



1

Nicht ausreichend wasserdurchlässige Bettung einer Pflasterdecke.

Fotos: MPVA Neuwied GmbH

Pflasterflächen – Fugen und Bettung

Der folgende Beitrag befasst sich mit der Kornfestigkeit von Fugen- und Bettungsmaterialien sowie mit der Verfestigungsneigung der Bettung von Pflasterflächen.

DR. KARL-UWE VOSS

Schäden aufgrund einer nicht ausreichenden Wasserdurchlässigkeit der Bettung (siehe Bild 1) stellen bei befahrenen Flächenbefestigungen ein erhebliches Streitpotenzial zwischen Bauherrn und Ausführendem dar. Werden diese Pflasterdecken geöffnet, so wird unter den Pflastersteinen in vielen Fällen eine „mörtelähnliche Schicht“ vorgefunden (Bild 2), obwohl ungebundene Bettungsmaterialien zur Herstellung der Pflasterdecke eingesetzt worden waren.

In der Oberfläche der Pflasterdecke äußern sich diese „Verfestigungen“ im Normalfall durch einen oder mehrere der nachfolgend genannten Folgeschäden:

- Verschiebung der Pflastersteine (siehe Bild 3),
- Bildung von Spurrinnen (siehe Bild 3),

„Eine nicht ausreichende Wasserdurchlässigkeit der Bettung kann zu Schäden an Pflasterflächen führen.“

**Dr. rer. nat
Karl-Uwe Voß,**
MPVA Neuwied
GmbH

- Entstehung von Kantenabplatzungen oder
- Bildung von Ausblühungen.

Werden diese Schäden durch eine mangelhafte Entwässerungsfähigkeit der Bettung verursacht, so sind sie nur durch kostenintensive Schadensbeseitigungsmaßnahmen (Vollaustausch der Pflasterdecke inkl. der vorhandenen Bettung) zu beseitigen. Ursächlich wird die reduzierte oder gänzlich fehlende Entwässerungsfähigkeit der Bettung nach derzeitigem Erkenntnisstand dadurch verursacht, dass die eingesetzten Gesteinskörnungen (Fugen- und / oder Bettungsmaterialien) **a)** im Anlieferungszustand eine zu große Menge an Feinanteilen (vorzugsweise bei den Fugenmaterialien) aufweisen oder **b)** im Rahmen der Nutzung aufgrund einer zu

geringen Kornfestigkeit zertrümmert werden (nachfolgend als Kornzertrümmerung bezeichnet), wobei ebenfalls große Mengen an Feinanteilen entstehen.

Enthält das **Fugenmaterial** von vorn herein zu hohe Gehalte an Feinanteilen (Fall a), oder entstehen diese im Rahmen der Befahrung der Pflasterdecke durch die Kornzertrümmerung (Fall b), wandern diese Feinanteile auf bzw. in die oberflächennahe Bettung, wo sie beim Abtrocknen „verfestigen“ (häufig fälschlicherweise als „hydraulische Verfestigung“ bezeichnet). Dieser Effekt ist umso stärker, je größer die durch die Befahrung der Pflasterdecke eingebrachte Verdichtungsenergie ist.

Alternativ können derartige Schäden aber auch dadurch verursacht werden, dass das oberflächennahe **Bettungsmaterial** durch die eingeleiteten Lasten zertrümmert wird und ebenfalls zu der oben beschriebenen „Abdichtung“ führt.

Weder der genaue Schadensmechanismus noch die für die „Abdichtung der Bettung“ wesentlichen Einflüsse sind derzeit ausreichend untersucht. Es scheint aber sicher, dass sich die nachfolgenden Einflüsse negativ auf die „Abdichtung der Bettung“ auswirken:

- Verwendung von Fugenmaterialien mit einer zu großen Menge an Feinanteilen, wobei noch nicht bekannt ist, ab welcher Feinheit die Materialien zur Verfestigung neigen;
- Zermürbung der Fugen- bzw. Bettungsmaterialien aufgrund einer zu geringen Kornfestigkeit der Materialien;
- Intensität der Befahrung, da die Wanderungstendenz der Feinanteile aus dem Fugenmaterial durch die eingebrachte Energie deutlich erhöht wird;
- Reduzierte Lagestabilität der Pflastersteine in der Pflasterdecke, da wenig lagestabile Pflastersteine die Wanderungstendenz der Feinanteile aus dem Fugenmaterial auf bzw. in die Bettung begünstigen und zu einer verstärkten Kornzertrümmerung beitragen;
- Ggf. Abriebbeständigkeit des Zementsteins der Steinflanken und Wanderung dieser Feinanteile auf die Bettung.

