



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN**

Vienna University of Technology

**UNIVERSITÄT FÜR
ARCHITEKTUR
BAUWESEN UND
GEODÄSIE**



Diplomarbeit

Filterstabilität von Bettungs- und Fugenmaterial von Pflasterdecken

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Ronald Blab

(E230 Institut für Verkehrswissenschaften, Forschungsbereich: Straßenwesen, Wien)

Proj.-Ass. Dipl.-Ing. Torsten Hessmann

(E230 Institut für Verkehrswissenschaften, Forschungsbereich: Straßenwesen, Wien)

Prof. Dr. Ing. Peter Stefanov

(Fakultät für Verkehrsbau, Lehrstuhl für Straßenwesen, Sofia)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Assya Atanasova

1129509

Zona B-18, bl. 3/43

1309 Sofia

Wien, am 05.11. 2014

Assya Atansova

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Pflasterbefestigungen	5
2.1	Geschichte und moderne Anwendung	5
2.2	Pflasterkonstruktion	6
2.2.1	Untergrund und Unterbau.....	6
2.2.2	Oberbau – Frostschutz- und Tragschichten	7
2.2.3	Decke	7
2.3	Pflasterbauweisen	8
2.3.1	Ungebundene Bauweise	8
2.3.2	Gebundene Bauweise.....	9
2.3.3	Gemischte Bauweise.....	10
2.4	Einwirkungen auf die Pflasterdecken	11
2.4.1	Verkehrsbelastung	11
2.4.2	Klimatische Beanspruchungen	11
2.4.3	Andere Beanspruchungen.....	12
2.5	Übertragen von Lasten durch Bettung und Fuge	12
2.6	Schäden	14
3	Filterstabilität.....	16
3.1	Begriffsbestimmung: Erosion, Suffosion, Kolmation.....	16
3.2	Filterstabilitätsprobleme bei den Pflasterdecken.....	17
3.3	Filterkriterien	18
3.3.1	Kugelmodelle.....	18
3.3.2	Cistin/Ziems	19
3.3.3	Terzaghi	20
3.4	Richtlinien: Internationaler Vergleich	21
3.5	Untersuchungen zu der Filterstabilität von Pflasterdecken.....	23
4	Versuchsbeschreibung	25
4.1	Problematik und Begründung.....	25
4.2	Versuchskonzept und -aufbau.....	25
4.3	Versuchsprogramm und Ausgangsmaterialien.....	26
5	Ergebnisse.....	32
5.1	Verschiebung der Sieblinien.....	32
5.2	Massenänderung	45
6	Auswertung.....	49

6.1	Auswertungsmethodik.....	49
6.2	Krümmungszahl.....	50
6.3	Ungleichförmigkeitszahl.....	53
6.4	Durchlässigkeitsbedingung D_{15}/d_{15}	54
7	Schlussfolgerungen	56
8	Tabellenverzeichnis	57
9	Abbildungsverzeichnis	58
10	Literaturverzeichnis	61
11	Anhang Tabellen und Diagramme	63
11.1	Ergebnisse aus den Siebversuchen.....	63
11.2	Krümmungszahlen	141
11.3	Ungleichförmigkeitszahl.....	144
11.4	Vergleich der Krümmungs- und der Ungleichförmigkeitszahlen	146

1 Einleitung

Pflasterbefestigungen sind die älteste Bauweise und sind immer noch weit verbreitet. Sie werden in mehr als 40% der Gemeindestraßen in Österreich verwendet (Mladenov 2014). Die Zahl der Schadensfälle ist dabei enorm und die Gründe dafür vielfältig, da Pflasterungen ein komplexes System sind. Ihre Wirkungsweise wird durch das Zusammenspiel der einzelnen Systemelemente weitgehend beeinflusst. Dabei sind die Materialeigenschaften und deren Verträglichkeit miteinander von wesentlicher Bedeutung. Besonders interessant ist die Kombination von Bettungs- und Fugenmaterial, das so aufeinander abzustimmen ist, dass ein Eindringen des Fugenmaterials in die Bettung verhindert wird. Die als Filterstabilität bezeichnete Anforderung wird durch Grenzwerte charakterisiert, die in der derzeit gültigen RVS 08.18.01 vorgegeben sind. Erfahrungen anhand zahlreicher Schadensfälle belegen jedoch, dass selbst bei Einhaltung der Grenzwerte in einem mittleren Bereich der Anwendungsspanne, eine unzureichende Filterstabilität gegeben ist. Damit ist eine zuverlässige Wirkung der Kriterien nicht gegeben.

Zur Bestimmung der Filterkriterien sind unterschiedliche Versuche durchgeführt worden, ein einheitlicher Versuchsablauf fehlte jedoch bis jetzt. Deshalb wurde im Rahmen eines Forschungsvorhabens an der TU Wien eine Untersuchungsmethodik entwickelt, mit dessen Hilfe Filterkriterien einfach und zielsicher bestimmt werden können. Eine Vielzahl an durchgeführten Versuchen bestätigte die Wirksamkeit der Untersuchungsmethodik. Ziel der vorliegenden Diplomarbeit ist es, hierzu eine erweiterte Datenbasis zu erstellen, damit neue Filterkriterien festgelegt werden können.

Im Rahmen der Diplomarbeit wurden daher weiterführende Untersuchungen zur Filterstabilität von Bettungs- und Fugenmaterial unternommen, mit der Zielsetzung die Datengrundlage der Versuchsergebnisse zu erweitern und einen ersten Ansatz zur Formulierung eines allgemeingültigen Filterkriteriums zu liefern.

Eine allgemeine Beschreibung der Pflasterbauweise mit ihrer Konstruktion und Anforderungen wurde im ersten Teil vorgenommen. Betrachtet wurden auch die Einwirkungen auf die Pflasterdecken, so wie die daraus resultierenden Schäden. Im nächsten Kapitel wurde auf die besondere Problematik der Filterstabilität eingegangen. Die Grundlagen der Filterstabilität wurden allgemeingültig beschrieben, mit einem Überblick auf die verschiedenen theoretischen Untersuchungen und deren Normierung. In weiterer Folge wurden speziell die Untersuchungen zur Bestimmung von Filterkriterien für die Pflasterbauweise erörtert. Beschrieben wurden der Aufbau, die verwendeten Materialien und ihre Eigenschaften. Im nächsten Teil wurden die Ergebnisse der durchgeführten Filterstabilitätsversuche ausführlich vorgestellt, gefolgt von der Auswertungsmethodik. Bei der Analyse wurde die Änderung verschiedener Eigenschaften im Hinblick auf die Definition von neuen Filterkriterien ausgewertet.

2 Pflasterbefestigungen

2.1 Geschichte und moderne Anwendung

Pflasterdecken sind die ältesten bekannten Straßenbefestigungen. Das Wort selbst stammt aus dem Griechischen und bedeutet Stückchen Leinwand, das zum Binden von Wunden verwendet wurde. Die Steine (früher waren dies Natursteine) spielen die Rolle von Pflaster für die "Straßenwunden". Als die älteste Straße mit Pflasterbefestigungen wird ein 12 km langer Weg in der ägyptischen Wüste vermutet. Funde beweisen, dass die Pflastertechnik auch in Mesopotamien und Babylon 4000 Jahre v. Chr. bekannt war. Die Römer erkannten die Vorteile der Steine als Bodenbefestigung für den Transport und entwickelten den Pflasterbau weiter, indem sie auch die Tragfähigkeit des Untergrundes verbesserten.

Nach dem Fall des Römischen Reiches ging der technische Fortschritt in allen Bereiche zurück und so verloren die Pflasterbefestigungen an Bedeutung. Die Landstraßen blieben ohne Belag, nur repräsentative städtische Bereiche wurden gepflastert. Erst mit dem Anbruch der Industriellen Revolution entstand der Bedarf an besseren Transportwegen und die Pflasterdecken gewannen wieder an Bedeutung. Der zunehmende Bau führte zu der Entwicklung der ersten Richtlinien im 19. Jh. Einige Erkenntnisse sind auch in den modernen Richtlinien erhalten geblieben, und zwar die Verlegetechnik, die Steingröße und Fugenposition.

Zuerst wurden regional verfügbare Natursteine eingesetzt. In den Gebieten, wo diese fehlten, z.B. in den Niederlanden und Norddeutschland, wurden sie aus Ziegel oder Klinker hergestellt. Erst in der Mitte 20. Jh. begann die Massenproduktion von Betonpflastern. Als Vorteile erkannte man nicht nur die Variantenvielfältigkeit und Maßhaltigkeit, sondern auch die durch Maschinen erleichterte Verlegung, den niedrigeren Qualifikationsstand der Arbeiter und den daher günstigeren Preis.

Heutzutage werden Pflaster vielmehr durch Asphalt verdrängt, da die Straßenbeanspruchung durch Automobilverkehr stark gestiegen ist. Dennoch sind Pflasterbefestigungen der zweitverbreitetste Straßenbelag. Dank ihren geringen Aufbau- und Wartungskosten sind sie für wenig befahrene Land- und Gemeindestraßen besonders geeignet. Laut den österreichischen Richtlinien RVS 03.08.36 sind Pflasterbefestigungen bis zu Straßenklasse III zulässig. Auch für Wohngebiete, wo die unterirdischen Versorgungsleitungen oft repariert werden, werden sie wegen ihrer niedrigen Wiederherstellungskosten bevorzugt. Daneben wird die Vielfältigkeit an gestalterischen Möglichkeiten geschätzt. Da Verkehrsberuhigung und Stadtkulturpflege in den letzten Jahren an Bedeutung gewinnen, kommen Pflasterbefestigungen auch in Fußgängerzonen, auf Plätzen, in Altstädten und auf Radwegen zum Einsatz.

Die Pflasterbauweise besitzt allerdings einige Nachteile. Sie kann den infolge erhöhter Traglasten und Fahrgeschwindigkeiten gestiegenen Anforderungen nicht gerecht werden, wie z.B. die Aufnahme von zunehmenden Anfahr-, Brems und seitlichen Schubkräften in Kurvenbereichen. Ferner weisen Pflasterflächen einen größeren Rollwiderstand auf, der für höheren Triebstoffverbrauch sorgt, und erzeugen mehr Lärm. Die relativ arbeitsintensive manuelle Verlegung verteuert außerdem den Bau.

2.2 Pflasterkonstruktion

Pflasterbefestigungen bestehen aus der Pflasterdecke (Pflasterstein mit Fugenfüllung und Bettung), so wie den darunter liegenden Tragschichten. Zusammen bilden sie den Oberbau. Der Oberbau wird ggf. auf dem verbesserten Unterbau und der Schüttung verlegt. Die ganze Konstruktion liegt auf dem Untergrund. (Abb. 1) Die Eigenschaften der Pflasterdecke werden von der ausreichenden Bemessung und dem fachgemäßen Einbau der Unterlage stark beeinflusst. Weisen die Tragschicht oder der Unterbau eine ungenügende Tragfähigkeit auf, kommt es zu Verformungen in der Deckenschicht (http://www.kann.de/files/downloads/grundlagen_pflasterbau_601_63c3d3.pdf; Stand 30.10.2014). Im Folgenden werden die Aufgaben und Anforderungen der einzelnen Konstruktionselemente beschrieben.



Abb. 1 - Aufbau einer Pflasterdecke <http://www.pflasterdecke.de/technisches/grundlagen/index.htm>

2.2.1 Untergrund und Unterbau

Mit dem Begriff Untergrund wird der existierende Boden unter der Straße bezeichnet. Seine Aufgabe ist als Fundament der Straßenkonstruktion zu wirken. Die fachgerechte Vorbereitung und Ausbau minimieren die Schäden an der Pflasterkonstruktion und sichern somit ihre Haltbarkeit. Dafür ist eine Voruntersuchung immer notwendig. Falls der Untergrund allen Anforderungen entspricht, darf die Straßenkonstruktion unmittelbar auf ihn aufgebaut werden. In der Praxis ist das oft nicht der Fall und zusätzliche Maßnahmen sind zu treffen: Entweder die Eigenschaften des Untergrundes sollen verbessert werden (durch Kalk- bzw. Bitumenverfestigung oder Bodenaustausch) oder eine Unterbauschicht muss verlegt werden.

Der Unterbau ist ein künstlicher Erdkörper, d.h. eine Dammschüttung. Seine Aufgabe ist eine geeignete Basis für die Straßenkonstruktion zu sichern. Er wird auch dann angelegt, wenn der Untergrund die Projekthöhe nicht erreicht. Die Unterbauebene wird als Planum bezeichnet; ist kein Unterbau vorhanden, bezieht sich der Begriff auf die Untergrundebene.

An den Untergrund bzw. Unterbau werden folgende Anforderungen gestellt:

- Tragfähigkeit – laut RVS 03.08.63 soll der Verformungsmodul E_{v1} als Mindestwert 35 MN/m^2 betragen.
- Wasserdurchlässigkeit – da Pflasterbefestigungen wasserdurchlässig sind, müssen auch die unteren Schichten das Wasser problemlos ableiten können. Bei undurchlässigem Material sollen eine ausreichende Neigung und Sickerrohre in den Tiefpunkten die Wasserabfuhr sichern.
- Ebenheit und profilgerechte Lage – bei einem Gefälle von 2-3% wird der Wasserabfluss gewährleistet.

- Optimale Verdichtung – ein gut verdichtetes Planum minimiert die künftigen Verformungen des Untergrundes bzw. Unterbaus, die sich in den Oberbaubau auswirken und zu Setzungen und Spurrinnen führen.

Im Untergrund bzw. Unterbau dürfen keine organischen Reste und Wurzeln vorkommen.

2.2.2 Oberbau – Frostschutz- und Tragschichten

Die Aufgabe der Oberbaukonstruktion ist horizontale und vertikale Verkehrslasten aufzunehmen und diese in den Untergrund bzw. Unterbau zu verteilen. Ihre Bestandteile sind Frostschuttschicht, eine oder mehrere Tragschichten und Deckschicht. Die Tragschichten können ungebunden oder gebunden ausgeführt werden. In der Regel werden Tragschichten ohne Bindemittelzusatz als Frostschutz angewendet

Die unterste, direkt auf dem Planum angelegte die Frostschuttschicht dient neben der Entwässerung auch dem Verhindern von kapillarem Wasseranstieg. Andernfalls steigt der Wassergehalt in frostempfindlichen Böden und bei Frosteinwirkungen formen sich Eislinsen. In der Tauperiode danach verringert sich die Tragfähigkeit der wasserhaltigen Schicht, was zu ungewünschten Setzungen, Spurrinnen usw. führt. Die Eigenschaften des Planums beeinflussen weitgehend die Dicke der Frostschuttschicht. Das Material soll ungebunden mit geringem Feinanteil und frostunempfindlich sein, d.h. homogen gefrieren und keine Eislinsen bilden. In der Tauperiode verändert sich seine Tragfähigkeit minimal, was die Lastabtragung in den gesättigten Untergrund begünstigt.

Da die Tragschichten eine wesentliche Rolle bei der Lastverteilung spielen, werden hohe Anforderungen an sie gestellt. Die RVS 03.08.63 geben standardisierte Oberbaukonstruktionen für Pflasterdecken je nach der erwarteten Belastung. Für alle Fälle ist jedoch die Mindestdicke der ungebundenen oberen Tragschicht 20 cm und der unteren - 30 cm. Diese Dicken sind mit der Dicken der Tragschichten bei Asphaltdecken vergleichbar (RVS 03.08.63). Des Weiteren wird eine ausreichende Verdichtung angefordert, die Unebenheiten ausschließt. Ebenheit und profilgerechte Lage sind vom Anfang an sicher zu stellen. Die Querneigung soll der Pflasteroberfläche entsprechen, da die Bettung eine gleichmäßige Höhe aufweisen soll. Das Gefälle sichert auch die Wasserdurchlässigkeit, die ein weiterer wichtiger Faktor für den fachgerechten Oberbau ist. Durchlässigkeitskoeffizient $k_f > 1 \cdot 10^{-5}$ m/s gilt als genügend bei üblichen Pflasterbelägen; für wasserdurchlässigen Öko-Pflaster ist der Mindestwert $5 \cdot 10^{-5}$ m/s. Zu Beachten ist ferner noch die Filterstabilität aller Oberbauschichten zueinander und zum Untergrund (Mentlein 2007).

Alle Eigenschaften der Tragschichten sind von der Korngrößenverteilung und Kornform abhängig. Weitgestufte Sieblinien bedeuten bessere Tragfähigkeit und minimalen Hohlraumgehalt. Der Feinkornanteil beeinflusst die Wasserdurchlässigkeit und der Abstand zwischen den Kornverteilungskurven zweier Schichten ist ein Merkmal für ihre Filterstabilität.

2.2.3 Decke

Die Decke nimmt direkt die Verkehrslasten auf. Ihre Bestandteile sind Bettung, Pflastersteine bzw. -platten und Fugenfüllung.

Die Aufgabe der Bettung ist die Höhenunterschiede der Pflastersteine auszugleichen, so dass eine ebene Basis für die Straßendecke entsteht. Darüber hinaus nimmt die Bettung die vertikalen Verkehrslasten – statische und dynamische – auf und leitet sie in die Tragschichten

ab. Die Bettung soll auch elastisches Verhalten aufweisen, damit bleibende Verformungen an der Oberfläche verhindert werden. Eine weitere Anforderung an die Bettung ist die ausreichende Wasserdurchlässigkeit – eine eventuelle Wassersättigung der Bettungsschicht beeinträchtigt ihre Eigenschaften und kann zu Schäden in der ganzen Konstruktion führen.

Die Aufgabe der Fugenfüllung dagegen ist die horizontalen Kräfte aufzunehmen und diese längs und quer zwischen dem Pflaster bis zu den Randeinfassungen abzuleiten. Die Wasserdurchlässigkeit muss ebenfalls gewährleistet werden.

Als Pflasterbefestigung werden Natur-, Betonstein und Klinker eingesetzt. Dabei unterscheidet man zwischen Pflastersteinen und Pflasterplatten je nach dem Verhältnis von Pflasterbreite/-länge zu Pflasterhöhe. Das Material und die Abmessungen werden aufgrund der Nutzung und erwarteten Lasten bestimmt. So werden z.B. die Platten nur bis Lastklasse V verwendet. Die üblichen Pflasterdicken bei Steinen als auch bei Platten betragen 8 bis 12 cm und nehmen mit der Verkehrsbelastung zu. Die notwendigen Eigenschaften der Bettungs- und Fugenmaterialien sind RVS 08.18.01 zu entnehmen. Weitere Anforderungen können den folgenden österreichischen Normen: an die Gesteinskörnung in ÖNORM EN 13242 und ÖNORM B 3132, an die Pflastersteine in ÖNORM B 3108, an die Pflasterplatten und Bordsteine in ÖNORM EN 1341-1343, ÖNORM 1367-6 gefunden werden. Ein weiterer Faktor für die Standfestigkeit und der Verformungswiderstand der Pflasterdecke besonders in horizontaler Richtung ist der Pflasterverband (Mentlein 2007).

2.3 Pflasterbauweisen

Bei den Pflasterbefestigungen werden zwei grundsätzliche Bauweisen unterschieden – die ungebundene und die gebundene, je nachdem ob Bindemittel zum Einsatz kommen. Auch eine Kombination der beiden ist möglich – die so genannte gemischte Bauweise. Alle drei Bauarten werden nachstehend näher erläutert.

2.3.1 Ungebundene Bauweise

Die ungebundene Bauweise ist die Regelbauweise. Dabei werden die Bettung und Fugenfüllung aus ungebundenem Material hergestellt, d.h. ohne Zusatz von Bindemitteln. Die Befestigung weist ein elastisches Verhalten auf – nach Entlastung gehen die unter den Lasten entstandenen Spannungen und Verformungen zurück. Spurrinnenbildung ist jedoch unter Umständen durchaus möglich. Die Straßenkonstruktion ist nur dann stabil genug um die Belastungen flächig abzuleiten, wenn die Fugen sachgerecht gebaut und verfüllt sind. Ist das nicht der Fall, lockern sich die Pflastersteine bei der geringsten Beanspruchung auf. Die geplante Nutzung und die entsprechenden Lasten bestimmen die eingebauten Materialien und konstruktiven Dicken der Schichten.

Als Fugenfüllung werden in RVS 08.18.01 Korngemische 0/2, 0/4 und 0/8 vorgesehen, wobei der Größtkorn 40% bis 50% der zulässigen Fugenbreite nicht überschreiten darf. Ein ausreichender Anteil an Stützkorn muss vorhanden sein. Die Anforderungen an die Körnungen sind in ÖNORM EN 13242 angegeben.



Abb. 2 - Herstellung von ungebundener Pflasterung
http://www.bi-galabau.de/upload/Bild_GB_8_9_10_Sopro_2841.jpg

Das Korngemisch für die Bettung wird aus gebrochenen Körnungen zusammengesetzt und muss wasserdurchlässig sein. In der Praxis werden die Korngruppen 2/4, 4/8, 8/11 oder Gemische aus diesen verwendet, wobei der Kornzertrümmerungs- und Abriebwiderstand einzuhalten sind. In Abhängigkeit von der Bettungsdicke und dem Pflastermaterial wird der Größtkorn gewählt, dessen Maximalwert allerdings 11mm beträgt (www.pflasterdecke.de; Stand 04.02.2014).

2.3.2 Gebundene Bauweise

In der gebundenen Bauweise kommen für Bettung und Fugenfüllung Bindemittel zum Einsatz. Da die gebundene Pflasterkonstruktion nicht flexibel genug ist, sind infolge Temperaturunterschiede thermische Belastungen zu berücksichtigen. Eine Rolle spielt auch die Lage der Straße bezüglich der Himmelsrichtungen. Deswegen sind Dehnfugen und/oder Entspannungszonen einzuplanen. Risse infolge Temperaturänderung sind trotzdem ein typisches Schadensbild.

In der gebundenen Bauweise wird Fugenwerksmörtel eingesetzt. Seine Druckfestigkeit ist von der erwarteten Belastung abhängig, muss aber immer kleiner als die Druckfestigkeit der Pflastersteine bzw. -platten sein. Fugenmörtel werden vor allem aus Zement mit Zusatzmitteln erzeugt, die nach der Zugabe von Wasser bessere Fließfähigkeit gewährleisten. Als Mischgeräte werden Freifall-, Durchlauf- und Zwangsmischer sowie Rührwerk verwendet. Das Wasser darf keine Verunreinigungen beinhalten. Die Zugabemenge wird vom Hersteller angegeben.

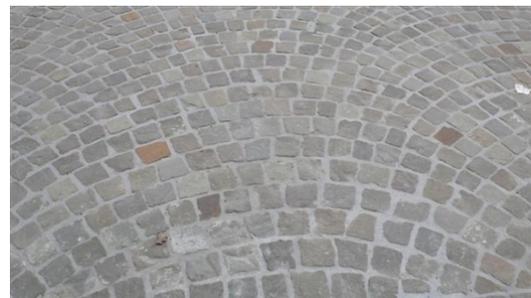


Abb. 3 - Gebundene Pflasterdecke

Das gebundene Bettungsmaterial wird Bettungswerksmörtel oder Bettungsmörtel genannt. Es wird am Ort mit Wasser gemischt. Freifall-, Durchlauf- und Zwangsmischer werden zum Mischen verwendet. Das Wasser darf keine Verunreinigungen beinhalten. Die Anweisungen der Hersteller müssen gehalten werden.

Die in der ungebundenen Bauweise verwendeten Gesteinsgruppen werden auch in der Gebundenen eingesetzt, wobei Wasser und Zement dazukommen. Der Zementgehalt ist zwischen 200 und 250 kg/m³ normiert, mit einem W/B-Wert im Bereich 0,40-0,45. Die Konsistenz muss erdfeucht sein.

2.3.3 Gemischte Bauweise

Bei der gemischten Bauweise wird nur Fugenfüllung durch Bindemittel befestigt und die Bettung wird als ungebunden hergestellt. Diese Bauweise wird nur selten angewendet, da große Spannungen, vor allem infolge Temperaturänderungen, entstehen und zur Rissbildung führen. So wird allmählich der Verband zwischen den Steinen beeinträchtigt. Die gemischte Bauweise ist nur für Fußgängerzonen oder gering von PKWs belastete Straßen zulässig (www.fqp.at; Stand 04.02.2014).

Ein Sonderfall der ungebundenen Bauweise ist die der verfestigten Fuge. Dabei wird der obere Teil der Fuge in einer Tiefe von mind. 3 cm mit Bindemittel verfestigt. Obwohl in den Regelungen und Richtlinien diese Bauweise kaum behandelt wird, kommt sie oft zu Anwendung ([http://de.wikipedia.org/wiki/Pflaster_\(Belag\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Pflaster_(Belag)); Stand 10.03.2014). Bei der Planung ist darauf zu achten, dass nicht alle Fugenmörtelarten drainagefähig sind, weswegen die Pflasteroberfläche eine genügende Neigung aufweisen muss, falls keine versickerungsfähige Reaktionsharzfüge vorgesehen wird. Diese Bauweise ist besonders vorteilhaft für Flächen, wo gefährliche Flüssigkeiten vorhanden sind, wie etwa Tankstellen, Werkstätten und Fabriken. Da die Fugen dicht sind, verhindern sie das Eindringen von Verschmutzungen in den Untergrund. Andererseits muss der Fugenverschluss elastisches Verhalten aufweisen, um den Verformungen der nachgiebigen Konstruktion ohne Rissbildung entgegenzuwirken. Hierfür sind Bitumen als Bindemittel besonders geeignet. Ein Vorteil dieser Bauweise ist, dass die Fugenfüllung unter dynamischer Einwirkung nicht ausgetragen werden kann ([http://de.wikipedia.org/wiki/Pflaster_\(Belag\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Pflaster_(Belag)); Stand 10.03.2014).

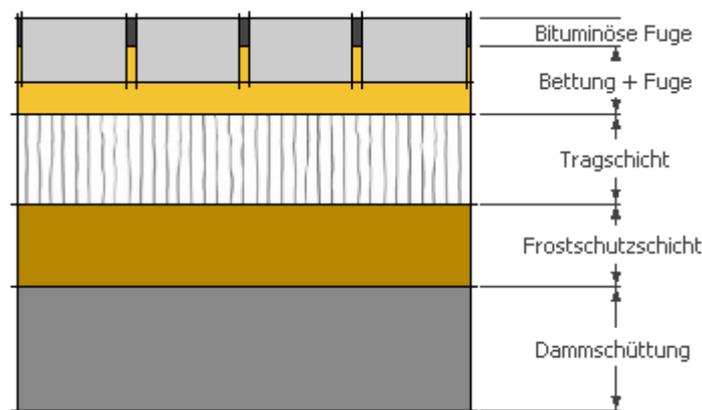


Abb. 4 - Bauweise der verfestigten Fugen

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/9/98/Verfestigte_Fuge.png

Im der folgender Tabelle 1 wird ein Vergleich der drei Bauweisen angeführt, wie er in RVS 08.18.01 angegeben ist.

Tabelle 1 - Vergleich der Bauweisen (RVS 08.18.01)

	Ungebundene Bauweise	Gebundene Bauweise	Gemischte Bauweise
Regelbauweise	ja	nein	nein
Herstellungskosten	gering	höher	höher
Unterhaltskosten	gering	höher	höher
Wiederherstellungskosten	gering	höher	höher
Entsiegelung d. Fläche	ja	nein	nein
Elastizität	hoch	keine	geringer
Sichtbare Spannungsrisse	keine	vorhanden	vorhanden
Auswaschung der Fugen	möglich	nein	nein
Fugensanierung	einfach	aufwändiger	aufwändiger
Belastbarkeit	hoch	hoch	geringer
Reinigung	aufwändiger	einfach	einfach
Fugenbewuchs	möglich	gering	gering

2.4 Einwirkungen auf die Pflasterdecken

2.4.1 Verkehrsbelastung

Die wichtigste auf die Pflasterdecken wirkende Belastung resultiert infolge des Verkehrs. Dabei unterscheiden wir vertikale und horizontale Lasten. Die aus dem Gewicht des Fahrzeugs entstehende vertikale Belastung wird durch die Reifen auf eine kreis- bis ellipsenförmige Fläche übertragen. Die resultierende Spannung ist hauptsächlich vom Reifeninnendruck und Reifenaufbau abhängig. Bedingt durch Unebenheiten der Fahrbahn kommen auch dynamische Radlastschwankungen vor. Die werden von der Form der Unebenheiten, die Federung des Fahrzeuges und der Fahrgeschwindigkeit beeinflusst und belaufen sich bei üblichen Unebenheiten auf 40% der statischen Lasten (Mentlein 2007).

