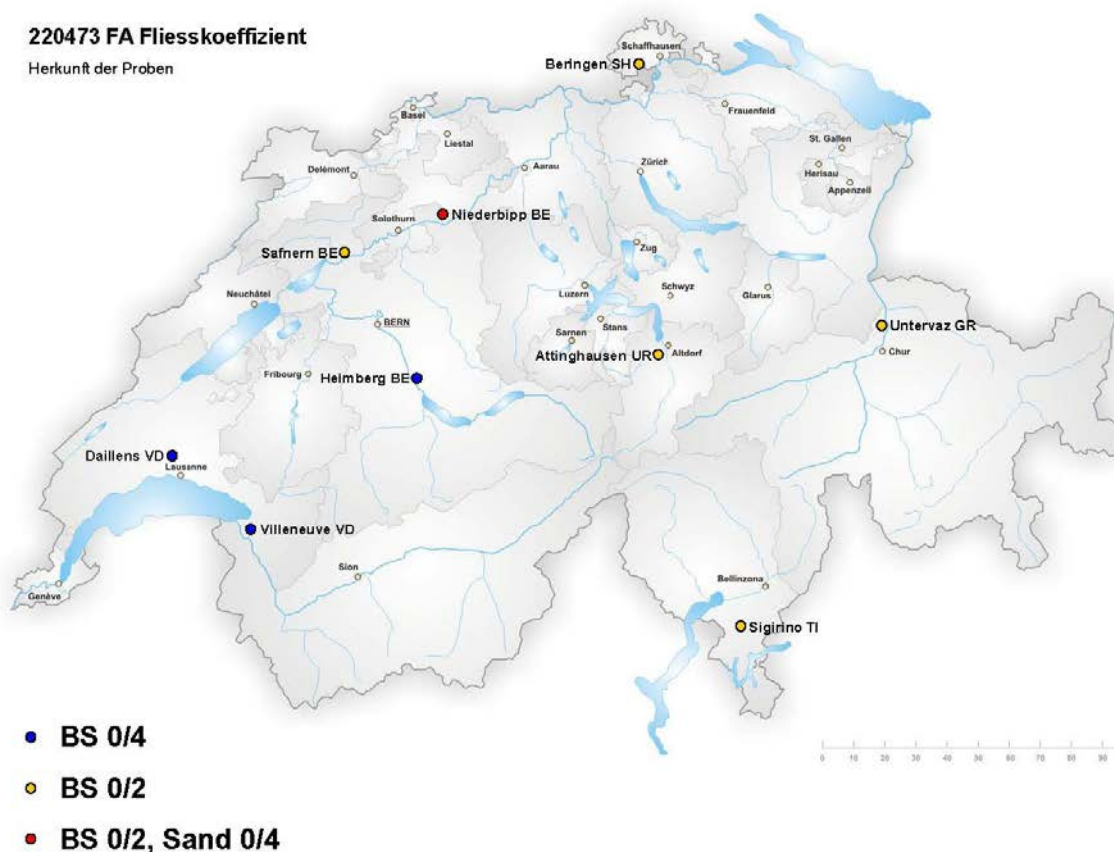


Abb. 2: Geographische Verteilung der am Forschungsprojekt teilnehmenden Produzenten.

3 Prüfungen der Gesteinskörnungen

Die Probenahmen in den einzelnen Werken fanden im Zeitraum von Dezember 2006 bis März 2007 durch die IMP Bautest AG statt. Die Materialien wurden in Oberbuchsitzen zusammengeführt. Hier wurden anschliessend eine Probenteilung durchgeführt, damit die Proben an die am Forschungsprojekt beteiligten weiteren Prüflaboratorien (Ertec SA, Yverdon; Holcim (Suisse) SA, Eclépens), verschickt werden konnten.

In einem ersten Schritt wurden folgende Prüfungen an den beiden Sanden 0/2 und 0/4 durchgeführt:

- Bestimmung der Korngrössenverteilung (Siebanalyse) nach EN 933-1 [6]
- Bestimmung der des Fließkoeffizienten nach EN 933-6 [1]
- Bestimmung der Kornform nach SN 670 130 [7]

Nach dem Vorliegen der ersten Resultate, ergab sich der Verdacht, dass beim Sand 0/4 (Brechsand) der Fließkoeffizient anscheinend durch die Korngrössenverteilung (dargestellt durch die Körnungsziffer k) beeinflusst sein könnte. Um diese mögliche Abhängigkeit mit der Korngrössenverteilung abzuklären, wurde ein Sand aufgetrennt und so zusammengesetzt, dass mit dem gleichen Sand drei verschiedene Körnungsziffern resultierten. Damit konnten zwei der drei Parameter als Einflussgrössen (Kornform, Kornrundung) eliminiert werden. Es wurden zwei Proben mit einer konstruierten Korngrössenverteilung aus der Probe 06-05960-002 (KW Zurzach) hergestellt. An diesen zwei Proben wurde anschliessend der Fließkoeffizient nach EN 933-6 [6] bestimmt. Die Daten und Auswertung der ersten Versuche finden sich im Kapitel 3.1.

Durch diesen Versuch erhärteten sich die Verdachtsmomente, dass der Fließkoeffizient ursächlich von der Korngrössenverteilung abhängt. Da in dieser Phase des Projektes bereits die Daten und Schlussfolgerungen von Stütz et al. [4] vorlagen, wurde in der Begleitkommission beschlossen, dass dieser Umstand genauer untersucht werden sollte. Als Grundlage dieser Untersuchung dienten dabei die Daten der IMP Bautest AG aus den Jahren 2005 – 2013. Die Ergebnisse dieser Datenauswertung sind im Kapitel 3.2 dargestellt.

3.1 Auswertung der Daten des Forschungsprojektes

3.1.1 Kornform

Die Abbildung 3 zeigt die erhobenen Daten bei den drei Forschungsstellen bezüglich der Kornform der Brechsande 0/2 ($n=6$).

Vergleich KF - 3 Labore Brechsand 0/2

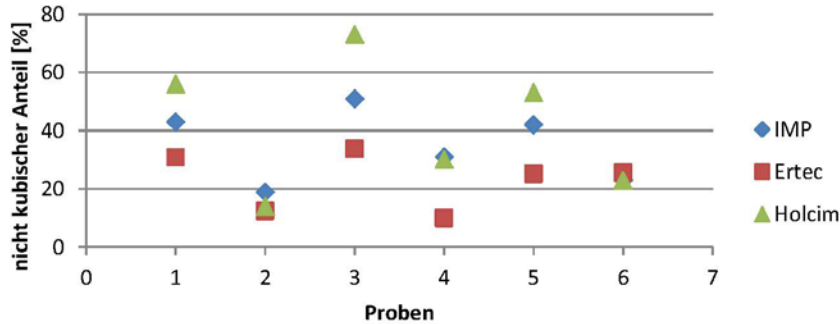


Abb. 3: Vergleich der Ergebnisse der drei Labore, Prüfung Kornform an Brechsanden 0/2 gemäss der ungültigen SN 670 130.

Das Diagramm zeigt, dass die drei Labore **nur bei 2 Proben konsistente Resultate** für die Bestimmung der Kornform gefunden haben. Bei den anderen 5 Proben wurden Abweichungen von bis zu 20 Zahl-%, bezogen auf den Mittelwert, festgestellt. Bei einer statistischen Betrachtung bezüglich Streubereiche der Werte liegen die Werte innerhalb des Vertrauensintervalls von 95 % (Tab. 1), weil in diese Berechnungen die grossen Streubereiche einfließen. Abweichungen von 20 % bezüglich der Kornform sind aber bezogen auf die Qualität des Materials für die Herstellung von Mischgut relevant, sodass es schwierig ist diese Datenbasis für weitere Vergleiche heranzuziehen (siehe Kapitel 3.2).

Probe-Nr.	IMP	Ertec	Holcim	Mittelwert	s	s ²	2 x s (95 %)
	nicht kubisch	nicht kubisch	nicht kubisch				
06-05985-001	43	31	56	43.3	10.3	105.9	20.6
06-05960-001	19	13	14	15.2	2.8	7.7	5.6
06-05960-002	51	34	73	52.6	16.0	257.4	32.1
06-05960-003	31	10	30	23.7	9.7	93.6	19.3
06-06006-002	42	25	53	40.1	11.4	130.7	22.9
07-00038-003	23	26	23	23.9	1.2	1.5	2.5

Tab. 1: Statistische Auswertung der Daten der Brechsande 0/2 bezüglich der Kornform.

Bei den Brechsanden 0/4 (n=3) sind die Unterschiede zwischen den Resultaten der Labore weniger augenfällig (Abb. 4):

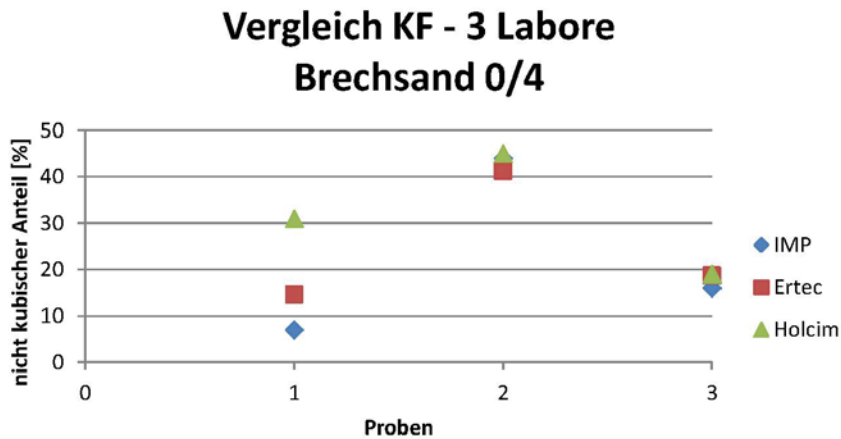


Abb. 4: Vergleich der Ergebnisse der Labore, visuelle Bestimmung der Kornform an Brechsanden 0/4 gemäss der ungültigen SN 670 130.

Die weniger grossen Unterschiede können mit der Korngruppe 2/4 erklärt werden. Diese Korngruppe kann visuell (aufgrund der Grösse) zuverlässiger beurteilt werden.

Abschliessend kann dieser Ringversuch innerhalb des Forschungsprojekts aufgrund der grossen Messunsicherheit der Methode als nicht zielführend für die weitere Bearbeitung des Forschungsprojektes beurteilt werden.

3.1.2 Fließkoeffizient

Die Daten, welche für den Fließkoeffizient (Brechsande 0/2 und 0/4) erhoben wurden, erweisen sich im Gegensatz zur Kornform als robuster (siehe Abb. 5 und 6), mit einer Ausnahme: die Werte des Holcim-Labors weisen eine systematische Abweichung auf.

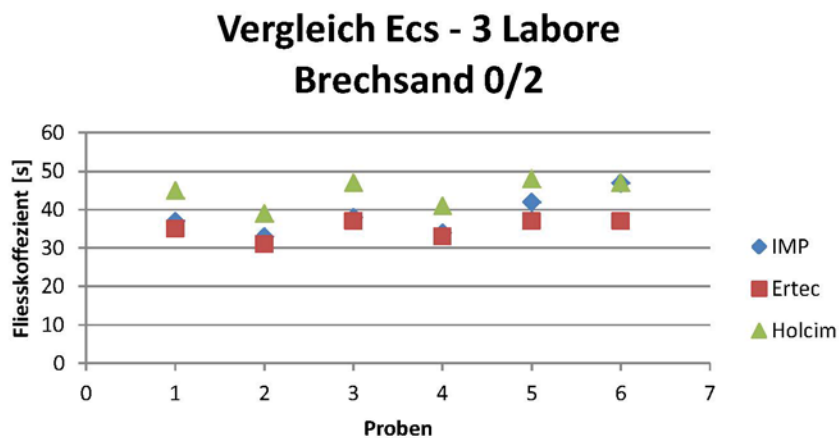


Abb. 5: Vergleich der Ergebnisse der drei Labore, Prüfung des Fließkoeffizienten an Brechsanden 0/2 gemäss der SN EN 933-6.

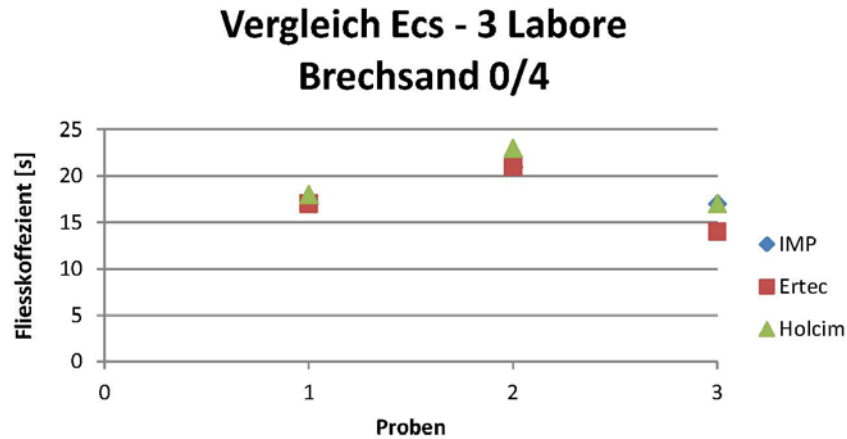


Abb. 6: Vergleich der Ergebnisse der drei Labore der Prüfung Fließkoeffizient an Brechsanden 0/4 gemäss der SN EN 933-6.

Diese systematische Abweichung konnte in der Diskussion eruiert werden. Das Holcim-Labor benutzte für den Versuch einen zusätzlichen Aufsatz, damit die Gesteinskörnung besser in die Versuchseinrichtung eingefüllt werden konnte. Dieser Aufsatz hatte im Gegenzug zur Folge, dass, verglichen mit den anderen Laboren, längere Durchflusszeiten resultierten.

Für die weiteren Betrachtungen mussten die Daten des Labors Holcim aber ausgeschlossen werden.

3.1.3 Vergleich Kornform - Fließkoeffizient

Im nächsten Schritt wurden die Daten aufbereitet, um herauszufinden, ob eine Korrelation zwischen Kornform und Fließkoeffizient besteht. Für den Brechsand 0/2 kann aufgrund der vorliegenden Daten gefolgert werden, dass die Korrelation nicht besteht (siehe Abb. 7). Für den Fließkoeffizienten wurden nur die Daten der Labore Ertec und IMP verwendet.

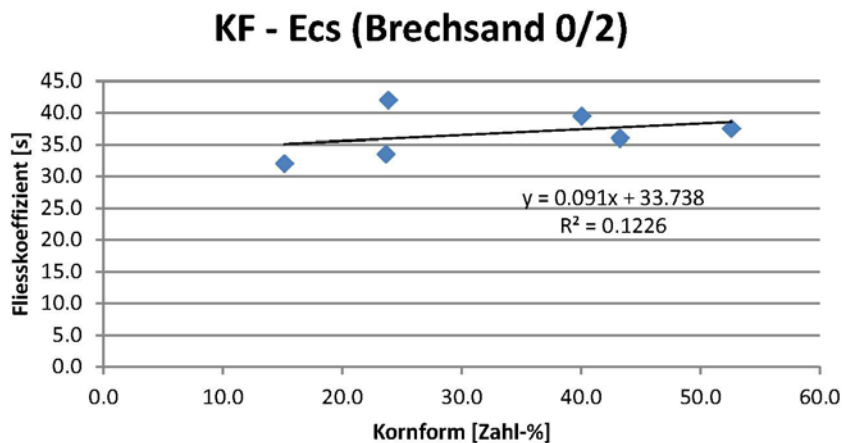


Abb. 7: Diagramm Fließkoeffizient Sand 0/2 in Abhängigkeit der Kornform. Es resultiert eine sehr schwache Korrelation der zwei Parameter.