Im Ergebnis ist festzustellen, dass zum einen die Menge an Feinanteilen im Fugen- und ggf. auch im Bettungsmaterial (unabhängig davon, ob diese bereits zum Einbauzeitpunkt vorlagen oder im Rahmen der Nutzung entstanden sind) und zum anderen die dynamische Belastung der Pflasterdecke einen erheblichen Einfluss auf die Entstehung der „Abdichtung der Bettung“ haben. Das ist auch der Grund dafür, warum diese Schäden vorzugsweise bei höher beanspruchten Pflasterdecken vorgefunden werden.



2 „Mörtelähnliche Schicht“ in der Oberfläche der Bettung.



3 Steinverschiebungen und Bildung von Spurrinnen.

„Sowohl die Menge an Feinanteilen im Fugen- und ggf. auch im Bettungsmaterial als auch die dynamische Belastung der Pflasterdecke haben einen erheblichen Einfluss auf die Entstehung der ‘Abdichtung der Bettung’.“

Dr. rer. nat
Karl-Uwe Voß,
MPVA Neuwied
GmbH

Einfluss des Fugenmaterials

In der Vergangenheit wurde häufig davon ausgegangen, dass in erster Linie die Bettungsmaterialien verantwortlich für die Entstehung nicht ausreichend wasserdurchlässiger Bettungen sind. Dies wurde damit begründet, dass bei entsprechenden Schadensfällen mörtelähnliche, verfestigte Schichten gerade in der Oberfläche der Bettung vorgefunden wurden (siehe Bild 5) [L 9].

Erst die Feststellung, dass die Verfestigung der Bettung bei weniger stark belasteten Teilflächen teilweise bevorzugt im Bereich unter den Fugen begann und sich erst bei höherer Beanspruchung von der Fuge aus in Richtung Steinmitte ausdehnte [L 9] (siehe Bild 6 und Bild 7), führte zu einem Überdenken dieser Annahme.

In einigen schadensbehafteten Objekten war die Fuge darüber hinaus bereits so stark verfestigt, dass selbst in der Fuge ein mörtelähnliches Material vorgefunden wurde [L 9] (siehe Bild 8).

An dieser Stelle ist anzumerken, dass vergleichbare Verfestigungen bereits bei der Anlieferung entsprechender Fugenmaterialien in Big Bags (hier am Beispiel eines Quarzits) vorgefunden werden können (Bild 9), sofern die Materialien zur Verfestigung neigen.

Diese Beispiele belegen eindrucksvoll, dass zumindest in einigen Fällen nicht das Bettungsmaterial, sondern im Besonderen das Fugenmaterial verantwortlich für die Verfestigung der Oberfläche der Bettung sein kann. ▶

Kornfestigkeit

Um die Gefahr der Kornzermürbung der Fugen- und Bettungsmaterialien durch die Nutzung der Pflasterdecke zu reduzieren, fanden bereits in der Vergangenheit Anforderungen an die Kornfestigkeit der Gesteinskörnung Eingang in die einschlägigen Technischen Regelwerke. So finden sich beispielsweise in der **ZTV Pflaster-StB** belastungsabhängige Anforderungen an den Schlagwiderstand bzw. den Los Angeles-Wert der zu verwendenden Gesteinskörnung:

- Normale Beanspruchung: $SZ_{2,2}/LA_{25}$ (Bk1,0 und Bk1,8);
- Besondere Beanspruchung: SZ_{18}/LA_{20} (Bk3,2).

Besondere Beanspruchungen liegen nach **RStO 12** in den nachfolgenden Fällen vor:

- Spurfahrender Verkehr oder enge Kurven;
- Häufige Brems- und Beschleunigungsvorgänge;
- In Bereichen mit einer Längsneigung über 6%;
- In Bereichen mit hohen statischen Punktlasten (z. B. Containerstellplätze);
- In Bereichen, in denen schwere Fahrzeuge auf engem Raum rangieren.