Aus dem Radrollen entsteht auch eine horizontale Kraft. Laut dem Coulomb'schen Gesetz (Mentlein 2007) ist sie dem Produkt der Normalkraft F_V und des Reibungskoeffizienten μ gleich:

$$F_H = F_V \mu \quad (2.1)$$

Ihren maximalen Wert erreicht sie demnach bei maximaler vertikaler Belastung und maximalem Wert vom Reibungskoeffizienten, d.h. bei trockener Pflasteroberfläche. Die horizontale Belastung wird von der Fugenfüllung übertragen. Besonders beim Anfahren, Bremsen, bei Berg- bzw. Talfahrten und in Kurvenbereichen, wo Beschleunigungs- und Bremskräfte einwirken, entstehen horizontale Spannungen. Damit steigt die Gefahr vor starken Verformungen, weshalb zusätzliche Maßnahmen zur Schubfestigkeit getroffen werden sollen: Verwendung von dicken Steinen, Vermörtelung der Bettung u.a. Zu den Verkehrslasten zählen noch die Punktlasten vom ruhenden Verkehr auf Parkflächen u.ä.

2.4.2 Klimatische Beanspruchungen

Das Wasser ist eine der problematischsten Einwirkungen auf Straßenbeläge. Auf der Oberfläche fließendes Wasser wäscht das Fugenmaterial aus; besonders heftig ist diese Wirkung auf stark geneigten Flächen. Deshalb sollen die Längs- und Querneigung abgestimmt werden und bei stärkeren Neigungen sollen die Fugen verfestigt werden. Bei ungebundenen

Pflasterdecken sickert immer ein Teil Wasser in die Bettung und in die Tragschichten ein, die eine gute Durchlässigkeit aufweisen sollen. Wird die Wasserabfuhr nicht gewährleistet, bleibt Wasser in den Schichten stehen; unter der dynamischen Belastung vom Verkehr wird es ausgepumpt und reißt Feinkörner nach oben mit. Ist die Durchlässigkeit dagegen zu groß, d.h. fließt das Wasser mit zu hoher Geschwindigkeit, spült es wiederum die Feinkörner aus. Dabei ändern sich die Kornzusammensetzung und die Eigenschaften der Korngemische. Überdies besteht die Gefahr, dass sich nicht tragfähige Kanäle bilden, die bei geringer Belastung sich setzen und die Schicht verformen (Mentlein 2007).

Das in den Tragschichten stehende Wasser führt zu zusätzlichen Problemen unter der Frostwirkung. Beim Gefrieren nimmt das Wasservolumen um 9% zu. Ist diese Ausdehnung in den Poren verhindert, übt das Wasser einen enormen Druck aus, der bei -22°C seinen Maximalwert von $210\text{N}/\text{mm}^2$ erreicht. Übliche Baustoffe können diesen Druck nicht aufnehmen und daher zerbrechen.

Eine weitere Gefahr in der Frostperiode sind die Eislinsen, die zu Frosthebungen führen. Sie bilden sich in dünner Bettung, wenn Wasser aus dem frostempfindlichem Untergrund kapillar ansteigt oder während kurzfristiger Auftauphase in die Fugen und Bettung sickert und dort gefriert. Diese Erscheinung findet oft bei wiederholten Frost- und Tauzyklen an der Pflasteroberfläche statt, die von der Verwendung von Tausalzen begünstigt werden.

Unter Temperaturänderungen ändert sich das Volumen der Baustoffe. Bei ungebundenen Pflasterdecken werden diese Deformationen nicht verhindert, deshalb werden auch keine Schäden verursacht. Bei Pflasterbefestigungen mit gebundenen Fugen dagegen kann das Schwinden infolge Abkühlen nicht frei stattfinden und so kommt es zu Zugspannungen, die oft die Zugfestigkeit des Mörtels überschreiten und zur Rissbildung führen. Fallweise können auch die aus wärmebedingter Ausdehnung resultierenden Druckspannungen einen Bruch verursachen. (Mentlein 2007).

2.4.3 Andere Beanspruchungen

Weitere schädliche Auswirkungen auf die Pflasterdecken haben Pflanzen. Vor allem die Baumwurzel üben so großen Druck aus, dass Pflasterflächen zerstört werden. Fugenbewuchs (Gräser, Wildkräuter, Moose) vermindert zudem die Wasserdurchlässigkeit.

Man muss auch die Pflasterreinigung beachten. Üblicherweise kommen Kehrsaugmaschinen, Rollerbrüsten, Hochdruckreiniger oder einfache Straßenbesen zum Einsatz. Sie alle können die ungebundene Fugenfüllung bis einer Tiefe von 10 cm aussaugen. Um dies zu vermeiden, sollen Pflasterflächen in horizontaler Richtung gesaugt werden.

2.5 Übertragen von Lasten durch Bettung und Fuge

Die Zusammenwirkung von Bettung und Fugen ermöglicht die Übertragung von vertikalen und horizontalen Lasten in einer langlebigen Konstruktion. Betrachten wir einen vereinfachten Lastfall, wenn die vertikale Last nur auf einem Stein wirkt. Der größte Teil der Belastung wird an die Bettung übertragen, jedoch hat das Fugenmaterial gewisse entlastende Wirkung, indem es die Last infolge Reibung und Drehbehinderung auf die Nachbarsteine ableitet. Eine Voraussetzung dafür sind horizontale Verspannung und eingetretene Verschiebungen. (Abb. 5) Diese entlastende Wirkung ist bei dynamischen Lasten geringer und beträgt nur 10-20 %. (Rehbein 1988) Daher ist mit großen in die Bettung auftretenden Lasten zu rechnen. Damit dauerhafte Verformungen in der Bettung und den Tragschichten vorgebeugt

werden, sollen die resultierenden Spannungen so groß sein, dass keine plastischen Deformationen entstehen.

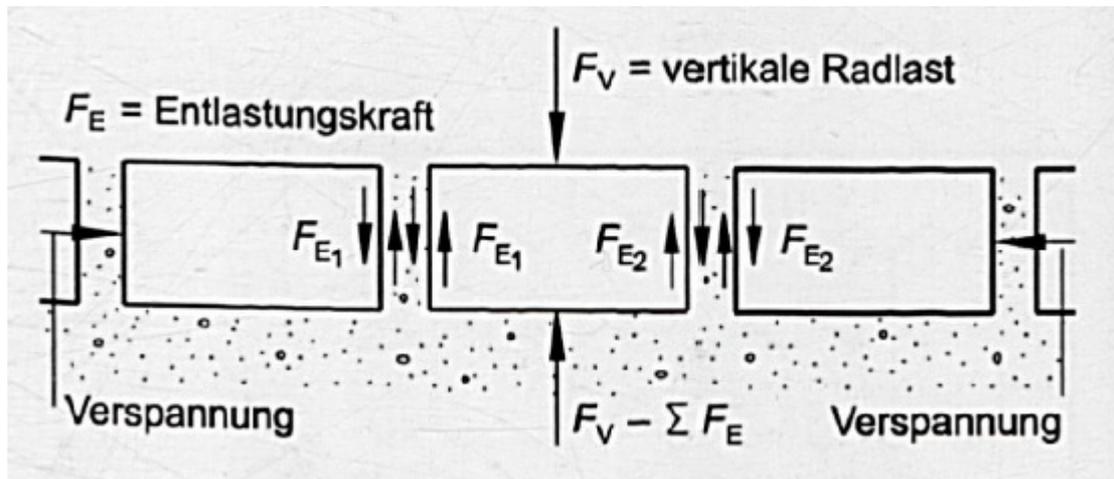


Abb. 5 - Kräfte infolge vertikaler Lasten (Mentlein 2007)

Infolge der Reibung zwischen Reifen und Fahrbahn entstehen auch horizontale Kräfte. Besonders ungünstig sind diese in Strecken mit steilem Gefälle oder Bremsstrecken, da sie immer in der gleichen Richtung wirken. Die horizontale Last, die auf der Steinoberfläche wirkt, wird durch das in Formel (2.1) beschriebenen Gesetz von Coulomb ermittelt.

Das Steingewicht ist der Gesamtbelastung gegenüber vernachlässigbar ($G_{\text{Stein}} \rightarrow 0$), so kann angenommen werden, dass der Bettungswiderstand der Kraft F_V gleich ist. Demnach ist die Reibungskraft zwischen dem Pflasterstein und der Bettung $F_R = F_V \cdot \mu_1$. Der Reibungsbeiwert in trockenem Zustand zwischen dem Gummi des Reifens und dem Pflasterstein μ ist erfahrungsgemäß $\mu = 0,60 \div 0,80$, was größer ist als der Reibungskoeffizient zwischen dem Stein und der Bettung: $\mu_1 = 0,45 \div 0,60$ (Mentlein 2007). Das bedeutet, dass $F_H > F_R$ ist; der Unterschied (ausgleichende Differenzkraft) wird von den Fugen aufgenommen und an die Nachbarsteine übertragen. Dies setzt voraus, dass die Fugen aus geeignetem Material ausgebildet sind und die Korngrößenverteilung mit der Fugenbreite abgestimmt ist. Senkrechte Fugenflanken und eine angemessene Steindicke sichern die bessere Übertragung von Horizontallasten. Besonders ungünstig wirkt dagegen Wasser in den Hohlräumen der Bettung, da die vertikalen Verkehrslasten durch Wasserporendrücke übertragen werden und der Bettungswiderstand sich beträchtlich verringert.

Werden in den Fugen keine Kräfte übertragen (wegen Schadens), entsteht in der Lagerfläche zusätzlich ein Drehmoment, das Zug- und Druckspannungen in der Bettung hervorruft.

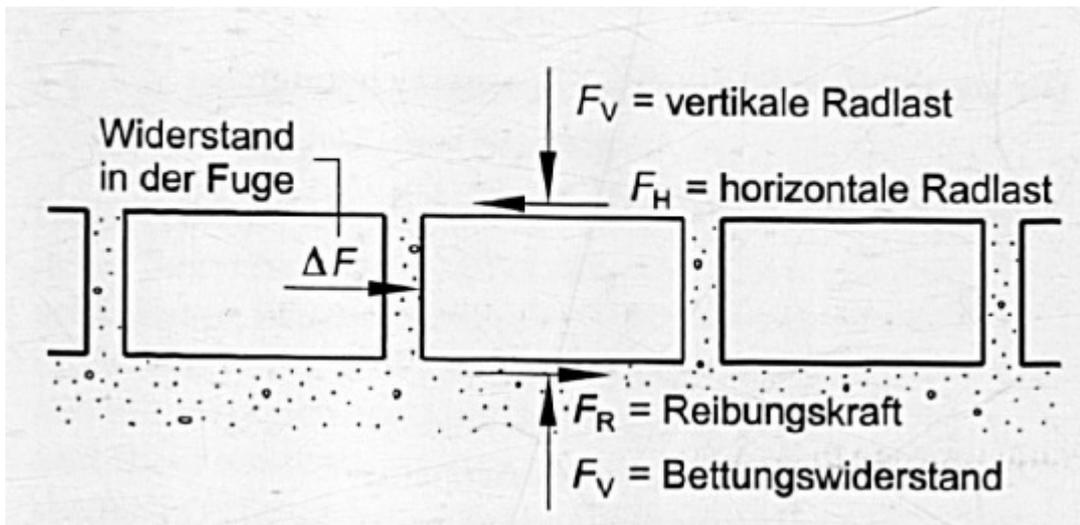


Abb. 6 - Kraftabtragung von horizontalen Belastungen (Mentlein 2007).

2.6 Schäden

Die Schäden, die bei Pflasterbefestigungen entstehen, sind verschiedenartig und die Ursachen davon oft komplex, da die ganze Konstruktion ein komplexes Verhalten aufweist (Kurth 2010). Im Allgemeinen werden die Schäden in vertikale und horizontale unterteilt. Zu den vertikalen zählen Spurrinnen (Verdrückungen), Höhenunterschiede zwischen einzelnen Pflastersteinen, Unebenheiten, herausgewachsene Einbauten u.a. Sie sind auf die ungenügende Tragfähigkeit der Konstruktion und Verdichtung der einzelnen Schichten zurückzuführen. So entstehen Spurrinnen an immer wieder befahrenen Stellen, wenn die Tragschicht oder die Bettung zu dünn ausgeführt wird, die Kornzusammensetzung nicht gut abgestuft ist (infolge mechanischen Grundbruchs) oder der Verdichtungsgrad nicht ausreicht (infolge Nachverdichtung).



Abb. 7- Verdrückungen infolge schlechter Verdichtung (Mentlein 2007)

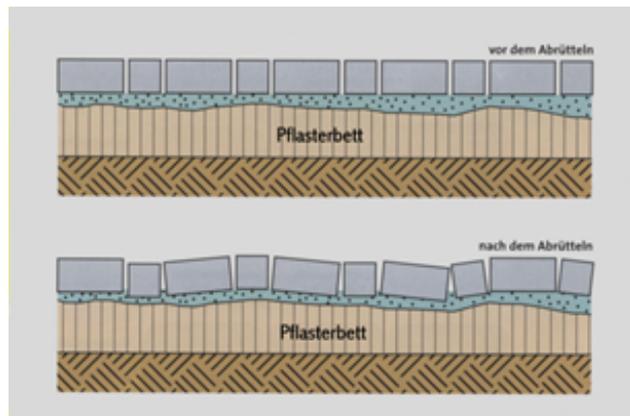


Abb. 8 - Verformung des Pflasters infolge unzulässiger Dickenunterschiede im Pflasterbett <http://www.mroczek-betonwerk-kg.de/>

Ähnliches kommt infolge unregelmäßig hergestellter Bettung vor. Falls die Dicke der Bettung unzulässig große Unterschiede aufweist oder ihre Lagerungsdichte ungleichmäßig ist, setzt sie sich zusammen mit den Pflastersteinen bzw. -platten unterschiedlich unter der nachverdichtenden Wirkung der dynamischen Verkehrslasten. Die Folge sind Unebenheiten. Das wird auch neben Einbauten wie Schächten u.ä. oder am Rand zu Bordsteinen, Wänden und

Übergängen beobachtet. In diesen Zonen werden die Tragschichten oft schlecht verdichtet, somit sinkt die Pflasterung, die Einbauten bzw. Bordsteine ragen dagegen heraus.

In allen solchen Senkungen staut das Regenwasser und es bilden sich Lachen. Sie entstehen auch infolge mangelhafter Entwässerungsmaßnahmen. Fahren die Fahrzeuge durch die Wasserlachen, wird das Fugenmaterial teilweise ausgesaugt und weggespült. Das Resultat ist Fugentleerung, die eine Voraussetzung für horizontale Verschiebungen, wackelnde Steine usw. sind.



Abb. 9 - Ausgekippte Pflastersteine infolge Fugentleerung

Verlegefehler, ungeeignetes Material und fehlerhafte Planung tragen zu der Schadensbildung bei. Einige Beispiele für falsch verlegte Pflaster sind Kreuzfugen, zu breite Fugen, nicht fachgerecht ausgebaute Richtungsänderung der Straßen bzw. der Pflaster und unterschiedliche Steinbreiten in einer Reihe.

3 Filterstabilität

3.1 Begriffsbestimmung: Erosion, Suffosion, Kolmation

Im Erd- und Grundbau kommt es oft vor, dass Erdstoffe einer Wasserströmung ausgesetzt sind. Infolge der daraus wirkenden Mechanismen werden auf die Bodenpartikel Kräfte ausgeübt, die den Gleichgewichtszustand des Erdkörpers verändern und hydrodynamische Bodendeformationen bewirken können. Dabei werden folgende ungünstige Erscheinungen unterschieden: Erosion, Suffosion, Kolmation.

Als *Erosion* wird der Vorgang bezeichnet, bei dem Partikel aller Größen in einem Erdstoff weggespült werden und als Folge sein Volumen abnimmt. Falls die Schleppkraft des auf der Schichtoberfläche strömenden Wassers die zusammenhaltenden Kräfte der Bodenteilchen überwindet, spricht man von *äußerer Erosion*. Bildet das durchströmende Wasser Kanäle im Inneren des Erdkörpers, liegt *innere Erosion* vor. Wenn dieser Vorgang an der Grenze zweier Schichten verschiedener Korngrößen vorkommt, wird er als *Kontakterosion* bezeichnet (Wittmann 1980). Eine Veranschaulichung dieser Erscheinungen ist in der folgenden Abb. 10 zu erkennen.

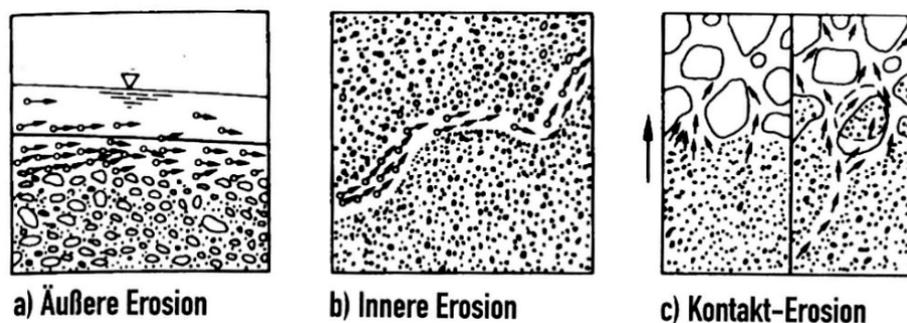


Abb. 10 - Veranschaulichung des Prozesses Erosion und seiner Formen (Wittmann 1980)

Als Suffosion (auch Suffusion) wird der Abtransport von nur Feinkörnern bezeichnet, der im Unterschied zur Erosion keinen Volumenverlust bewirkt, da das Grobgerüst wenigstens im Anfangsstadium erhalten bleibt. Daher wird eine Steigerung der Durchlässigkeit beobachtet. Werden die Partikel an die Oberfläche ausgespült, spricht man von *äußerer Suffosion*. Tritt der Prozess im Inneren des Erdkörpers, heißt er *innere Suffosion*. Falls eine Kontaktfläche zwischen zwei Schichten ausgeprägt ist, wird der Prozess als *Kontaktsuffosion* bezeichnet. Diese drei Arten werden in Abb. 11 veranschaulicht.

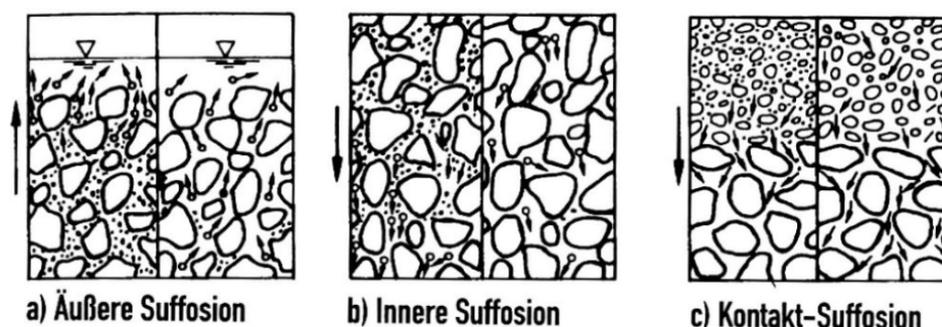


Abb. 11 - Veranschaulichung des Prozesses Suffosion und seiner Formen (Wittmann 1980)

Der umgekehrte Vorgang, wenn Feinpartikel in ein existierendes Grobskelett eingespült werden, nennt man Kolmation (auch Kolmatation). Bei diesem Prozess dringen Feinpartikel in die Poren, stopfen diese, daher wird die Wasserdurchlässigkeit verringert (Wittmann 1980).

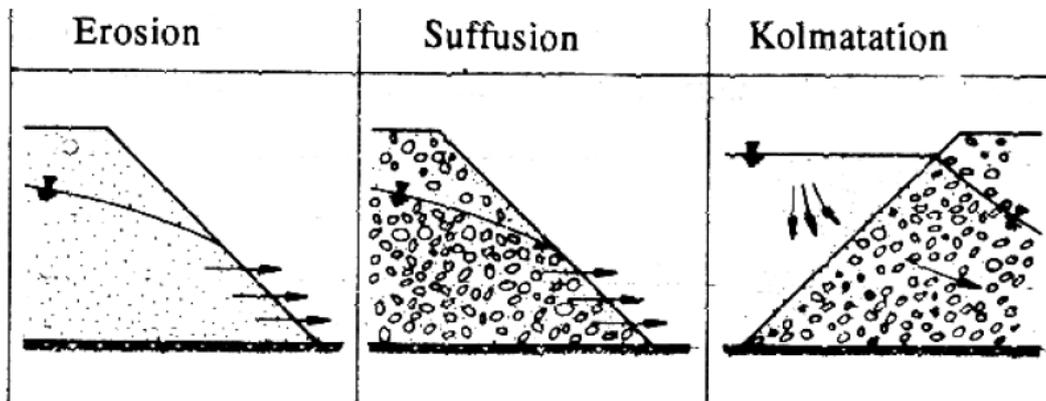


Abb. 12 - Beispiele hydrodynamischer Bodendeformationen (Wittmann 1980)

3.2 Filterstabilitätsprobleme bei den Pflasterdecken

Die oben beschriebenen hydrodynamischen Bodendeformationen können in allen der Wirkung des durchströmenden Wassers ausgesetzten Nachbarerdstoffen auftreten und diese beeinträchtigen. Ihre Schadenswirkungen wurden jedoch ursprünglich für die Zwecke des Dammbaus untersucht. Im Fall von Pflasterdecken sind dagegen einige Unterschiede zu erkennen, bedingt durch die kombinierte Wirkung von Wasser und Verkehrslasten. Dynamische Einwirkungen verursachen Kornumlagerung und verstärken somit die Schäden der Wasserströmung. Die häufigsten Probleme in dieser Hinsicht sind Suffosion bzw. Kolmation, die an der Grenzfläche zwischen Bettung und Fugenfüllung sowie zwischen Tragschicht und Bettung beobachtet werden.

Ist die Filterstabilität zwischen der Fugenfüllung und Bettung nicht gewährleistet, wandern die feinen Körner von den Fugen in die Bettung ab. Das Ergebnis ist Fugentleerung und mangelnder Verband zwischen den Pflastersteinen, die sich dann horizontal oder vertikal verschieben und im Endeffekt auskippen. Dabei stoßen die Steine aneinander und brechen ihre Kanten ab. Ferner werden die Hohlräume des Bettungsmaterials durch Feinkorn verstopft. Einerseits wird dadurch die Bettung steifer, andererseits sinkt die Wasserdurchlässigkeit schlagartig.

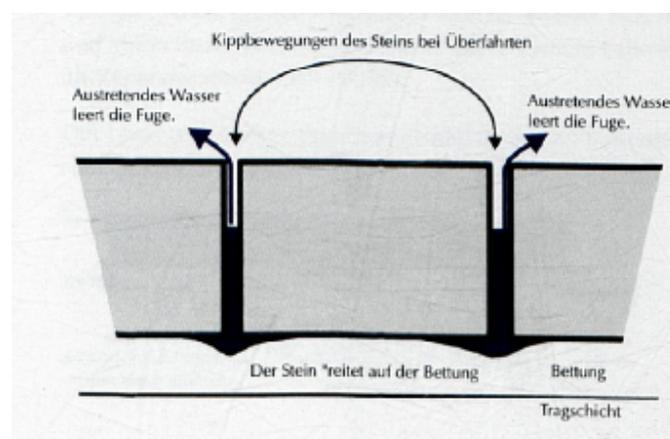


Abb. 13 - Kippbewegung des Pflastersteines infolge Fugentleerung (Wichter, 1996)

Ähnliche Probleme entstehen bei mangelhafter Filterstabilität zwischen Bettung und Tragschicht. Die Kornumlagerung verursacht Verformungen, die sich sogar an der Oberfläche auswirken. So ist es der folgenden Abb. 14 zu entnehmen, dass beim Abwandern der Feinpartikel von der Bettung in die Tragschicht Hohlräume entstehen, die Setzungen der Pflastersteine nach sich ziehen (Mladenov 2014).

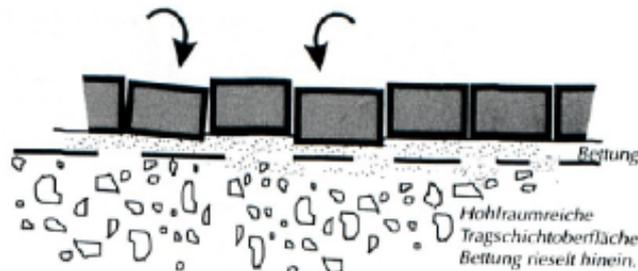


Abb. 14 - Pflasterverschiebungen bei mangelhafter Filterstabilität zwischen Bettungs- und Tragschicht (Wichter, 1996)

3.3 Filterkriterien

Die oben genannten Schäden werden vor allem von der Korngrößenverteilung der benachbarten Materialien beeinflusst. Die Filterstabilitätsuntersuchungen verfolgen das Ziel, die Sieblinien zweier aneinandergrenzenden Erdstoffe so abzustimmen, dass ihre Eigenschaften während der Nutzung unwesentlich vom Anfangszustand abweichen. Drei Vorgehensweisen der Untersuchungen der Filterstabilität sind in der Literatur üblich. Als Erstes sind dies die geometrischen Kriterien, die aufgrund theoretischer Modelle oder experimenteller Ergebnisse geometrische Aussagen über die Korn- und Porengrößen formulieren. Die hydraulischen Kriterien ergänzen diese, indem sie hydraulische Randbedingungen aufsetzen. Darüber hinaus kommen die phänomenologischen Konzepte, die zwar keine Kriterien anbieten, jedoch zur besseren Verständnis des Problems beitragen (Wittmann 1980). Im Folgenden werden nur die geometrischen Kriterien detailliert vorgestellt, da sie den heutigen Normen und Richtlinien für Pflasterungen zugrunde liegen.

3.3.1 Kugelmodelle

Die grundlegende Idee der Filterstabilität ist, dass die ausfiltrierten Partikel des feineren Bodens (Basiserdstoff genannt) gröber sein sollen als die Poren des gröbereren Erdstoffes, des so gen. Filters. Der einfachste Fall ist sich den Boden als homogenes einkörniges Material vorzustellen, wobei Kugeln mit Durchmesser D für die Bodenpartikel stehen. Das feinere Material wird dabei durch Kugeln mit Durchmesser d ersetzt. Je nach der Packungsform entstehen verschiedene Porenweiten im Filtermaterial. Die lockerste Packung, d.h. die mit größten Poren, ist die reguläre 6-er Packung (Abb. 15 a). Im diesem Fall beträgt die minimale Porenweite:

$$d_{p,min} = (\sqrt{2} - 1)D = 0,4142D$$

$$\Rightarrow \frac{D}{d_{p,min}} = 2,414 \quad (3.1)$$

Die dichteste Lagerung dagegen ist die kubische bzw. hexagonale 12-er Packung (Abb. 15 b). Für sie lässt sich die minimale Porengröße wie folgt ermitteln:

$$d_{p,min} = \left(\frac{2}{3}\sqrt{3} - 1\right)D = 0,1547D$$

$$\Rightarrow \frac{D}{d_{p,min}} = 6,464 \quad (3.2)$$

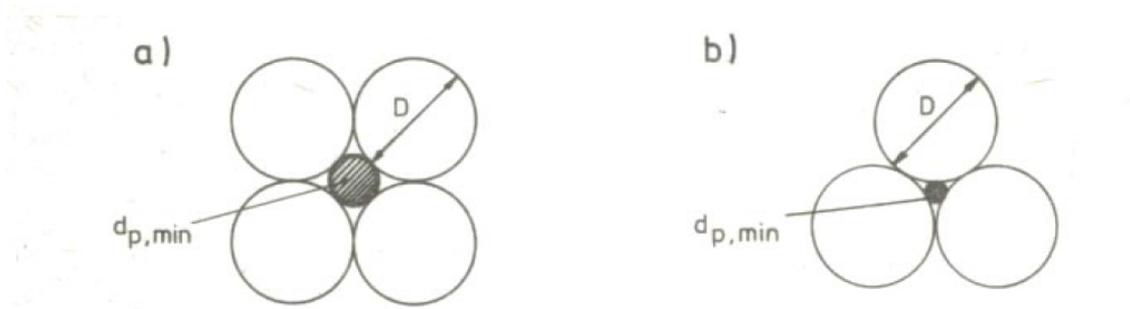


Abb. 15 - Kugelmodelle und minimale Porenweiten: a) reguläre 6-er Packung; b) reguläre 12-er Packung (Wittmann 1980)

Da die minimalen Porenweiten dem grobmöglichsten Diameter d des Basiserdstoffes entsprechen, die in die Poren eindringen können, lassen sich für eine filterstabile Kombination bei jeder Lagerung folgende Grenzwerte erstellen:

$$\frac{D}{d} \leq 2,414 \text{ bzw. } \frac{D}{d} \leq 6,464 \quad (3.3)$$

Unter der Hypothese, dass bei gleichförmigen Bodenmaterialien die Mittellagerung maßgebend ist und dass der Medianwert D_{50} bzw. d_{50} die realen Korngemische ausreichend genau charakterisiert, leitete Sichardt seine Filterregel ab:

$$\frac{D_{50}}{d_{50}} \leq 3 \text{ bis } 4,5 \quad (3.4)$$

Diese Verallgemeinerung hat jedoch zwei wesentliche Nachteile. Erstens weisen natürliche Erdstoffe viel kompliziertere Kornzusammensetzung auf, die keine einfache geometrische Beschreibung zulässt. Zweitens folgt die Anordnung der Bodenpartikel keiner regulären Struktur und wird deshalb genauer durch die Zufallspackung und Wahrscheinlichkeitstheorie beschrieben.