Die Abbildung 7 zeigt, dass die zwei Parameter nicht korrelieren, mit $R^2 = 0.12$ ist die Korrelation sehr schwach.

Für die Brechsande 0/4 präsentiert sich die Situation anders. Der Korrelationskoeffizient R^2 ist mit einem Wert von 0.92 sehr hoch, eine Korrelation aufgrund der vorliegenden Daten ist wahrscheinlich. Die einzige Schwachstelle ist die geringe Datenbasis mit drei Punkten.

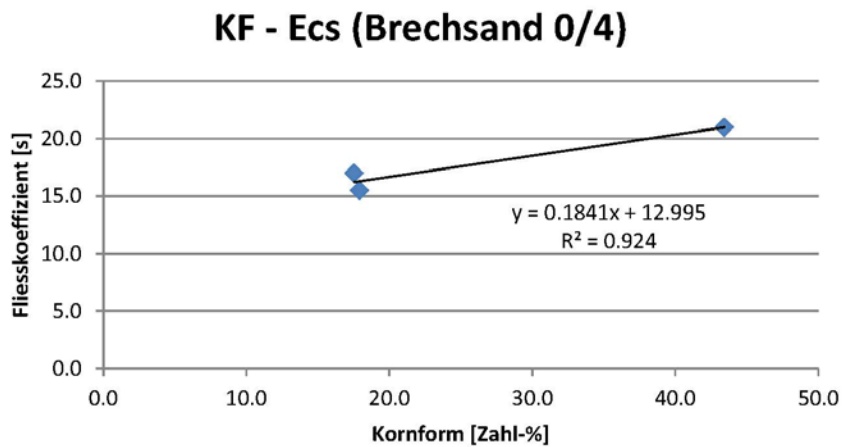


Abb. 8: Diagramm Fließkoeffizient Sand 0/4 in Abhängigkeit der Kornform. Die Korrelation ist hoch, beruht aber nur auf 3 Datenpunkten.

Die vorliegenden Daten liefern keine schlüssigen Beweise, dass es möglich ist, nur mit der Prüfung des Fließkoeffizienten, die Kornform eines Sandes abschliessend zu beurteilen. Die Datenbasis bei den Brechsanden 0/4 ist leider zu gering, um die sich in den Daten abzeichnende positive Korrelation zu erhärten.

3.1.4 Fließkoeffizienten in Abhängigkeit der Korngrößenverteilung

Um die im Forschungsprojekt benutzten Sande zu charakterisieren, wurde zu den Prüfungen Kornform und Fließkoeffizienten auch jeweils die Korngrößenverteilung bestimmt. Um eine allfällige Abhängigkeit der untersuchten Parameter von der Korngrößenverteilung der benutzten Sande abzuklären, wurde die sogenannte Körnungsziffer verwendet.

Die Körnungsziffer (k-Wert) wird in der Betonherstellung als Summenparameter für die Korngrößenverteilung benutzt. Die Körnungsziffer ist ein Kennwert für den Wasseranspruch von Gesteinskörnungsgemischen in der Betonherstellung.

Dieser Wert wird als die Summe der Rückstände auf den Sieben des genormten vollständigen Siebsatzes (d.h. 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8; 16; 31,5 und 63 mm-Siebe) in %, dividiert durch 100, bestimmt:

$$k = \frac{\text{Summe aller Rückstände}}{100}$$

Die folgenden zwei Abbildungen zeigen die Diagramme, in welchen Korngrößenverteilung in Abhängigkeit des Fließkoeffizienten aufgetragen sind. Für die Brechsande 0/2 ist keine Korrelation erkennbar, der Korrelationsfaktor R^2 beträgt 0.07 (Abb. 9).

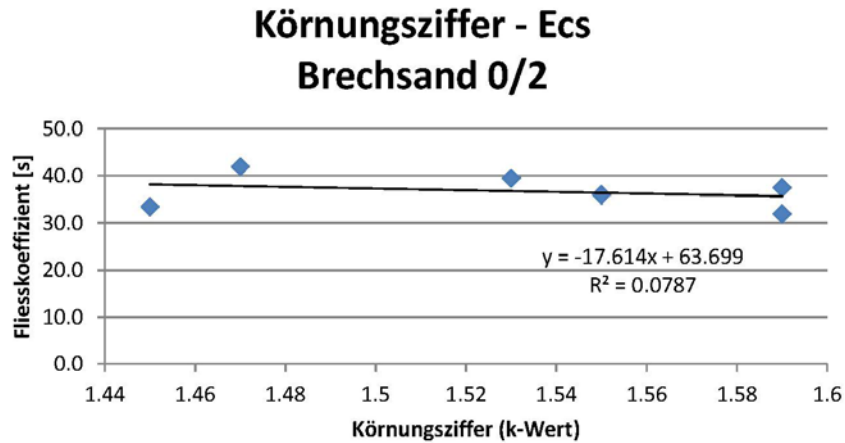


Abb. 9: Diagramm Fliesskoeffizient in Abhängigkeit der Körnungsziffer (k-Wert) für die Brechsande 0/2.

Bei den Brechsanden 0/4 resultiert hingegen eine starke Korrelation ($R^2 = 0.99$), d.h. der Fliesskoeffizient ist proportional zur Körnungsziffer und hängt direkt davon ab.

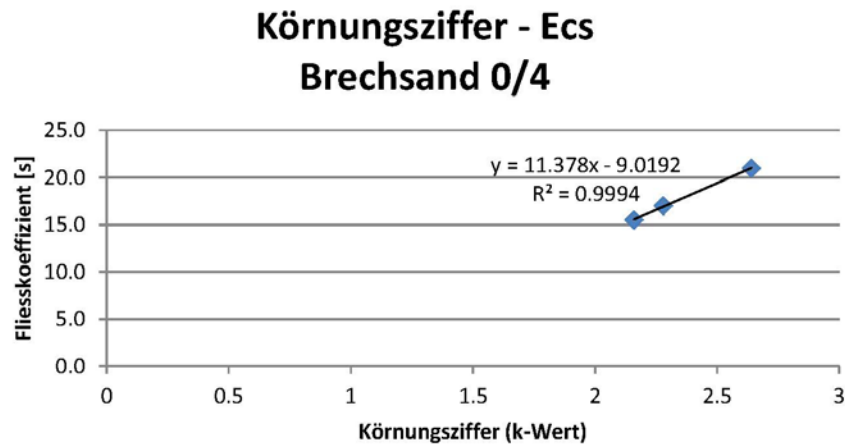


Abb. 10: Diagramm Fliesskoeffizient in Abhängigkeit der Körnungsziffer (k-Wert) für die Brechsande 0/4.

Natürlich muss das Ergebnis für die Brechsande 0/4 auch im Licht der sehr geringen Datendichte beurteilt werden.

Um diese unterschiedlichen Abhängigkeiten zu verifizieren, wurde ein weiterer Versuch durchgeführt. Ein Brechsand 0/2 (Kieswerk Zurzach) wurde in seine Bestandteile aufgetrennt und so zusammengemischt, dass drei verschiedene Korngrößenverteilungskurven und Körnungsziffern resultierten (siehe Abb. 11). An diesen drei Materialien wurde dann anschliessend wiederum der Fliesskoeffizient bestimmt (Abb. 12).

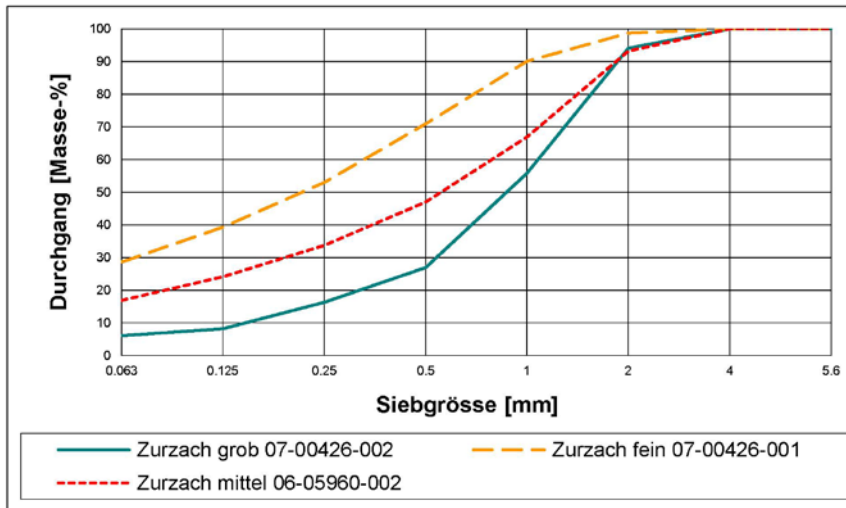


Abb. 11: Brechsand 0/2 Zuzach zusammengesetzt mit drei verschiedenen Körnungsziffern.

Im resultierenden Diagramm (Abb. 12) ist die Abhängigkeit des Fließkoeffizienten von der Korngrößenverteilung klar erkennbar, der Korrelationskoeffizient beträgt 0.97.

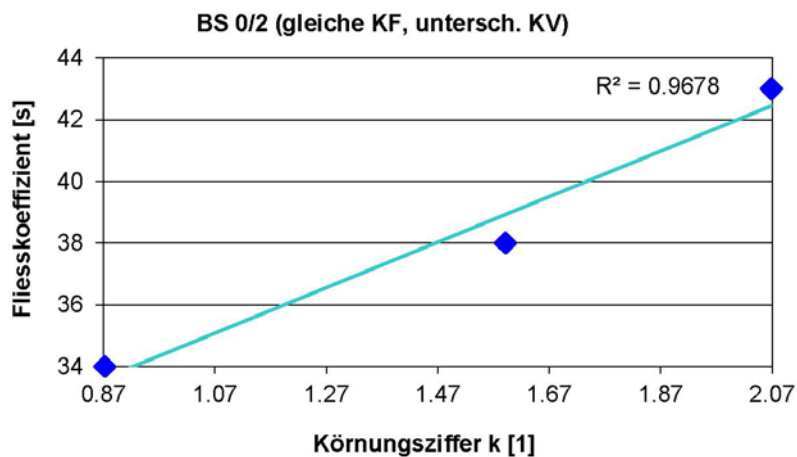


Abb. 12: Fließkoeffizienten des zusammengesetzten Brechsandes 0/2 Zuzach. Eine Abhängigkeit des Fließkoeffizienten von der Korngrößenverteilung ist sichtbar.

Nach dem Vorliegen dieser Resultate wurde beschlossen, den Umstand, dass der Fließkoeffizient eines Sandes allenfalls von seiner Korngrößenverteilung abhängt oder gesteuert wird, genauer zu untersuchen. Falls sich herausstellen würde, dass diese Abhängigkeit vorhanden ist, würde dies bedeuten, dass mit der Prüfung des Fließkoeffizienten keine Aussage über das Verhältnis Brechsand/Rundsand in einem Sand gemacht werden kann, wie dies früher mit der Prüfung der Kornform der Fall war. Allenfalls könnte die Prüfung des Fließkoeffizienten im Sinne einer Qualitätskontrolle im Werk benutzt werden, um schnell mit einer einfachen Prüfung die Homogenität einer Sandproduktion zu überprüfen.

Um diese Abklärungen mit einer signifikanten Datendichte durchzuführen, wurde im August 2012 in der Begleitkommission beschlossen, dass die IMP Bautest AG ihre Auftragsdatenbasis aus den Jahren ab 2005 nach diesen Parametern auswerten würde. Eine erste Schätzung ergab im Herbst, dass für die Brechsande 0/2 rund 250 Datensätze (Korngrößenverteilungskurve, Fließkoeffizient) und für die Sande 0/4 rund 125 Datensätze bereitgestellt werden könnten.

3.2 Auswertung der Daten der IMP Bautest AG

3.2.1 Brechsande 0/2

Nachdem der Auszug der Auftragsdatenbank der IMP Bautest AG bereinigt war (d.h. unvollständige Datensätze eliminiert), konnte die Auswertung mit 154 Datensätzen begonnen werden.

Die Abbildung 13 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Körnungsziffern (k-Wert). Die Körnungsziffer wurde gemäss der im Kapitel 3.1.3 beschriebenen Definition für die Proben berechnet. Das Diagramm zeigt eine leicht asymmetrische Normalverteilung für Körnungsziffern im Bereich 1.5 – 2.0.

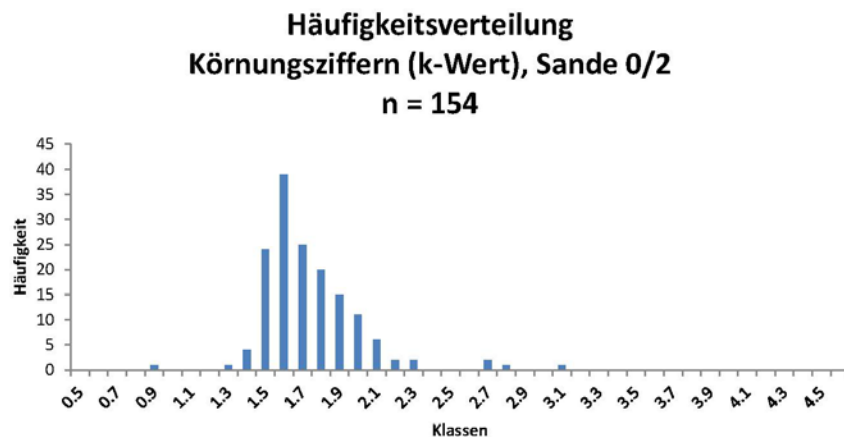


Abb. 13: Häufigkeitsverteilung der Klassen der Körnungsziffern für die Sande 0/2.

Das Histogramm für den Fließkoeffizienten zeigt eine bimodale Verteilung der Werte um die Werte 34 und 39. Es wurden an Sanden 0/2, wobei es sich bei diesen Sanden in aller Regel um gebrochene Sande handelt, kein Wert unter 31 s gemessen. Zu den hohen Werten hin ist die Verteilung viel offener (> 39 s).



Abb. 14: Häufigkeitsverteilung der Klassen der Fließkoeffizienten für Sande 0/2.

Die Gegenüberstellung der zwei Parameter k-Wert und Ecs findet sich in Abbildung 15. Das Diagramm zeigt noch keine eindeutige Tendenz in Richtung einer Abhängigkeit des Fließkoeffizienten von der Korngrößenverteilung. Der Korrelationsfaktor beträgt 0.36, welcher auf einen vorhandenen Trend hinweist.

Auf dem Diagramm der Abbildung 15 fallen sofort einige Punkte auf, welche sich relativ weit weg von der Punktwolke befinden, welche die Korrelation auf die eine oder andere Art beeinflussen.

In weiteren Auswertungsschritten wurde versucht, mit gewichteten linearen Regressionen die Einflüsse der von der Punktwolke weiter entfernten Punkten einfließen zu lassen. Diese Versuche zeigten, dass auf diesem Wege das Bestimmtheitsmass (Korrelationsfaktor) nicht verbessert werden kann.