Besonders bei einigen kalksteinhaltigen Gesteinskörnungen besteht seit langem der Verdacht, dass sie bezüglich der Kornfestigkeit als kritisch zu bewerten sind. Aus diesem Grunde fand sich bereits in den „alten“ Regelwerken die Vorgabe, dass kalksteinhaltige Gesteinskörnungen nur dann zur Herstellung höher belasteter Verkehrsflächen eingesetzt werden dürfen, wenn „positive Langzeiterfahrungen“ bei der Anwendung in Pflasterdecken vorliegen.

Das Hauptproblem des bisherigen Regelwerks besteht darin, dass keines der genannten Prüfverfahren (Schlagzertrümmerung oder Los Angeles-Wert) dafür geeignet ist, die Kornfestigkeit der Fugen- und Bettungsmaterialien konkret zu bestimmen bzw. bewerten. So hat

- die Bestimmung der Schlagzertrümmerung an der Prüfkörnung 8/12,5 mm bzw. 35/45 mm und
- die Prüfung des Los Angeles-Wertes an der Prüfkörnung 10/14 mm

zu erfolgen. Keiner der genannten Prüfkornanteile (allesamt Körner > 8 mm) ist aber in üblichen Fugen- und Bettungsmaterialien (0/4 mm, 0/5 mm, 0/8 mm) enthalten, so dass die Kornfestigkeit der konkret zur Anwendung kommenden Fugen- und Bettungsmaterialien mittels dieser Verfahren demnach nicht prüfbar und damit auch nicht bewertbar ist.

Aus diesem Grunde werden derzeit nur die groben Gesteinskörnungen aus demselben Vorkommen auf deren Kornfestigkeit untersucht und diese Werte auf die feineren Gesteinskörnungen übertragen. Tatsächlich lassen sich die Kornfestigkeiten der Grob-



Verfestigung der Oberfläche der Bettung.

Fotos: MPVA Neuwied GmbH

„Das Hauptproblem des bisherigen Regelwerks besteht darin, dass keines der genannten Prüfverfahren dafür geeignet ist, die Kornfestigkeit der Fugen- und Bettungsmaterialien konkret zu bestimmen bzw. zu bewerten.“

Dr. rer. nat
Karl-Uwe Voß,
MPVA Neuwied
GmbH

kornanteile aber nur in sehr begrenztem Umfang auf die Kornfestigkeiten der feineren Körnungen übertragen, was sich allein dadurch erklären lässt, dass sich die Art des Brechvorganges auf die Kornfestigkeit der feiner gebrochenen Gesteinskörner auswirkt. Genau aus diesem Grunde enthält die **ZTV Pflaster-StB** den nachfolgenden Hinweis: „Zur Einschätzung der Eignung und zur Erfahrungssammlung kann zusätzlich der modifizierte Micro-Deval-Koeffizient nach den **TP Gestein-StB, Teil 5.5.3** bestimmt werden.“

Bei der Bestimmung der Kornfestigkeit mittels des modifizierten Micro-Deval-Verfahrens wird eine Gesteinskörnung 0/5,6 mm (bei dem Verfahren nach Anhang A eine Gesteinskörnung 0/2 mm) in einer rotierenden Trommel mit Stahlkugeln und Wasser beansprucht [L 5] (Bild 10).

Nach Abschluss des Prüfvorganges wird der Siebdurchgang durch das 0,063-mm-Analysesieb ermittelt. Bild 11 zeigt die Verfeinerung eines Kalksteins im Rahmen dieser Untersuchung.

Mittels dieses Verfahrens können demnach auch Fugen- und Bettungsmaterialien auf deren Kornfestigkeit untersucht werden. Obwohl dieses Verfahren seit Jahren bekannt ist, wurden bislang aber nur vereinzelte Prüfungen an Fugen- und Bettungsmaterialien durchgeführt. Dies erklärt sich damit, dass im einschlägigen Regelwerk keine Vorgaben an die Prüfung der Kornfestigkeit der feineren Gesteinskörnungen gemacht wurden und dort auch keine Anforderungen an die Kornfestigkeit der feinen Gesteinskörnungen enthalten sind, weshalb nahezu kein Bauherr entsprechende Materialkennwerte abfragte. Dies ist auch der Grund dafür, warum bis heute nur vergleichsweise wenige Erfahrungen mit den konkreten Kornfestigkeiten von Fugen- und Bettungsmaterialien vorliegen.