3.3.2 Cistin/Ziems

Auf den oben genannten Überlegungen aufbauend entwickelte Ziems 1968 diese Kriterien weiter. Von der in Klassen eingeteilten Sieblinie des Filterstoffes ermittelte er anhand der Wahrscheinlichkeitstheorie die Porenengstellenverteilung und verglich diese mit der Partikelgröße des Basismaterials. Dabei verwendete er als Kenngröße einen hydraulischen mittleren Porendurchmesser, der aufgrund der Äquivalenz zwischen Porenströmung und Rohrströmung abgeleitet wurde. Andere Autoren sind ähnlichem Gedankengang gefolgt und obwohl ihre Ableitungen verschiedene Form haben, gelangten alle zu vergleichbaren Resultaten. So wurde der mittlere hydraulische Porendurchmesser als eine Funktion von der Durchlässigkeit bzw. von einer kennzeichnenden Korngröße, von der Ungleichförmigkeitszahl und von der Porenzahl bzw. Porosität festgelegt.

Cistin war empirisch zu ähnlichen Gesetzmäßigkeiten gelangt und formulierte diese für relativ gleichförmige Basiserdstoffe ($U_d \leq 4$). Ziems korrigierte seine Filterkriterien und ergänzte

sie für ungleichförmige Materialien (bis $U_d=20$) (Ziems 1968). Die so entstandene Filterregel von Cistin/ Ziems legt zulässige Abstandsverhältnisse $A_{50} = D_{50}/d_{50}$ fest, in Abhängigkeit von den Ungleichförmigkeitszahlen der beiden Erdstoffe $U_d = d_{60}/d_{10}$ und $U_D = D_{60}/D_{10}$. Sie sind graphisch der Abb. 16 zu entnehmen.

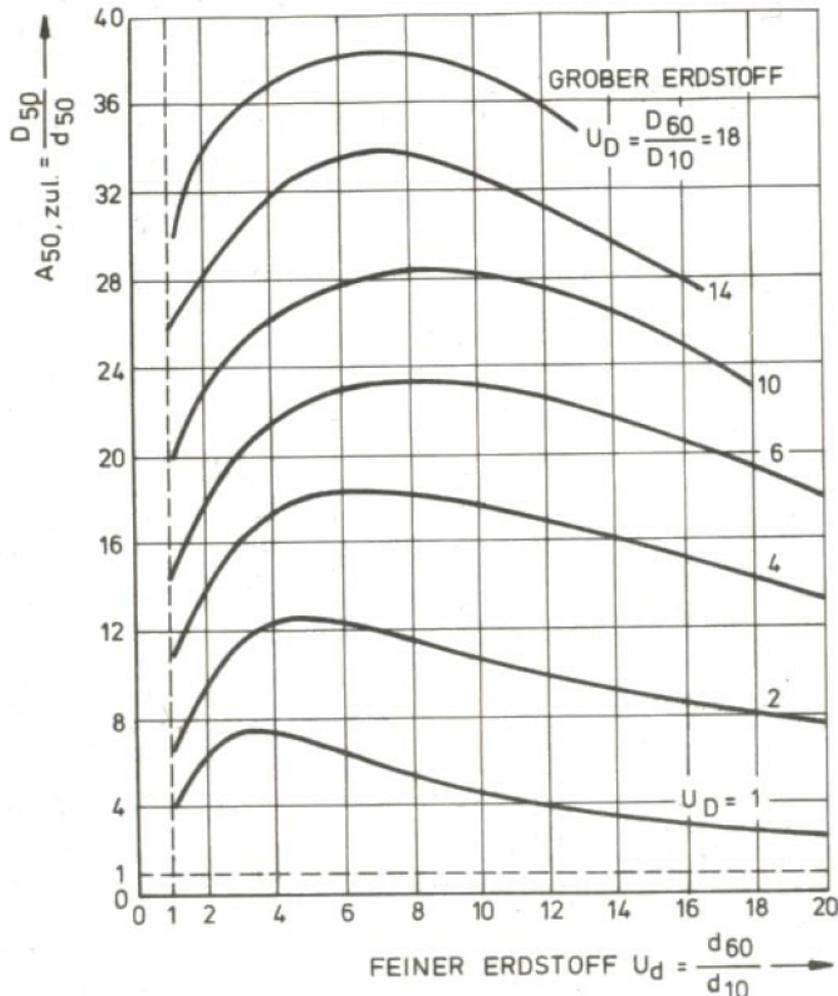


Abb. 16 - Filterkriterien nach Cistin/Ziems (Wittmann 1980)

Die Filterkriterien von Cistin/Ziems gelten unter folgenden Randbedingungen:

- Gradient $i_d < 9$
- Basiserdstoff $0,1 < d < 30$ mm; Filter $4 < D < 100$ mm;
- Suffosionssichere Materialien
- Mindestens mitteldichte Lagerung

Die Filterregeln nach Cistin/Ziems sind von relativ universeller Natur und lassen unterschiedliche Erdstoffkombinationen nach ihrer Filterstabilität prüfen. Sie beinhalten auch die in der Praxis üblicheren Filterregeln nach Terzaghi.

3.3.3 Terzaghi

Die ersten Filterkriterien wurden von Terzaghi 1921 formuliert (Terzaghi 1925). Sie basieren auf theoretischen Kugelmodellen und experimentellen Ergebnissen, auf die jedoch in der Literatur unvollständig eingegangen wird. Die Filterregeln von Terzaghi sind einfach in Form und leicht zu bestimmen, deshalb liegen sie auch vielen Richtlinien zugrunde. Sie geben

die zulässigen Kornverteilungen von zwei angrenzenden Erdstoffen an, so dass keine Feinpartikel des dichteren Materials unter der Wirkung von Wasserströmung durch das Größere ausgespült werden. Zwei Bedingungen müssen dabei erfüllt werden: die Poren des groben Erdstoffes sollen so klein sein, dass die feinen Körner des anderen Materials sie nicht passieren können. Diese Bedingung wird mechanische Filterfestigkeit genannt und durch die Ungleichung ausgedrückt:

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} \leq 4 \quad (3.5)$$

mit:

D_{15} – Korndurchmesser bei 15% Siebdurchgang des gröbereren Materials (der Bettung)

d_{85} – Korndurchmesser bei 85% Siebdurchgang des feineren Materials (der Fugenfüllung)

Darüber hinaus soll die Wasserdurchlässigkeit eingeschränkt werden, was durch die hydraulische Wirksamkeit ausgedrückt wird:

$$\frac{D_{15}}{d_{15}} \geq 4 \quad (3.6)$$

Eine zusätzliche Bedingung ist:

$$\frac{D_{15}}{d_{15}} < 20 \quad (3.7)$$

Die Letztere gibt eine Obergrenze der Wasserdurchlässigkeit an, so dass der durchgeströmte Boden nicht zerstört wird.

Besonderes Augenmerk gilt dem Gültigkeitsbereich der Filterregeln: die dürfen nur für Erdstoffe mit Ungleichförmigkeitszahl $U \leq 2$ angewendet werden:

$$U = \frac{D_{60}}{D_{10}} < 2 \quad \text{und} \quad U = \frac{d_{60}}{d_{10}} < 2 \quad (3.8)$$

Diese Randbedingung wird bei der Übernahme der Filterregeln in die Richtlinien oft vernachlässigt (Terzaghi 1961).

3.4 Richtlinien: Internationaler Vergleich

Die oben genannten, ursprünglich für die Zwecke des Dammbaus entwickelten Filterregeln wurden auch zur Grundlage der Baunormen und -richtlinien im Bereich des Straßenbaus, obwohl sie nur den Einfluss der Wasserströmung berücksichtigen und nicht die dynamischen Auswirkungen infolge Verkehrsbelastung. Sie sind dennoch gängig und werden unten in einer Übersicht für einige Länder angeführt.

In den österreichischen RVS 08.18.03 wird die Filterstabilität sowohl zwischen Bettung und Tragschicht als auch zwischen Fugenfüllung und Bettung normiert. Die Ungleichförmigkeitszahl wird dabei nicht berücksichtigt. Im ersten Fall lauten die Grenzbedingungen:

$$\frac{D_{15(\text{Trag})}}{d_{85(\text{Bett})}} \leq 5 \quad (3.9) \text{ - Sicherheit gegen Erosion}$$

$$\frac{D_{50(\text{Trag})}}{d_{50(\text{Bett})}} \leq 25 \quad (3.10) \text{ - Sicherheit gegen Kontakterosion}$$

Die Filterkriterien für eine einwandfreie Bettung-Fugen-Konstruktion sind dagegen strenger:

$$\frac{D_{15(Bett)}}{d_{85(Fugen)}} \leq 2 \quad (3.11) - \text{Sicherheit gegen Erosion}$$

$$\frac{D_{50(Bett)}}{d_{50(Fugen)}} \leq 10 \quad (3.12) - \text{Sicherheit gegen Kontakterosion}$$

Die Anforderung an Wasserdurchlässigkeit wird nicht in der Form von Korndurchmesser Verhältnis angegeben, sondern als Mindestwert des Durchlässigkeitskoeffizienten $k_f > 5,10^{-5}$ m/s.

In Deutschland werden die Anforderung an Bettungs- und Fugenmaterial in TL-Pflaster-StB (Technischen Lieferbedingungen für Bauprodukte zur Herstellung von Pflasterdecken, Plattenbelägen und Einfassungen) und in ZTV Pflaster-StB (Zusätzlichen Vertragsbedingungen für den Bau von Pflasterdecken, Plattenbelägen und Einfassungen) angegeben. Basierend auf den Filterkriterien von Terzaghi werden je nach der Ungleichförmigkeitszahl zwei Fälle betrachtet:

- $U < 15$

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} \leq 4 \quad (3.13) - \text{Sicherheit gegen Erosion}$$

$$\frac{D_{50}}{d_{50}} \leq 5 \quad (3.14) - \text{Sicherheit gegen Kontakterosion}$$

$$\frac{D_{15}}{d_{15}} \geq 1 \quad (3.15) - \text{Durchlässigkeitsbedingung}$$

- $U \geq 15$

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} \leq 5 \quad (3.16) - \text{Sicherheit gegen Erosion}$$

$$\frac{D_{50}}{d_{50}} \leq 25 \quad (3.17) - \text{Sicherheit gegen Kontakterosion}$$

$$\frac{D_{15}}{d_{15}} \geq 1 \quad (3.18) - \text{Durchlässigkeitsbedingung}$$

In den Vereinigten Staaten Amerikas gelten für Pflasterbefestigungen die Filterkriterien der Corps of Engineers, die wieder auf denen von Terzaghi ihre Grundlage finden:

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} \leq 5 \quad (3.19) - \text{Sicherheit gegen Erosion}$$

$$\frac{D_{50}}{d_{50}} \leq 20 \quad (3.20) - \text{Sicherheit gegen Kontakterosion}$$

$$\frac{D_{15}}{d_{15}} \leq 20 \quad (3.21) - \text{Durchlässigkeitsbedingung}$$

In Bulgarien werden die Eigenschaften von Gesteinskörnungen für den Straßenbau durch die BDS EN 13139:2004 Gesteinskörnungen für Mörtel geregelt, die der Europäischen Norm EN 13139:2002 entspricht. Darin wird das Problem der Filterstabilität nicht behandelt. Ferner sind Pflasterstraßen selbst noch keine Regelbauweise, daher existieren keine Normen, die Materialanforderungen stellen, sondern nur Anleitungen für ihren Bau. *In älteren Normen wurde jedoch die Filterstabilität zwischen den Schichten in Form der erweiterten Regeln von Terzaghi angegeben:*

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} < 4 \quad (3.22)$$

$$\frac{D_{50}}{d_{50}} < 25 \quad (3.23)$$

Im Allgemeinen macht sich die Tendenz nach Vereinheitlichung der in den europäischen Ländern geltenden Normen sichtbar, wobei als Grundlage die Filterkriterien von Terzaghi in Einsatz kommen. Der wichtigste Unterschied sind die zulässigen Werte. Ein Vergleich ist der folgenden Tabelle zu entnehmen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind auch die von Terzaghi festgelegten Werte angeführt, so wie das Kriterium von Sichardt, der die Form der Sicherheitsbedingung gegen Kontakterosion hat.

Folgende Schlussfolgerungen lassen sich ziehen:

- Die Erosionsbedingungen sind in RVS 08.18.01 am strengsten im Vergleich zu den restlichen Richtlinien. Der Grenzwert von 2 liegt auch wesentlich unter dem von Terzaghi empfohlenen Kriterium von 4.
- Die Obergrenze der Kontakterosionsbedingung in Österreich dagegen ist mit 10 doppelt so hoch wie der strengste Wert aus den deutschen Richtlinien, der mit der Bedingung von Sichardt vergleichbar ist.

Tabelle 2 - Vergleich von Filterkriterien in ausgewählten internationalen Normen

Land Norm	Österreich RVS 08.18.01	Deutschland ZTV Pflaster-StB 06		USA Corps of Engineers	Bulgarien -	Terzaghi (*Sichardt)
		U < 15	U ≥ 15			
Kriterium:						
Erosion $\frac{D_{15}}{d_{85}}$	≤2	≤4	≤5	≤5	≤4	≤4
Kontakterosion $\frac{D_{50}}{d_{50}}$	≤10	≤5	≤25	≤25	≤10	≤4,5*
Durchlässigkeit $\frac{D_{15}}{d_{15}}$		≥1	≥1	≥5		≥4 (<20)

3.5 Untersuchungen zu der Filterstabilität von Pflasterdecken

Die oben genannten Normen sind seit Jahren nicht aktualisiert worden, obwohl die Anforderungen an die Pflasterbefestigungen stetig steigen. Eine letzte Aktualisierung erfolgte für den deutschen Anwendungsbereich im Jahr 2006 auf der Grundlage von umfangreichen Untersuchungen, die in Krass et. al. "Anforderungen an das Bettungs- und Fugenmaterial für Pflasterdecken bei statischer und dynamischer Belastung" 2006 dargelegt sind. Darin wurden eine Vielzahl von Bettungs-Fugen-Kombinationen überprüft. Als Materialien kommen Diabas, Kalkstein und Naturstein mit verschiedenen Sieblinien zum Einsatz. Das Verhalten jeder Kombination wurde unter der Rüttelauswirkung in Trocken- und Nasszustand so wie Beregnung mit und ohne Rütteln untersucht. Dabei wurden zwei Prüfeinrichtungen verwendet: Für die Voruntersuchungen wurde das Erdmaterial ohne Pflastersteine in eine Stahlplatte mit

Rahmen eingebaut, mit einem eingefrästen Aluminiumblock bedeckt und auf einem Rütteltisch geprüft. Bei den Hauptuntersuchungen wurde ein Pflasterstraßenmodell gebaut und durch ein Rad mit 25kN vertikaler Belastung 30 000 Mal überfahren. Die Sieblinien vor und nach jedem Verlust wurden untersucht und verglichen. Vor- und Hauptuntersuchungen belegten, dass die Kombination von dynamischen Einflüssen und Wasserströmung die stärkste schädigungswirkung entfaltet. Weitere Faktoren wurden in Betracht gezogen: Fließzahl, Feinheitsgrad und Kornform, jedoch konnte kein Zusammenhang festgestellt werden. Nur der Sieblinienverlauf erwies sich als entscheidend für die Filterstabilität der Bettung und Fugenfüllung. So wurde in Krass et al. 2006 die für den deutschen Anwendungsbereich geltenden Filterkriterien festgelegt.

4 Versuchsbeschreibung

4.1 Problematik und Begründung

Die oben besprochenen Filterkriterien von Terzhagi, Cistin/Ziems, die den österreichischen und anderen Richtlinien zugrunde liegen, wurden für die Zwecke des Dammbaus erstellt, weswegen sie nur die Wasserströmung durch zwei benachbarte Schichten berücksichtigen und nicht die infolge des Verkehrs entstehenden dynamischen Einwirkungen. Schadensfälle deuten darauf hin, dass diese Filterkriterien für Pflasterdecken nur begrenzt brauchbar sind. Aufgrund dessen wird im Rahmen eines Forschungsprojektes im Labor des Forschungsbereichs für Straßenwesen am Institut für Verkehrswissenschaften, TU Wien die Filterstabilität zwischen Bettungs- und Fugenmaterial bei der kombinierten Wirkung von dynamischen (Verkehrs)lasten und Wasser untersucht. Das Ziel des Projektes ist eine umfassende Datengrundlage zu erstellen und neue Filterkriterien zu formulieren bzw. die alten zu verbessern.

4.2 Versuchskonzept und -aufbau

Im Rahmen der Diplomarbeit von Mladenov (2014) wurde das Versuchskonzept mit den Grenzbedingungen bestimmt. Voraussetzung war der einfache, leicht zu wiederholende Aufbau. Darüber hinaus sollte die Bewegung der Körner beobachtet werden können und absolute und relative Änderungen an Massen und Sieblinien sollten problemlos bestimmt werden können. Daher wurde folgende *Versuchsapparatur* gewählt: das Bettungs- und Fugenmaterial wurden in einen durchsichtigen Plexiglaszylinder mit Außendurchmesser $D=20$ cm und Innendurchmesser $d=19$ cm eingebaut. Das Bettungsmaterial wurde zuerst mit der Hand verdichtet, dann auch kurz gerüttelt. Das Fugenmaterial dagegen wurde nur geebnet, da ein Rütteln die Kornwanderung veranlassen und die Versuchsergebnisse verfälschen würde. Das entspricht auch den realen Verhältnissen in der Praxis, wo die Bettung zwar verdichtet, die Fugenfüllung aber nur eingeschlämmt wird, da zwischen den Pflastersteinen keine Verdichtung möglich ist. Im Versuchsaufbau diente als Grundlage eine Platte mit Löchern auf Stützbeinen. Die wurde mit einem runden Stück Geotextil bedeckt, das nur Füller durchlässt. Die Konstruktion wurde in ein Sieb und dann auf das Rüttelgerät gestellt, wo es bewässert und vibriert wurde.



Abb. 17 - Versuchsapparatur - Zylinder, Geotextil, Platte, Sieb



Abb. 18 - Versuchsdurchführung

Die Randbedingungen wurden aufgrund sieben Vorversuche bestimmt. Zuerst wurden zwei Schichten je 5 cm unter einer Wassersäule von 10 cm bewässert und mit Amplitude 1,5-3 mm gerüttelt. Im zweiten Vorversuch wurden die Schichten nur unter der 10 cm hohen Wassersäule bewässert und im Dritten - nur gerüttelt, diesmal unter Amplitude 1,5-2mm. Die Ergebnisse belegten, dass die heftigste Umlagerung und Verfeinerung der Bettungsschicht im Fall der kombinierten Wirkungen stattfindet. Im 4. Vorversuch wurde das Material gesättigt und dann unter minimaler Wassersäule von 0,5-1 cm mit Amplitude ca. 2 mm gerüttelt. Die Dauer von diesen 4 Versuchen war jeweils 15 min. Ergebnisse belegten, dass die Bettungsschicht in die Tiefe feiner wird, die Fugenschicht dagegen sich vergrößert. Beim Vorversuch 5 wurde die Wasserdurchlässigkeit untersucht. So wurde der Versuch mit einer Rüttelamplitude von 1,5 mm und unter einer Wassersäule von 10 cm durchgeführt. Nach 30 min waren keine Verunreinigungen im abfließenden Wasser zu beobachten und die Durchlässigkeit nahm ab. Die Bedingungen des 6. Vorversuch waren gleich, mit dem Unterschied, dass ein Blechring die Bettung in Außen- und Innenzone teilte. So wurde herausgestellt, dass die Umlagerung mitten im Zylinder stärker ausgeprägt ist als am Rand. Auch für den 7. Vorversuch waren die Bedingungen ähnlich, die Amplitude variierte jedoch von 1,5 bis 2,1 mm (50-70%).

Aufgrund der Ergebnisse wurden die *Grenzbedingungen* gewählt. Einige zusätzliche Nebenversuche wurden aus Präzisionsgründen durchgeführt. Im Endeffekt wurden die Dicken von Bettungs- und Fugenmaterial je 5 cm angenommen. In der Praxis ist die Fugentiefe normalerweise dicker als die Bettung. Nebenversuche belegten jedoch, dass eine Fugenschicht mit geringerer Dicke bzw. geringerem Gewicht während der Versuchsdurchführung nicht stabil bleibt. Bei der Bewässerung wurde eine Wassersäule von 10 cm bei ständigem Wasserzufluss als passend gehalten. Die dynamische Einwirkung entsteht durch Rütteln mit einer Amplitude von 1,5mm auf dem Siebturm. Die Versuchsdauer wurde auf 30 min festgelegt, da eine Kornumlagerung kaum noch festzustellen ist. Der Verdichtungsgrad spielt auch eine wesentliche Rolle für die Filterstabilität der zwei Schichten. Daher soll die Bettung durch Stampfen und kurzes Rütteln gut verdichtet werden; das Fugenmaterial wird dagegen nur durch Stampfen verdichtet, weil Rütteln schon das Eindringen von Feinpartikeln in die Bettung bewirkt.

Das Bettungs- und das Fugenmaterial wurden vor dem Einbau abgewogen; nach dem Versuch wurden die Schichten getrennt, im Trockenschrank getrocknet und wieder abgewogen. Zwei kleine Proben aus dem gut homogenisierten Bettungsmaterial wurden nass gesiebt und die neuen Sieblinien wurden ermittelt.

4.3 Versuchsprogramm und Ausgangsmaterialien

Verschiedene Kombinationen von Bettungs- und Fugenmaterial werden in ein Versuchsprogramm eingeplant, das in der folgenden Tabelle 3 dargestellt wird. Es werden in der Praxis übliche Korngemische verwendet. Die in der hier vorliegenden Diplomarbeit durchgeführten Versuche sind in der Tabelle lila eingefärbt. Die restlichen Kombinationen liegen als Ergebnisse vor. In Klammern steht die Anzahl der Versuchswiederholungen. Zwei Kombinationen wurden auch verkehrt ausgeführt: Bettungsmaterial 0/2 fein mit Fugenmaterial 2/4 und Bettungsmaterial 0/2 grob mit Fugenmaterial 2/4.

Tabelle 3 - Versuchskombinationen

Kombinationen "Filterstabilität"			Fugenmaterial [mm]								
			0/2			0/4			0/8		
			fein	mittel	grob	fein	mittel	grob	fein	mittel	grob
Bettungsmaterial [mm]	0/4 (3 M-% < 0,09 mm)	fein	(2)	(1)	(2)	(1)	(1)	(1)			
		mittel	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)			
		grob	(2)	(1)	(2)	(1)	(1)	(1)			
	2/4		(2)+V	(1)	(2)+V	(2)	(1)	(2)			
	0/8	fein	(2)	(1)	(2)	(2)	(1)	(2)			
		mittel	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)			
		grob	(2)	(1)	(2)	(2)	(1)	(2)			
	2/8	fein	(2)	(1)	(2)	(2)	(1)	(2)			
		mittel	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
		grob	(2)	(1)	(2)	(2)	(1)	(2)			
	4/8		(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)			

Die Sieblinien des Ausgangsmaterials wurden mittels der Fuller-Parabel errechnet, die von Fuller und Tompson am Anfang 20. Jh. entwickelt wurden und einen stetigen Kurvenverlauf beschreibt (4.1) :

$$s[\%] = 100 \left(\frac{d}{D} \right)^q \quad (4.1)$$

Benutzt wird in diesem Fall ihre erweiterte Form (4.2):

$$s[\%] = 100\alpha \left(\frac{d}{D} \right)^\beta \quad (4.2)$$

mit:

S [%] – Durchgang durch ein Sieb mit Diameter d [mm], bezogen auf die Gesamtmasse

d [mm] – Siebdurchmesser ($0 \leq d \leq D$)

D [mm] – maximaler Durchmesser des Korngemisches

α – Körnungskoeffizient

q, β – Körnungsexponenten

Der Koeffizient α bestimmt den Schnittpunkt der Sieblinie mit der y-Achse und der Exponent β beeinflusst die Krümmung. Um diese zwei unbekanntenen Werte zu ermitteln, brauchen wir zwei Nebenbedingungen. Die erste ist die Anforderung, dass der Fülleranteil maximal 5% betragen darf. Weitere Nebenbedingung stellen die Anteile der größten Korngrößen dar, die vorbestimmte Werte betragen und somit feines, mittleres und grobes Material bestimmen. Für das Korngemisch 0/4 z.B. sind die in den Richtlinien vorgegebenen Grenzwerte für [1/2] zwischen 60 und 30%, was in unserem Fall den Grenzwerten für feines bzw. grobes Korngemisch entspricht. Der Mittelwert 45% bestimmt den Grenzwert des mittleren Korngemisches. So lassen sich die Faktoren α und β ermitteln. Die Berechnungen erfolgten mit Solver, einem Add-in von Excel. So wurden alle Sieblinien ermittelt. Unten in Abb. 19 bis Abb. 24 sind alle Sieblinien grafisch dargestellt.