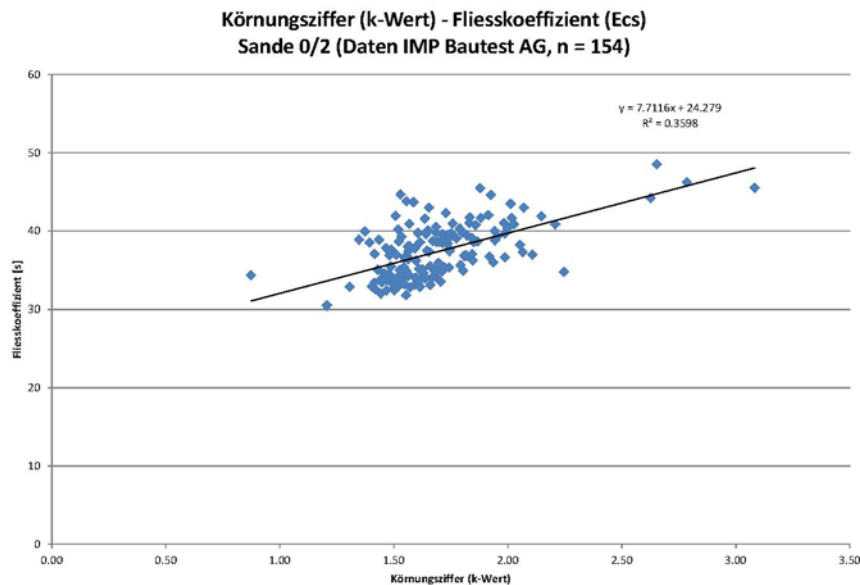


Abb. 15: Gegenüberstellung der Körnungsziffer (k-Wert) und Fliesskoeffizient (Ecs) von Sanden 0/2 aus dem Datenbestand der IMP Bautest AG.

Anschliessend wurden die Datenbestände einer weiteren Prüfung unterzogen, dabei wurde festgestellt, dass auch Datenpunkte in die Auswertung eingeflossen sind, welche die Anforderungen der Norm SN 670 103b-NA bezüglich der Korngrössenverteilung nicht erfüllten.

In einem nächsten Schritt wurden deshalb nur die Datensätze berücksichtigt, welche die erwähnten Anforderungen an die Siebkurve erfüllten. Hierfür wurde die Körnungsziffer für die Grenzkurven für einen Brechsand 0/2 der SN 670 103b-NA berechnet. Alle Datensätze mit einer Körnungsziffer, welche ausserhalb dieser zwei Werte waren, wurden für die weiteren Betrachtungen verworfen.

Dieser Aufbereitungsschritt reduzierte die Anzahl Datensätze von 154 auf 84 Datensätze. Der Korrelationsfaktor R^2 reduzierte sich dabei aber auch von 0.36 auf 0.24 (siehe Abb. 16).

In einem nächsten Schritt wurden nun die Datensätze der einzelnen Produzenten isoliert betrachtet. In der nachfolgenden Betrachtung werden nur jene Produzenten analysiert, welche mehr als 3 Datensätze zur Analyse beisteuern konnten, in welchen die Korngrössenverteilung der Norm entspricht. Damit wurde die Anzahl der Datensätze von 84 auf 68 reduziert. Diese 68 Datensätze werden von 3 Produzenten geliefert.

Die Analyse der einzelnen Werke bringt nun interessante Resultate hervor.

- a. Werk BE1 (28 gültige Datensätze, Abb. 17)
Die Korrelation zwischen der Korngrössenverteilung und dem Fliesskoeffizient ist schwach. Das Bestimmtheitsmass ist mit ca. 13% relativ klein.

- b. Werk BE2 (24 gültige Datensätze, Abb. 18)
Eine Korrelation zwischen der Korngrößenverteilung und dem Fließkoeffizient ist vorhanden. In knapp 40 % der Fälle ist die Streuung des einen Parameters abhängig von der Streuung des jeweiligen anderen Parameters.
- c. Werk BE3 (16 gültige Datensätze, Abb. 19)
Die Korrelation zwischen der Korngrößenverteilung und dem Fließkoeffizient ist stark. In knapp 70 % der Fälle ist der Fließkoeffizient durch die Korngrößenverteilung beeinflusst.

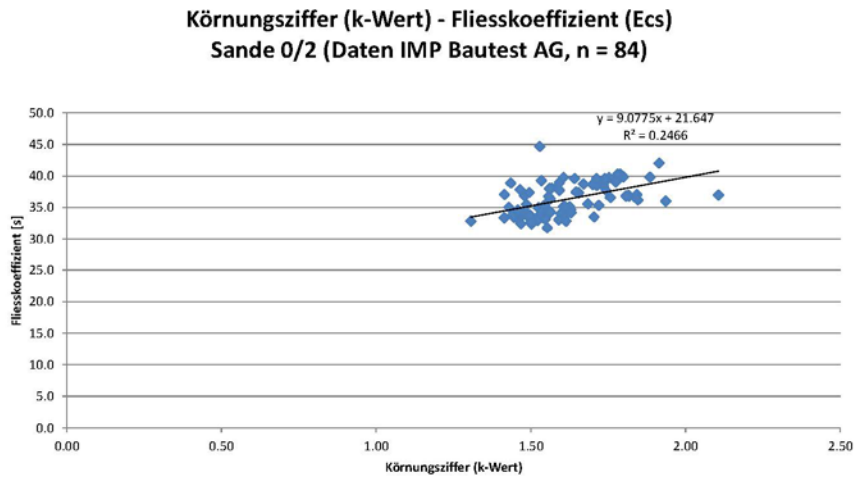


Abb. 16: Gegenüberstellung der Körnungsziffer (k-Wert) und Fließkoeffizient (Ecs) von normkonformen Sanden 0/2 aus dem Datenbestand der IMP Bautest AG.

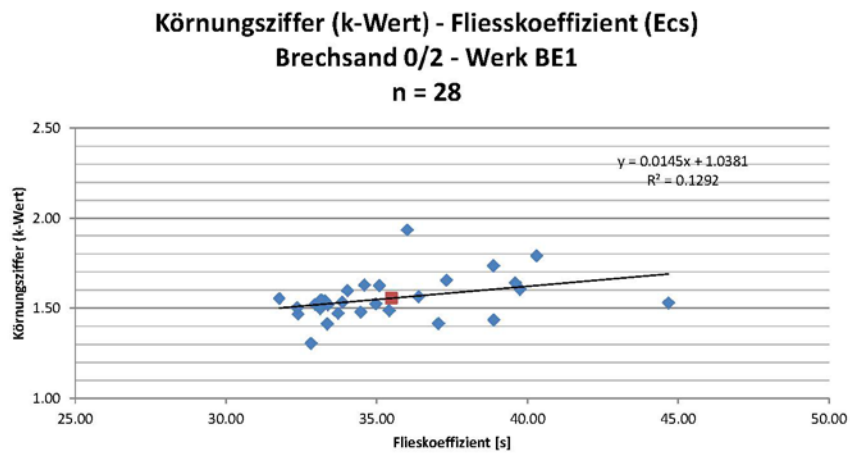


Abb. 17: Schwache Korrelation zwischen Fließkoeffizient und Korngrößenverteilung von Brechsand 0/2 von Werk BE1.

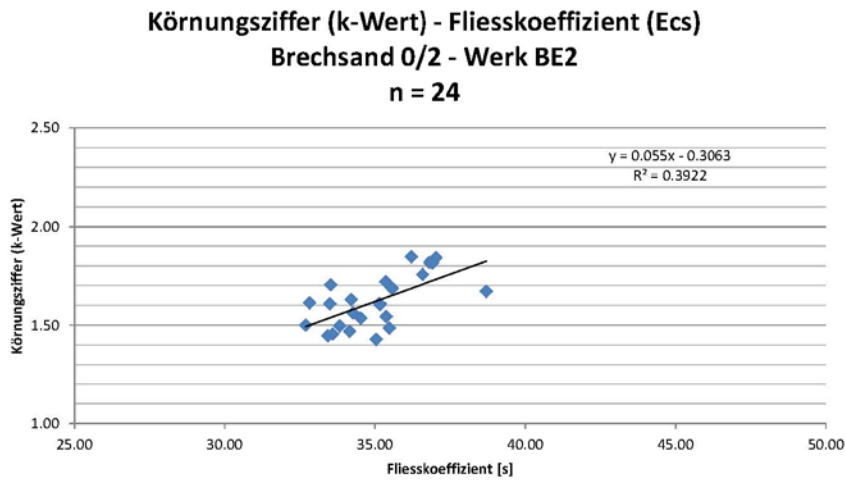


Abb. 18: Korrelation zwischen Fliesskoeffizient und Korngrössenverteilung von

Brechsand 0/2 von Werk BE2.

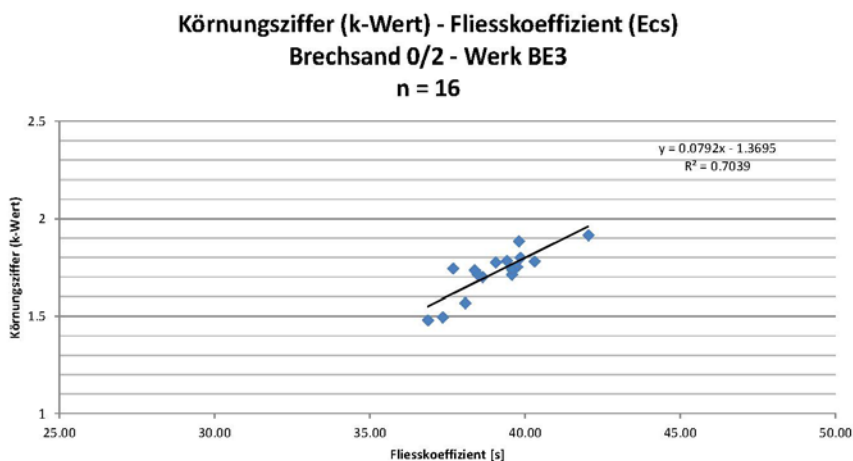


Abb. 19: Starke Korrelation zwischen Fliesskoeffizient und Korngrössenverteilung von Brechsand 0/2 von Werk BE3.

Abschliessend lässt sich feststellen, dass die Auswertung des Datenbestandes von Brechsanden 0/2 der IMP Bautest AG ein schwierig zu interpretierendes Bild ergibt. Wenn die Datensätze nur als solche statistisch ausgewertet werden, ist die resultierende Korrelation zwischen Korngrössenverteilung und Fliesskoeffizient als vorhanden einzustufen, auch wenn sie noch nicht sehr ausgeprägt ist. Bricht man die Datensätze auf einzelne Werke hinunter, ergibt sich ein ausgeprägt heterogenes Bild bezüglich der Daten. Es gibt Werke, welche eine sehr starke Korrelation zwischen den zwei betrachteten Parametern aufweisen. Es gibt aber auch Werke, welche die Datenlage der Gesamtdaten widerspiegeln.

Die Werke A – C befinden sich im Schweizer Mittelland, sodass die Interpretation noch nicht auf die ganze Schweiz verallgemeinert werden kann. Zudem befinden sich die drei Werke innerhalb von rund 20 km. Die Schottervorkommen sollten also eine ähnliche petrographische Zusammensetzung aufweisen. Eine kurze Prüfung der durchschnittlichen Petrographie der drei Werke hat ergeben, dass diese Aussage nicht verallgemeinert werden kann. Gewisse Korngruppen weisen die gleiche

Zusammensetzung innerhalb der Messunsicherheit auf, andere Korngruppen weisen signifikante Unterschiede auf, wobei nicht bekannt ist, ob diesen Korngruppen im Werk andere petrographische Komponenten zudosiert werden.

Produzent	Typologie, geeignete Anteile (Kategorien), M.-%						Typologie, ungeeignete Anteil (Kategorien), M.-%		
	A	B	C	D	E	F	P	Q	S
Werk BE1	8.8	12.8	21.5	23.8	7.3	23.4	1.7	0.5	0
Werk BE2	18.2	17.0	15.7	21.5	13.4	10.3	3.6	0.1	0
Werk BE3	12.6	7.5	8.9	28.5	28.9	13.5	0.2	0	0

Tab. 2: Mittelwerte der petrographischen Kategorien für den Anteil 2/4 von Brechsanden 0/4. Die Mittelwerte zeigen, dass sich die Petrographie dieser Korngruppe in den drei Werke für einzelne Kategorien sehr ähnlich ist, für andere Kategorien aber sehr unterschiedlich darstellt.

Es ist aber schwer nachvollziehbar, wie es bei der aktuellen Datenlage gelingen soll, den Fließkoeffizienten als Summenparameter für die Güte von Brechsand 0/2 einzusetzen, da dieser in variablem Umfang von der Korngrößenverteilung abhängig ist.

3.2.2 Brechsande 0/4

Bei der Auswertung der IMP-Datenbank der Sande 0/4 wurde gleich vorgegangen wie beim Sand 0/2. In einem ersten Schritt wurden die Daten summarisch ausgewertet. Dabei resultieren die folgenden Häufigkeitsverteilungsdiagramme (Abb. 20 und 21). Bei den Sanden 0/4 konnte noch zwischen Brech- und Rundsanden unterschieden werden. Es fällt sofort ins Auge, dass die Population der Werte des Fließkoeffizienten der Rundsande kleiner (9 Werte) ist als jene der Brechsande (120 Werte). Im Weiteren ist die Population der Fließkoeffizienten für die Brechsande normalverteilt, jene der Rundsande asymmetrisch.

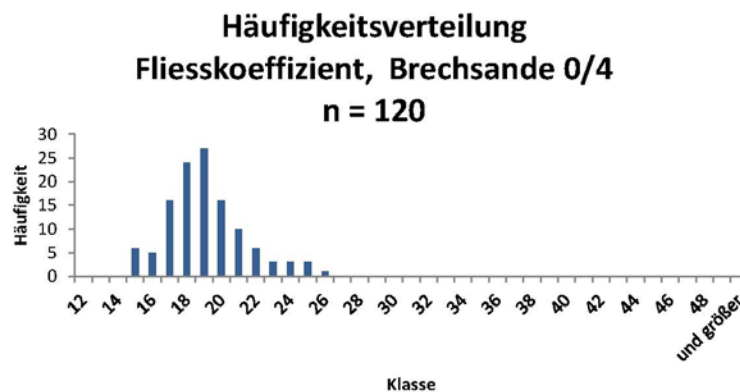


Abb. 20: Fließkoeffiziente der Brechsande 0/4 aus dem Datenbestand der IMP Bautest AG (2004 – 2012).

Die gemessenen Werte für die Sande 0/4 liegen im Allgemeinen deutlich tiefer als jene der Sande 0/2.

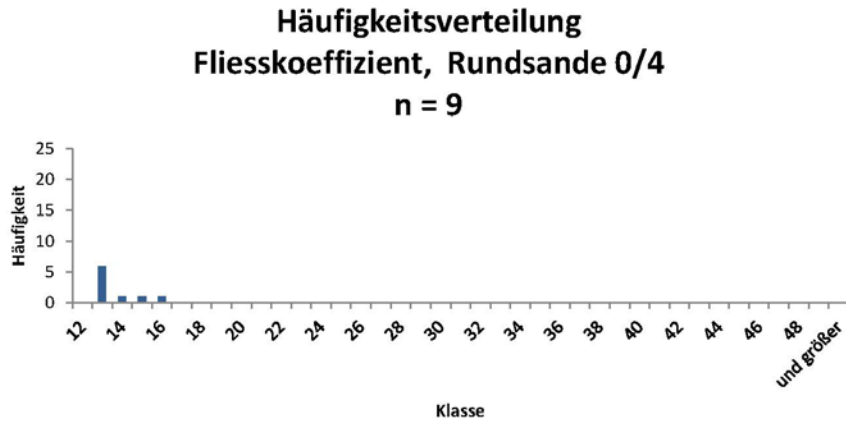


Abb. 21: Fließkoeffiziente der Rundsande 0/4 aus dem Datenbestand der IMP Bautest AG (2004 – 2012).