Aufgrund einer steigenden Anzahl an Schadensfällen, bei denen auf der Bettung eine deutliche Feinteilanreicherung (Verfestigung) und in der Folge eine reduzierte Wasserdurchlässigkeit vorgefunden wurde, wurden erste Anforderungen an die Kornfestigkeit der konkret zum Einsatz kommenden Fugen- und Bettungsmaterialien in einschlägige Regelwerke aufgenommen. Vorreiter waren hier die **ZTV Wegebau** und das **FGSV-Merkblatt für Flächenbefestigungen mit Großformaten (MFG)**, in denen die nachfolgenden Anforderungen an die Kornfestigkeit der Fugen- und Bettungsmaterialien aufgenommen wurden:

MFG

- $MM_{DE} \leq 25$ für die Fugen- und Bettungsmaterialien.

ZTV Wegebau

- Für die Nutzungskategorien N2 und N3 $MM_{DE} \leq 35$ für die Fugen- und Bettungsmaterialien.

Feinanteile des Fugen- und Bettungsmaterials

Neben der Kornfestigkeit des Fugen- und Bettungsmaterials spielt auch der Gehalt an Feinanteilen im Fugen- bzw. Bettungsmaterial zum Zeitpunkt des Einbaus eine wesentliche Rolle bei der Verfestigungsneigung der Bettung. So wurden bei der Pflasterdecke einer Straße mit massiven Steinverschiebungen und einer Verfestigung der Oberfläche der Bettung (siehe Bild 12) die Kornfestigkeiten der Fugen- bzw. Bettungsmaterialien mittels des modifizierten Micro-Deval-Versuchs bestimmt, wobei gute (=hohe) Kornfestigkeiten der Fugen- ($MM_{DE} = 19$) und Bettungsmaterialien ($MM_{DE} = 16$) vorgefunden (► Tabelle 1) wurden.

Bei der Prüfung der übergebenen Unterlagen zeigte sich aber, dass die als Fugenmaterial eingesetzte, gebrochene Basaltlava o/2 mm zum Lieferzeitpunkt (abweichend von den Vorgaben des Regelwerkes) einen Gehalt an Feinanteilen $< 0,063$ mm von 14,0 M.-% enthielt. Da die einzelnen Pflastersteine der befahrenen Pflasterdecke nur eine geringe Lagestabilität aufwiesen, wanderten die Feinanteile des Fugenmaterials im Rahmen der Nutzung auf die Bettung und setzten die Oberfläche der Bettung zu, sodass sich hier eine verfestigte, mörtelähnliche Schicht bildete. Im Ergebnis wies die Bettung dieser Flächenbefestigung erwartungsgemäß eine deutlich reduzierte Wasserdurchlässigkeit auf.

Verfestigungsneigung der Feinanteile

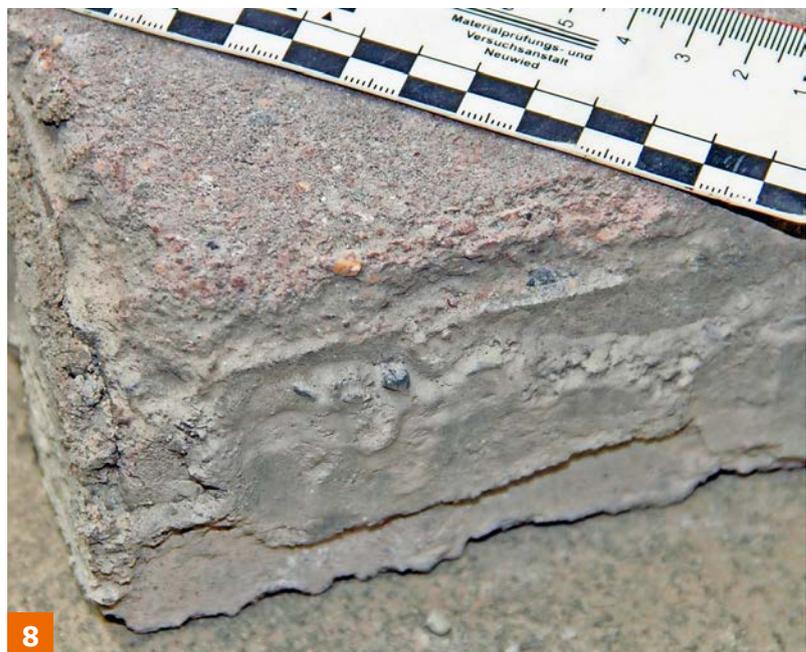
Wie im Abschnitt „Feinanteile des Fugen- und Bettungsmaterials“ dieses Artikels ausgeführt wurde, neigen die Feinanteile der Fugen- und Bettungsmaterialien zur Verfestigung, wobei noch nicht geklärt ist, ab welcher Korngröße das Risiko für die Verfestigung deutlich ansteigt. In der Vergangenheit wurde diesbezüglich in erster Linie über die Anteile $< 0,063$ mm (sog. abschlämmbare Bestandteile) diskutiert. Aktuell wird aber darüber nachgedacht, dass sich bezüglich der Verfestigungsneigung auch die Anteile zwischen 0,063 mm und 0,125 mm als kritisch erweisen könnten. ►