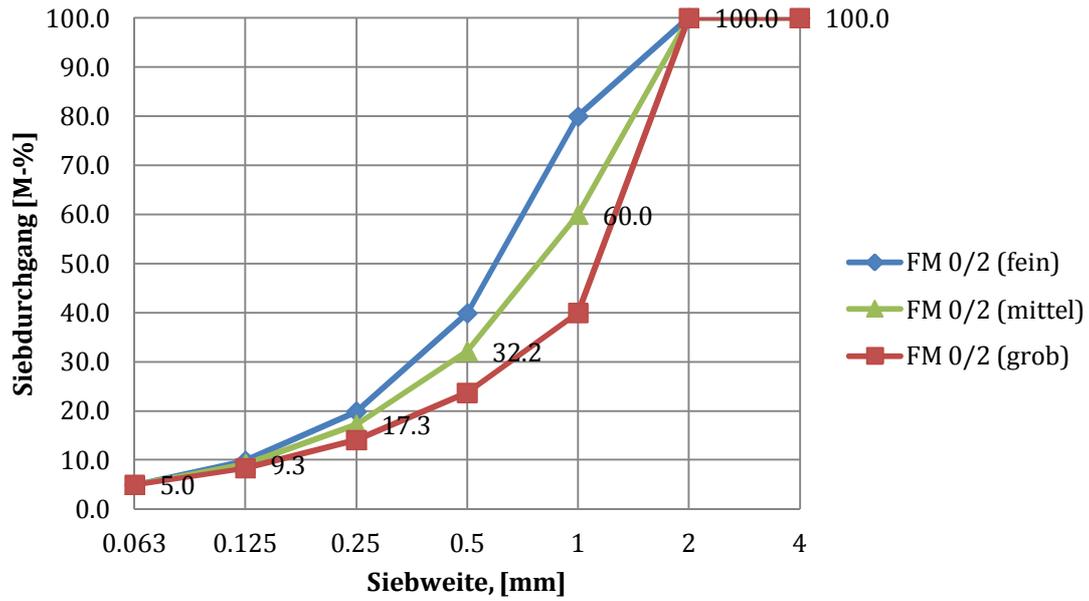


Abb. 19 - Sieblinien vom Ausgangsmaterial für die Fugen aus der Korngröße 0/2 mm - fein, mittel und grob

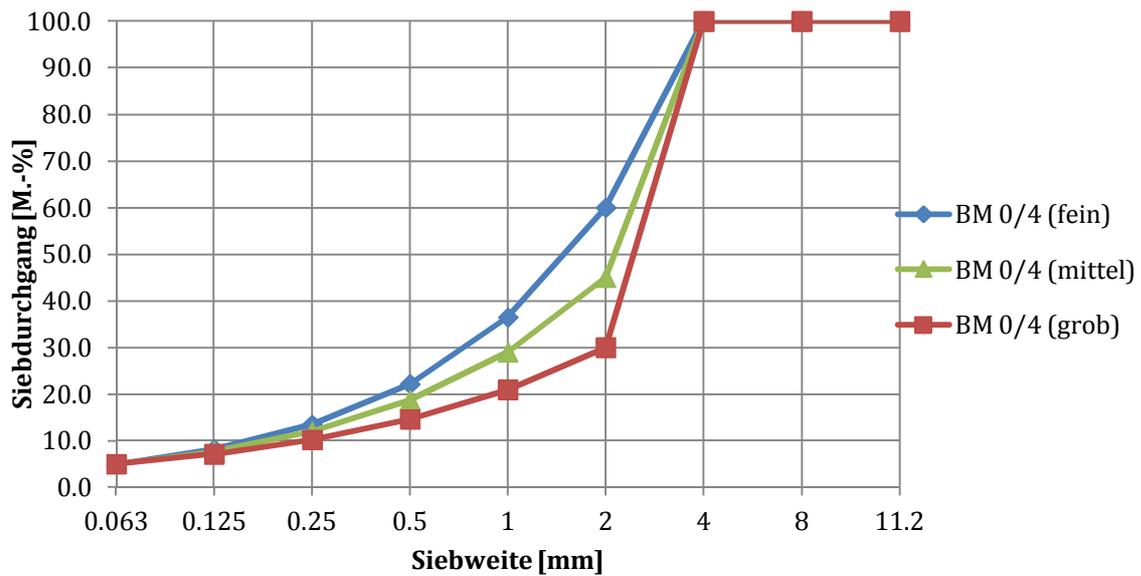


Abb. 20 - Sieblinien vom Ausgangsmaterial für Bettung und Fugen der Korngröße 0/4 mm - fein, mittel und grob

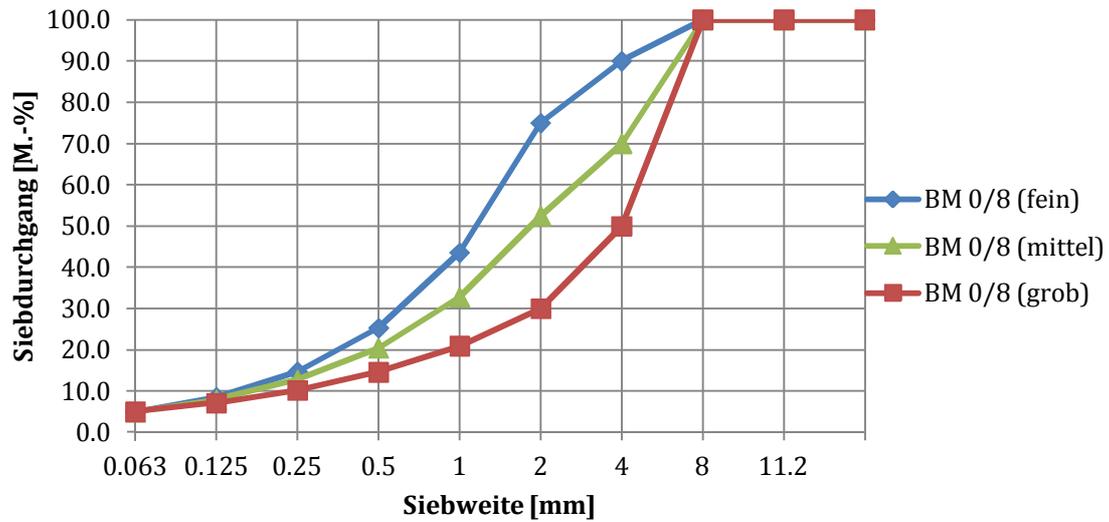


Abb. 21 - Sieblinien vom Ausgangsmaterial für Bettung und Fugen der Korngröße 0/8 mm – fein, mittel und grob

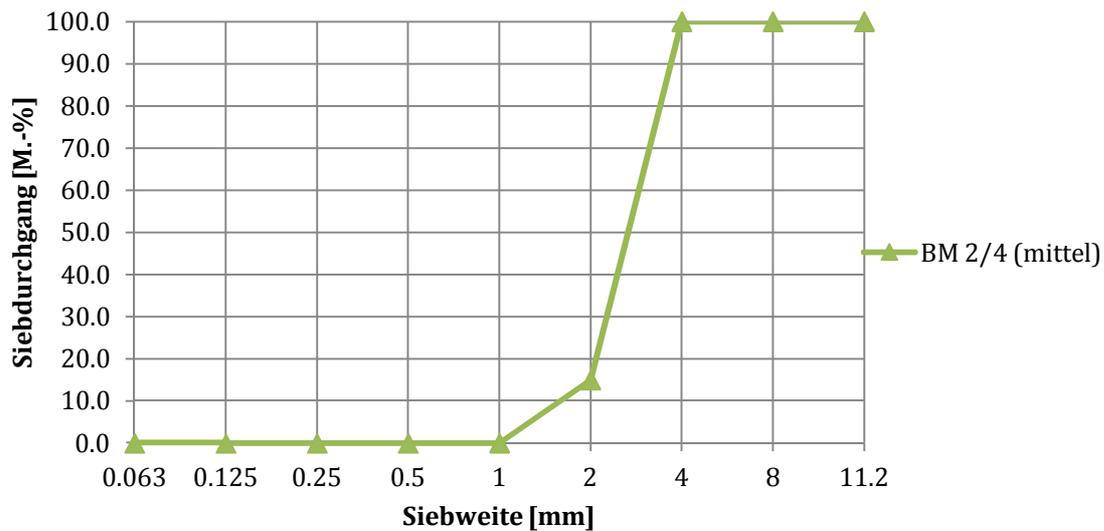


Abb. 22 - Sieblinie vom Ausgangsmaterial für Bettung der Korngröße 2/4 mm

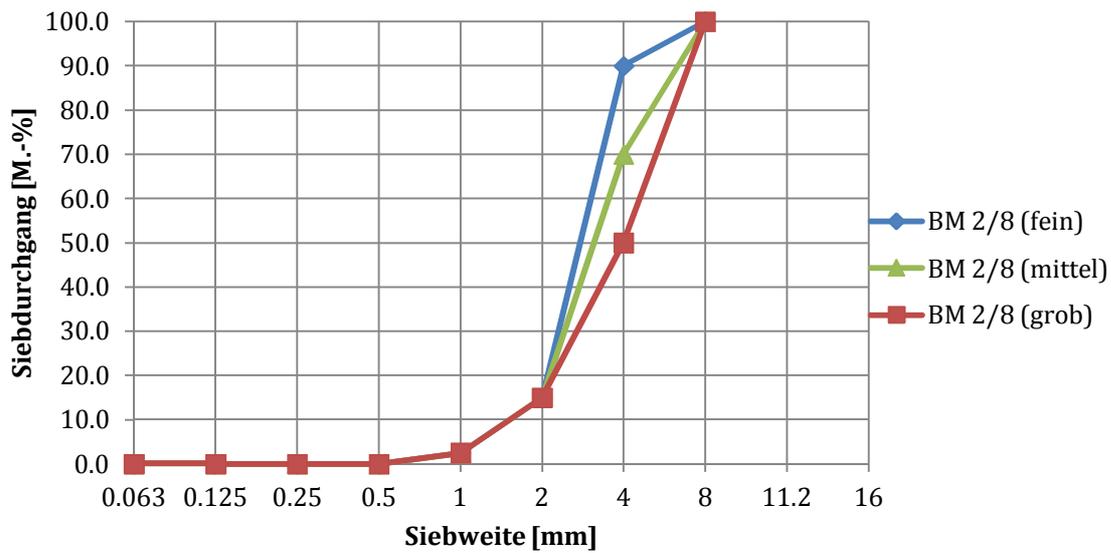


Abb. 23 - Sieblinien vom Ausgangsmaterial für Bettung der Korngröße 2/8 mm - fein, mittel und grob

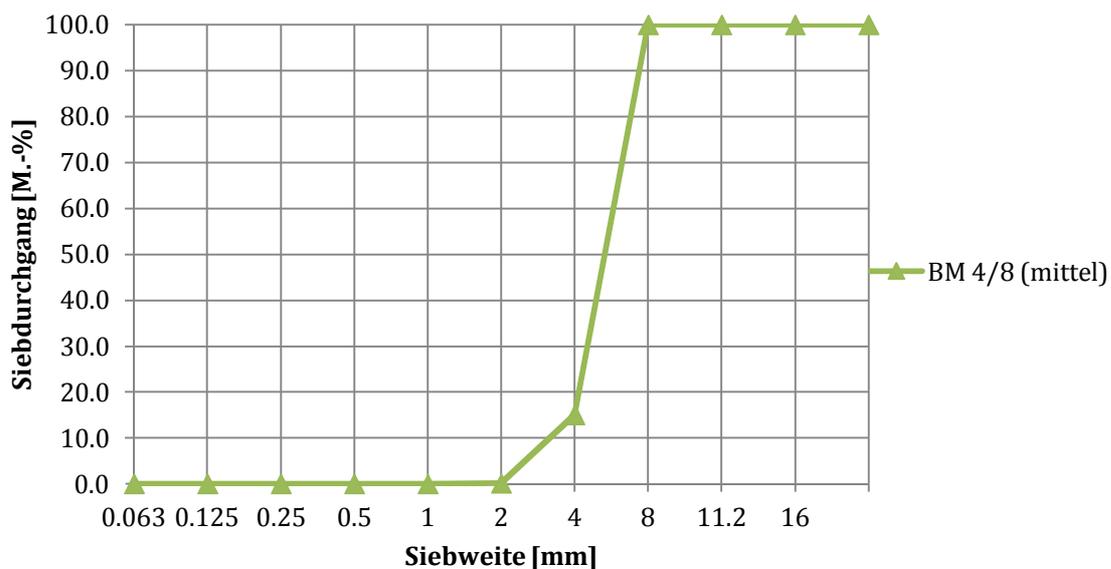


Abb. 24 - Sieblinie vom Ausgangsmaterial für Bettung der Korngröße 4/8 mm

Im Laufe der Versuchsdurchführung erwies es sich als zweckmäßig, zusätzliche Versuche mit neuen Fugenmaterialien durchzuführen. Die Gründe dafür werden an späterer Stelle genauer erläutert. Die Materialein und Kombinationen selbst sind in Abb. 25 und Tabelle 4 angeführt.

Tabelle 4 - Zusätzliche Kombinationen mit neuen Fugenmaterialien

Kombinationen "Filterstabilität"			Fugenmaterial 0/2 [mm]					
			0,5/1= 45%	0,5/1= 50%	0,5/1= 55%	0,5/1= 65%	0,5/1= 70%	0,5/1= 75%
Bettungsmaterial [mm]	0/4 (3 M- % < 0,09 mm)	fein						
		mittel			x			
		grob	x	x	x	x	x	x
	2/4							
	0/8	fein						
		mittel						
		grob			x			
	2/8	fein						
		mittel						
		grob						
	4/8							

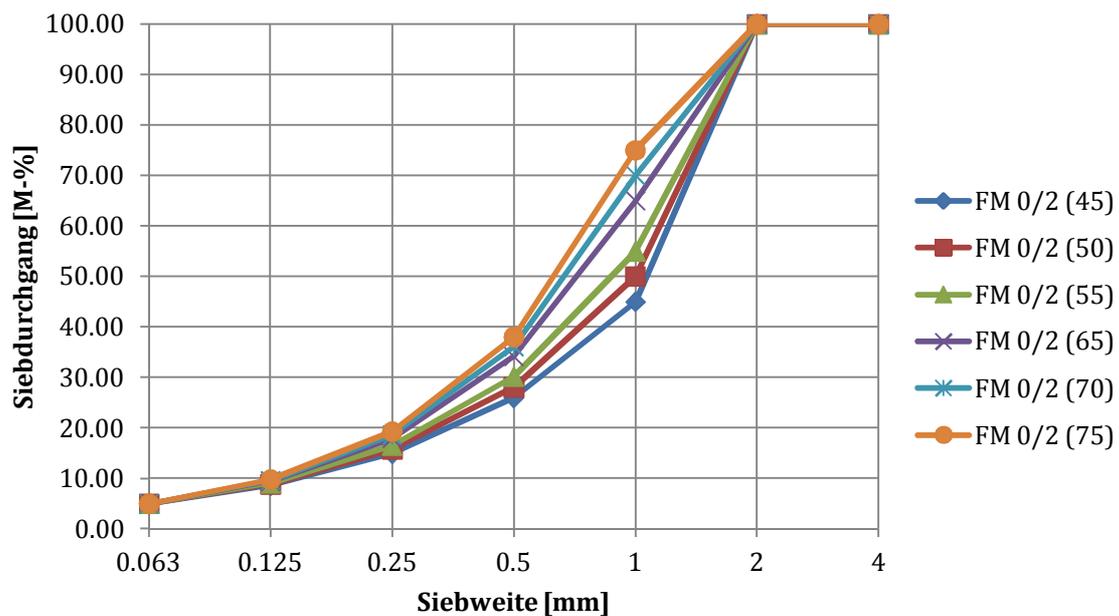


Abb. 25 - Sieblinien der zusätzlichen Fugenmaterialien des Korngemisches 0/2 mm

Insgesamt wurden 79 Versuchskombinationen geprüft, 24 davon zweifach. Ich habe mit 55 Versuchen beigetragen.

5 Ergebnisse

5.1 Verschiebung der Sieblinien

Nach jeder Versuchsdurchführung wurden die neuen Massen von der Bettungs- und Fugenschicht abgewogen, die neue Sieblinie der Bettung durch Nasssiebung bestimmt und der Ausgangssieblinie gegenübergestellt. Der Vergleich für jedes Bettungsmaterial wird in den folgenden Diagrammen veranschaulicht. Liegt die neue Sieblinie über der Ausgangslinie, hat sich das Gemisch verfeinert; befindet sich die Sieblinie unter der Ausgangssieblinie ist von einer Vergröberung auszugehen. Je weiter von der Ausgangslinie die neue Sieblinie liegt, desto filtrationsunstabiler sind die zwei Schichten.

Bei Bettungsmaterial 0/4 fein (Abb. 26) erkennen wir, dass die Kombination mit FM 0/2 mittel (in der Abb. gelb) die geringste Abweichung von der ursprünglichen Sieblinie aufweist. Bei dem selben Fugenmaterial wie die Bettung - 0/4 fein - ist der Abstand am größten (Abb. 27). Alle Sieblinien liegen oberhalb der Ausgangslinie, was ein Kennzeichen für erhöhten Feinkornanteil ist. Die neuen Körnungslinien nach den Versuchskombinationen mit Fugenmaterial 0/2 mittel und 0/4 mittel schneiden sogar die ursprüngliche Sieblinie.

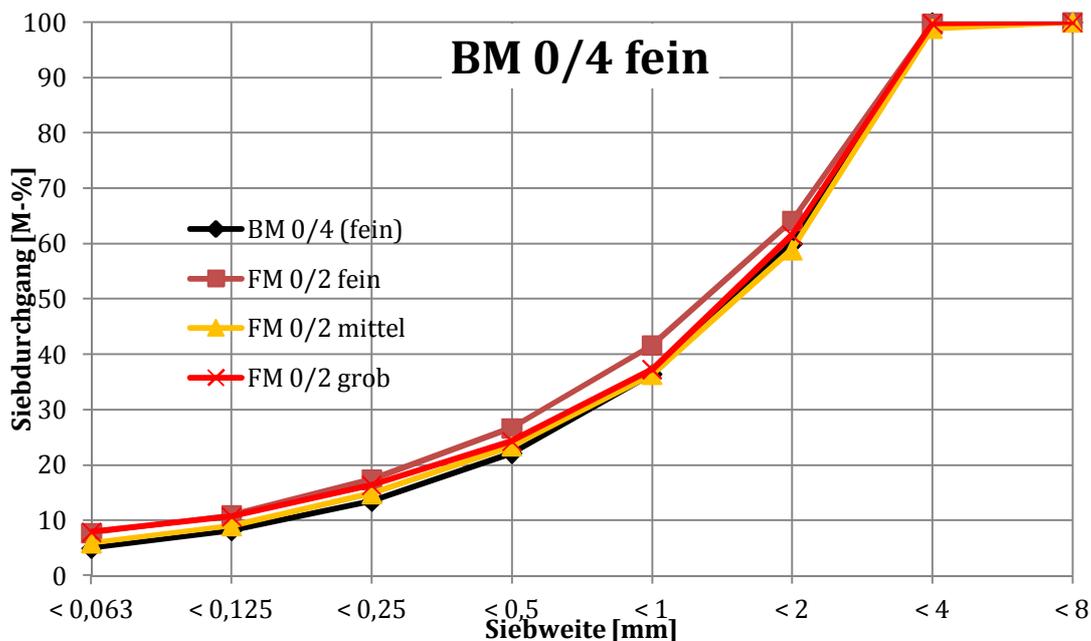


Abb. 26 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 0/4 fein nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/2 fein, 0/2 mittel, 0/2 grob

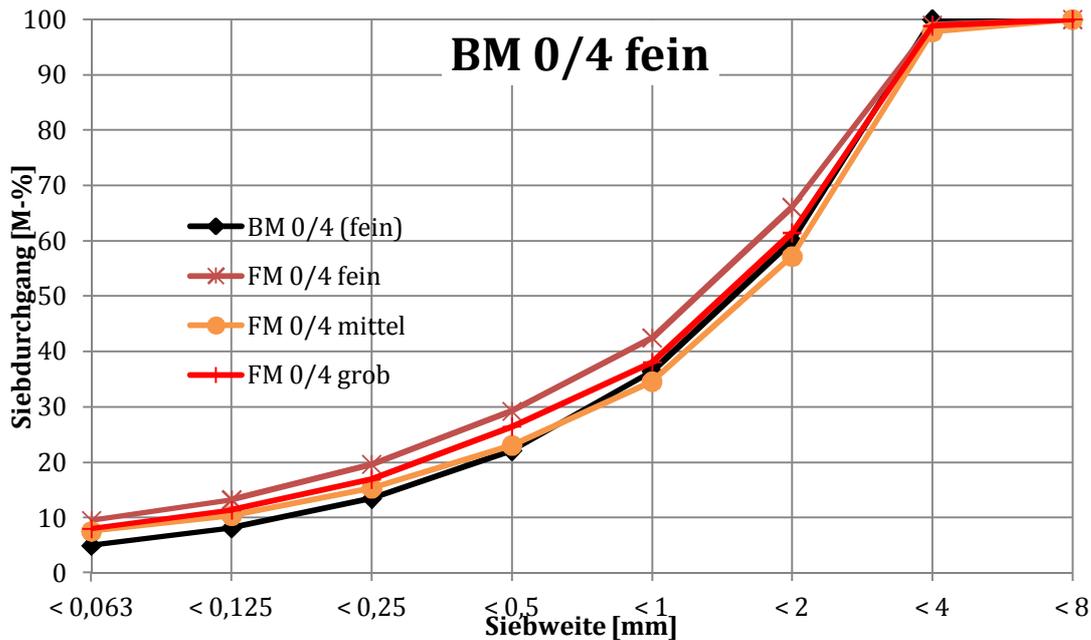


Abb. 27 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 0/4 fein nach Versuchen mit Fugematerialien 0/4 fein, 0/4 mittel, 0/4 grob

Bei den Versuchen mit Bettungsmaterial 0/4 mittel (Abb. 28, Abb. 29) kommt die kleinste Verschiebung bei Fugematerialien 0/2 fein und 0/4 mittel vor. Die neuen Sieblinien in diesen Fällen schneiden jedoch die Ursprüngliche. Deutlich über der Ausgangssieblinie liegen die Korngemische nach Versuchen mit Fugematerialien 0/2 grob und 0/4 fein. Ein wesentlicher Unterschied ist jedoch bei der Kombination mit den zusätzlichen Fugematerial 0/2 (55) zu beobachten: die neue Sieblinie liegt klar unten, was mit Abspülen des Füllers zu erklären ist.

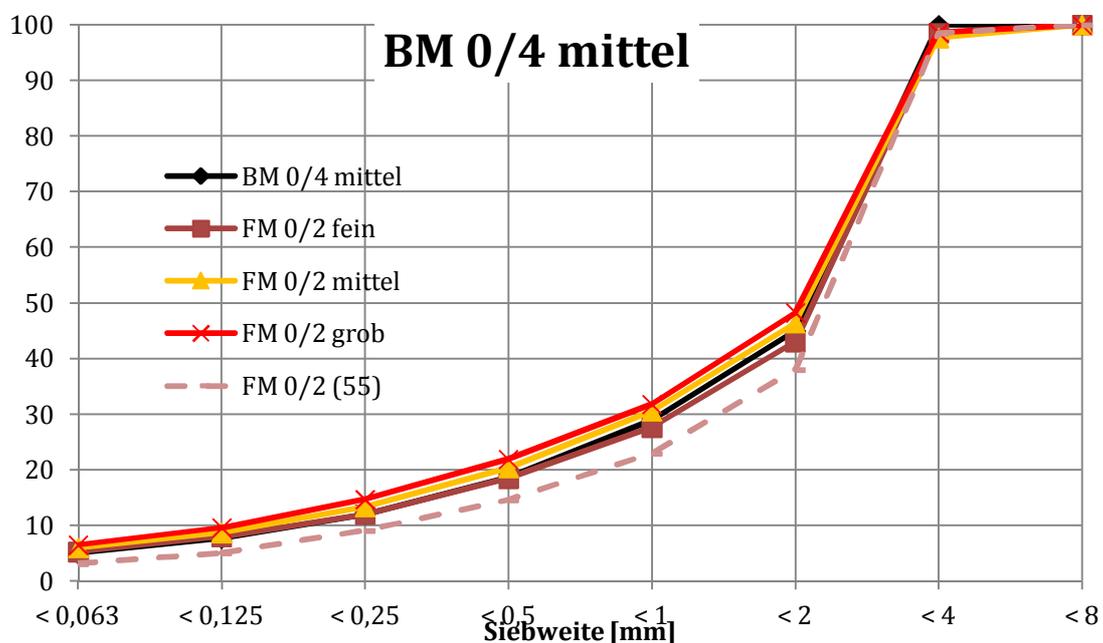


Abb. 28 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 0/4 mittel nach Versuchen mit Fugematerialien 0/2 fein, 0/2 mittel, 0/2 grob und zusätzlich 0/2 (55)

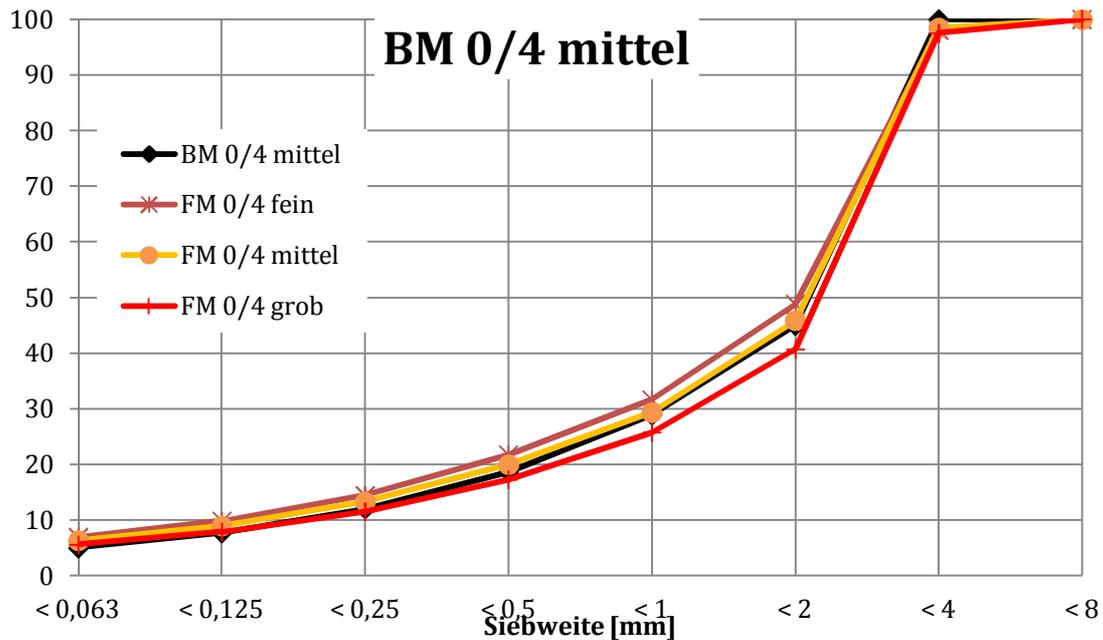


Abb. 29 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 0/4 mittel nach Versuchen mit Fugematerialien 0/4 fein, 0/4 mittel, 0/4 grob

Bei den Kombinationen mit Bettungsmaterial 0/4 grob (Abb. 30, Abb. 31) beobachten wir wieder in manchen Fällen Verfeinerung (mit Fugematerialien 0/2 fein, 0/2 grob und 0/4 mittel, wo die kleinste Verschiebung zu erkennen ist) und bei den anderen - Vergrößerung (0/2 mittel, 0/4 fein, 0/4 grob). Bei den zusätzlichen Kombinationen mit Fugenkorngemisch 0/2 (Abb. 32) kommt es in den meisten Fällen zu Verfeinerung, die Sieblinien schneiden sich jedoch so, dass die geringste bzw. größte Verschiebung mit blassen Auge schwer zu erkennen ist. Nur bei Fugematerial 0/2 (70) betrachten wir eine Vergrößerung.

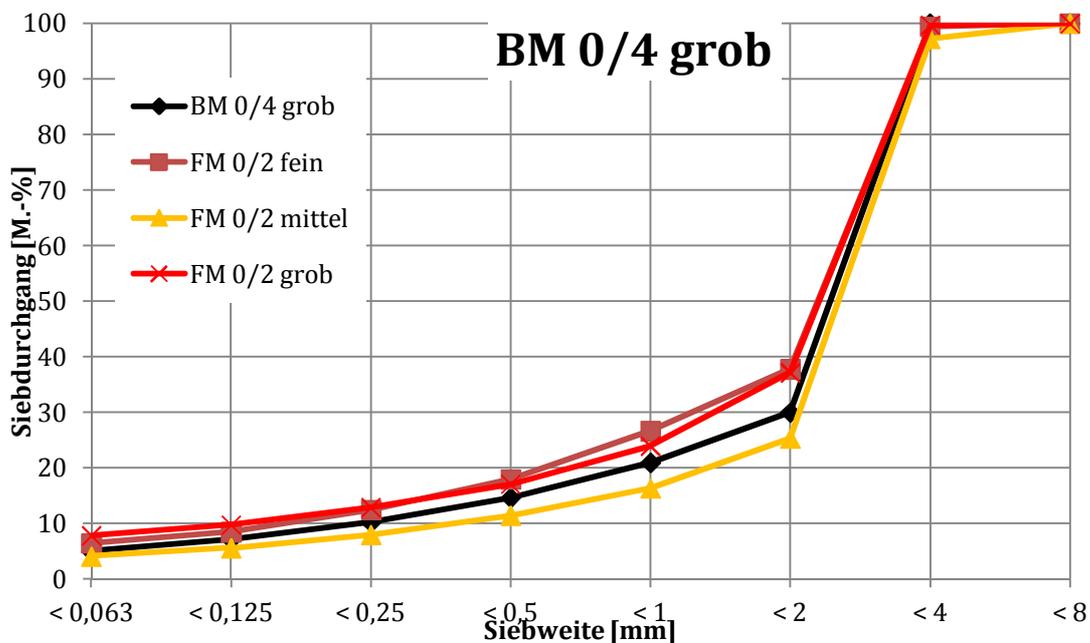


Abb. 30 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 0/4 grob nach Versuchen mit Fugematerialien 0/2 fein, 0/2 mittel, 0/2 grob

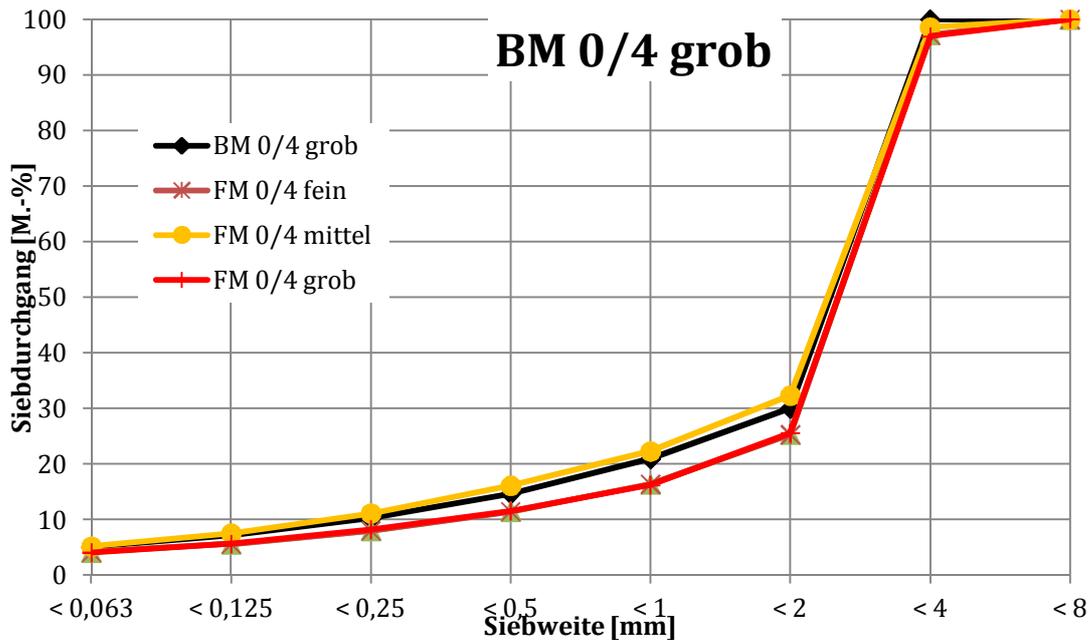


Abb. 31 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 0/4 grob nach Versuchen mit Fugematerialien 0/2 mittel, 0/4 fein, 0/4 mittel, 0/4 grob

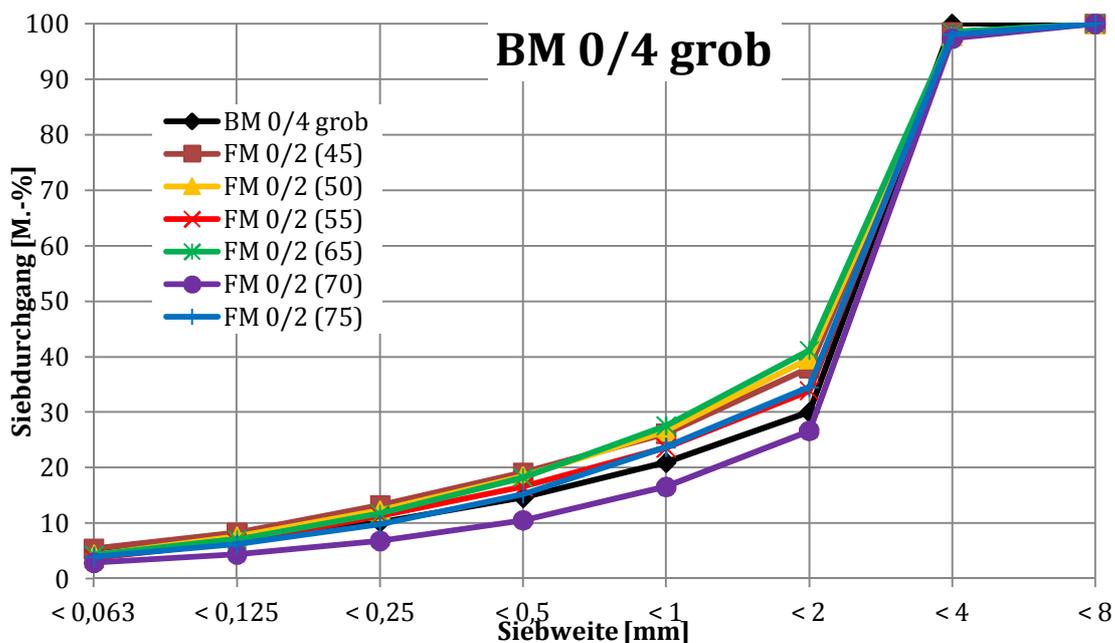


Abb. 32 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 0/4 grob nach Versuchen mit den zusätzlichen Fugematerialien der Kornklasse 0/2

Betrachten wir das grobkörnigere Gemisch 2/4 (Abb. 33, Abb. 34), sehen wir, dass die Feinkörner in die relativ größeren Poren eingedrungen sind. Bei Kombinationen mit 0/2 mittel und 0/4 mittel ist der Zustieg an Kornklasse [0,5/1] am größten, die Korngruppe [1/2] fehlt fast. In diesen Fällen ist auch die Massenzunahme am wesentlichsten (Tabelle 5). Bei den anderen Kombinationen dagegen wächst der Feinanteil gleichmäßiger. Im Endeffekt steigt der Anteil an Körnern < 2mm kaum. Nur bei Kombinationen mit 0/4 fein und 0/4 grob hat dieser von 15% auf 20,35% bzw. 24,30% zugenommen.