Das Histogramm für die Körnungsziffern der Sande 0/4 erstreckt sich über einen grösseren Bereich als für die Brechsande 0/2 (Abb. 22). Der Mittelwert ist ebenfalls höher als bei den Sanden 0/2. Die Werte, welcher in der Verteilung häufiger als dreimal vorkommen (siehe Abb. 22), können keinen Proben zugewiesen werden, welche spezielle Eigenschaften aufweisen würden (z.B. rund statt gebrochen). Die Datendichte ist im Allgemeinen kleiner als für die Sande 0/2.

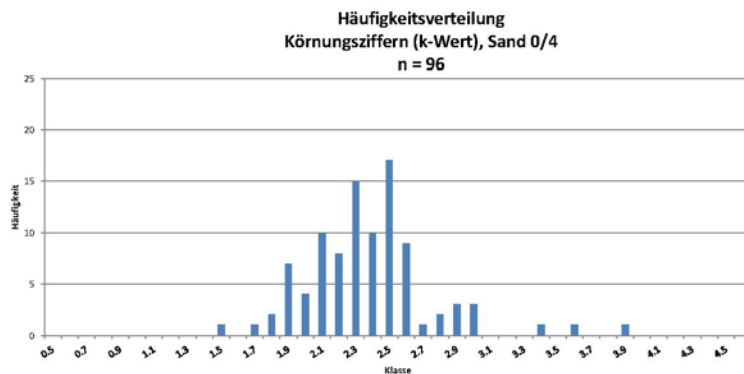


Abb. 22: Körnungsziffern von Sanden 0/4 aus dem Datenbestand der IMP Bautest AG (2004 – 2012).

Im nächsten Schritt wurden nur die normkonformen Werte für die Sande 0/4 für die weitere Auswertung nach Werken berücksichtigt. Ebenfalls wurden nur Werke berücksichtigt, welcher mehr als 3 Datensätze zur Auswertungen beitragen konnten. In diesem Auswertungsschritt wurde die Anzahl von 96 auf 27 Datensätze reduziert. Die Werte von fünf Werken konnten in die nähere Betrachtung einfließen.

Die Analyse der fünf Werke ergab folgende Resultate:

- a. Drei der fünf betrachteten Werke zeigen ein starke bis sehr starke Korrelation zwischen Fließkoeffizient und Körnungsziffer: GL1, SO1 und SO2. Das Bestimmtheitsmass variiert zwischen 0.69 und 0.99.
- b. Ein Werk (LU1) weist ein Bestimmtheitsmass von 0.4 auf, was auf eine vorhandene Beeinflussung der Siebkurve des 0/4-Sandes auf den Wert des Fließkoeffizienten hinweist.
- c. Nur bei einem Werk (Werk UR1) konnte keine Korrelation festgestellt werden (Bestimmtheitsmass von 0.02).

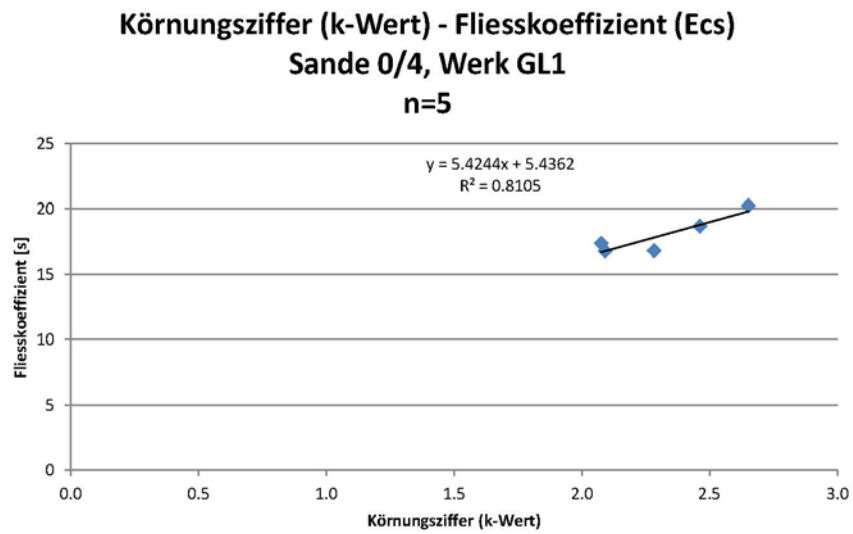


Abb. 23: Starke Korrelation zwischen Fließkoeffizient und Korngrößenverteilung des Sandes 0/4 von Werk GL1.

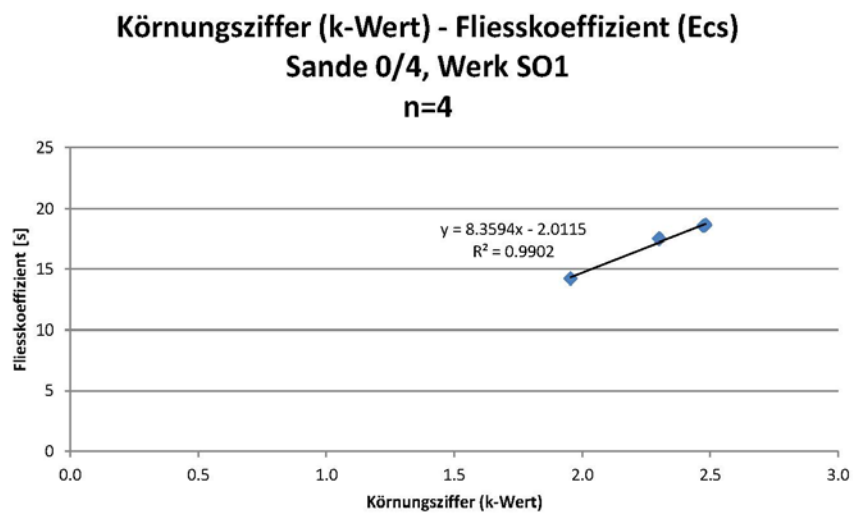


Abb. 24: Sehr starke Korrelation zwischen Fließkoeffizient und Korngrößenverteilung des Sandes 0/4 von Werk SO1.

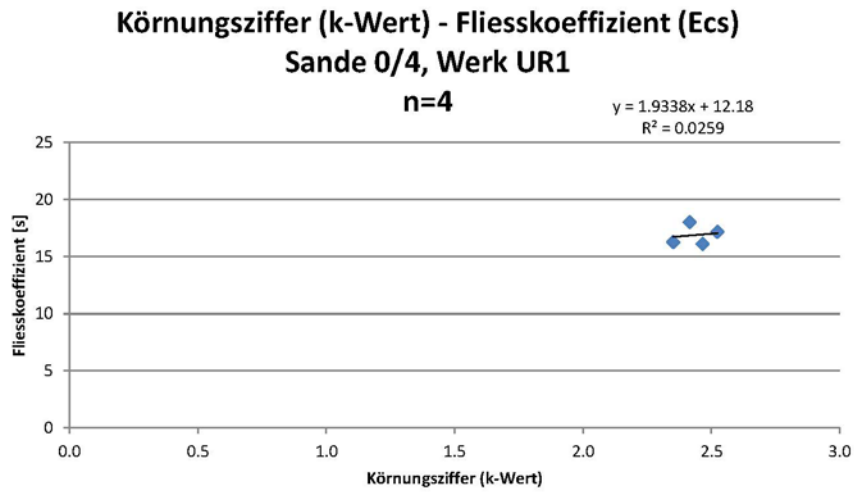


Abb. 25: Schwache Korrelation zwischen Fließkoeffizient und Korngrößenverteilung des Sandes 0/4 von Werk UR1.

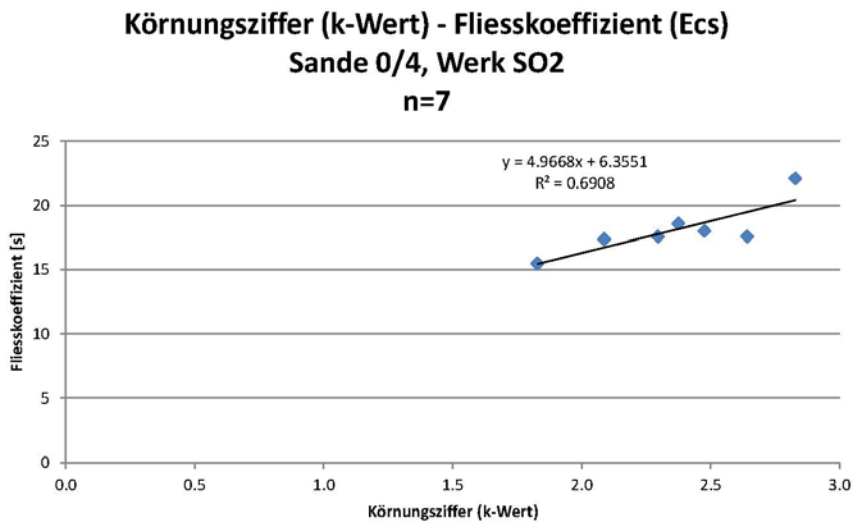


Abb. 26: Starke Korrelation zwischen Fließkoeffizient und Korngrößenverteilung des Sandes 0/4 von Werk SO2.

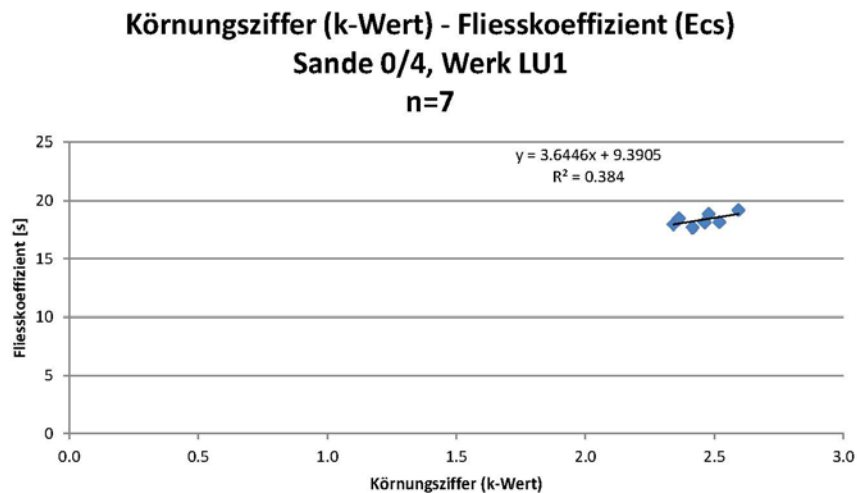


Abb. 27: vorhandene Korrelation zwischen Fließkoeffizient und Korngrößenverteilung des Sandes 0/4 von Werk LU1.

Im Falle der Sande 0/4 befinden sich die Werke nicht nur im Schweizer Mittelland, ein Werk befindet sich in der subalpinen Molasse (Werk LU1) und ein Werk (Werk UR1) in den Alpen.

Auch nach der Betrachtung der Sande 0/4 ist es schwer nachvollziehbar, wie der Fließkoeffizienten als Summenparameter für die Güte von Sanden einzusetzen ist, da dieser in noch grösserem Umfang von der Korngrößenverteilung abhängig zu sein scheint.

3.3 Fließkoeffizient in Abhängigkeit des kleinsten Kornes

3.3.1 Versuchsanordnung

Um zu zeigen, dass der Fließkoeffizient von der jeweiligen Korngrößenverteilung abhängt, wurde ein zusätzlicher Versuch konzipiert, bei welchem systematisch das kleinste Sieb variiert wurde. Damit sollte es eigentlich gelingen, die erwähnte Abhängigkeit der beiden Parameter zu demonstrieren. Es wurden dafür zwei Sande 0/2 und 0/4 aus zwei Werken (Werk BE2 und Werk BE3) verwendet. Die Sande 0/2 und Sande 0/4 wurden entsprechend dem normierten Prüfverfahren auf dem 0.063 mm und dem 2 mm, bzw. 4 mm-Sieb gesiebt und an der Fraktion 0.063 / 2 mm bzw. 0.063 / 4 mm der Fließkoeffizient bestimmt. Danach wurden die Sande auf dem 0.125 mm fraktioniert und wieder der Fließkoeffizient bestimmt. Danach erfolgte die nächsten Fraktionierungen bei 0.25 mm und 0.5 mm.

Auf diese Weise ergaben sich die Fraktionen, welche in der Tabelle 1 ersichtlich sind. In der Tabelle finden sich auch die Resultate für den Fließkoeffizient sowie die Körnungsziffern für die entsprechenden Korngruppen.

Sand 0/2				Sand 0/4			
Korngruppe	Körnungs- ziffer k	Fließkoeffizient Ecs [s]		Korngruppe	Körnungs- ziffer k	Fließkoeffizient Ecs [s]	
		Werk BE2	Werk BE3			Werk BE2	Werk BE3
0.063 / 2	1.5 / 1.8	34	41	0.063 / 4	1.8 / 1.8	13	13
0.125 / 2	1.5 / 1.8	37	41	0.125 / 4	1.8 / 1.8	13	13
0.25 / 2	1.5 / 1.8	40	46	0.25 / 4	1.8 / 1.8	14	14
0.5 / 2	1.9 / 2.1	46	52	0.5 / 4	2.1 / 2.1	17	17

Tabelle 3: Resultate Versuch Fließkoeffizient in Abhängigkeit des gewählten kleinsten Kornes

Die Sande 0/4 sind fast identisch in Bezug auf die Siebkurve und den Fließkoeffizient, sodass kaum Unterschiede im Verhalten zu erwarten waren. Dieser Befund wurde in den Versuchen bestätigt (siehe Abb. 28 und 29). Der Korrelationskoeffizient zwischen Fließkoeffizient und Körnungsziffer ist sehr hoch (0.94) bei beiden Sanden der Werke.