6 Beginn der Verfestigung unter der Fuge.



7 Von der Fuge ausgehende Verfestigung unter der Steinmitte.



8 Verfestigtes Fugenmaterial.

Weiterhin stellt sich die Frage, ob Feinanteile von Gesteinskörnungen mehr oder minder materialunabhängig zur Verfestigung neigen. Die bisherigen Erkenntnisse aus Laborversuchen lassen dies vermuten, allerdings sprechen die Erfahrungen aus Schadensfällen eher dagegen. So wurden bislang keine Schäden bekannt, bei denen z. B. als Bettungsmaterial eingesetzte Quarzsande eine derartige „Abdichtung“ zeigten. Aus diesem Grunde wurden orientierende Vorversuche in der MPVA Neuwied GmbH durchgeführt, bei denen die Feinanteile < 0,063 mm exemplarisch eines Quarzsandes, eines Kalksteins und einer Lavaschlacke abgetrennt und im Labor wie nachfolgend beschrieben untersucht wurden:

- 1 Einschlämmen der Feinanteile mit Wasser;
- 2 Eintrocknen des Prüfgutes an der Luft;
- 3 Neuerliches Bewässern des Prüfgutes;
- 4 Die Positionen 2 und 3 wurden täglich über einen Zeitraum von 7 Tagen wiederholt.

Im Rahmen dieses orientierenden Versuches zeigte sich, dass alle im Rahmen dieser Vorversuche eingesetzten Materialien (also auch die Feinanteile des Quarzsandes, für die in der Praxis bislang keine derartigen Schäden bekannt sind) eine deutliche Verfestigungsneigung zeigten (Bild 13).

Im Rahmen eines weiteren Vorversuchs wurde ein durchsichtiges Kunststoffrohr auf einem wasserdurchlässigen Filtervlies aufgeklebt (siehe Bild 14).

Dieses Rohr wurde ca. 3 mm hoch mit dem Prüfgut (in diesem Falle mit einem Kalkstein < 0,063 mm) gefüllt. Anschließend wurden die oben dargestellten Schritte 2 – 4 über einen Zeitraum von 7 Tagen täglich wiederholt. Das rechte Bild 14 zeigt die verfestigten Feinanteile des Kalksteins im Prüfrohr.

Nach Abschluss der Untersuchungen wurde das Prüfgut aus dem Kunststoffrohr herausgeholt und in Augenschein genommen. Wie das nachfolgende Bild zeigt, wiesen die eingesetzten Feinanteile des Kalk-



Bei der Anlieferung bereits teilweise verfestigtes Fugenmaterial.



Verfahren zur Bestimmung der Kornfestigkeit mittels des modifizierten Micro-Deval-Verfahrens.



Verfeinerung eines Kalksteins im Rahmen der Durchführung des modifizierten Micro-Deval-Verfahrens (links vor dem Versuch und rechts nach dem Versuch).