Bei den verkehrten Kontrollversuchen (Abb. 35), wo das Bettungsmaterial feiner als das Fugematerial ist, beobachten wir nur unwesentliche Änderung der beiden Sieblinien. Der Feinanteil wurde teilweise in die Fugenschicht eingepumpt, teilweise vom Wasser ausgespült.

Im Fall des Bettungsmaterials 0/2 fein war auch der Wasserabfluss ganz gering, so wie der Massenverlust (Tabelle 5). Auch die Massenzunahme der Fugenschicht ist unwesentlich. Vom Bettungsmaterial 0/2 grob wurde mehr Feinanteil ausgewaschen und die Fugenmasse ist in diesem Fall auch gewissermaßen gestiegen. Das lässt vermuten, dass im feineren Korngemisch die Partikel besser verzahnen und daher stabiler sind als das gröbere Material.

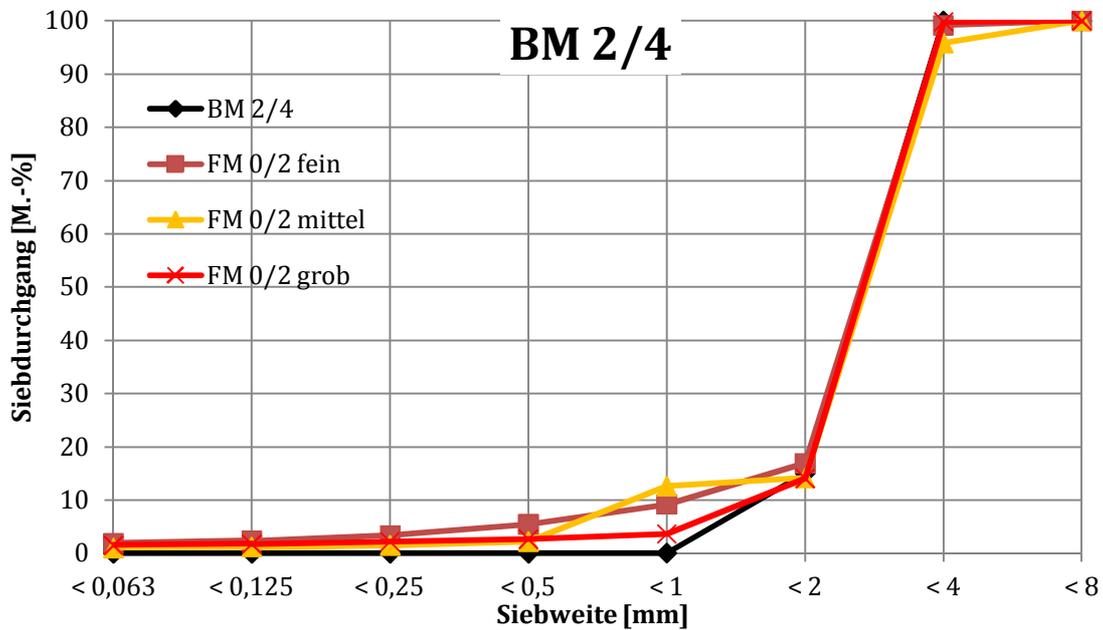


Abb. 33 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 2/4 nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/2 fein, 0/2 mittel, 0/2 grob

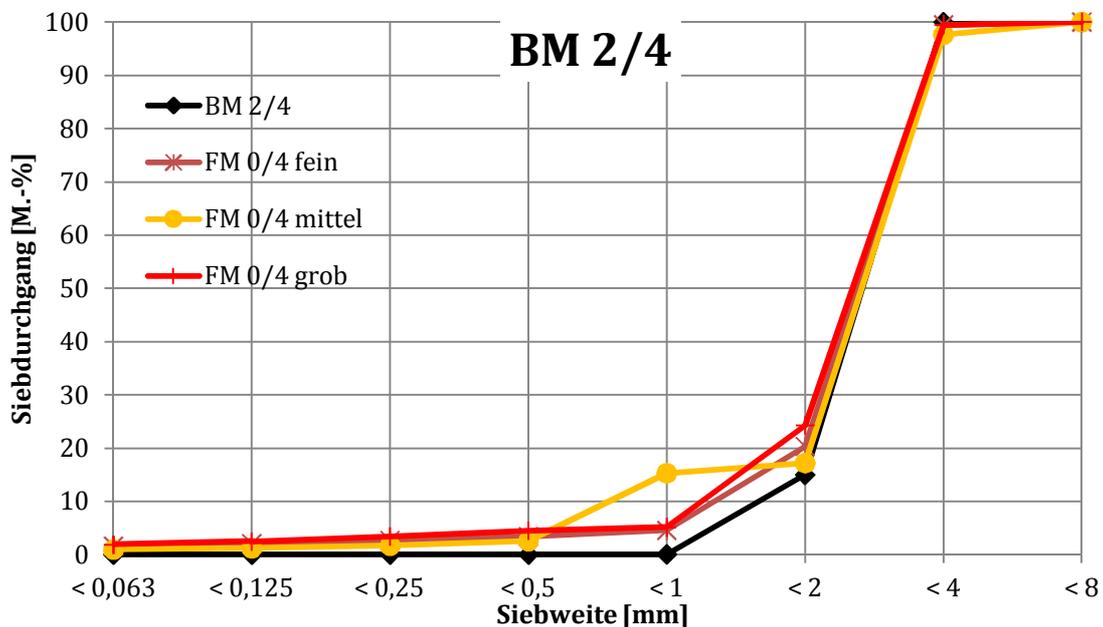


Abb. 34 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 2/4 nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/4 fein, 0/4 mittel, 0/4 grob

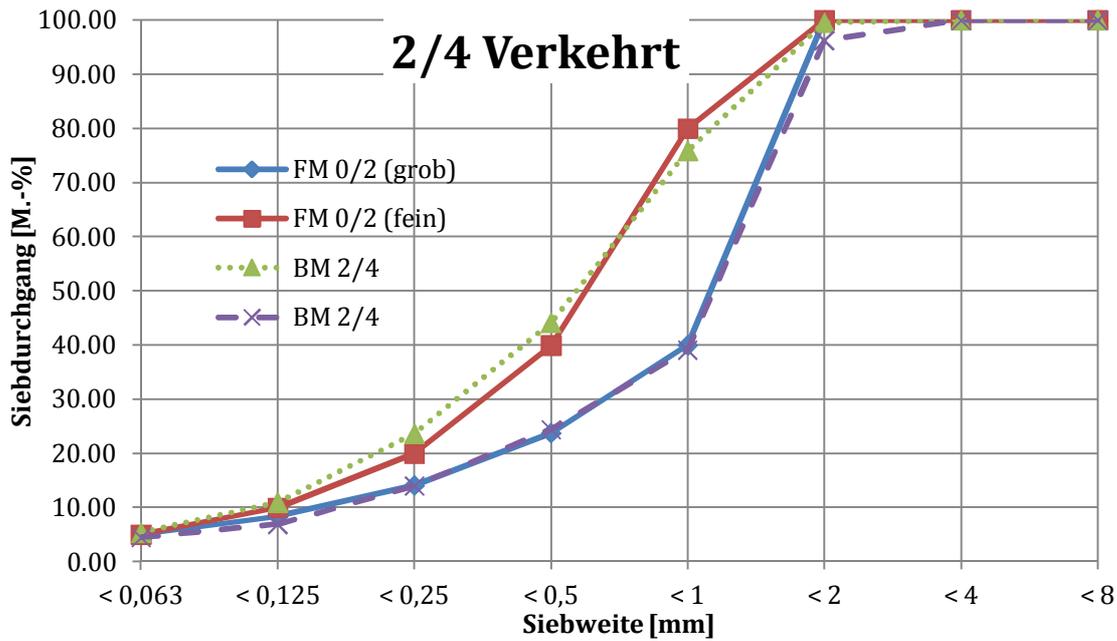


Abb. 35 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 0/2 fein und 0/2 grob nach Versuchen mit Fugenmaterialien 2/4

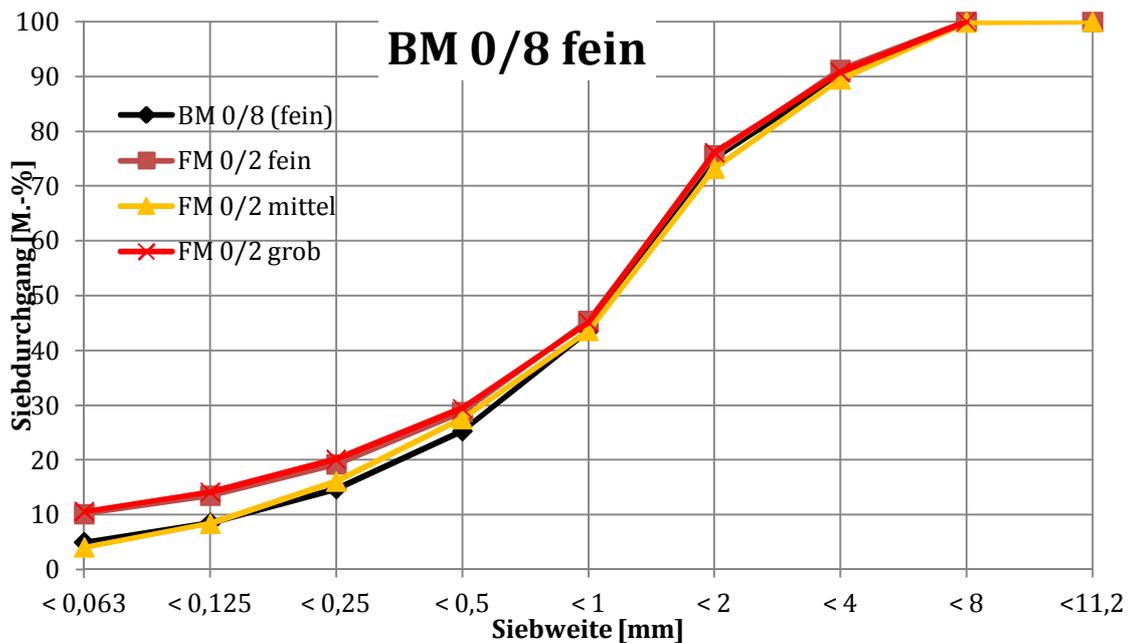


Abb. 36 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 0/8 fein nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/2 fein, 0/2 mittel, 0/2 grob

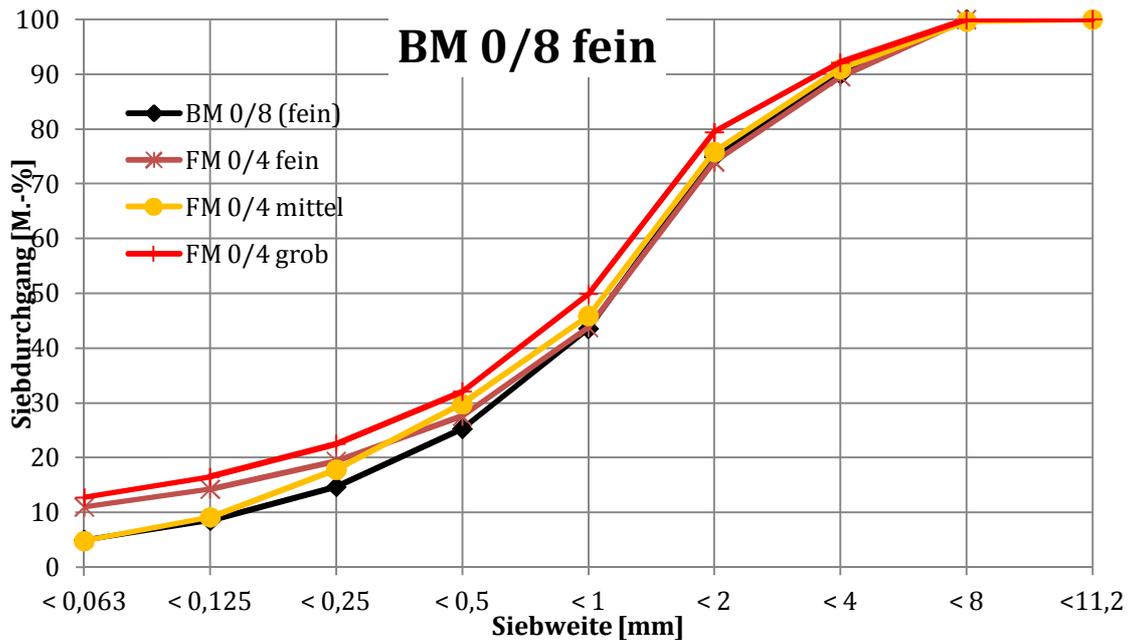


Abb. 37 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 0/8 fein nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/4 fein, 0/4 mittel, 0/4 grob

Betrachten wir das Bettungsmaterial 0/8 fein (Abb. 36, Abb. 37), erkennen wir geringe bis wesentliche Zunahme der feinen Korngruppen (<1mm), der Anteil an Grobkorn dagegen bleibt praktisch unverändert. Die kleinste Verschiebung der Sieblinie ist bei Kombination mit 0/2 mittel zu beobachten, wobei der Fülleranteil sogar leicht sinkt. Am bedeutendsten ist der Zustieg an Füller nach dem Versuch mit Fugenmaterial 0/4 grob, wo dieser um mehr als das zweifache anwächst (von 5% auf 12,5%).

Die Versuche mit Bettungsmaterial 0/8 mittel weisen unwesentliche Änderungen der Sieblinien auf (Abb. 38). Bei allen Kombinationen sinkt der Fülleranteil leicht; bei den Versuchen mit 0/2 fein, 0/4 fein und 0/4 grob dringen jedoch mehr Körner der anderen Kornklassen, deshalb verlaufen die Sieblinien über der ursprünglichen. Die Kurven nach Kombinationen mit 0/2 mittel und 0/2 grob verlaufen dicht unter der Ursprünglichen. Ausgeprägt ist das Sinken nach Versuch mit 0/4 fein. In diesen drei Fällen wurden die Feinteilchen vom Wasser mitgeschleppt.

Bei den Kombinationen mit Bettungsmaterial 0/8 grob (Abb. 40, Abb. 41) ist vor allem Verfeinerung zu erkennen. Gut ausgeprägt ist die Verschiebung der Sieblinie nach oben nach dem Versuch mit 0/2 fein, während nach Kombinationen mit 0/4 fein, 0/4 grob die Verfeinerung geringer ist. Gewisse Vergroberung wurde bei Versuchen mit 0/2 mittel und 0/4 mittel verzeichnet: der Anteil von Partikeln <0,5 nimmt ab, während die groben Teilchen zunehmen.

Im Fall von Bettungsmaterial 2/8 fein (Abb. 42, Abb. 43) beobachten wir eine deutliche Verschiebung der Sieblinien nach oben, was auf den in die Bettung eingedrungenen Feinanteil zurückzuführen ist. Die wesentlichste Verfeinerung erfolgte nach der Kombination mit Fugenmaterial 0/4 mittel: da steigt das Unterkorn (<1mm) von 2,5% auf 16,67%. Bei Fugenmaterialien 0/2 mittel und 0/2 grob ist die Erhöhung der Feinkörner am geringsten: auf 5,95%, was jedoch eine Verdoppelung ist.

Bei Bettungsmaterial 2/8 mittel (Abb. 44, Abb. 45, Abb. 46) ist der größte Zustieg an Feinkörner nach den Versuchen mit 0/2 fein und 0/8 fein zu beobachten. Im Allgemeinen erkennen wir Verfeinerung des Korngemisches, die Sieblinien liegen dennoch eng aneinander, ohne große Sprünge. Nur bei Kombinationen mit 0/4 mittel und 0/8 grob verzeichnet der Verlauf der Sieblinien eine Vergrößerung.

Bei den Versuchen mit Bettungsmaterial 2/8 grob (Abb. 47, Abb. 48) beobachten wir wesentliche Zunahme des Feinanteils. Die geringste Abweichung von der Ausgangssieblinie ist bei den Kombinationen mit 0/2 mittel zu erkennen, wo die Prozentzahl der Körner <1mm von 2,5% auf 6,02% steigt. Im extremen Fall mit 0/2 fein erreicht sie den Wert 14,65%.

Im Fall von Bettungsmaterial 4/8 (Abb. 49, Abb. 50) lässt sich wieder eine wesentliche Verfeinerung erkennen, die in der Kombination mit Fugenmaterial 0/2 grob am stärksten ausgeprägt ist. Da steigt der Anteil von Körnern <1 um 6,83% an. Auch die Fugenmaterialien 0/2 mittel und 0/4 fein verzeichnen erhöhten Feinanteil. Interessant ist das Ergebnis von der Kombination mit 0/4 grob, wo der Prozentsatz von Körnern <4 sinkt. Das ist vielleicht auf eine Ungenauigkeit bei der Schichtentrennung zurückzuführen.

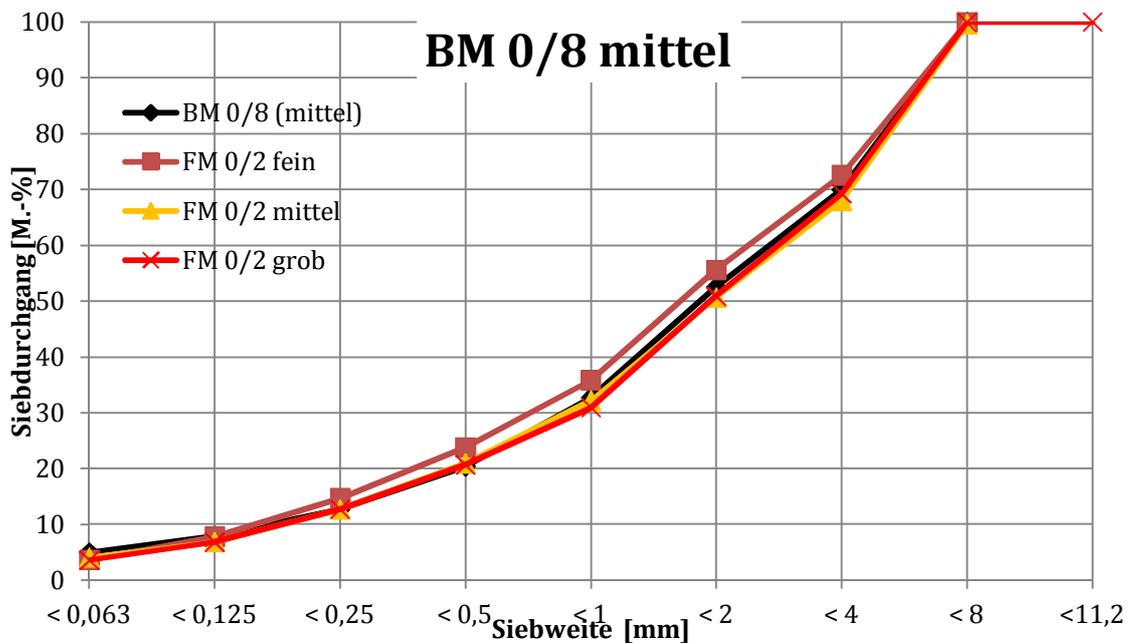


Abb. 38 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 0/8 mittel nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/2 fein, 0/2 mittel, 0/2 grob

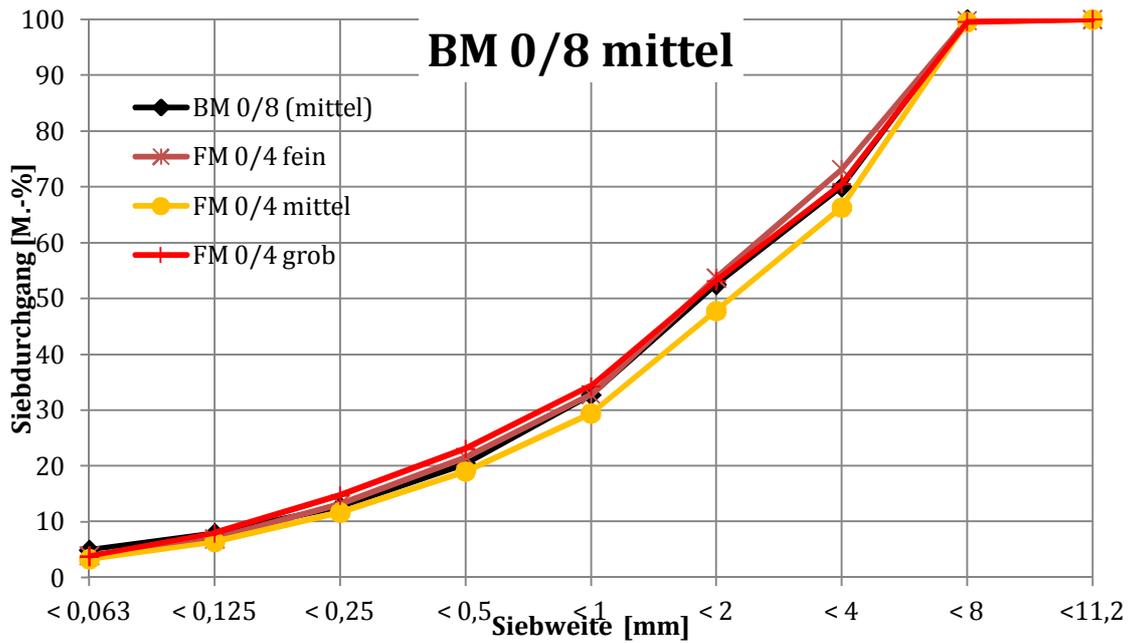


Abb. 39 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 0/8 mittel nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/4 fein, 0/4 mittel, 0/4 grob

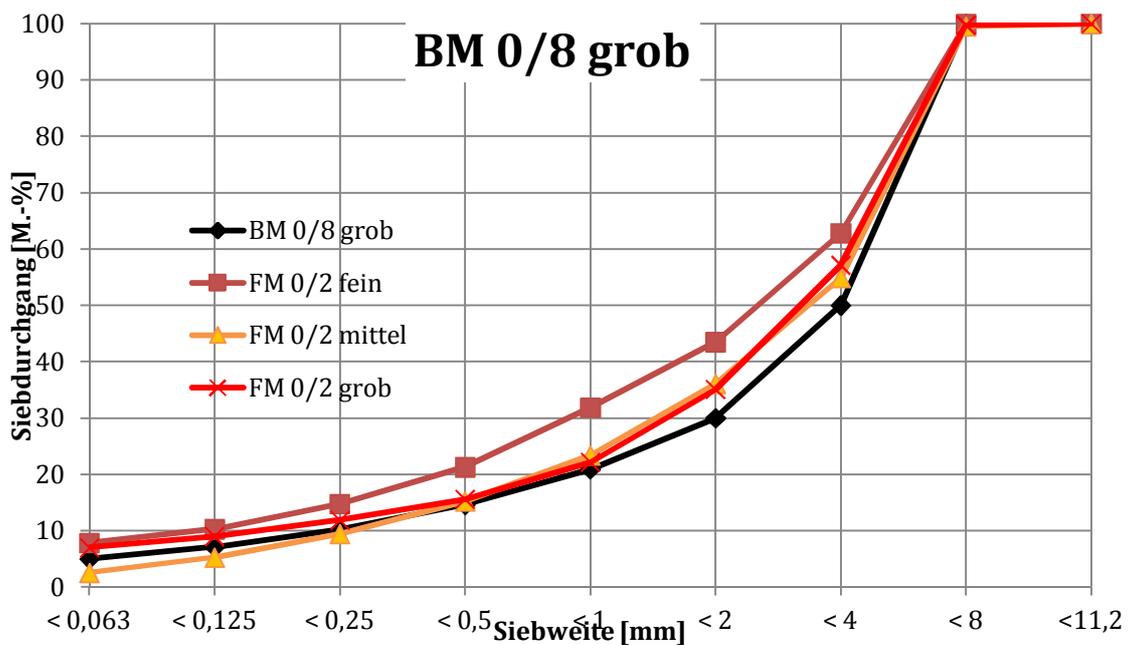


Abb. 40 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 0/8 grob nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/2 fein, 0/2 mittel, 0/2 grob