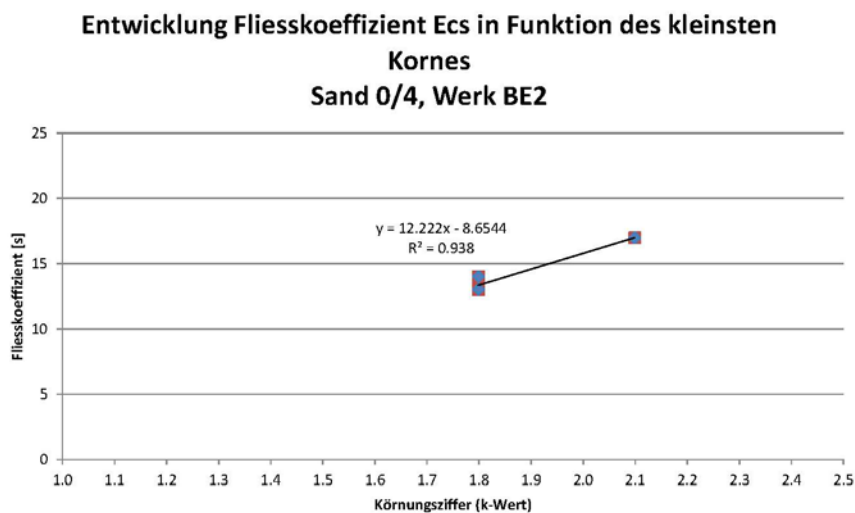


Abb. 28: Entwicklung des Fließkoeffizienten Ecs in Funktion des kleinsten Kornes für Sand 0/4, Werk BE2

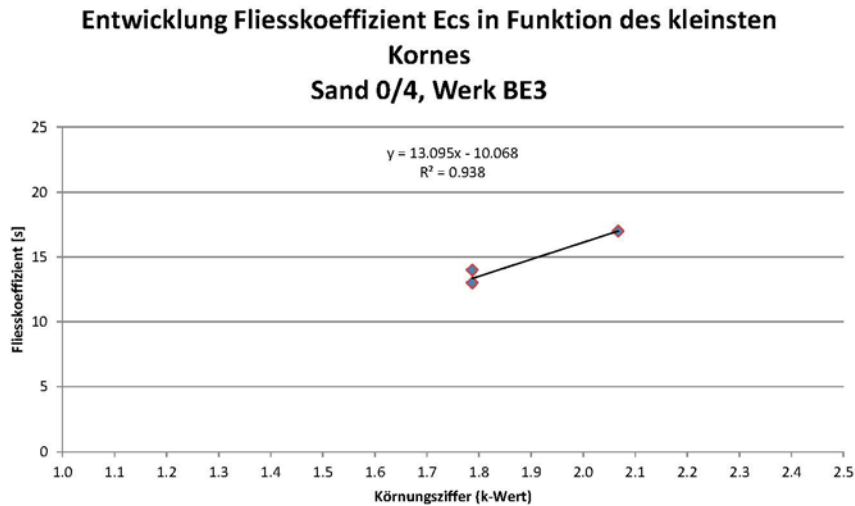


Abb. 29: Entwicklung des Fließkoeffizienten Ecs in Funktion des kleinsten Kornes für Sand 0/4, Werk BE3.

Bei den Sanden 0/2 weist die Korngrößenverteilung auf den oberen Sieben (2 und 4 mm) einen jeweils unterschiedlichen Verlauf auf, was sich in der einer unterschiedlichen Körnungsziffer und Fließkoeffizienten niederschlägt. Das Bestimmtheitsmass hingegen bewegt sich im gleichen Rahmen (0.77 bis 0.79) und zeigt eine starke Korrelation der beiden Parameter.

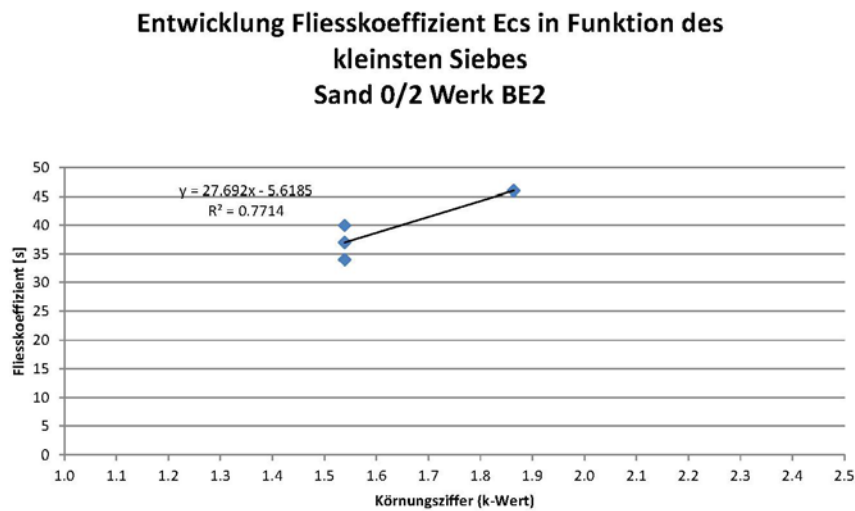


Abb. 30: Entwicklung des Fließkoeffizienten Ecs in Funktion des kleinsten Kornes für Sand 0/2, Werk BE2.

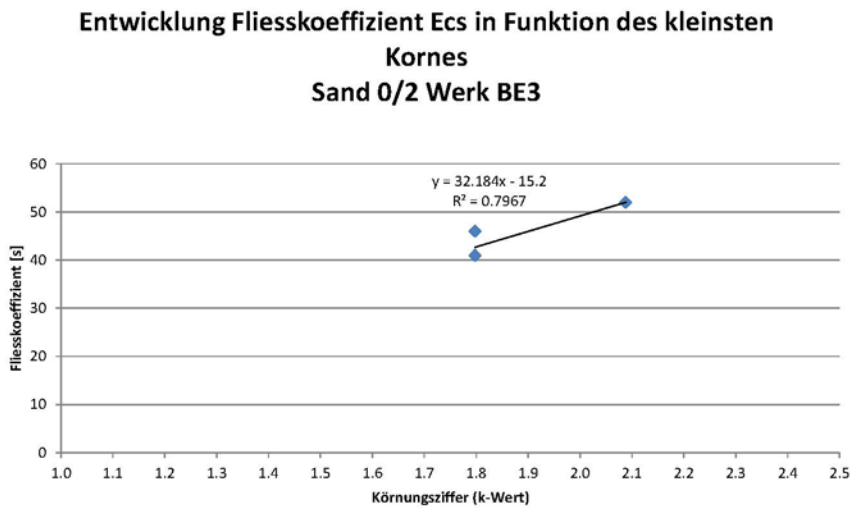


Abb. 31: Entwicklung des Fließkoeffizienten Ecs in Funktion des kleinsten Kornes für Sand 0/2, Werk BE3.

3.3.2 Interpretation des Versuches

Der Versuch verdeutlicht sehr klar, dass der Fließkoeffizient in erster Linie von der Korngrößenverteilung abhängt, und nicht von der Kornform- oder Kornrundung, wie dies bis anhin postuliert wurde.

4 Prüfungen am Mischgut

Der zweite Teil des Forschungsauftrages umfasste die Untersuchung der Eigenschaften eines bituminösen Mischgutes in Abhängigkeit des Fliesskoeffizienten des verwendeten Sandes. Es sollte der Frage nach dem Ausmass auf das Verformungsverhalten durch Sande mit unterschiedlichem Fliesskoeffizienten beantwortet werden. Mit der Antwort sollten dann Anforderungen an den Fliesskoeffizienten für feine Gesteinskörnungen der Schweiz festgelegt werden.

Nach dem Vorliegen der ersten Resultate der Prüfungen an den Gesteinskörnungen (siehe Kapitel 3.1) und den Schlussfolgerungen des deutschen Forschungsprojektes 2008 [4], wurde die Forschungsstrategie geändert. Da die deutsche Arbeit zum Schluss kam, dass asphalttechnologische Kennwerte keinen Zusammenhang mit dem Fliesskoeffizienten haben und unsere Auswertungen den Verdacht nahe legten, dass der Fliesskoeffizient von der Korngrössenverteilung abzuhängen scheint, wurde beschlossen, der Auswertung der IMP-Datenbasis 2005 – 2013 den Vorrang zu geben. Nur wenn sich diese Abhängigkeit zwischen Fliesskoeffizient und Korngrössenverteilung nicht erhärten liesse, wollte man Prüfungen am Mischgut durchführen, wie sie bei Aufnahme des Forschungsauftrages geplant waren. Wie in Kapitel 3.1 und 3.2 ausgeführt, existieren jedoch diese Abhängigkeiten, je nach Betrachtungsweise in grösserem oder geringerem Ausmass.

In der Zwischenzeit wurden jedoch einige, wenige Mischgutproben hergestellt, an welchen vereinzelt auch Prüfungen (Hohlraumgehalt, Bindemittelgehalt) durchgeführt wurden. Die Diskussion dieser vereinzelt Resultate erübrigt sich jedoch an dieser Stelle, da keinerlei Rückschlüsse aus diesen Daten gezogen werden können.

5 Schlussfolgerungen

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. 2008 [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 in grösserem oder geringerem Masse vorhanden sind. Das gleiche Bild zeigt sich bei den Sanden 0/4**. Da es aber eindeutig Werke gibt, welche Korrelationen zeigen, ist der Fliesskoeffizient nicht die geeignete Prüfung, um die Kornform, bzw. Kornrundung abschliessend zu beurteilen oder zwischen Brechsand oder Rundsand zu unterscheiden.

6 Ausblick und Empfehlungen

Mit der neuen EN 933-6, welche 2015 in Kraft treten wird, 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 damit die Abhängigkeit des Fliesskoeffizienten von der Korngrössenverteilung 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.

Anhänge

I	Daten Forschungsprojekt.....	46
I.1	Kornform.....	46
I.2	Kornrundung.....	46
I.3	Fließkoeffizient.....	46
I.4	Korngrößenverteilung / Körnungsziffer k.....	47
II	Daten IMP Bautest AG (2005 – 2013).....	48
II.1	Daten Sand 0/2.....	48
II.2	Daten Sand 0/4.....	49

I Daten Forschungsprojekt

I.1 Kornform

Kornform		IMP		Ertec		Holcim	
Probe-Nr.	Fraktion	kubisch	nicht kubisch	kubisch	nicht kubisch	kubisch	nicht kubisch
06-05985-001	Brechsand 0/2	57	43	69	31	44	56
06-05985-002	Brechsand 0/4	93	7	85	15	69	31
06-05960-001	Brechsand 0/2	81	19	87	13	86	14
06-05960-002	Brechsand 0/2	49	51	66	34	27	73
06-05960-003	Brechsand 0/2	69	31	90	10	70	30
06-06006-001	Brechsand 0/2	83	17	-	-	-	-
06-06006-002	Brechsand 0/2	58	42	75	25	47	53
06-06006-003	Brechsand 0/4	99	1	-	-	-	-
07-00038-001	Brechsand 0/4	56	44	59	41	55	45
07-00038-002	Rundsand 0/4	84	16	81	19	81	19
07-00038-003	Brechsand 0/2	77	23	74	26	77	23

I.2 Kornrundung

Kornrundung		IMP			Ertec			Holcim		
Probe-Nr.	Fraktion	Brech Korn	teilweise rund	rund	Brech Korn	teilweise rund	rund	Brech Korn	teilweise rund	rund
06-05985-001	Brechsand 0/2	98	2	0	95	5	0	99	1	0
06-05985-002	Brechsand 0/4	99	1	0	87	13	0	100	0	0
06-05960-001	Brechsand 0/2	100	0	0	84	16	0	97	2	1
06-05960-002	Brechsand 0/2	94	6	0	84	15	1	100	0	0
06-05960-003	Brechsand 0/2	100	0	0	80	19	1	94	6	0
06-06006-001	Brechsand 0/2	98	2	0	-	-	-	-	-	-
06-06006-002	Brechsand 0/2	98	2	0	85	15	0	100	0	0
06-06006-003	Brechsand 0/4	47	30	23	-	-	-	-	-	-
07-00038-001	Brechsand 0/4	100	0	0	99	1	0	100	0	0
07-00038-002	Rundsand 0/4	86	10	4	50	33	17	46	35	19
07-00038-003	Brechsand 0/2	100	0	0	83	17	0	96	4	0

I.3 Fließkoeffizient

Fließkoeffizient		IMP	Ertec	Holcim
Probe-Nr.	Fraktion			
06-05985-001	Brechsand 0/2	37	35	45
06-05985-002	Brechsand 0/4	17	17	18
06-05960-001	Brechsand 0/2	33	31	39
06-05960-002	Brechsand 0/2	38	37	47
06-05960-003	Brechsand 0/2	34	33	41
06-06006-001	Brechsand 0/2	37	-	-
06-06006-002	Brechsand 0/2	42	37	48
06-06006-003	Brechsand 0/4	12	-	-
07-00038-001	Brechsand 0/4	21	21	23
07-00038-002	Rundsand 0/4	17	14	17
07-00038-003	Brechsand 0/2	47	37	47

I.4 Korngrößenverteilung / Körnungsziffer k

Korngrößenverteilung		Siebdurchgänge									Körnungsziffer k
Probe-Nr.	Fraktion	8 mm	5.6 mm	4 mm	2 mm	1 mm	0.5 mm	0.25 mm	0.125 mm	0.063 mm	
06-05985-001	Brechsand 0/2	100	100	100	90.5	69.5	50.7	34.7	23.3	16.9	1.55
06-05985-002	Brechsand 0/4	100	100	96.4	68.3	47.8	34.7	24.9	17.9	13	2.28
06-05960-001	Brechsand 0/2	100	100	100	94.7	69.8	48.1	28.5	17	10.2	1.59
06-05960-002	Brechsand 0/2	100	100	100	93.2	66.9	47	33.7	24.1	16.9	1.59
06-05960-003	Brechsand 0/2	100	100	100	95.8	70.4	50.9	37.9	28.4	19.9	1.45
06-06006-001	Brechsand 0/2	100	100	100	98.2	64.4	42.8	30	20.8	14.7	1.65
06-06006-002	Brechsand 0/2	100	100	100	97.9	68.9	47	32.8	26	16.1	1.53
06-06006-003	Brechsand 0/4	100	99.9	99.2	81.4	65.5	45.8	16.9	6.2	2.6	1.91
07-00038-001	Brechsand 0/4	100	100	94.5	61.8	38.7	24.9	16.5	11.8	8.8	2.64
07-00038-002	Rundsand 0/4	100	100	98.8	78.8	55.4	34	16.9	8	2.9	2.16
07-00038-003	Brechsand 0/2	100	100	100	95	68.2	50.8	39.4	31.2	23.5	1.47
07-00426-001	Brechsand 0/2 fein	100	100	100	98.7	90.1	70.9	53	39.3	28.6	0.87
06-05960-002	Brechsand 0/2 mittel	100	100	100	93.2	66.9	47	33.7	24.1	16.9	1.59
07-00426-002	Brechsand 0/2 grob	100	100	100	94.1	55.8	26.9	16.3	8.2	6.1	2.07

Hersteller	Probe-Nr.	Material	63 mm	31.5 mm	16 mm	8 mm	4 mm	2 mm	1 mm	0.5 mm	0.25 mm	0.125 mm	0.063 mm	k	Ecs [s]
BE3	10-03431-001	Brechsand 0/2	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	92.54	63.18	43.79	30.47	20.68	13.97	1.7	38.6
BE3	10-03338-001	Brechsand 0/2	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	93.41	66.98	48.24	34.62	24.44	17.07	1.6	38.1
BE3	09-02546-001	Brechsand 0/2	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	90.86	62.81	43.18	29.65	20.03	13.78	1.7	38.4
BE3	07-03427-001	Brechsand 0/2	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	88.72	56.69	37.43	25.68	17.76	12.67	1.9	42.0
BE3	06-05978-001	Brechsand 0/2	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	90.49	62.32	42.87	29.92	20.60	14.30	1.7	37.7
BE3	06-05977-001	Brechsand 0/2	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	91.48	63.63	43.62	29.85	20.20	14.08	1.7	38.5
BE3	06-05808-001	Brechsand 0/2	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	89.68	60.78	41.48	28.12	19.09	13.49	1.8	39.8
BE3	06-05806-001	Brechsand 0/2	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	90.46	61.31	42.01	28.73	19.03	13.72	1.8	39.1
BE3	06-05804-001	Brechsand 0/2	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	91.20	63.33	44.02	30.22	20.55	14.33	1.7	39.6
BE3	06-05803-001	Brechsand 0/2	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	90.63	62.63	43.19	29.56	19.63	13.65	1.7	39.6