Nutzung		x
		Probe 1
Einwaage	0,09 - 0,25 mm	200,0
	0,25 - 0,71 mm	200,0
	0,71 - 2,0 mm	100,0
	Summe	500,0
Siebdurchgang		[M.-%] 120,0
Siebrückstände	0,09 mm	192,1
	0,25 mm	109,5
	0,71 mm	69,1
	Summe	370,7
Siebdurchgang		[M.-%] 176,3
Änderung des Siebdurchgangs		[M.-%] 56,3
Micro-Deval-Koeffizient	$MM_{DE} = (500-m)/5$	[-] 19

			Probe 1a	Probe 1b
Einwaage	0,25 - 0,5 mm	[g]	60,0	60,0
	0,5 - 1 mm		140,0	140,0
	1 - 2 mm		115,0	115,0
	2 - 4 mm		85,0	85,0
	4 - 5,6 mm		100,0	100,0
	Summe		500,0	500,0
Siebrückstand m auf dem 0,063 mm-Sieb			[g] 420,5	422,2
Micro-Deval-Koeffizient	$MM_{DE} = (500-m)/5$	[-]	16	16
			16	

Tab. 1: Ergebnisse der Bestimmung der Kornfestigkeit des Fugenmaterials (linke Tabelle) bzw. des Bettungsmaterials (rechte Tabelle)

steins nach Abschluss des Versuches eine deutlich Verfestigung auf (Bild 15).

Wie die bisherigen Ausführungen dieses Artikels nahelegen, muss bei der Bewertung der „Abdichtungsneigung“ von Fugen- und Bettungsmaterialien in Zukunft zwischen den Begriffen „Verfestigungsneigung“ und „Kornfestigkeit“ differenziert werden. So kann eine Verfestigung der Bettung auch dadurch entstehen, dass Fugenmaterialien mit hohen Feinanteilgehalten im Rahmen der Befahrung der Pflasterdecke auf die Bettung absinken, sich hier verteilen und „verfestigen“. Dies ist auch möglich, wenn hochwertige Materialien mit hoher Kornfestigkeit eingesetzt werden. In diesem Fall müssen allerdings Fugenmaterialien mit einer zu großen Menge an Feinanteilen (abschlammbare Bestandteile) zur Anwendung gekommen sein.

Zur „Abdichtungsneigung“ von Fugen- und Bettungsmaterialien liegen bislang keine ausreichenden, wissenschaftlichen Erkenntnisse vor, weshalb dieses Thema im Rahmen eines vom FGSV finanzierten und bei der MPVA Neuwied GmbH und der Zweigniederlassung Eifelinstitut durchgeführten Forschungsvorhabens näher beleuchtet werden soll. Nachzeitigem Stand wird dieses Forschungsvorhaben nach einer Laufzeit von ca. 2 Jahren im April 2025 abgeschlossen sein, wobei auch die Ergebnisse der bei der MIRO (Bundverband Mineralische Rohstoffe e. V.) durchgeführten Feldversuche eingebunden werden sollen. ■

Literaturverzeichnis

- [L 1] ATV DIN 18 318: 09-2019. VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) - Verkehrswegebauarbeiten – Pflasterdecken Plattenbeläge in ungebundener Ausführung, Einfassungen;
- [L 2] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2022): Merkblatt für Flächenbefestigungen mit Großformaten (M FG), FGSV Verlag, Köln;
- [L 3] FGSV (2015): Merkblatt für Flächenbefestigungen mit Pflasterdecken und Plattenbelägen in ungebundener Ausführung sowie für Einfassungen (M FP), FGSV Verlag, Köln;
- [L 4] FGSV (2012): Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO 12), FGSV Verlag, Köln;
- [L 5] FGSV (05-2020): Technische Prüfvorschriften für Gesteinskörnungen im Straßenbau – Teil 5,5.3: Bestimmung der mechanischen Festigkeit an der Gesteinskörnung 0/5,6 mm – modifiziertes Micro-Deval-Verfahren (TP Gestein-StB), FGSV Verlag, Köln;
- [L 9] Dr. Voß, Karl-Uwe: Schäden an Flächenbefestigungen aus Betonpflaster – Teil 1: Ausblühungen, Kantenabplatzungen und Verfärbungen. 2. Auflage. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2019; ;

Das vollständige Literaturverzeichnis erhalten Sie bei:
Dr. rer. nat. Karl-Uwe Voß, Geschäftsführer und Institutsleiter MPVA Neuwied GmbH, voss@mpva.de



12 Verfestigung der Bettung.



13 Verfestigungsneigung der Feinanteile eines Quarzes (links) und einer Lavaschlacke (rechts).



14 Prüfaufbau zum Nachweis der Verfestigungsneigung der Feinanteile.



15 Im Prüfaufbau mit Wasser beaufschlagte Verfestigung der Feinanteile eines *