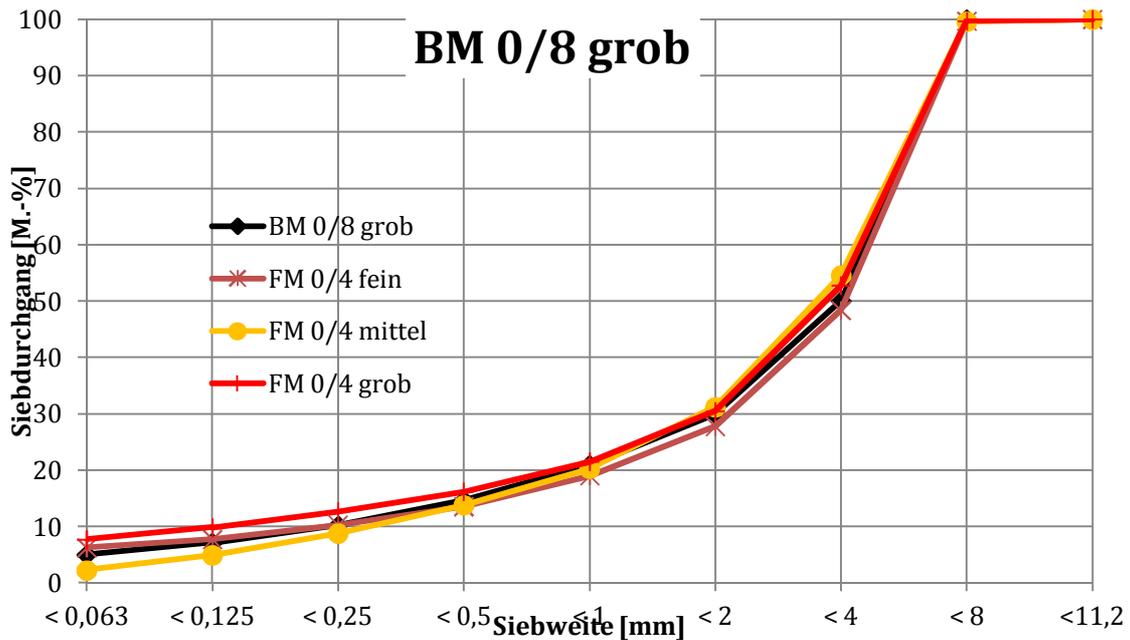


Abb. 41 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 0/8 grob nach Versuchen mit Fugematerialien 0/4 fein, 0/4 mittel, 0/4 grob

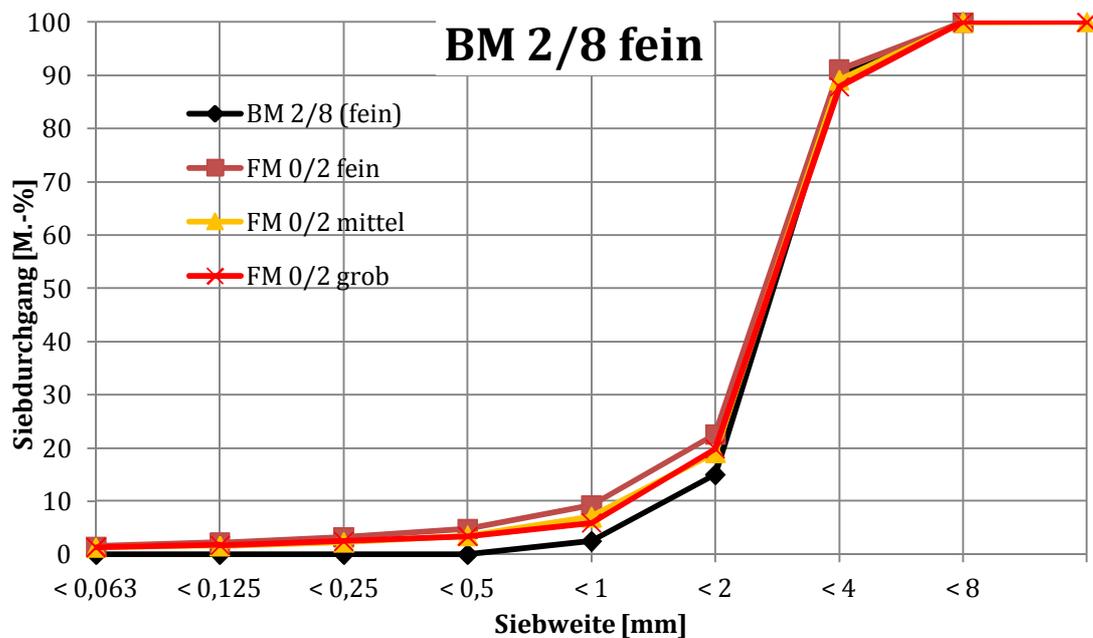


Abb. 42 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 2/8 fein nach Versuchen mit Fugematerialien 0/2 fein, 0/2 mittel, 0/2 grob

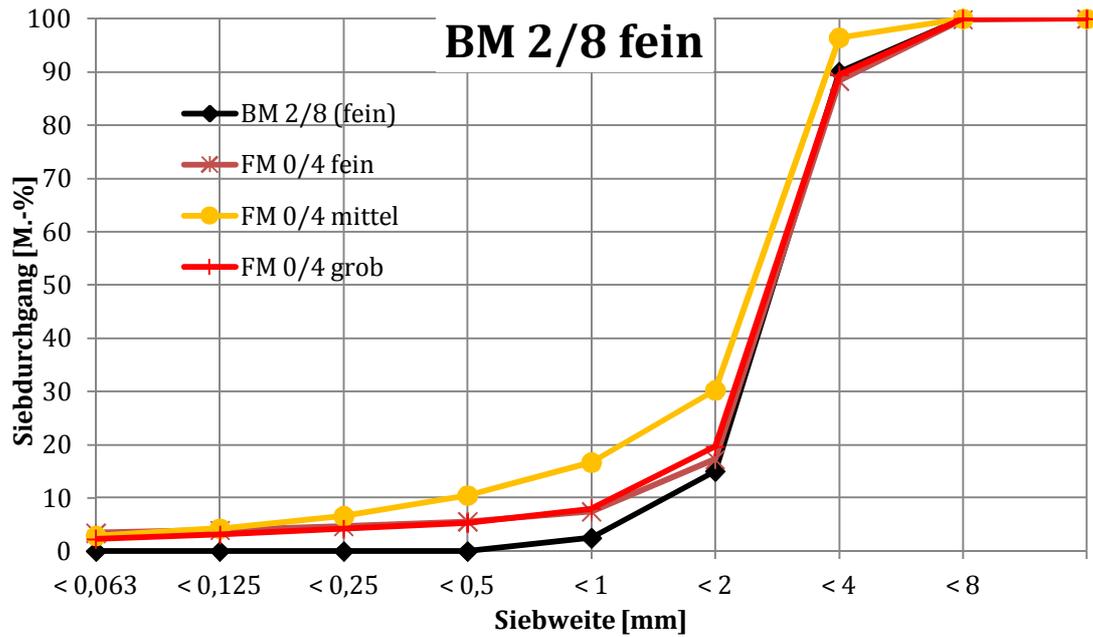


Abb. 43- Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 2/8 fein nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/4 fein, 0/4 mittel, 0/4 grob

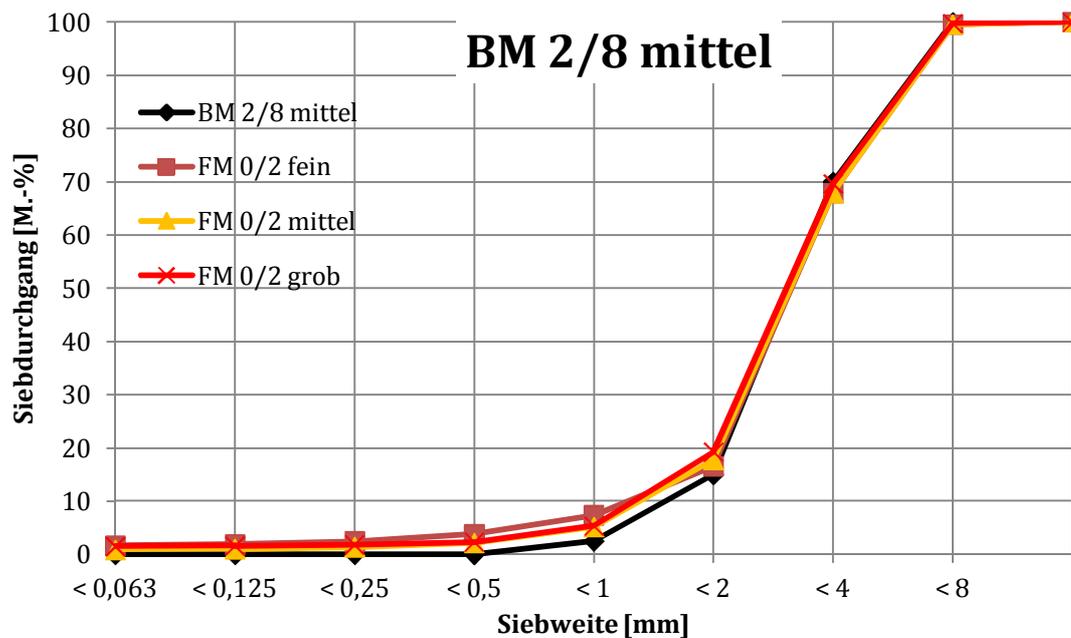


Abb. 44 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 2/8 mittel nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/2 fein, 0/2 mittel, 0/2 grob

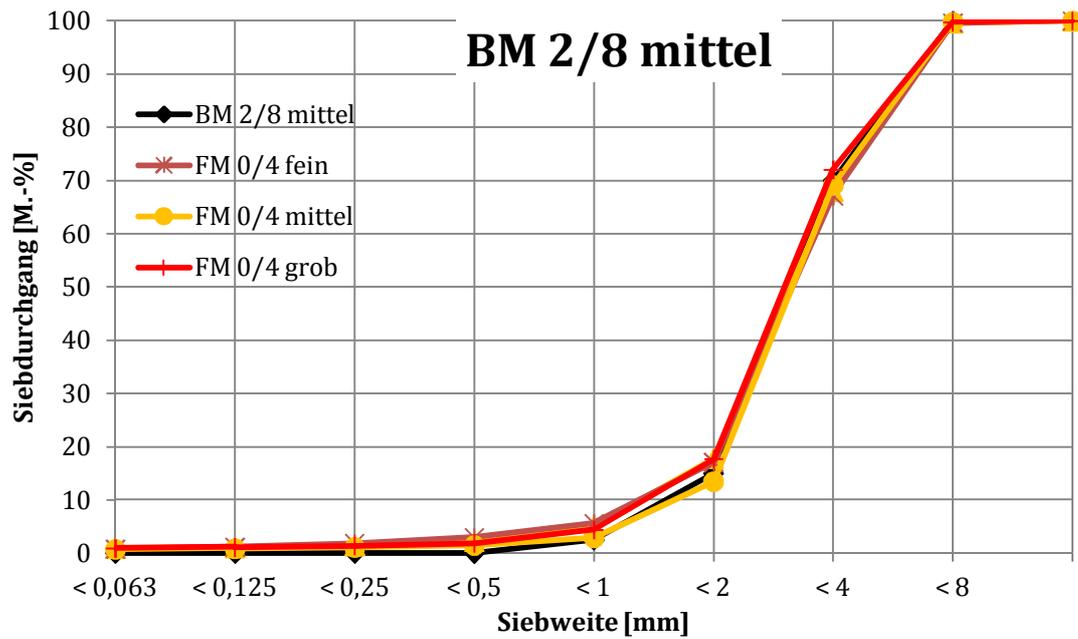


Abb. 45- Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 2/8 mittel nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/4 fein, 0/4 mittel, 0/4 grob

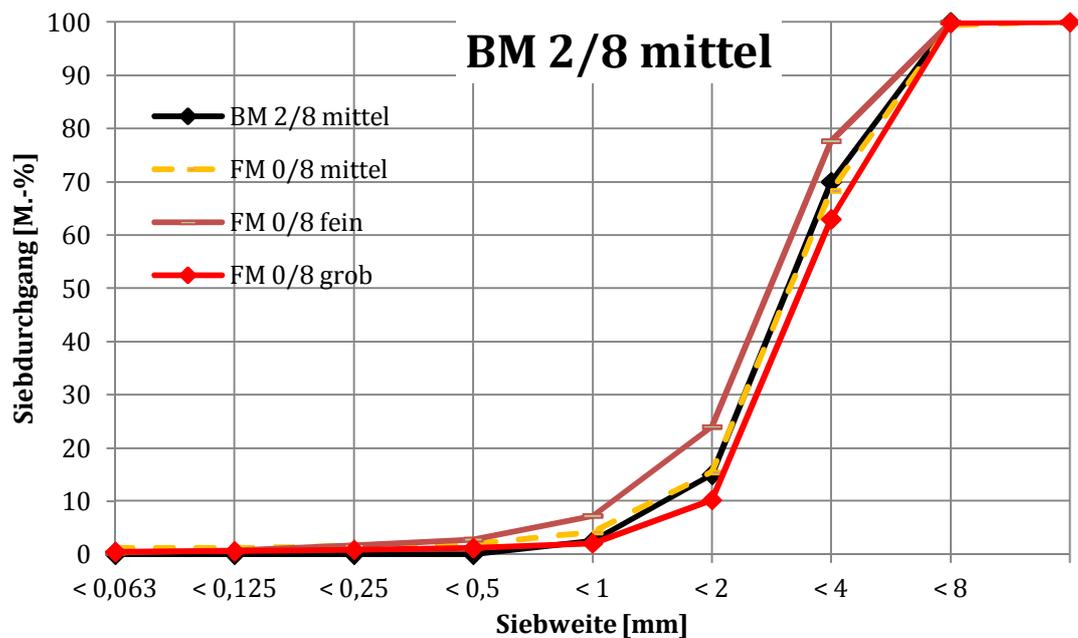


Abb. 46- Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 2/8 mittel nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/8 fein, 0/8 mittel, 0/8 grob

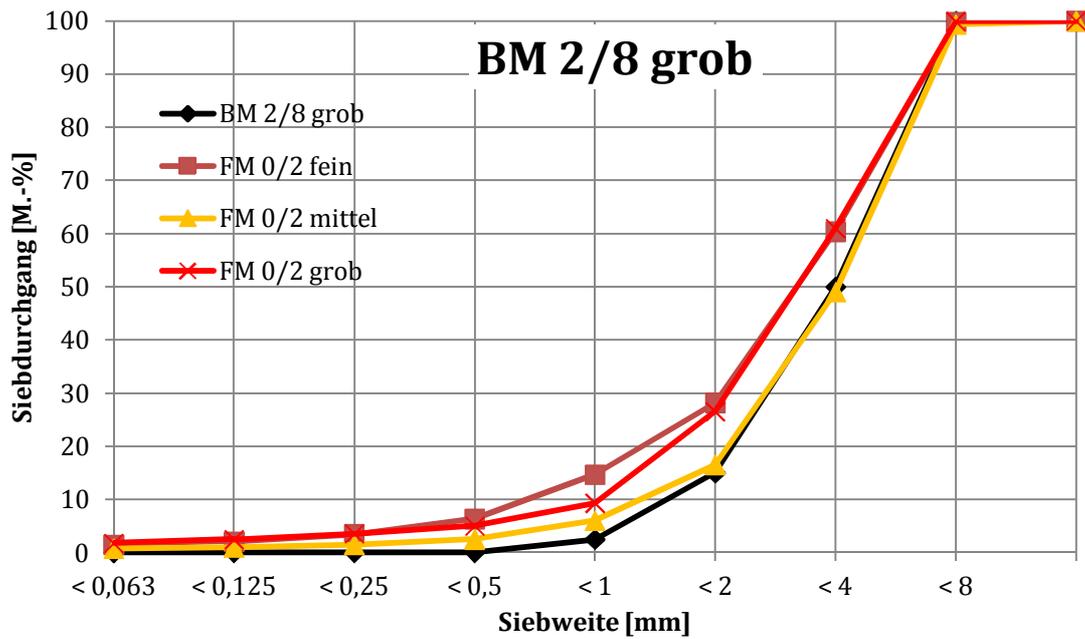


Abb. 47 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 2/8 grob nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/2 fein, 0/2 mittel, 0/2 grob, 0/4 fein, 0/4 mittel, 0/4 grob

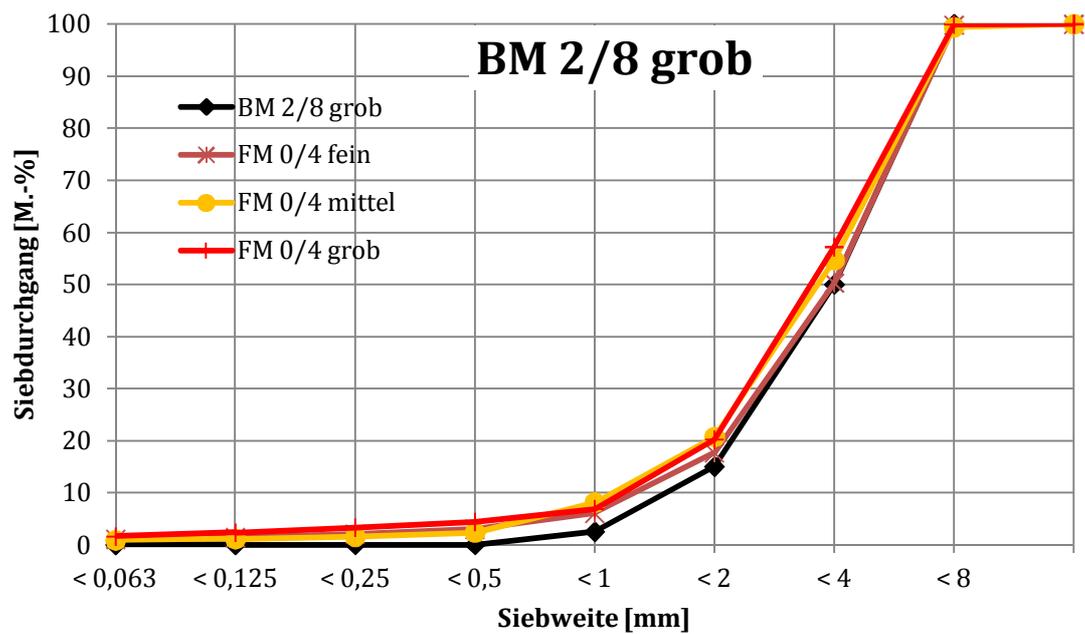


Abb. 48 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 2/8 grob nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/2 fein, 0/2 mittel, 0/2 grob, 0/4 fein, 0/4 mittel, 0/4 grob

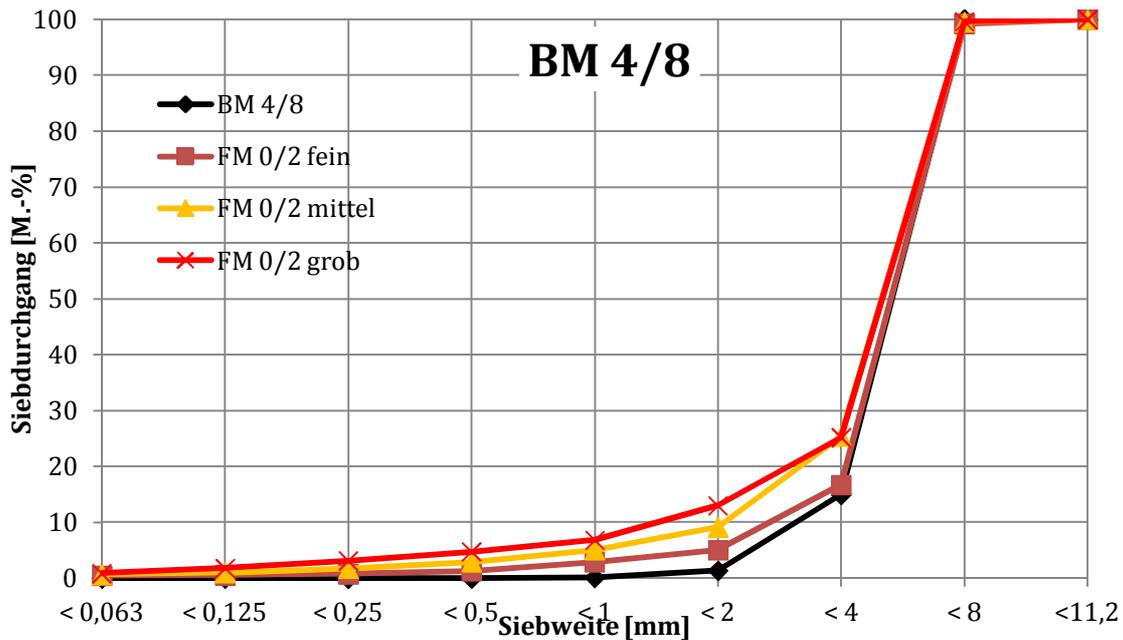


Abb. 49 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 4/8 nach Versuchen mit Fugematerialien 0/2 fein, 0/2 mittel, 0/2 grob

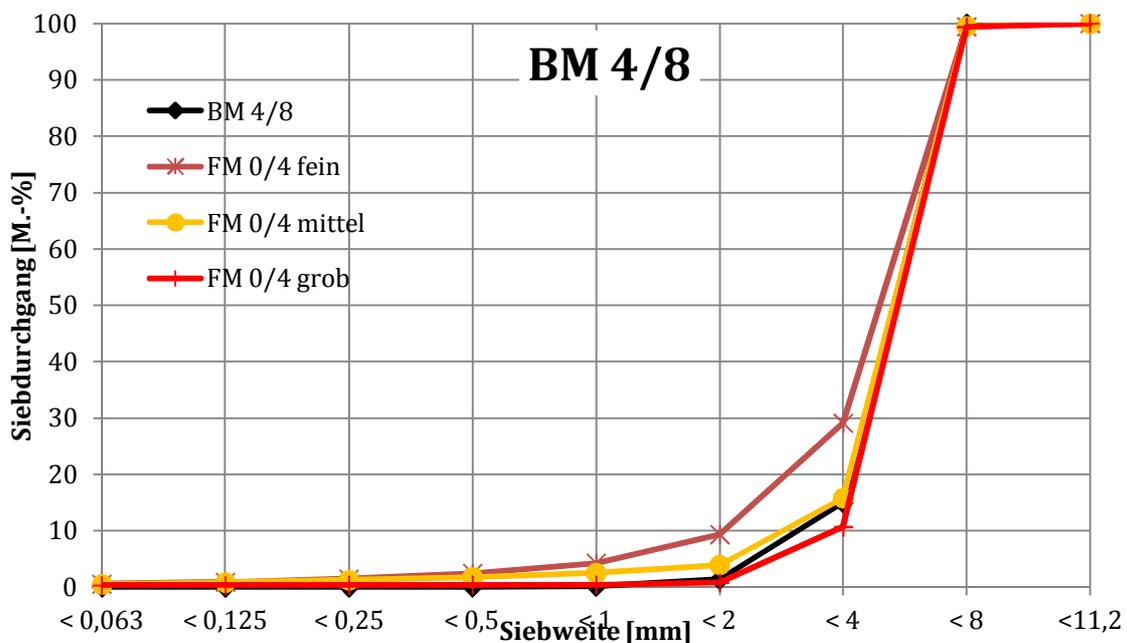


Abb. 50 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 4/8 nach Versuchen mit Fugematerialien 0/4 fein, 0/4 mittel, 0/4 grob

5.2 Massenänderung

Die Masse sowohl der Bettung als auch des Fugematerials wird vor und nach dem Versuch abgewogen und ihre Änderung wird in der folgenden Tabelle 5 dargestellt. Sie enthält die absolute und relative Massenänderung der zwei Schichten und der ganzen Probe. Die Daten sind nicht vollständig, lassen jedoch einige Schlussfolgerungen zu. In den meisten Fällen nimmt das Bettungsgewicht zu und das Fugengewicht ab, was bedeutet, dass Körner aus der oberen Schicht in die Bettung eingedrungen sind. Bei einigen Kombinationen - und nämlich Versuche mit Nummern 25, 30, 4, V15, 16, 17, 42, 18, 76, 77 - beobachten wir einen Massenverlust in der Bettung. Die meisten Werte sind im Bereich 1,60-3,30 %, manche erreichen aber über 5%. Bei

den Kombinationen 15 und 16 (gewinnt die Bettung an Gewicht bei der ersten Versuchsdurchführung und verliert bei der zweiten. Deshalb kann es zweckmäßig sein, dass diese Versuche noch einmal wiederholt werden, damit eine Tendenz erkennbar wird. Der Massenverlust in der Bettung ist vor allem darauf zurückzuführen, dass Feinanteile vom schnell durchströmenden Wasser mitgeschleppt und ausgewaschen werden, d.h. die Wasserdurchlässigkeit zu hoch ist.

Bei der Fugenmasse beobachten wir eine Abnahme, mit Ausnahme von 3 Kombinationen. Die Verluste variieren stark: von 5,29% bei V48 BM 0/8 mittel - FM 0/4 grob bis 19,17% bei V65 BM 4/8 - FM 0/4 fein. Im Allgemeinen sind diese Werte ziemlich größer als die Massenänderung der Bettung. Das bedeutet, dass eine Menge von Feinanteil aus der Fugenschicht ausgewaschen wird und nicht in der Bettungsschicht bleibt. Bei den Versuchen V18 BM 0/8 fein - FM 0/4 grob, V76 BM 0/2 fein - FM 2/4 und V77 BM 0/2 grob - FM 2/4 ist ein Massenanstieg in der Fugenschicht und Massenverlust in der Bettung ersichtlich. Eine Erklärung wäre die Entstehung von Pumpeffekt, infolge dessen feine Partikel aus der Bettung in die Fugen eindringen. Bei diesen Kombinationen ist der Anteil an feineren Körner in der Bettung größer als der in der Fugenschicht, wo relativ großen Hohlräumen bleiben. Andererseits sollte auch die Messungsgenauigkeit berücksichtigt werden, denn der Versuchsaufbau lässt beide Schichten nicht haargenau abgrenzen. Das führt zu einem Fehler von +/- ca. 3% (s. Kap. 6.1). Die Zunahme liegt in diesem Bereich, daher können die Ergebnisse nicht als aussagekräftig genug betrachtet werden, deswegen sollten die Versuche wiederholt werden.

Betrachten wir die Gesamtmassenveränderung, ist ein Massenverlust zu erkennen. Im Durchschnitt beträgt er 2,00% und variiert von 0,83% bis 4,21%. Ein Ausreißer ist Versuch V33 BM 0/4 mittel - FM 0/4 mittel mit Gesamtverlust von nur 0,29%.