II.2 Daten Sand 0/4

Hersteller	Probe-Nr.	Material	63 mm	31.5 mm	16 mm	8 mm	4 mm	2 mm	1 mm	0.5 mm	0.25 mm	0.125 mm	0.063 mm	k	Ecs [s]
GL1	08-03470-001	Brechsand 0/4	100.00	100.00	100.00	100.00	97.38	70.93	37.59	19.02	9.84	7.08	5.35	2.7	20.3
GL1	10-01988-001	Brechsand 0/4	100.00	100.00	100.00	100.00	98.08	80.66	44.75	21.04	9.24	6.09	4.48	2.5	18.7
GL1	10-03613-001	Brechsand 0/4	100.00	100.00	100.00	100.00	98.30	79.30	46.59	29.66	17.86	11.35	7.61	2.3	16.8
GL1	11-02229-001	Brechsand 0/4	100.00	100.00	100.00	100.00	98.09	80.86	53.55	34.93	23.38	15.82	11.47	2.1	16.8
GL1	12-01323-001	Brechsand 0/4	100.00	100.00	100.00	100.00	98.82	86.80	56.25	31.98	18.53	12.88	9.77	2.1	17.4
SO1	05-01034-002	Brechsand 0/4	100.00	100.00	100.00	100.00	98.64	79.90	62.43	45.38	18.24	6.11	2.12	2.0	14.2
SO1	07-01891-001	Brechsand 0/4	100.00	100.00	100.00	100.00	97.81	72.70	50.14	34.58	14.72	23.08	9.49	2.3	17.5
SO1	08-05786-001	Brechsand 0/4	100.00	100.00	100.00	100.00	96.17	64.82	42.95	28.95	18.93	12.03	7.81	2.5	18.6
SO1	08-05964-001	Brechsand 0/4	100.00	100.00	100.00	100.00	96.25	64.97	42.94	29.08	19.32	12.62	8.32	2.5	18.6
UR1	05-03741-003	Brechsand 0/4	100.00	100.00	100.00	100.00	97.38	67.51	46.38	31.71	21.84	13.95	8.61	2.4	16.3
UR1	06-00898-003	Brechsand 0/4	100.00	100.00	100.00	100.00	97.70	68.80	41.79	29.44	20.64	13.53	8.50	2.4	18.0
UR1	06-04428-003	Brechsand 0/4	100.00	100.00	100.00	100.00	98.38	75.48	51.23	36.58	26.37	16.55	9.66	2.5	16.1
UR1	07-04170-003	Brechsand 0/4	100.00	100.00	100.00	100.00	96.62	64.89	39.91	27.03	19.18	12.74	8.19	2.5	17.2
SO2	06-02295-001	Brechsand 0/4	100.00	100.00	100.00	100.00	98.70	71.01	43.48	29.37	19.96	12.86	8.74	2.4	18.6
SO2	06-05043-001	Brechsand 0/4	100.00	100.00	100.00	100.00	91.70	55.89	33.59	21.60	14.37	9.76	7.02	2.8	22.1
SO2	07-02878-001	Brechsand 0/4	100.00	100.00	100.00	100.00	97.81	81.67	62.63	44.84	30.13	19.07	12.57	1.8	15.5
SO2	09-05713-001	Brechsand 0/4	100.00	100.00	100.00	100.00	94.85	75.67	49.04	31.12	19.79	12.77	8.65	2.3	17.6
SO2	11-03373-001	Brechsand 0/4	100.00	100.00	100.00	100.00	86.92	59.27	39.76	28.52	21.33	15.13	10.19	2.6	17.6
SO2	11-05769-001	Brechsand 0/4	100.00	100.00	100.00	100.00	97.46	76.54	54.44	37.73	25.10	15.87	10.32	2.1	17.4
SO2	12-03750-002	Brechsand 0/4	100.00	100.00	100.00	100.00	91.69	63.39	44.03	30.40	22.79	14.63	10.38	2.5	18.0
LU1	05-03061-005	Brechsand 0/4	100.00	100.00	100.00	100.00	93.58	63.29	41.96	29.10	20.12	13.71	10.40	2.5	18.1
LU1	06-00878-001	Brechsand 0/4	100.00	100.00	100.00	100.00	94.52	61.94	40.16	26.77	17.26	10.81	7.42	2.6	19.2
LU1	07-01684-001	Brechsand 0/4	100.00	100.00	100.00	100.00	94.13	64.88	43.57	29.82	19.71	12.58	8.58	2.5	18.8
LU1	09-01964-001	Brechsand 0/4	100.00	100.00	100.00	100.00	97.30	69.44	47.85	34.40	24.57	16.83	11.38	2.3	18.0
LU1	10-01631-001	Brechsand 0/4	100.00	100.00	100.00	100.00	95.71	65.17	43.29	29.74	19.78	12.73	8.72	2.5	18.1
LU1	11-02026-001	Brechsand 0/4	100.00	100.00	100.00	100.00	96.53	71.48	43.02	28.36	19.09	13.01	9.12	2.4	17.7
LU1	12-01388-001	Brechsand 0/4	100.00	100.00	100.00	100.00	95.50	70.82	45.80	31.02	20.64	13.23	8.90	2.4	18.4

Glossar

Begriff	Bedeutung
Ecs	Fließkoeffizient gemäss EN 933-6
BS	Brechsand
KF	Kornform
k-Wert	Körnungsziffer k
k	Körnungsziffer k
KV	Korngrößenverteilungskurve
IMP	IMP Bautest AG, 4625 Oberbuchsitzen
Ertec	Ertec SA, 1400 Yverdon-les-Bains
Holcim	Holcim (Suisse) SA, 1312 Eclépens
M.-%	Anteil in Massenprozent
n	Anzahl
R ²	Bestimmtheitsmass, Korrelationskoeffizient

Literaturverzeichnis

Normen

-
- [1] EN 933-6 (2001), Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Beurteilung von Oberflächeneigenschaften – Teil 6: Fliesskoeffizienten von Gesteinskörnungen
-
- [2] SN 670 103b-NA (2006), Gesteinskörnungen für Asphalte und Oberflächenbehandlungen für Strassen, Flugplätze und andere Verkehrsflächen
-
- [6] EN 933-1 (2005), Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 1: Bestimmung der Korngrößenverteilung - Siebverfahren
-
- [7] SN 670 130 (1998), Sand, Kies, Splitt und Schotter für Beläge (ungültig seit 2006, ersetzt durch [2])
-
- [8] SN 670 115 (2005), Gesteinskörnungen – Qualitative und quantitative Mineralogie und Petrographie
-
- [9] SN EN 12697-25 (2005), Asphalt – Prüfverfahren für Heissasphalt, Teil 25: Druckschwellversuch
-

Literatur

-
- [3] H.-J. Ritter (2004), Technische Lieferbedingungen und Werkseigene Produktionskontrolle von Gesteinskörnungen. Strasse + Autobahn 1.2004, S. 5 – 10.
-
- [4] M. Stütz, T. Wörner & E. Westiner (2008), Ersatz des Brechsand/Natursand-Verhältnisses durch Fliesskoeffizienten. MIRO Mineralische Rohstoffe 5/2008, S. 14 – 20.
-
- [5] Kündig R. et al. (1997), Die mineralische Rohstoffe der Schweiz, Schweizerische Geotechnische Kommission SGTk. 536 Seiten.
-

Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 05.12.2014

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2005/403

Projekttitel: Fließkoeffizienten von feinen Gesteinskörnungen aus der Schweiz

Enddatum: 05.12.2014

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

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 praxiserorientierte 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 Fließkoeffizienten, 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 machen 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 in grösserem oder geringerem Masse vorhanden sind. Das gleiche Bild zeigt sich bei den Sanden 0/4. Da es aber eindeutig Werke gibt, welche Korrelationen zeigen, ist der Fließkoeffizient nicht die geeignete Prüfung, um die Kornform, bzw. Kornrundung abschliessend zu beurteilen oder zwischen Brechsand oder Rundsand zu unterscheiden.

Um zu zeigen, dass der Fließkoeffizient von der jeweiligen Korngrößenverteilung abhängt, wurde ein zusätzlicher Versuch konzipiert (je 1 Sand 0/2 und 0/4 aus zwei Werken des Schweizer Mittellandes), bei welchem systematisch das kleinste Korn variiert wurde. Damit sollte es eigentlich gelingen, die erwähnte Abhängigkeit der beiden Parameter zu demonstrieren. Die Sande 0/4 sind fast identisch in Bezug auf die Siebkurve und den Fließkoeffizient, sodass kaum Unterschiede im Verhalten zu erwarten waren, die Sande 0/2 zeigten Unterschiede bei diesen Parametern. Der erwartete Befund wurde in den Versuchen bestätigt. Der Korrelationskoeffizient zwischen Fließkoeffizient und Körnungsziffer ist sehr hoch (0.94) bei beiden Sanden der beiden Werke. Der Versuch verdeutlicht sehr klar, dass der Fließkoeffizient in erster Linie von der Korngrößenverteilung abhängt, und nicht von der Kornform- oder Kornrundung, wie dies bis anhin postuliert wurde.

Mit der neuen EN 933-6, welche 2015 in Kraft treten wird, 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 damit die Abhängigkeit des Fließkoeffizienten von der Korngrößenverteilung noch grösser wird. Mit der bereits verschiedenen Revision der EN 933-6 wird die Aussagekraft der Prüfung damit unseres Erachtens weiter reduziert.

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.

Zielerreichung:

Das ursprüngliche Ziel, Anforderungen an den Fliesskoeffizienten zu definieren, konnte nicht erreicht werden. Der vorliegende Forschungsauftrag hat gezeigt, dass weitere Parameter einen grossen Einfluss auf den Fliesskoeffizienten haben, welche zu Beginn des Forschungsauftrags noch nicht in dem Ausmass abgeschätzt werden konnten. Dabei handelt es sich vor allem um die Korngrössenverteilung, welche den Wert des Fliesskoeffizienten stark beeinflusst. Aufgrund dieser Erkenntnisse wurde der zweite Teil des Forschungsauftrags nicht durchgeführt. Vielmehr wurde versucht, die Datenbasis bezüglich der Abhängigkeit des Fliesskoeffizienten von der Korngrössenverteilung durch eine statistische Auswertung zu erhärten. Dieser Beweis konnte mit der vorliegenden Arbeit geführt werden.

Folgerungen und Empfehlungen:

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. 2008 [4] hat im Weiteren gezeigt, dass auch kein Zusammenhang mit asphalttechnologischen Werten hergestellt werden kann.

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 /-rundung (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.

Publikationen:

-

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Rütli

Vorname: Roger

Amt, Firma, Institut: IMP Bautech AG

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:



FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Im Verlaufe des Forschungsauftrages änderten zuerst der Präsident der Begleitkommission (2009), danach auch der Projektleiter bei der Forschungsstelle (2012).

Der vorliegende Forschungsbericht liefert erstmals objektive Tatsachen bezüglich des Zweifels an der Gültigkeit der Resultate, welche man bezüglich der Prüfung des Fließkoeffizienten schon immer hatte. Die Einführung des Fließkoeffizienten basierte auf einer vermuteten Korrelation mit der Prüfung Kornform /-rundung.

Die vorliegende Arbeit zeigt auf, dass es sich beim zusätzlichen Einflussfaktor um die Korngrößenverteilung der jeweiligen feinen Gesteinskörnung handelt. Dabei ist es unerheblich, ob es sich um einen Sand 0/2 oder einen Sand 0/4 handelt, die Schlussfolgerungen ändern sich nicht.

Die bearbeitete Datenbank sowie die zusätzlichen Versuchen stellen eine genügend grosse Datenbasis dar, um die Glaubwürdigkeit der Schlussfolgerungen zu untermauern.

Umsetzung:

Das Resultat der vorliegenden Arbeit muss nun durch die neue NFK 3.1 hinsichtlich der Revision der EN 933-6, welche 2015 eingeführt werden soll, beurteilt werden. Die Revision wird die zu beurteilende Korngruppe bei den feinen Gesteinskörnungen weiter einschränken (nur noch 0.063 - 2 mm), was der Aussagekraft der Prüfung weiter abträglich ist. Es ist zu überlegen, inwiefern die Beurteilung der Kornform /-rundung im Schweizer Normenwerk Rechnung zu tragen ist.

weitergehender Forschungsbedarf:

Da die alte Prüfung der Kornform /-rundung (gemäss SN 670 130) nicht wieder eingeführt werden soll und es sich gezeigt hat, dass der Fließkoeffizient keine valable Alternative darstellt, sollte erforscht werden, wie eine Prüfung der feinen Gesteinskörnung bezüglich der Oberflächenbeschaffenheit, welche für die Herstellung von Mischgut wichtig ist, auszusehen hat.

Einfluss auf Normenwerk:

Die vorliegende Arbeit gibt der NFK 3.1 eine objektive, technische Entscheidungsgrundlage, wie mit der Prüfung des Fließkoeffizienten im Schweizer Normenwerk zukünftig umzugehen ist.



Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Hammerschiag

Vorname: Jean-Gabriel

Amt, Firma, Institut: Holcim (Schweiz) AG

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:


 VSS FK3 :  16.2.15

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Stand: 15.06.2014

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1465	ASTRA 2000/417	Erfahrungen mit der Sanierung und Erhaltung von Betonoberflächen	2014
1462	ASTRA 2011/004	Ermittlung der Versagensgrenze eines T2 Norm-Belages mit der mobiles Grossversuchsanlage MLS10	2014
1460	SVI 2007/017	Nutzen der Verkehrsinformation für die Verkehrssicherheit	2014
1459	VSS 2002/501	Leichtes Fallgewichtsgesetz für die Verdichtungskontrolle von Foundationsschichten	2014
1458	VSS 2010/703	Umsetzung Erhaltungsmanagement für Strassen in Gemeinden - Arbeitshilfen als Anhang zur Norm 640 980	2014
1457	SVI 2012/006	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 5: Medizinische Folgen des Strassenunfallgeschehens	2014
1456	SVI 2012/005	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 4: Einflüsse des Wetters auf das Strassenunfallgeschehen	2014
1455	SVI 2012/004	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 3: Einflüsse von Fahrzeugeigenschaften auf das Strassenunfallgeschehen	2014
1454	SVI 2012/003	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 2: Einflüsse von Situation und Infrastruktur auf das Strassenunfallgeschehen: Phase 1	2014
1453	SVI 2012/002	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 1: Einflüsse von Mensch und Gesellschaft auf das Strassenunfallgeschehen: Phase 1	2014
1452	SVI 2012/001	Forschungspaket VeSPA: Synthesebericht Phase 1	2014
1451	FGU 2010/006	Gasanalytik zur frühzeitigen Branddetektion in Tunneln	2013
1450	VSS 2002/401	Kaltrecycling von Ausbauphosphat mit bituminösen Bindemitteln	2014
1449	ASTRA 2010/024	E-Scooter - Sozial- und naturwissenschaftliche Beiträge zur Förderung leichter Elektrofahrzeuge in der Schweiz	2013
1448	SVI 2009/008	Anforderungen der Güterlogistik an die Netzinfrastruktur und die langfristige Netzentwicklung in der Schweiz. Forschungspaket UVEK/ASTRA "Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz", Teilprojekt C	2014
1447	SVI 2009/005	Informationstechnologien in der zukünftigen Gütertransportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA "Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz", Teilprojekt E	2013
1446	VSS 2005/454	Forschungspaket Recycling von Ausbauphosphat in Heissmischgut: EP3: Stofffluss- und	2013

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
		Nachhaltigkeitsbeurteilung	
1445	VSS 2009/301	Öffnung der Busstreifen für weitere Verkehrsteilnehmende	2013
1444	VSS 2007/306	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von Anlagen des leichten Zweirad- und des Fussgängerverkehrs	2013
1443	VSS 2007/305	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit des strassengebundenen ÖV	2013
1442	SVI 2010/004	Messen des Nutzens von Massnahmen mit Auswirkungen auf den Langsamverkehr - Vorstudie	2013
1441_2	SVI 2009/010	Zielsystem im Güterverkehr. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz - Teilprojekt G	2013
1441_1	SVI 2009/010	Effizienzsteigerungspotenziale in der Transportwirtschaft durch integrierte Bewirtschaftungsinstrumente aus Sicht der Infrastrukturbetreiber Synthese der Teilprojekte B3, C, D, E und F des Forschungspakets Güterverkehr anhand eines Zielsystems für den Güterverkehr	2013
1440	SVI 2009/006	Benchmarking-Ansätze im Verkehrswesen	2013
1439	SVI 2009/002	Konzept zur effizienten Erfassung und Analyse der Güterverkehrsdaten Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz von Verkehrsmitteln im Güterverkehr der Schweiz TP A	2013
1438_2	SVI 2009/011	Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs - Teil 2. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP H	2013
1438_1	SVI 2009/011	Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs - Teil 1. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP H	2013
1437	VSS 2008/203	Trottoirüberfahrten und punktuelle Querungen ohne Vortritt für den Langsamverkehr	2013
1436	VSS 2010/401	Auswirkungen verschiedener Recyclinganteile in ungebundenen Gemischen	2013
1435	FGU 2008/007_OBF	Schadstoff- und Rauchkurzschlüsse bei Strassentunneln	2013
1434	VSS 2006/503	Performance Oriented Requirements for Bituminous Mixtures	2013
1433	ASTRA 2010/001	Güterverkehr mit Lieferwagen: Entwicklungen und Massnahmen Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP B3	2013
1432	ASTRA 2007/011	Praxis-Kalibrierung der neuen mobilen Grossversuchsanlage MLS10 für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen in der Schweiz	2013
1431	ASTRA 2011/015	TeVeNOx - Testing of SCR-Systems on HD-Vehicles	2013
1430	ASTRA 2009/004	Impact des conditions météorologiques extrêmes sur la chaussée	2013

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1429	SVI 2009/009	Einschätzungen der Infrastrukturnutzer zur Weiterentwicklung des Regulativs Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP F	2013
1428	SVI 2010/005	Branchenspezifische Logistikkonzepte und Güterverkehrsaufkommen sowie deren Trends Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP B2	2013
1427	SVI 2006/002	Begegnungszonen - eine Werkschau mit Empfehlungen für die Realisierung	2013
1426	ASTRA 2010/025_OBF	Luftströmungsmessung in Strassentunneln	2013
1425	VSS 2005/401	Résistance à l'altération des granulats et des roches	2013
1424	ASTRA 2006/007	Optimierung der Baustellenplanung an Autobahnen	2013
1423	ASTRA 2010/012	Forschungspaket: Lärmarme Beläge innerorts EP3: Betrieb und Unterhalt lärmarrer Beläge	2013
1422	ASTRA 2011/006_OBF	Fracture processes and in-situ fracture observations in Gipskeuper	2013
1421	VSS 2009/901	Experimenteller Nachweis des vorgeschlagenen Raum- und Topologiemodells für die VM-Anwendungen in der Schweiz (MDATrafo)	2013
1420	SVI 2008/003	Projektierungsfreiräume bei Strassen und Plätzen	2013
1419	VSS 2001/452	Stabilität der Polymere beim Heisseinbau von PmB-haltigen Strassenbelägen	2013
1418	VSS 2008/402	Anforderungen an hydraulische Eigenschaften von Geokunststoffen	2012
1417	FGU 2009/002	Heat Exchanger Anchors for Thermo-active Tunnels	2013
1416	FGU 2010/001	Sulfatwiderstand von Beton: verbessertes Verfahren basierend auf der Prüfung nach SIA 262/1, Anhang D	2013
1415	VSS 2010/A01	Wissenslücken im Infrastrukturmanagementprozess "Strasse" im Siedlungsgebiet	2013
1414	VSS 2010/201	Passive Sicherheit von Tragkonstruktionen der Strassenausstattung	2013
1413	SVI 2009/003	Güterverkehrsintensive Branchen und Güterverkehrsströme in der Schweiz Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz Teilprojekt B1	2013
1412	ASTRA 2010/020	Werkzeug zur aktuellen Gangliniennorm	2013
1411	VSS 2009/902	Verkehrstelematik für die Unterstützung des Verkehrsmanagements in ausserordentlichen Lagen	2013
1410	VSS 2010/202_OBF	Reduktion von Unfallfolgen bei Bränden in Strassentunneln durch Abschnittsbildung	2013
1409	ASTRA 2010/017_OBF	Regelung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2013
1408	VSS 2000/434	Viellissement thermique des enrobés bitumineux en laboratoire	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1407	ASTRA 2006/014	Fusion des indicateurs de sécurité routière : FUSAIN	2012
1406	ASTRA 2004/015	Amélioration du modèle de comportement individuel du Conducteur pour évaluer la sécurité d'un flux de trafic par simulation	2012
1405	ASTRA 2010/009	Potential von Photovoltaik an Schallschutzmassnahmen entlang der Nationalstrassen	2012
1404	VSS 2009/707	Validierung der Kosten-Nutzen-Bewertung von Fahrbahn-Erhaltungsmassnahmen	2012
1403	SVI 2007/018	Vernetzung von HLS- und HVS-Steuerungen	2012
1402	VSS 2008/403	Witterungsbeständigkeit und Durchdrückverhalten von Geokunststoffen	2012
1401	SVI 2006/003	Akzeptanz von Verkehrsmanagementmassnahmen-Vorstudie	2012
1400	VSS 2009/601	Begrünte Stützgitterböschungssysteme	2012
1399	VSS 2011/901	Erhöhung der Verkehrssicherheit durch Incentivierung	2012
1398	ASTRA 2010/019	Environmental Footprint of Heavy Vehicles Phase III: Comparison of Footprint and Heavy Vehicle Fee (LSVA) Criteria	2012
1397	FGU 2008/003_OBF	Brandschutz im Tunnel: Schutzziele und Brandbemessung Phase 1: Stand der Technik	2012
1396	VSS 1999/128	Einfluss des Umhüllungsgrades der Mineralstoffe auf die mechanischen Eigenschaften von Mischgut	2012
1395	FGU 2009/003	KarstALEA: Wegleitung zur Prognose von karstspezifischen Gefahren im Untertagbau	2012
1394	VSS 2010/102	Grundlagen Betriebskonzepte	2012
1393	VSS 2010/702	Aktualisierung SN 640 907, Kostengrundlage im Erhaltungsmanagement	2012
1392	ASTRA 2008/008_009	FEHRL Institutes WIM Initiative (Fiwi)	2012
1391	ASTRA 2011/003	Leitbild ITS-CH Landverkehr 2025/30	2012
1390	FGU 2008/004_OBF	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Belchentunnel	2012
1389	FGU 2003/002	Long Term Behaviour of the Swiss National Road Tunnels	2012
1388	SVI 2007/022	Möglichkeiten und Grenzen von elektronischen Busspuren	2012
1387	VSS 2010/205_OBF	Ablage der Prozessdaten bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1386	VSS 2006/204	Schallreflexionen an Kunstbauten im Strassenbereich	2012
1385	VSS 2004/703	Bases pour la révision des normes sur la mesure et l'évaluation de la planéité des chaussées	2012
1384	VSS 1999/249	Konzeptuelle Schnittstellen zwischen der Basisdatenbank und EMF-, EMK- und EMT-DB	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1383	FGU 2008/005	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Chienbergtunnel	2012
1382	VSS 2001/504	Optimierung der statischen Eindringtiefe zur Beurteilung von harten Gussasphaltsorten	2012
1381	SVI 2004/055	Nutzen von Reisezeiteinsparungen im Personenverkehr	2012
1380	ASTRA 2007/009	Wirkungsweise und Potential von kombinierter Mobilität	2012
1379	VSS 2010/206_OBF	Harmonisierung der Abläufe und Benutzeroberflächen bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1378	SVI 2004/053	Mehr Sicherheit dank Kernfahrbahnen?	2012
1377	VSS 2009/302	Verkehrssicherheitsbeurteilung bestehender Verkehrsanlagen (Road Safety Inspection)	2012
1376	ASTRA 2011/008_004	Erfahrungen im Schweizer Betonbrückenbau	2012
1375	VSS 2008/304	Dynamische Signalisierungen auf Hauptverkehrsstrassen	2012
1374	FGU 2004/003	Entwicklung eines zerstörungsfreien Prüfverfahrens für Schweissnähte von KDB	2012
1373	VSS 2008/204	Vereinheitlichung der Tunnelbeleuchtung	2012
1372	SVI 2011/001	Verkehrssicherheitsgewinne aus Erkenntnissen aus Datapooling und strukturierten Datenanalysen	2012
1371	ASTRA 2008/017	Potenzial von Fahrgemeinschaften	2011
1370	VSS 2008/404	Dauerhaftigkeit von Betonfahrbahnen aus Betongranulat	2011
1369	VSS 2003/204	Rétention et traitement des eaux de chaussée	2012
1368	FGU 2008/002	Soll sich der Mensch dem Tunnel anpassen oder der Tunnel dem Menschen?	2011
1367	VSS 2005/801	Grundlagen betreffend Projektierung, Bau und Nachhaltigkeit von Anschlussgleisen	2011
1366	VSS 2005/702	Überprüfung des Bewertungshintergrundes zur Beurteilung der Strassengriffigkeit	2010
1365	SVI 2004/014	Neue Erkenntnisse zum Mobilitätsverhalten dank Data Mining?	2011
1364	SVI 2009/004	Regulierung des Güterverkehrs Auswirkungen auf die Transportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP D	2012
1363	VSS 2007/905	Verkehrsprognosen mit Online -Daten	2011
1362	SVI 2004/012	Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs	2012
1361	SVI 2004/043	Innovative Ansätze der Parkraumbewirtschaftung	2012
1360	VSS 2010/203	Akustische Führung im Strassentunnel	2012
1359	SVI 2004/003	Wissens- und Technologientransfer im Verkehrsbereich	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1358	SVI 2004/079	Verkehrsanbindung von Freizeitanlagen	2012
1357	SVI 2007/007	Unaufmerksamkeit und Ablenkung: Was macht der Mensch am Steuer?	2012
1356	SVI 2007/014	Kooperation an Bahnhöfen und Haltestellen	2011
1355	FGU 2007/002	Prüfung des Sulfatwiderstandes von Beton nach SIA 262/1, Anhang D: Anwendbarkeit und Relevanz für die Praxis	2011
1354	VSS 2003/203	Anordnung, Gestaltung und Ausführung von Treppen, Rampen und Treppenwegen	2011
1353	VSS 2000/368	Grundlagen für den Fussverkehr	2011
1352	VSS 2008/302	Fussgängerstreifen (Grundlagen)	2011
1351	ASTRA 2009/001	Development of a best practice methodology for risk assessment in road tunnels	2011
1350	VSS 2007/904	IT-Security im Bereich Verkehrstelematik	2011
1349	VSS 2003/205	In-Situ-Abflussversuche zur Untersuchung der Entwässerung von Autobahnen	2011
1348	VSS 2008/801	Sicherheit bei Parallelführung und Zusammentreffen von Strassen mit der Schiene	2011
1347	VSS 2000/455	Leistungsfähigkeit von Parkieranlagen	2010
1346	ASTRA 2007/004	Quantifizierung von Leckagen in Abluftkanälen bei Strassentunneln mit konzentrierter Rauchabsaugung	2010
1345	SVI 2004/039	Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen	2011
1344	VSS 2009/709	Initialprojekt für das Forschungspaket "Nutzensteigerung für die Anwender des SIS"	2011
1343	VSS 2009/903	Basistechnologien für die intermodale Nutzungserfassung im Personenverkehr	2011
1342	FGU 2005/003	Untersuchungen zur Frostkörperbildung und Frosthebung beim Gefrierverfahren	2010
1341	FGU 2007/005	Design aids for the planning of TBM drives in squeezing ground	2011
1340	SVI 2004/051	Aggressionen im Verkehr	2011
1339	SVI 2005/001	Widerstandsfunktionen für Innerorts-Strassenabschnitte ausserhalb des Einflussbereiches von Knoten	2010
1338	VSS 2006/902	Wirkungsmodelle für fahrzeugseitige Einrichtungen zur Steigerung der Verkehrssicherheit	2009
1337	ASTRA 2006/015	Development of urban network travel time estimation methodology	2011
1336	ASTRA 2007/006	SPIN-ALP: Scanning the Potential of Intermodal Transport on Alpine Corridors	2010
1335	VSS 2007/502	Stripping bei lärmindernden Deckschichten unter Überrollbeanspruchung im Labormassstab	2011

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1334	ASTRA 2009/009	Was treibt uns an? Antriebe und Treibstoffe für die Mobilität von Morgen	2011
1333	SVI 2007/001	Standards für die Mobilitätsversorgung im peripheren Raum	2011
1332	VSS 2006/905	Standardisierte Verkehrsdaten für das verkehrsträgerübergreifende Verkehrsmanagement	2011
1331	VSS 2005/501	Rückrechnung im Strassenbau	2011
1330	FGU 2008/006	Energiegewinnung aus städtischen Tunneln: Systemevaluation	2010
1329	SVI 2004/073	Alternativen zu Fussgängerstreifen in Tempo-30-Zonen	2010
1328	VSS 2005/302	Grundlagen zur Quantifizierung der Auswirkungen von Sicherheitsdefiziten	2011
1327	VSS 2006/601	Vorhersage von Frost und Nebel für Strassen	2010
1326	VSS 2006/207	Erfolgskontrolle Fahrzeugrückhaltesysteme	2011
1325	SVI 2000/557	Indices caractéristiques d'une cité-vélo. Méthode d'évaluation des politiques cyclables en 8 indices pour les petites et moyennes communes.	2010
1324	VSS 2004/702	Eigenheiten und Konsequenzen für die Erhaltung der Strassenverkehrsanlagen im überbauten Gebiet	2009
1323	VSS 2008/205	Ereignisdetektion im Strassentunnel	2011
1322	SVI 2005/007	Zeitwerte im Personenverkehr: Wahrnehmungs- und Distanzabhängigkeit	2008
1321	VSS 2008/501	Validation de l'oedomètre CRS sur des échantillons intacts	2010
1320	VSS 2007/303	Funktionale Anforderungen an Verkehrserfassungssysteme im Zusammenhang mit Lichtsignalanlagen	2010
1319	VSS 2000/467	Auswirkungen von Verkehrsberuhigungsmassnahmen auf die Lärmimmissionen	2010
1318	FGU 2006/001	Langzeitquellversuche an anhydritführenden Gesteinen	2010
1317	VSS 2000/469	Geometrisches Normalprofil für alle Fahrzeugtypen	2010
1316	VSS 2001/701	Objektorientierte Modellierung von Strasseninformationen	2010
1315	VSS 2006/904	Abstimmung zwischen individueller Verkehrsinformation und Verkehrsmanagement	2010
1314	VSS 2005/203	Datenbank für Verkehrsaufkommensraten	2008
1313	VSS 2001/201	Kosten-/Nutzenbetrachtung von Strassenentwässerungssystemen, Ökobilanzierung	2010
1312	SVI 2004/006	Der Verkehr aus Sicht der Kinder: Schulwege von Primarschulkindern in der Schweiz	2010
1311	VSS 2000/543	VIABILITE DES PROJETS ET DES INSTALLATIONS ANNEXES	2010