Tabelle 5 - Massenänderung

Versuch Nr.	Bettungsmaterial	Fugenmaterial	BM				FM				Kornverlust	Relat. Kornverlust
			Einwaage [g]	Rückwaage [g]	Massenänderung [g]	Relat. Massenänderung [%]	Einwaage [g]	Rückwaage [g]	Massenänderung [g]	Relat. Massenänderung [%]		
V1	0/4 fein	0/2 fein	3077,9	3155,2	77,3	2,51%	2586,1	2401,1	-185,0	-7,15%	-107,7	-1.90%
V25	0/4 fein	0/2	3071,2	3039,2	-32,0	-1,04%	2951,3	2864,9	-86,4	-2,93%	-118,4	-1.97%
V2	0/4 fein	0/2 grob	3088,7	3140,0	51,3	1,66%	2774,6	2613,3	-161,3	-5,81%	-110,0	-1.88%
V26	0/4 fein	0/4 fein	2910,3	3168,6	258,3	8,88%	3003,6	2580,8	-422,8	-	-164,5	-2.78%
V27	0/4 fein	0/4	3141,2	3193,0	51,8	1,65%	2747,2	2526,3	-220,9	-8,04%	-169,1	-2.87%
V28	0/4 fein	0/4 grob	2901,4	3048,5	147,1	5,07%	2772,2	2502,1	-270,1	-9,74%	-123,0	-2.17%
V29	0/4	0/2 fein	3024,0	3195,4	171,4	5,67%	2796,5	2516,6	-279,9	-	-108,5	-1.86%
V30	0/4	0/2	3255,1	3167,2	-87,9	-2,70%	2781,3	2723,3	-58,0	-2,09%	-145,9	-2.42%
V31	0/4	0/2 grob	3166,9	3227,8	60,9	1,92%	2756,5	2536,3	-220,2	-7,99%	-159,3	-2.69%
V32	0/4	0/4 fein	3159,3	3172,3	13,0	0,41%	2893,3	2727,4	-165,9	-5,73%	-152,9	-2.53%
V33	0/4	0/4	3042,5	3119,7	77,2	2,54%	2727,9	2634,0	-93,9	-3,44%	-16,7	-0.29%
V34	0/4	0/4 grob	3064,8	3177,4	112,6	3,67%	2985,0	2765,2	-219,8	-7,36%	-107,2	-1.77%
V3	0/4 grob	0/2 fein	0,0		0,0		0,0		0,0		0,0	
V35	0/4 grob	0/2	2996,1	3059,8	63,7	2,13%	2818,2	2646,7	-171,5	-6,09%	-107,8	-1.85%
V4	0/4 grob	0/2 grob	2935,3	2926,0	-9,3	-0,32%	2789,0	2621,7	-167,3	-6,00%	-176,6	-3.09%
V36	0/4 grob	0/4 fein	2800,1	2866,3	66,2	2,36%	3011,3	2795,8	-215,5	-7,16%	-149,3	-2.57%
V37	0/4 grob	0/4	3090,1	3180,2	90,1	2,92%	2864,8	2671,2	-193,6	-6,76%	-103,5	-1.74%
V38	0/4 grob	0/4 grob	2796,5	2870,0	73,5	2,63%	2726,7	2524,2	-202,5	-7,43%	-129,0	-2.34%
V5	2/4	0/2 fein	0,0		0,0		0,0		0,0		0,0	
V39	2/4	0/2	2937,2	3065,7	128,5	4,37%	2879,8	2689,5	190,3	6,61%	318,8	-1.06%
V6	2/4	0/2 grob	2585,2	2604,4	19,2	0,74%	2602,9	2418,3	-184,6	-7,09%	-165,4	-3.19%
V15	2/4	0/4 fein	2644,7	2599,0	-45,7	-1,73%	2616,7	2441,0	-175,7	-6,71%	-221,4	-4.21%
V15.2	2/4	0/4 fein	2649,5	2680,2	30,7	1,16%	2815,8	2561,2	-254,6	-9,04%	-223,9	-4.10%
V40	2/4	0/4	2880,7	3002,5	121,8	4,23%	2957,8	2777,4	-180,4	-6,10%	302,2	-1.00%
V16	2/4	0/4 grob	2546,3	2395,1	-151,2	-5,94%	0,0	2773,4				
V16.2	2/4	0/4 grob	2442,5	2561,6	119,1	4,88%	2529,5	2239,6	-289,9	-	-170,8	-3.44%
V7	0/8 fein	0/2 fein	0,0		0,0		0,0		0,0		0,0	
V41	0/8 fein	0/2	2986,3	3082,3	96	3,21%	2941,6	2789,5	152,1	5,17%	248,1	-0.95%
V8	0/8 fein	0/2 grob	0,0		0,0		0,0		0,0		0,0	
V17	0/8 fein	0/4 fein	3280,6				2666,7				0,0	
V17.2	0/8 fein	0/4 fein	3161,4	3055,4	-106,0	-3,35%	2589,8	2552,8	-37,0	-1,43%	-143,0	-2.49%
V42	0/8 fein	0/4	3113	3060,7	-52,3	-1,68%	3017,9	2994,4	-23,5	-0,78%	-75,8	-1.24%
V18	0/8 fein	0/4 grob	3202,6								0,0	
V18.2	0/8 fein	0/4 grob	3264,6	3094,1	-170,5	-5,22%	2616,0	2675,3	59,3	2,27%	-111,2	-1.89%
V43	0/8	0/2 fein	3241,8	3387,1	145,3	4,48%	2787,7	2566,5	-221,2	-7,93%	-75,9	-1.26%
V44	0/8	0/2	3263,4	3383,2	119,8	3,67%	2817,4	2635,5	-181,9	-6,46%	-62,1	-1.02%
V45	0/8	0/2 grob	3157,9	3224,6	66,7	2,11%	2863,7	2710,8	-152,9	-5,34%	-86,2	-1.43%
V46	0/8	0/4 fein	3121,4	3294,4	173	5,54%	3087,3	2822,1	-265,2	-8,59%	-92,2	-1.49%
V47	0/8	0/4	3159,0	3310,2	151,2	4,79%	3062,5	2838,1	-224,4	-7,33%	375,6	-1.18%
V48	0/8	0/4 grob	3193,5	3268,2	74,7	2,34%	3007,9	2848,7	-159,2	-5,29%	233,9	-1.36%
V9	0/8 grob	0/2 fein	0,0		0,0		0,0		0,0		0,0	
V49	0/8 grob	0/2	3202,2	3602,1	399,9	12,49	2819,8	2306,8	-513	-	-113,1	-1.88%
V10	0/8 grob	0/2 grob	2996,8	3029,4	32,6	1,09%	2567,9	2321,5	-246,4	-9,60%	-213,8	-3.84%
V19	0/8 grob	0/4 fein	3094,6	3205,2	110,6	3,57%	2729,0	2425,4	-303,6	-	-193,0	-3.31%
V19.2	0/8 grob	0/4 fein	3162,5	3244,5	82,0	2,59%	2597,6	2323,2	-274,4	-	-192,4	-3.34%
V50	0/8 grob	0/4	3123,9	3476,9	353	11,30	3018,5	2587,8	-430,7	-	-77,7	-1.26%
V20	0/8 grob	0/4 grob	3137,3	3251,1	113,8	3,63%	2697,4	2384,1	-313,3	-	-199,5	-3.42%
V20.2	0/8 grob	0/4 grob	2847,4	3031,3	183,9	6,46%	2727,8	2355,0	-372,8	-	-188,9	-3.39%

Versuch Nr.	Bettungsmaterial	Fugenmaterial	BM				FM				Kornverlust	Relat. Kornverlust
			Einwaage [g]	Rückwaage [g]	Massenänderung [g]	Relat. Massenänderung [%]	Einwaage [g]	Rückwaage [g]	Massenänderung [g]	Relat. Massenänderung [%]		
V11	2/8 fein	0/2 fein	2871,1				2626,5				0,0	
V51	2/8 fein	0/2	2752,0	2909,9	157,9	5,74%	2843,6	2610,5	-233,1	-8,20%	391,0	-1.34%
V12	2/8 fein	0/2 grob	2680,6				2515,7	2040,6	-475,1	-		
V21	2/8 fein	0/4 fein	2538,1	2592,7	54,6	2,15%	2901,4	2701,1	-200,3	-6,90%	-145,7	-2.68%
V21.2	2/8 fein	0/4 fein	2513,6	2511,3	-2,3	-0,09%	2743,3	2529,1	-214,2	-7,81%	-216,5	-4.12%
V52	2/8 fein	0/4	2894,5	2927,9	33,4	1,15%	2813,8	2668,0	-145,8	-5,18%	179,2	-1.97%
V22	2/8 fein	0/4 grob	2572,1	2600,3	28,2	1,10%	2560,9	2365,1	-195,8	-7,65%	-167,6	-3.27%
V22.2	2/8 fein	0/4 grob	2552,4				2696,3				0,0	
V53	2/8	0/2 fein	2857,8	3082,7	224,9	7,87%	2810,1	2517,6	-292,5	-	517,4	-1.19%
V54	2/8	0/2	2731,0	2946,7	215,7	7,90%	3015,5	2724,1	-291,4	-9,66%	507,1	-1.32%
V55	2/8	0/2 grob	2940,1	3060,9	120,8	4,11%	2751,7	2550,0	-201,7	-7,33%	322,5	-1.42%
V56	2/8	0/4 fein	2981,8	3108,9	127,1	4,26%	2744,4	2566,0	-178,4	-6,50%	305,5	-0.90%
V57	2/8	0/4	2937,6	3063,7	126,1	4,29%	2980,3	2748,0	-232,3	-7,79%	358,4	-1.79%
V58	2/8	0/4 grob	2803,6	3034,6	231,0	8,24%	2876,2	2573,3	-302,9	-	533,9	-1.27%
V59	2/8	0/8	3049,3	3266,2	216,9	7,11%	2879,2	2590,3	-288,9	-	505,8	-1.21%
V13	2/8 grob	0/2 fein	0,0		0,0		0,0		0,0		0,0	
V60	2/8 grob	0/2	3088,4	3332,7	244,3	7,91%	2657,2	2315,3	-341,9	-	586,2	-1.70%
V14	2/8 grob	0/2 grob	2711,8				2751,2	2526,8	-224,4	-8,16%		
V23	2/8 grob	0/4 fein	2846,6	2944,0	97,4	3,42%	2655,1	2337,6	-317,5	-	-220,1	-4.00%
V23.2	2/8 grob	0/4 fein	2773,9	2833,4	59,5	2,14%	2697,4	2434,7	-262,7	-9,74%	-203,2	-3.71%
V61	2/8 grob	0/4	2790,6			0,00%	2993,3			0,00%	0,0	0.00%
V24	2/8 grob	0/4 grob	2783,1	2987,7	204,6	7,35%	2529,0	2136,5	-392,5	-	-187,9	-3.54%
V24.2	2/8 grob	0/4 grob	2726,6				2780,2				0,0	
V68	0/4	0/2 (55)	3098,7	3202,5	103,8	3,35%	2934,7	2756,4	-178,3	-6,08%	-74,5	-1.23%
V69	0/4 grob	0/2 (45)	3208	3254,8	46,8	1,46%	2738,5	2597,5	-141	-5,15%	-94,2	-1.58%
V70	0/4 grob	0/2(50)	3266,4	3352,6	86,2	2,64%	2940,6	2728,8	-211,8	-7,20%	-125,6	-2.02%
V71	0/4 grob	0/2(55)	3145,5	3288	142,5	4,53%	2816,3	2595,4	-220,9	-7,84%	-78,4	-1.32%
V72	0/4 grob	0/2 (65)	3080,3	3269,6	189,3	6,15%	3054,8	2732,4	-322,4	-	-133,1	-2.17%
V73	0/4 grob	0/2 (70)	3035,2	3133,1	97,9	3,23%	2920	2737,9	-182,1	-6,24%	-84,2	-1.41%
V74	0/4 grob	0/2 (75)	3145,8	3312,1	166,3	5,29%	2685,1	2411,2	-273,9	-	-107,6	-1.85%
V75	0/8 grob	0/2 (55)	3230,3	3384,7	154,4	4,78%	2890,4	2646,8	-243,6	-8,43%	-89,2	-1.46%
V76	0/2 fein	2/4	2970,7	2920,1	-50,6	-1,70%	2702	2704,9	2,9	0,11%	-47,7	-0.84%
V77	0/2 grob	2/4	2945,3	2845,9	-99,4	-3,37%	2670,4	2716,3	45,9	1,72%	-53,5	-0.95%
V78	2/8	0/8 fein	2882,5	3068,9	186,4	6,47%	2897	2634,1	-262,9	-9,07%	-76,5	-1.32%
V79	2/8	0/8 grob	2922,1	3003,2	81,1	2,78%	2838	2683,1	-154,9	-5,46%	-73,8	-1.28%
V62	4/8	0/2 fein	2801,3	3185,7	384,4	13,72	2603,3	2132,4	-470,9	-	-86,5	-1.60%
V64	4/8	0/2 grob	2806,3	3095,4	289,1	10,30	2591,4	2245,5	-345,9	-	-56,8	-1.05%
V63	4/8	0/2	2561,8	2869,1	307,3	12,00	3110,8	2756,5	-354,3	-	-47	-0.83%
V65	4/8	0/4 fein	2813	3298,8	485,8	17,27	2822,5	2281,3	-541,2	-	-55,4	-0.98%
V67	4/8	0/4 grob	2668,1	2933,3	265,2	9,94%	3144,3	2817,9	-326,4	-	-61,2	-1.05%
V66	4/8	0/4	2783,1	2948,8	165,7	5,95%	2738,4	2526	-212,4	-7,76%	-46,7	-0.85%

6 Auswertung

6.1 Auswertungsmethodik

Zur Beschreibung der Zusammenhänge müssen spezifische Werte untersucht werden, die die Sieblinien bzw. ihre Änderung quantitativ beschreiben. Die erste Idee war den Körnungskoeffizient α und den Körnungsexponent β zu untersuchen. Bei den Sieblinien nach dem Versuch konnten sie allerdings nicht ermittelt werden. Deshalb wurden die Krümmungszahl und Ungleichförmigkeitszahl als Auswertungsmerkmale. Die sind für alle Sieblinien vor und nach dem Versuch zu bestimmen und werden dann gegenübergestellt.

Die Filterkriterien werden als Verhältnisse zweier Siebdurchgänge dargestellt. Daher wurden die Ungleichförmigkeitszahl und die Krümmungszahl betrachtet, die auch als ein Quotient von Siebdurchgängen ermittelt werden.

$$U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (6.1)$$

$$C = \frac{D_{30}^2}{D_{10}D_{60}} \quad (6.2)$$

mit:

U - Ungleichförmigkeitszahl

C - Krümmungszahl

D_{10}, D_{30}, D_{60} - Korndurchmesser bei entsprechend 10, 30, 60 % Massendurchgang

Die Krümmungszahl C lässt indirekte Schlussfolgerungen über die Feinheit des Materials ziehen. Je kleiner ihr Wert ist, desto feiner ist das Material. Wird der C-Wert nach dem Versuch größer, bedeutet dies eine Vergröberung der Bettung; sinkt er, ist dann die Bettung feiner geworden. Die einzelnen Kombinationen wurden durch das Verhältnis von den ursprünglichen Krümmungszahlen der Bettungsschicht zu der der Fugenschicht. Denen gegenüber wurde das Verhältnis der C-Zahl von der Bettung vor und nach dem Versuch gestellt. Die letztere wurde von den Mittelwerten der neuen Massendurchgänge ermittelt.

Die Ungleichförmigkeit, die durch die U-Zahl ausgedrückt wird, deutet auf die Durchlässigkeit des Korngemisches. Bei Werten $U \leq 5$ gilt das Gemisch als gleichmäßig und daher durchlässig; ungleichmäßiges und undurchlässigeres Material weist dagegen Werte $U > 5$ auf. Folglich deutet eine Zunahme der U-Zahl nach dem Versuch auf verminderte Wasserdurchlässigkeit und eine Verringerung des U-Wertes bedeutet erhöhte Wasserdurchlässigkeit. In Anlehnung zu der Krümmungszahl wurde auch die Ungleichförmigkeitszahl in Form von Verhältnissen des Bettungs- und Fugenmaterials und des Bettungsmaterial vor und nach dem Versuch dargestellt.

Die Massenänderung wurde auch in Betracht gezogen, obwohl die Angaben nicht zuverlässig sind. Der Grund dafür ist, dass schon 0,2cm Unterschied bei der Schichtentrennung bei einem Durchmesser von 19 cm ein Volumenunterschied von $\frac{19^2}{4} \pi \cdot 0,2 \approx 57 \text{ cm}^3$ ergibt, was ca. 100 g Gemisch entspricht. Bei einem Durchschnittsgewicht von 3 kg pro Schicht bedeutet dies 3% Fehler. Der verzeichnete Massenverlust selbst liegt um diesen Wert. Das heißt, dass eine kleine Ungenauigkeit die Verlustdaten verdoppeln oder verringern kann. Beim besten

Willen und Eifer ist es praktisch unmöglich zu garantieren, dass die Schichten wirklich millimetergenau voneinander getrennt wurden.

Des Weiteren wurde der Einfluss des in anderen Normen vorkommenden Verhältnis D_{15}/d_{15} auf die Änderung der oben genannten Eigenschaften untersucht. Die Kombinationen wurden so abgestimmt, dass sie den zurzeit in Österreich gültigen Richtlinien entsprechen, dabei wurde die Durchlässigkeitsbedingung nicht in Betracht genommen. Da diese jedoch ein Teil anderer Filterkriterien ist, war es interessant zu beobachten, wie sie sich auf das Gemisch auswirkt. Deshalb wurde sowohl die Änderung der Krümmungszahl, als auch die der Ungleichförmigkeitszahl darauf bezogen.

6.2 Krümmungszahl

Als Erstes wird die Krümmungszahl betrachtet. Die einzelnen Kombinationen zweier Korngemische wurden als Verhältnis ihrer Krümmungszahlen $C_{0(BM)}/C_{0(FM)}$ dargestellt. Die Ergebnisse sind in Tab. 80 (Anhang) dargelegt und in Abb. 51 grafisch dargestellt. Für die Kombinationen BM 0/8 fein – FM 0/2 fein, BM 0/8 fein – FM 0/2 grob, BM 0/8 fein – FM 0/4 fein und BM 0/8 fein – FM 0/4 grob konnte die Krümmungszahl nach der Versuchsdurchführung nicht berechnet werden, weil der Fülleranteil auf über 10% angestiegen ist, d.h. D_{10} konnte nicht ermittelt werden. Die meisten Ergebnisse, bis auf 4 Ausreißer, fallen in dem Bereich $C_{0(BM)}/C_{0(FM)} < 4$, deshalb wird dieser Bereich genauer untersucht. Die Mehrzahl der Kombinationen weist ein Verhältnis der Krümmungszahlen kleiner als 2 auf. Zum Zweck der Vollständigkeit wurden zusätzliche Fugenmaterialien zusammengestellt, die Kombinationen in Bereich $2 < C_{0(BM)}/C_{0(FM)} < 4$ ergeben. Sie basieren auf den Ausgangsfugenmaterialien 0/2 fein, 0/2 mittel und 0/2 grob, wobei der Prozentanteil von Korngruppe [0,5/1] stufenweise verändert wird. Dann wurden die Ausgangsverhältnisse $C_{0(BM)}/C_{0(FM)}$ mit den neuen Fugenmaterialien für alle Bettungsgemische berechnet (Tabelle 6). Gewählt wurden Kombinationen mit einem Verhältnis $C_{0(BM)}/C_{0(FM)} > 2$. Aus Gründen der Folgerichtigkeit waren die Kombinationen zusätzlich so zu erstellen, dass ein Bettungsmaterial mit allen neuen Gemischen geprüft wurde, so wie ein Fugengemisch mit mehreren Bettungsmaterialien. Die zu untersuchenden Kombinationen, die diesen Anforderungen entsprechen, sind in der Tabelle 6 Tabelle grün markiert.

Tabelle 6 - Zusätzliche Fugenmaterialien und $C_{0(BM)}/C_{0(FM)}$ - Verhältnissen der Kombinationen

Kombinationen "Filterstabilität"			Fugenmaterial 0/2 [mm]						
			[0,5/1] = 45%	[0,5/1] = 50%	[0,5/1] = 55%	[0,5/1] = 65%	[0,5/1] = 70%	[0,5/1] = 75%	
C			1,898	1,691	1,056	1,551	1,532	1,514	
Bettungsmaterial [mm]	0/4 (3 M-% < 0,09 mm)	fein	1,783	0,94	1,05	1,69	1,15	1,16	1,18
		mittel	2,325	1,22	1,38	2,20	1,50	1,52	1,54
		grob	5,800	3,06	3,43	5,49	3,74	3,79	3,83
	2/4		1,087	0,57	0,64	1,03	0,70	0,71	0,72
	0/8	fein	1,678	0,88	0,99	1,59	1,08	1,10	1,11
		mittel	1,550	0,82	0,92	1,47	1,00	1,01	1,02
		grob	3,453	1,82	2,04	3,27	2,23	2,25	2,28
	2/8	fein	1,125	0,59	0,67	1,07	0,73	0,73	0,74
		mittel	1,114	0,59	0,66	1,05	0,72	0,73	0,74
		grob	1,063	0,56	0,63	1,01	0,69	0,69	0,70
	4/8		1,108	0,58	0,66	1,05	0,71	0,72	0,73

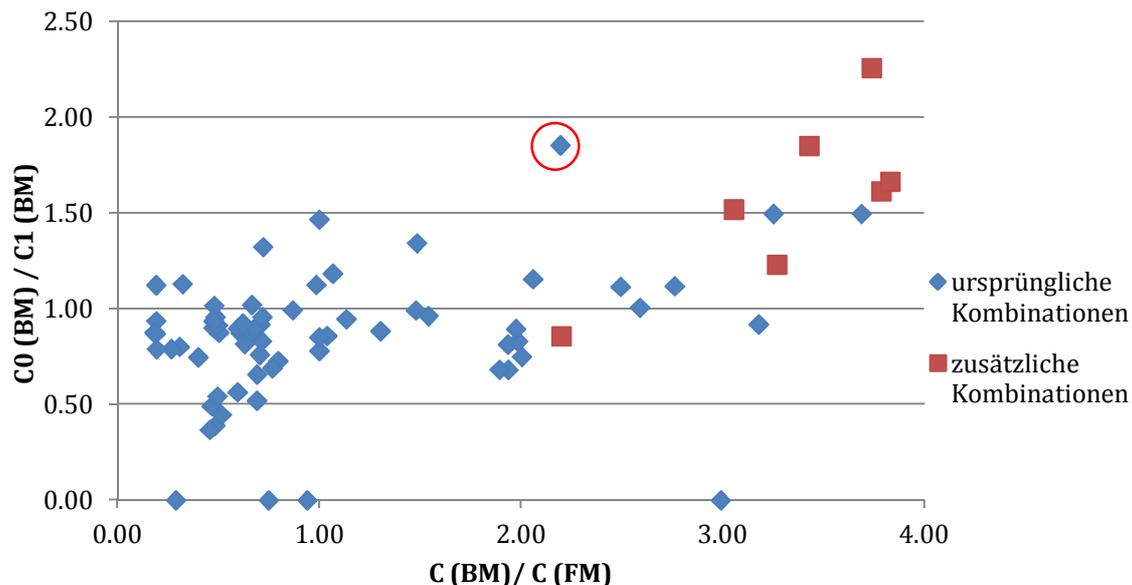


Abb. 51 - Verhältnisse der Krümmungszahlen vor und nach den Versuchen

Die Änderung an der Kornzusammensetzung des Bettungsmaterials nach der Versuchsdurchführung wird auch als Verhältnis der Krümmungszahl vor dem Versuch $C_{0(BM)}$ zu der Krümmungszahl nach dem Versuch $C_{1(BM)}$ ermittelt. Liegen die Werte über 1, ist die Bettung feiner geworden, was ein Anzeichen für das Eindringen vom Füllermaterial aus dem Fugengemisch ist. Dieser Prozess wird bei verschiedenen Werten der Ausgangsverhältnisse beobachtet. Im Bereich $C_{0(BM)}/C_{0(FM)} < 1$ ist die Spanne der Werte ziemlich groß - für ein Verhältnis von ca. 0,5 z.B. liegen die $C_{0(BM)}/C_{1(BM)}$ -Werte von 0,37 bis knapp 1. Ein relativ wesentlicher Anstieg ist im Allgemeinen bei $C_{0(BM)}/C_{0(FM)} > 3$ erkenntlich. Generell kann von einer linearen Beziehung zwischen dem Ausgangs- und Endverhältnissen gesprochen werden, auch wenn dieser nicht gut ausgeprägt ist.

Ein Ausreißer ist das Resultat von Versuch 49 BM 0/8 grob FM 0/2 mittel, wo $C_{0(BM)}/C_{0(FM)} = 2,20$ und $C_{0(BM)}/C_{1(BM)} = 1,88$ sind, während bei den anderen Kombinationen mit $C_{0(BM)}/C_{0(FM)}$ im Bereich von 2 die Verhältnisse $C_{0(BM)}/C_{1(BM)}$ ca. 0,8-1,0 betragen. Deshalb ist es empfehlenswert, dass diese Kombination bei weiteren Untersuchungen noch einmal geprüft wird.

Interessant ist es die Resultate für Bettungsmaterialien 0/4 und 0/8 getrennt zu betrachten (Abb. 52), aus dem ein stetiger Anstieg des Verhältnisses $C_{0(BM)}/C_{1(BM)}$ deutlich wird und auf eine Verfeinerung des Bettungsmaterials hindeutet. Als Ausreißer fällt nur Versuch V38 BM 0/4 grob FM 0/4 auf. Dabei unterscheidet sich das Ergebnis sichtbar von den Resultaten aus Kombinationen mit ähnlichen Ausgangsverhältnissen $C_{0(BM)}/C_{0(FM)}$. Es ist empfehlenswert diese Kombination wieder zu prüfen. Ansonsten ist eine wesentliche Änderung der Bettungssieblinien, d.h. eine Zunahme der $C_{0(BM)}/C_{1(BM)}$ - Verhältnisse, bei Ausgangswerten über etwa 2,50-3,00 zu sehen.

nur BM 0/4

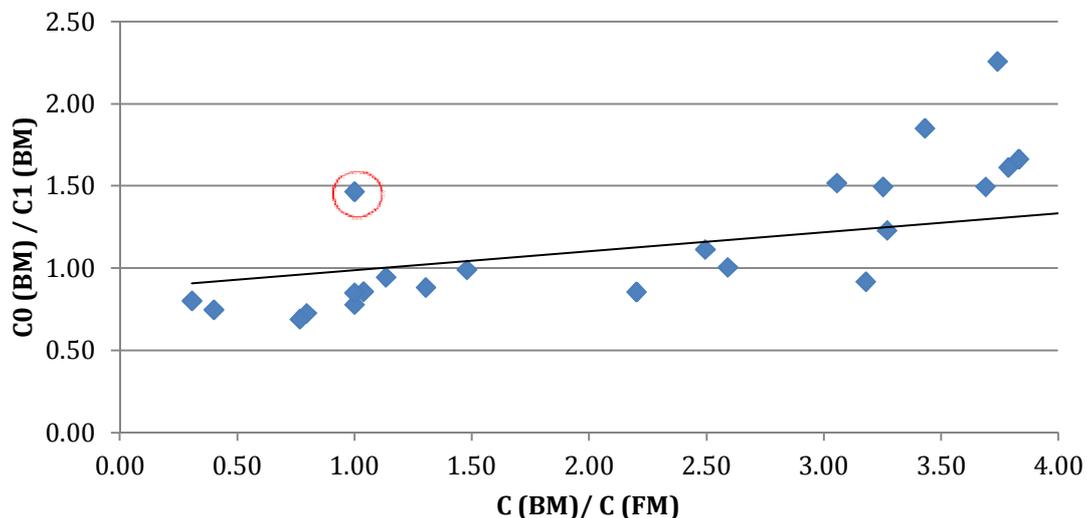


Abb. 52 - Veränderung der Krümmungszahl bei den Kombinationen mit Bettungsmaterial 0/4

Wird auch die BM 0/8 Kombinationen mit betrachtet, lässt sich diese Tendenz noch klarer erkennen (Abb. 53). Bei einem Verhältnis $C_{0(BM)}/C_{0(FM)}$ bis 1,5 liegen die Werte der $C_{0(BM)}/C_{1(BM)}$ - Verhältnisse im Bereich 0,5 - 1,5, also die Kornumlagerung ist nicht sehr ausgeprägt, in den meisten Fällen findet eine Vergrößerung statt. Bei Werten über 3 steigt dieses Verhältnis wesentlich an, d.h. die Verfeinerung ist stärker ausgeprägt.

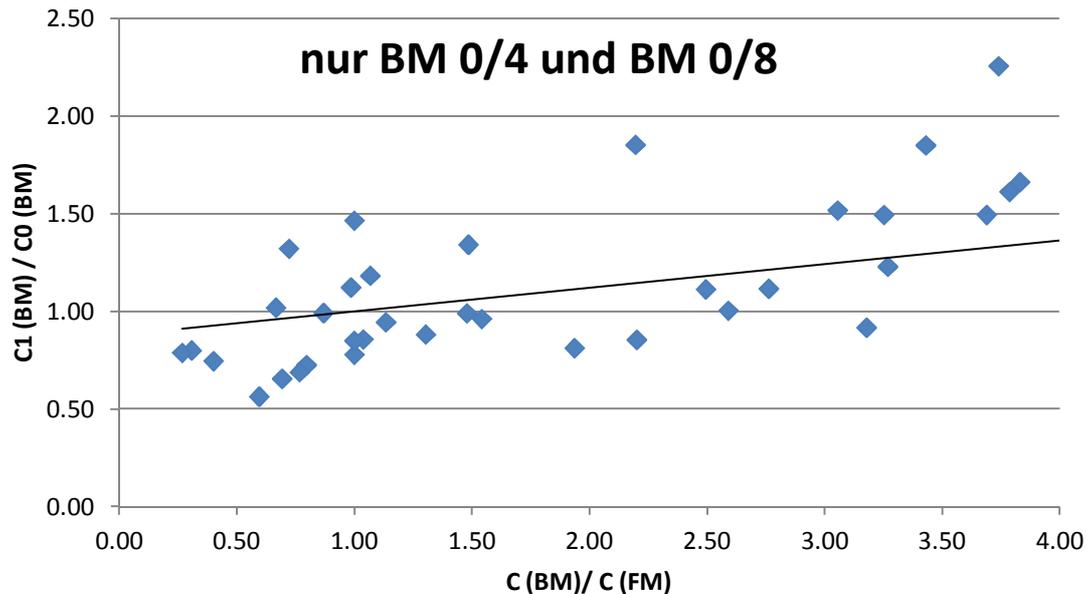


Abb. 53 - Veränderung der Krümmungszahlen bei Kombinationen mit BM 0/4 und BM 0/8

6.3 Ungleichförmigkeitszahl

Ähnlich der Krümmungszahl wurde auch die Änderung der Ungleichförmigkeitszahl untersucht. Verglichen wurde das Verhältnis zwischen der U-Zahl der Bettung vor und nach jedem Versuch in Abhängigkeit von dem Anfangsverhältnis der U-Werte von Bettungs- und Fugenmaterial. Die Ergebnisse sind wieder grafisch (Abb. 54) und in Tabellenform aufgeführt. Bei allen Ausgangsverhältnisse der U-Zahlen von Bettungs- und Fugenmaterial liegen die neuen Verhältnisse $U_{0(BM)}/U_{1(BM)}$ nach dem Versuch prinzipiell im Bereich 0,5 - 1,0. Es ist daher kein Zusammenhang bezüglich der Ausgangswerte zu erkennen.