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1310	ASTRA 2007/002	Beeinflussung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2010
1309	VSS 2008/303	Verkehrsregelungssysteme - Modernisierung von Lichtsignalanlagen	2010
1308	VSS 2008/201	Hindernisfreier Verkehrsraum - Anforderungen aus Sicht von Menschen mit Behinderung	2010
1307	ASTRA 2006/002	Entwicklung optimaler Mischgüter und Auswahl geeigneter Bindemittel; D-A-CH - Initialprojekt	2008
1306	ASTRA 2008/002	Strassenglätte-Prognosesystem (SGPS)	2010
1305	VSS 2000/457	Verkehrserzeugung durch Parkieranlagen	2009
1304	VSS 2004/716	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen	2008
1303	ASTRA 2009/010	Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen; Überprüfung	2010
1302	VSS 1999/131	Zusammenhang zwischen Bindemittleigenschaften und Schadensbildern des Belages?	2010
1301	SVI 2007/006	Optimierung der Strassenverkehrsunfallstatistik durch Berücksichtigung von Daten aus dem Gesundheitswesen	2009
1300	VSS 2003/903	SATELROU Perspectives et applications des méthodes de navigation pour la télématique des transports routiers et pour le système d'information de la route	2010
1299	VSS 2008/502	Projet initial - Enrobés bitumineux à faibles impacts énergétiques et écologiques	2009
1298	ASTRA 2007/012	Griffigkeit auf winterlichen Fahrbahnen	2010
1297	VSS 2007/702	Einsatz von Asphaltbewehrungen (Asphalteinlagen) im Erhaltungsmanagement	2009
1296	ASTRA 2007/008	Swiss contribution to the Heavy-Duty Particle Measurement Programme (HD-PMP)	2010
1295	VSS 2005/305	Entwurfsgrundlagen für Lichtsignalanlagen und Leitfaden	2010
1294	VSS 2007/405	Wiederhol- und Vergleichspräzision der Druckfestigkeit von Gesteinskörnungen am Haufwerk	2010
1293	VSS 2005/402	Détermination de la présence et de l'efficacité de dope dans les bétons bitumineux	2010
1292	ASTRA 2006/004	Entwicklung eines Pflanzenöl-Blockheizkraftwerkes mit eigener Ölmühle	2010
1291	ASTRA 2009/005	Fahrmuster auf überlasteten Autobahnen Simultanes Berechnungsmodell für das Fahrverhalten auf Autobahnen als Grundlage für die Berechnung von Schadstoffemissionen und Fahrzeitgewinnen	2010
1290	VSS 1999/209	Conception et aménagement de passages inférieurs et supérieurs pour piétons et deux-roues légers	2008

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1289	VSS 2005/505	Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen, nationale Umsetzung der EN	2010
1288	ASTRA 2006/020	Footprint II - Long Term Pavement Performance and Environmental Monitoring on A1	2010
1287	VSS 2008/301	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von komplexen ungesteuerten Knoten: Analytisches Schätzverfahren	2009
1286	VSS 2000/338	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit auf Strassen ohne Richtungstrennung	2010
1285	VSS 2002/202	In-situ Messung der akustischen Leistungsfähigkeit von Schallschirmen	2009
1284	VSS 2004/203	Evacuation des eaux de chaussée par les bas-cotés	2010
1283	VSS 2000/339	Grundlagen für eine differenzierte Bemessung von Verkehrsanlagen	2008
1282	VSS 2004/715	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Zusatzkosten infolge Vor- und Aufschub von Erhaltungsmaßnahmen	2010
1281	SVI 2004/002	Systematische Wirkungsanalysen von kleinen und mittleren Verkehrsvorhaben	2009
1280	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit Verkehrspsychologischer Teilbericht	2010
1279	VSS 2005/301	Leistungsfähigkeit zweistreifiger Kreisel	2009
1278	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit - Verkehrstechnischer Teilbericht	2009
1277	SVI 2007/005	Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr - Vorstudie	2010
1276	VSS 2006/201	Überprüfung der schweizerischen Ganglinien	2008
1275	ASTRA 2006/016	Dynamic Urban Origin - Destination Matrix - Estimation Methodology	2009
1274	SVI 2004/088	Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung	2009
1273	ASTRA 2008/006	UNTERHALT 2000 - Massnahme M17, FORSCHUNG: Dauerhafte Materialien und Verfahren SYNTHESE - BERICHT zum Gesamtprojekt "Dauerhafte Beläge" mit den Einzelnen Forschungsprojekten: - ASTRA 200/419: Verhaltensbilanz der Beläge auf Nationalstrassen - ASTRA 2000/420: Dauerhafte Komponenten auf der Basis erfolgreicher Strecken - ASTRA 2000/421: Durabilité des enrobés - ASTRA 2000/422: Dauerhafte Beläge, Rundlaufversuch - ASTRA 2000/423: Griffbarkeit der Beläge auf Autobahnen, Vergleich zwischen den Messergebnissen von SRM und SCRIM - ASTRA 2008/005: Vergleichsstrecken mit unterschiedlichen oberen Tragschichten auf einer Nationalstrasse	2008
1272	VSS 2007/304	Verkehrsregelungssysteme - behinderte und ältere Menschen an Lichtsignalanlagen	2010
1271	VSS 2004/201	Unterhalt von Lärmschirmen	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1270	VSS 2005/502	Interaktion Strasse Hangstabilität: Monitoring und Rückwärtsrechnung	2009
1269	VSS 2005/201	Evaluation von Fahrzeurückhaltesystemen im Mittelstreifen von Autobahnen	2009
1268	ASTRA 2005/007	PM10-Emissionsfaktoren von Abriebspartikeln des Strassenverkehrs (APART)	2009
1267	VSS 2007/902	MDAinSVT Einsatz modellbasierter Datentransfernormen (INTERLIS) in der Strassenverkehrstelematik	2009
1266	VSS 2000/343	Unfall- und Unfallkostenraten im Strassenverkehr	2009
1265	VSS 2005/701	Zusammenhang zwischen dielektrischen Eigenschaften und Zustandsmerkmalen von bitumenhaltigen Fahrbahnbelägen (Pilotuntersuchung)	2009
1264	SVI 2004/004	Verkehrspolitische Entscheidungsfindung in der Verkehrsplanung	2009
1263	VSS 2001/503	Phénomène du dégel des sols gélifs dans les infrastructures des voies de communication et les pergélisols alpins	2006
1262	VSS 2003/503	Lärmverhalten von Deckschichten im Vergleich zu Gussasphalt mit strukturierter Oberfläche	2009
1261	ASTRA 2004/018	Pilotstudie zur Evaluation einer mobilen Grossversuchsanlage für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen	2009
1260	FGU 2005/001	Testeinsatz der Methodik "Indirekte Vorauserkundung von wasserführenden Zonen mittels Temperaturdaten anhand der Messdaten des Lötschberg-Basistunnels	2009
1259	VSS 2004/710	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Synthesebericht	2008
1258	VSS 2005/802	Kaphaltestellen Anforderungen und Auswirkungen	2009
1257	SVI 2004/057	Wie Strassenraumbilder den Verkehr beeinflussen Der Durchfahrtswiderstand als Arbeitsinstrument bei der städtebaulichen Gestaltung von Strassenräumen	2009
1256	VSS 2006/903	Qualitätsanforderungen an die digitale Videobild-Bearbeitung zur Verkehrsüberwachung	2009
1255	VSS 2006/901	Neue Methoden zur Erkennung und Durchsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit	2009
1254	VSS 2006/502	Drains verticaux préfabriqués thermiques pour la consolidation in-situ des sols	2009
1253	VSS 2001/203	Rétention des polluants des eaux de chaussées selon le système "infiltrations sur les talus". Vérification in situ et optimisation	2009
1252	SVI 2003/001	Nettoverkehr von verkehrintensiven Einrichtungen (VE)	2009
1251	ASTRA 2002/405	Incidence des granulats arrondis ou partiellement arrondis sur les propriétés d'adhérence des bétons bitumineux	2008
1250	VSS 2005/202	Strassenabwasser Filterschacht	2007

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1249	FGU 2003/004	Einflussfaktoren auf den Brandwiderstand von Betonkonstruktionen	2009
1248	VSS 2000/433	Dynamische Eindringtiefe zur Beurteilung von Gussasphalt	2008
1247	VSS 2000/348	Anforderungen an die strassenseitige Ausrüstung bei der Umwidmung von Standstreifen	2009
1246	VSS 2004/713	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert	2009
1245	VSS 2004/701	Verfahren zur Bestimmung des Erhaltungsbedarfs in kommunalen Strassennetzen	2009
1244	VSS 2004/714	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Gesamtnutzen und Nutzen-Kosten-Verhältnis von standardisierten Erhaltungsmassnahmen	2008
1243	VSS 2000/463	Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassenanlagen	2008
1242	VSS 2005/451	Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut	2007
1241	ASTRA 2001/052	Erhöhung der Aussagekraft des LCPC Spurbildungstests	2009
1240	ASTRA 2002/010	L'acceptabilité du péage de congestion : Résultats et analyse de l'enquête en Suisse	2009
1239	VSS 2000/450	Bemessungsgrundlagen für das Bewehren mit Geokunststoffen	2009
1238	VSS 2005/303	Verkehrssicherheit an Tagesbaustellen und bei Anschlüssen im Baustellenbereich von Hochleistungsstrassen	2008
1237	VSS 2007/903	Grundlagen für eCall in der Schweiz	2009
1236	ASTRA 2008/008_07	Analytische Gegenüberstellung der Strategie- und Tätigkeitsschwerpunkte ASTRA-AIPCR	2008
1235	VSS 2004/711	Forschungspaket Massnahmenplanung im EM von Fahrbahnen - Standardisierte Erhaltungsmassnahmen	2008
1234	VSS 2006/504	Expérimentation in situ du nouveau drainomètre européen	2008
1233	ASTRA 2000/420	Unterhalt 2000 Forschungsprojekt FP2 Dauerhafte Komponenten bitumenhaltiger Belagsschichten	2009
660	AGB 2008/002	Indirekt gelagerte Betonbrücken - Sachstandsbericht	2014
659	AGB 2009/014	Suizidprävention bei Brücken: Follow-Up	2014
658	AGB 2006/015_OBF	Querkraftwiderstand vorgespannter Brücken mit ungenügender Querkraftbewehrung	2014
657	AGB 2003/012	Brücken in Holz: Möglichkeiten und Grenzen	2013
656	AGB 2009/015	Experimental verification of integral bridge abutments	2013

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
655	AGB 2007/004	Fatigue Life Assessment of Roadway Bridges Based on Actual Traffic Loads	2013
654	AGB 2005-008	Thermophysical and Thermomechanical Behavior of Cold-Curing Structural Adhesives in Bridge Construction	2013
653	AGB 2007/002	Poinçonnement des pontsdalles précontraints	2013
652	AGB 2009/006	Detektion von Betonstahlbrüchen mit der magnetischen Streufeldmethode	2013
651	AGB 2006/006_OBF	Instandsetzung und Monitoring von AAR-geschädigten Stützmauern und Brücken	2013
650	AGB 2005/010	Korrosionsbeständigkeit von nichtrostenden Betonstählen	2012
649	AGB 2008/012	Anforderungen an den Karbonatisierungswiderstand von Betonen	2012
648	AGB 2005/023 + AGB 2006/003	Validierung der AAR-Prüfungen für Neubau und Instandsetzung	2011
647	AGB 2004/010	Quality Control and Monitoring of electrically isolated post-tensioning tendons in bridges	2011
646	AGB 2005/018	Interactin sol-structure : ponts à culées intégrales	2010
645	AGB 2005/021	Grundlagen für die Verwendung von Recyclingbeton aus Betongranulat	2010
644	AGB 2005/004	Hochleistungsfähiger Faserfeinkornbeton zur Effizienzsteigerung bei der Erhaltung von Kunstbauten aus Stahlbeton	2010
643	AGB 2005/014	Akustische Überwachung einer stark geschädigten Spannbetonbrücke und Zustandserfassung beim Abbruch	2010
642	AGB 2002/006	Verbund von Spanngliedern	2009
641	AGB 2007/007	Empfehlungen zur Qualitätskontrolle von Beton mit Luftpermeabilitätsmessungen	2009
640	AGB 2003/011	Nouvelle méthode de vérification des ponts mixtes à âme pleine	2010
639	AGB 2008/003	RiskNow-Falling Rocks Excel-basiertes Werkzeug zur Risikoermittlung bei Steinschlagschutzgalerien	2010
638	AGB2003/003	Ursachen der Rissbildung in Stahlbetonbauwerken aus Hochleistungsbeton und neue Wege zu deren Vermeidung	2008
637	AGB 2005/009	Détermination de la présence de chlorures à l'aide du Géoradar	2009
636	AGB 2002/028	Dimensionnement et vérification des dalles de roulement de ponts routiers	2009
635	AGB 2004/002	Applicabilité de l'enrobé drainant sur les ouvrages d'art du réseau des routes nationales	2008
634	AGB 2002/007	Untersuchungen zur Potenzialfeldmessung an Stahlbetonbauten	2008
633	AGB 2002/014	Oberflächenschutzsysteme für Betontragwerke	2008

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
632	AGB 2008/201	Sicherheit des Verkehrssystem Strasse und dessen Kunstbauten Testregion - Methoden zur Risikobeurteilung Schlussbericht	2010
631	AGB 2000/555	Applications structurales du Béton Fibré à Ultra-hautes Performances aux ponts	2008
630	AGB 2002/016	Korrosionsinhibitoren für die Instandsetzung chloridverseuchter Stahlbetonbauten	2010
629	AGB 2003/001 + AGB 2005/019	Integrale Brücken - Sachstandsbericht	2008
628	AGB 2005/026	Massnahmen gegen chlorid-induzierte Korrosion und zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit	2008
627	AGB 2002/002	Eigenschaften von normalbreiten und überbreiten Fahrbahnübergängen aus Polymerbitumen nach starker Verkehrsbelastung	2008
626	AGB 2005/110	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Baustellensicherheit bei Kunstbauten	2009
625	AGB 2005/109	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen bei Kunstbauten	2009
624	AGB 2005/108	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Risikobeurteilung für Kunstbauten	2010
623	AGB 2005/107	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Tragsicherheit der bestehenden Kunstbauten	2009
622	AGB 2005/106	Rechtliche Aspekte eines risiko- und effizienzbasierten Sicherheitskonzepts	2009
621	AGB 2005/105	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Szenarien der Gefahrenentwicklung	2009
620	AGB 2005/104	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen	2009
619	AGB 2005/103	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Ermittlung des Netzrisikos	2010
618	AGB 2005/102	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Methodik zur vergleichenden Risikobeurteilung	2009
617	AGB 2005/100	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Synthesebericht	2010
616	AGB 2002/020	Beurteilung von Risiken und Kriterien zur Festlegung akzeptierter Risiken in Folge aussergewöhnlicher Einwirkungen bei Kunstbauten	2009