Die in Tab. 81 (Anhang) blau markierten Kombinationen haben so große Wasserdurchlässigkeit aufgewiesen, dass keine Wassersäule sich einstellen konnte oder Wasserkübel eingeschüttet werden mussten. In all diesen Fällen ist das Bettungsgemisch eine Ausfallkörnung. Die Krümmungszahlen des Ausgangsmaterials sind klein, so wie das Verhältnis $C_{0(BM)}/C_{0(FM)}$. Auch das Verhältnis $U_{0(BM)}/U_{0(FM)}$ ändert sich im engen Intervall.

Beim genaueren Betrachten des Diagramms (Abb. 54) lässt sich ein unwesentlicher Anstieg des Verhältnisses $U_{0(BM)}/U_{1(BM)}$ mit Zunahme des $U_{0(BM)}/U_{0(FM)}$ - Wertes erkennen. Dieser tritt erst bei $U_{0(BM)}/U_{0(FM)} > 1$, jedoch bei einer begrenzten Anzahl von Versuchen.

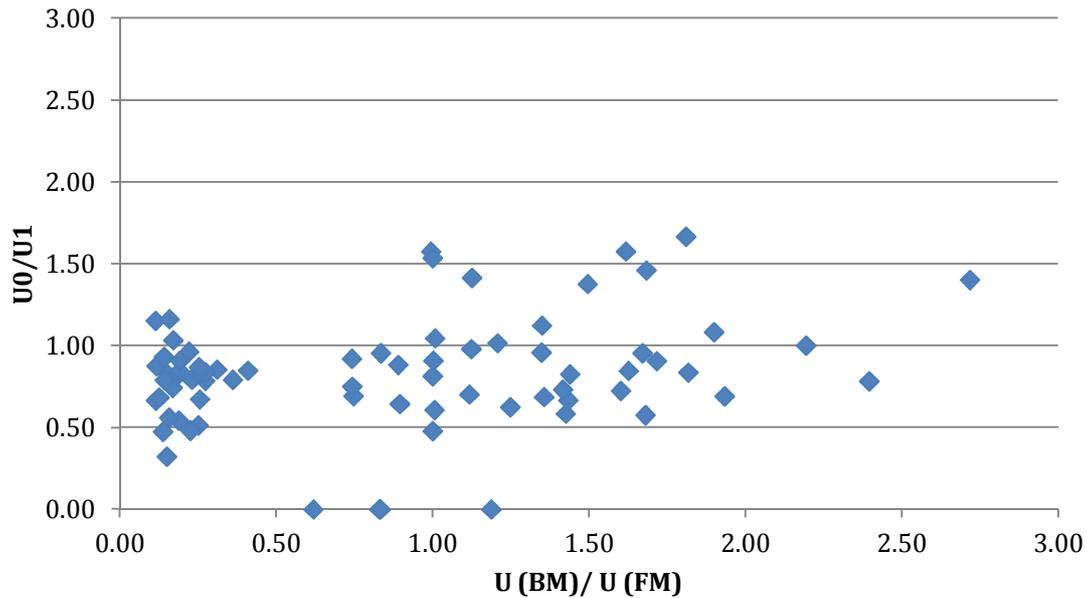


Abb. 54- Änderung der Ungleichförmigkeitszahl

Die Kombinationen, wo die Wasserdurchlässigkeit problematisch war, wiesen ein Verhältnis $C_{(BM)}/C_{(FM)} < 1$ auf. Doch nicht bei allen Kombinationen wurde erhöhte Wasserdurchlässigkeit beobachtet, sondern nur wenn die Ungleichförmigkeitszahlen $U_{0(BM)}/U_{(FM)} < 0,5$

6.4 Durchlässigkeitsbedingung D_{15}/d_{15}

Alle Kombinationen wurden der Durchlässigkeitsbedingung gegenübergestellt. Betrachtet wurden die Verhältnisse $C_{(BM)}/C_{(FM)}$ und $U_{(BM)}/U_{(FM)}$. Die Werte sind der Tab. 82 (Anhang) zu entnehmen, unten wird die Beziehung grafisch dargestellt (Abb. 55, Abb. 56).

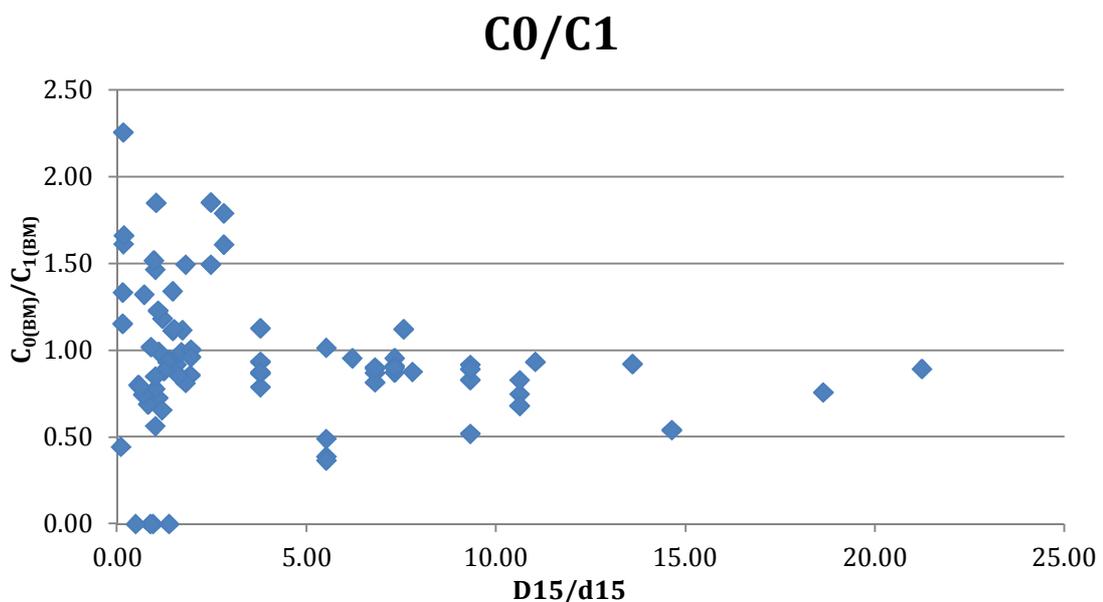


Abb. 55 - Beziehung zwischen C_0/C_1 und D_{15}/d_{15}

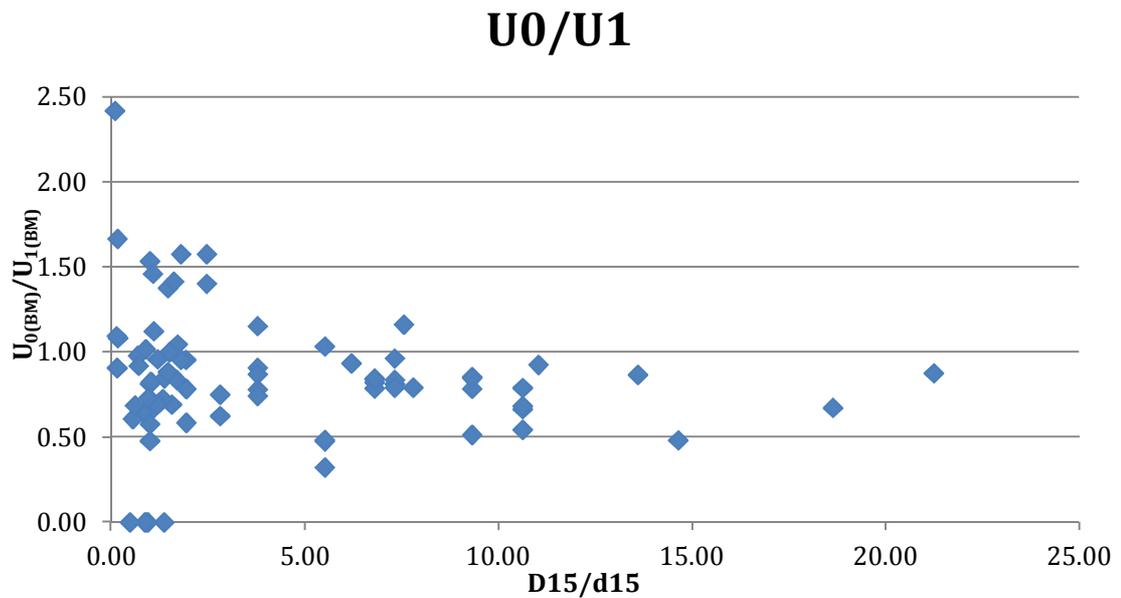


Abb. 56 - Beziehung zwischen U_0/U_1 und D_{15}/d_{15}

In beiden Fällen ist eine breite Spanne der Änderungsverhältnisse bei kleinen D_{15}/d_{15} -Werten erkenntlich. Mit Zunahme der hydraulischen Wirksamkeit konzentrieren sich die Werte in einen engeren Bereich von $[0,5-1]$. Die Zunahme ist besonders gut ausgeprägt bei Werten $D_{15}/d_{15} > 5$, obwohl ein Ausreißer bei $D_{15}/d_{15} = 7,55$ in beiden Diagrammen vorkommt.

7 Schlussfolgerungen

Die in den Normen üblichen Filterkriterien können bei Pflasterbefestigungen die Filterstabilität nicht gewährleisten. Deshalb wurde auf die Verwendung der Parameter D_{15}/d_{85} , D_{50}/d_{50} verzichtet; untersucht wurden stattdessen andere Parameter, die die ersten ergänzen können. Weitere Überlegungen über die Durchlässigkeitsbedingung D_{15}/d_{15} sind jedoch denkbar.

Betrachtet man die Veränderung der Krümmungszahl, wird eine Vergrößerung, bzw. ein gewisser Anstieg des Feinanteils nach der Versuchsdurchführung sichtbar. Die Beziehung ist zwar nicht gut ausgeprägt, was teilweise auf die unvollständigen Versuchsergebnisse zurückzuführen ist. Ich schlage trotzdem vor, dass ein Grenzwert:

$$C_{(BM)}/C_{(FM)} > 2,5 \quad (7.1)$$

angenommen wird. Falls weitere Versuche stattfinden, kann dies als leitende Hypothese angenommen werden.

Die Ungleichförmigkeitszahl an sich ergibt keinen bedeutenden Zusammenhang zur Filterstabilität und Sieblinienveränderung. Wird sie doch mit der Krümmungszahl kombiniert untersucht, kann folgendes angenommen werden:

$$\text{Zulässig: } C_{0(BM)}/C_{1(FM)} > 1,0 \text{ wenn } U_{0(BM)}/U_{1(FM)} < 0,5 \quad (7.2)$$

Die Ergebnisse belegen, dass die hydraulische Wirksamkeit in Form von D_{15}/d_{15} die Filterstabilität beeinflusst, was in theoretischen Arbeiten und Richtlinien schon erkannt wurde. Anhand der Vergleichsdiagramme finde ich den Grenzwert als sinnvoll:

$$D_{15}/d_{15} > 5,0 \quad (7.3)$$

Alle oben benannten Kriterien sind nur Hypothesen, die einen Anreiz für Ergänzung der gültigen Filterkriterien bieten. Sie können als Ausgangspunkt für weitere Prüfungen dienen.

7.1 Anwendung der Schlussfolgerungen in Bulgarien

In Bulgarien ist eine Mehrzahl der Straßen gepflastert, obwohl die Tendenz zu deren Ersetzung mit Asphalt ist. Die bestehenden Vorschriften regeln den Bau, die Wartung und die Reparaturen (Technische Regeln und Anforderungen an die Straßenerhaltung von der Nationalagentur "Straßeninfrastruktur") und geben Anweisungen nur bezüglich deren Konstruktion - Schichtendicken und Tragfähigkeit laut Anhängen über die Konstruktion der Pflasterdecken. Keine Anforderungen an die Kornzusammensetzung werden doch gestellt und es fehlen spezifische Vorschriften wie die RVS 08.18.01 Pflasterstein- und Pflasterplattendecken, Randeinfassungen. Die anliegenden Ergebnisse können als Grundlage für die Erarbeitung von solchen eingehenden Richtlinien oder die Ergänzung bzw. Besserung der existierenden Vorschriften dienen.

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Vergleich der Bauweisen (RVS 08.18.01)	11
Tabelle 2 - Vergleich von Filterkriterien in ausgewählten internationalen Normen	23
Tabelle 3 - Versuchskombinationen	27
Tabelle 4 - Zusätzliche Kombinationen mit neuen Fugenmaterialien	31
Tabelle 5 - Massenänderung	47
Tabelle 6 - Zusätzliche Fugenmaterialien und $C_{0(BM)}/C_{0(FM)}$ - Verhältnissen der Kombinationen	51

9 Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1 - Aufbau einer Pflasterdecke
<http://www.pflasterdecke.de/technisches/grundlagen/index.htm>
- Abb. 2 - Herstellung von ungebundener Pflasterung http://www.bi-galabau.de/upload/Bild_GB_8_9_10_Sopro_2841.jpg
- Abb. 3 - Gebundene Pflasterdecke
- Abb. 4 - Bauweise der verfestigten Fugen
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/9/98/Verfestigte_Fuge.png
- Abb. 5 - Kräfte infolge vertikaler Lasten (Mentlein 2007)
- Abb. 6 - Kraftabtragung von horizontalen Belastungen (Mentlein 2007).
- Abb. 7- Verdrückungen infolge schlechter Verdichtung (Mentlein 2007)
- Abb. 8 - Verformung des Pflasters infolge unzulässiger Dickenunterschiede im Pflasterbett <http://www.mroczek-betonwerk-kg.de/>
- Abb. 9 - Ausgekippte Pflastersteine infolge Fugentleerung
- Abb. 10 - Veranschaulichung des Prozesses Erosion und seiner Formen (Wittmann 1980)
- Abb. 11 - Veranschaulichung des Prozesses Suffosion und seiner Formen (Wittmann 1980)
- Abb. 12 - Beispiele hydrodynamischer Bodendeformationen (Wittmann 1980)
- Abb. 13 – Kippbewegung des Pflastersteines infolge Fugentleerung (Wichter, 1996)
- Abb. 14 - Pflasterverschiebungen bei mangelhafter Filterstabilität zwischen Bettungs- und Tragschicht (Wichter, 1996)
- Abb. 15 - Kugelmodelle und minimale Porenweiten: a) reguläre 6-er Packung; b) reguläre 12-er Packung (Wittmann 1980)
- Abb. 16 - Filterkriterien nach Cistin/Ziems (Wittmann 1980)
- Abb. 17 - Versuchsaapparatur – Zylinder, Geotextil, Platte, Sieb
- Abb. 18 - Versuchsdurchführung
- Abb. 19 - Sieblinien vom Ausgangsmaterial für die Fugen aus der Korngröße 0/2 mm – fein, mittel und grob
- Abb. 20 - Sieblinien vom Ausgangsmaterial für Bettung und Fugen der Korngröße 0/4 mm – fein, mittel und grob
- Abb. 21 - Sieblinien vom Ausgangsmaterial für Bettung und Fugen der Korngröße 0/8 mm – fein, mittel und grob
- Abb. 22 - Sieblinie vom Ausgangsmaterial für Bettung der Korngröße 2/4 mm
- Abb. 23 - Sieblinien vom Ausgangsmaterial für Bettung der Korngröße 2/8 mm – fein, mittel und grob
- Abb. 24 - Sieblinie vom Ausgangsmaterial für Bettung der Korngröße 4/8 mm
- Abb. 25 - Sieblinien der zusätzlichen Fugenmaterialien des Korngemisches 0/2 mm
- Abb. 26 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 0/4 fein nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/2 fein, 0/2 mittel, 0/2 grob
- Abb. 27 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 0/4 fein nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/4 fein, 0/4 mittel, 0/4 grob
- Abb. 28 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 0/4 mittel nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/2 fein, 0/2 mittel, 0/2 grob und zusätzlich 0/2 (55)
- Abb. 29 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 0/4 mittel nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/4 fein, 0/4 mittel, 0/4 grob

- Abb. 30 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 0/4 grob nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/2 fein, 0/2 mittel, 0/2 grob
- Abb. 31 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 0/4 grob nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/2 mittel, 0/4 fein, 0/4 mittel, 0/4 grob
- Abb. 32 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 0/4 grob nach Versuchen mit den zusätzlichen Fugenmaterialien der Kornklasse 0/2
- Abb. 33 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 2/4 nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/2 fein, 0/2 mittel, 0/2 grob
- Abb. 34 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 2/4 nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/4 fein, 0/4 mittel, 0/4 grob
- Abb. 35 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 0/2 fein und 0/2 grob nach Versuchen mit Fugenmaterialien 2/4
- Abb. 36 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 0/8 fein nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/2 fein, 0/2 mittel, 0/2 grob
- Abb. 37 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 0/8 fein nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/4 fein, 0/4 mittel, 0/4 grob
- Abb. 38 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 0/8 mittel nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/2 fein, 0/2 mittel, 0/2 grob
- Abb. 39 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 0/8 mittel nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/4 fein, 0/4 mittel, 0/4 grob
- Abb. 40 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 0/8 grob nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/2 fein, 0/2 mittel, 0/2 grob
- Abb. 41 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 0/8 grob nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/4 fein, 0/4 mittel, 0/4 grob
- Abb. 42 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 2/8 fein nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/2 fein, 0/2 mittel, 0/2 grob
- Abb. 43 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 2/8 fein nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/4 fein, 0/4 mittel, 0/4 grob
- Abb. 44 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 2/8 mittel nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/2 fein, 0/2 mittel, 0/2 grob
- Abb. 45 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 2/8 mittel nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/4 fein, 0/4 mittel, 0/4 grob
- Abb. 46 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 2/8 mittel nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/8 fein, 0/8 mittel, 0/8 grob
- Abb. 47 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 2/8 grob nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/2 fein, 0/2 mittel, 0/2 grob, 0/4 fein, 0/4 mittel, 0/4 grob
- Abb. 48 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 2/8 grob nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/2 fein, 0/2 mittel, 0/2 grob, 0/4 fein, 0/4 mittel, 0/4 grob
- Abb. 49 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 4/8 nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/2 fein, 0/2 mittel, 0/2 grob
- Abb. 50 - Verschiebung der Sieblinie vom Bettungsmaterial 4/8 nach Versuchen mit Fugenmaterialien 0/4 fein, 0/4 mittel, 0/4 grob
- Abb. 51 - Verhältnisse der Krümmungszahlen vor und nach den Versuchen
- Abb. 52 - Veränderung der Krümmungszahl bei den Kombinationen mit Bettungsmaterial 0/4
- Abb. 53 - Veränderung der Krümmungszahlen bei Kombinationen mit BM 0/4 und BM 0/8

Abb. 54- Änderung der Ungleichförmigkeitszahl

Abb. 55 - Beziehung zwischen C_0/C_1 und D_{15}/d_{15}

Abb. 56 - Beziehung zwischen U_0/U_1 und D_{15}/d_{15}

10 Literaturverzeichnis

Blab, R. *Konzeption hochbelasteter Verkehrsflächen mit Pflasterstein- und Pflasterplattendecken – Planung und Dimensionierung.*

Boetcher, S. *Anforderungen an Asphalttragschichten beim Einsatz unter Pflasterdecken, Straßen- und Tiefbau.* 07-08/2010.

Cistin, J. *Zum Problem mechanischer Deformationen nichtbindiger Lockergesteine durch die Sickerwasserströmung in Erddämmen*, in: Wasserwirtschaft, Heft 2, 1967.

Hristova, P. *Durchlässige Pflasterdecken – Einsatzbedingungen und Verwendungsmöglichkeiten in Österreich.* Diplomarbeit: Technische Universität Wien, 2009.

Krass, Klaus - *Anforderungen an das Bettungs- und Fugenmaterial für Pflasterdecken bei statischer und dynamischer Beanspruchung*, Ruhr-Universität Bochum 2006.

Krass, Klaus - *Untersuchung über die Verteilung von auftretenden Schub- und Torsionskräften in Pflasterbelägen*, Ruhr-Universität Bochum 2001.

Kurth, Norbert. *Schadensfälle bei Pflasterbauweisen.* Straßen- und Tiefbau. 09/2010.

Mentlein, Horst. *Pflasteratlas.* Köln : s.n., 2007.

Mladenov, Alexander. *Bewertung der Filterstabilität zwischen Bettung und Fugenfüllung.* Diplomarbeit : Technische Universität Wien, 2014.

o.A. *Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen ATV DIN 18318, Verkehrswegebauarbeiten – Pflasterdecken und Plattenbeläge in ungebundener Ausführung, Einfassungen (VOB – Teil C), DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN) Beuth-Verlag.*

o.A. http://www.kann.de/files/downloads/grundlagen_pflasterbau_601_63c3d3.pdf. [Zitat vom: 30. 01 2014.]

o.A. http://de.wikipedia.org/wiki/Pflaster_%28Belag%29. [Zitat vom: 10. 03 2014.]

o.A. <http://www.pflasterdecke.de/probleme/>. www.pflasterdecke.de. [Zitat vom: 04. 02 2014.]

o.A. <http://fqp.at/bauweisen>. [Zitat vom: 30. 01 2014.]

o.A. *Wasser im Baugrund.* GRUNDBAU, TUM - Lehrstuhl für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Tunnelbau, Skript.

Pichottka, S. *Pflaster – ungebundene Bauweisen*, Tagung Qualitätssicherung Potsdam, 2008.

Radenberg, M und C. Koch. *Entwicklung eines Verfahrens zur Prüfung und Bewertung des Abriebwiderstandes von Bettungs- und Fugenmaterial von Pflasterbefestigungen.* Bochun/Köln 2007.

Rossberg, K. *Dynamische Belastungsversuche an Pflasterkonstruktionen.*

RVS 03.08.63. *Oberbaubemessung*. Österreich 2008.

RVS 08.18.01. *Pflasterstein- und Pflasterplattendecken, Randeinfassungen*. Österreich 2009.

Shackel, B. Water Penetration and structural Evaluations of Permeable Eco-Paving. Betonwerk und Fertigteil-Technik BFT, Heft 3, 1997. Sonderdruck.

Shackel, B. and A. Pearson. Permeable concrete eco-paving as best management practice in Australian urban road engineering, University of New South Wales, Concrete Masonry Association of Australia.

Terzaghi, Karl von. *Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage*. Wien, 1925.

Terzaghi, Karl von. *Bodenmechanik in der Baupraxis*. Wien, 1961.

TL Pflaster-StB 06 *Technische Lieferbedingungen für Bauprodukte zur Herstellung von Pflasterdecken, Plattenbelägen und Einfassungen*, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), FGSV-Verlag, Ausgabe 2006.

Wichter, L. *Der richtige Aufbau von Pflasterflächen*. Hrsg. Readymix Betonbauteile GmbH, Ratingen, 1996.

Wittmann, Lutz. *Filtrations- und Transportationsphänomene in porösen Medien*. Dissertation: Universität Karlsruhe, 1980.

Wu, W. *Filter und Filterregel*, Universität für Bodenkultur Wien, 2007

Ziems, J. *Beitrag zur Kontakterosion nichtbindiger Erdstoffe*. Dissertation : Technische Universität Dresden, 1968.

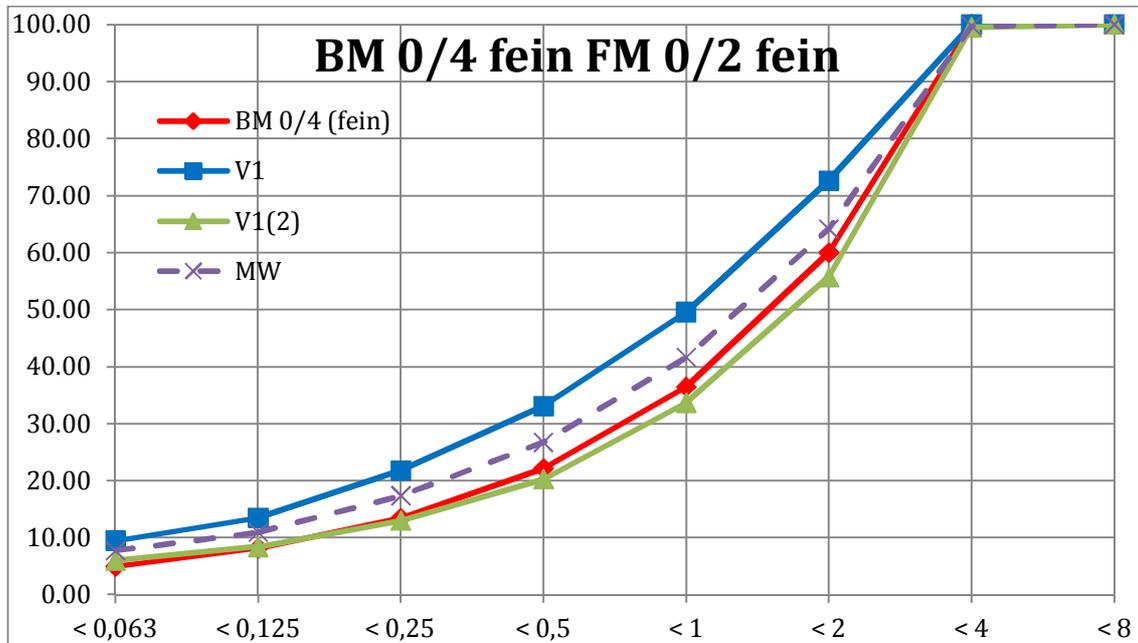
ZTV Pflaster-StB 06 *Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Pflasterdecken, Plattenbelägen und Einfassungen*. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), FGSV-Verlag, Ausgabe 2006.

11 Anhang Tabellen und Diagramme

11.1 Ergebnisse aus den Siebversuchen

Tab. 1 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 fein

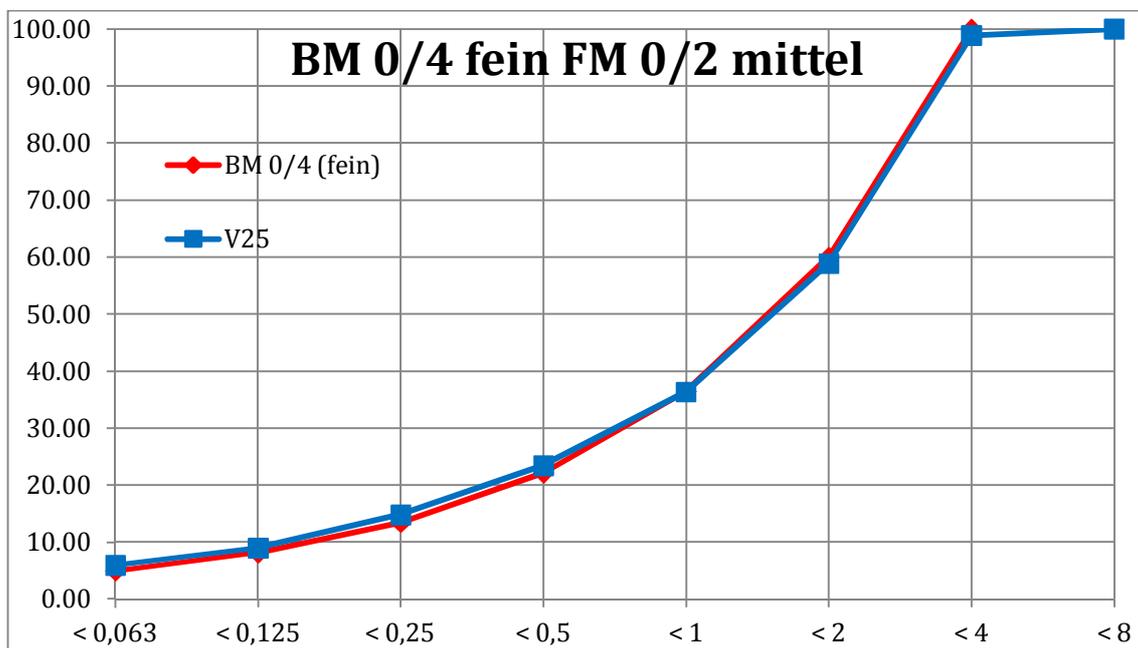
BM 0/4 (fein)	FM 0/2 fein	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V1	V1(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	5,00	9,50	6	7,75
0,063 < 0,125	[0,063/0,125]	8,18	13,50	8,4	10,95
0,125 < 0,25	[0,125/0,25]	13,46	21,80	13	17,40
0,25 < 0,5	[0,25/0,5]	22,16	33,10	20,3	26,70
0,5 < 1	[0,5/1]	36,46	49,60	33,7	41,65
1 < 2	[1/2]	60,00	72,60	55,7	64,15
2 < 4	[2/4]	100,00	100,00	99,5	99,75
4 < 8	[4/8]	100,00	100,00	100	100,00



A. 1 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 fein

Tab. 2 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 mittel

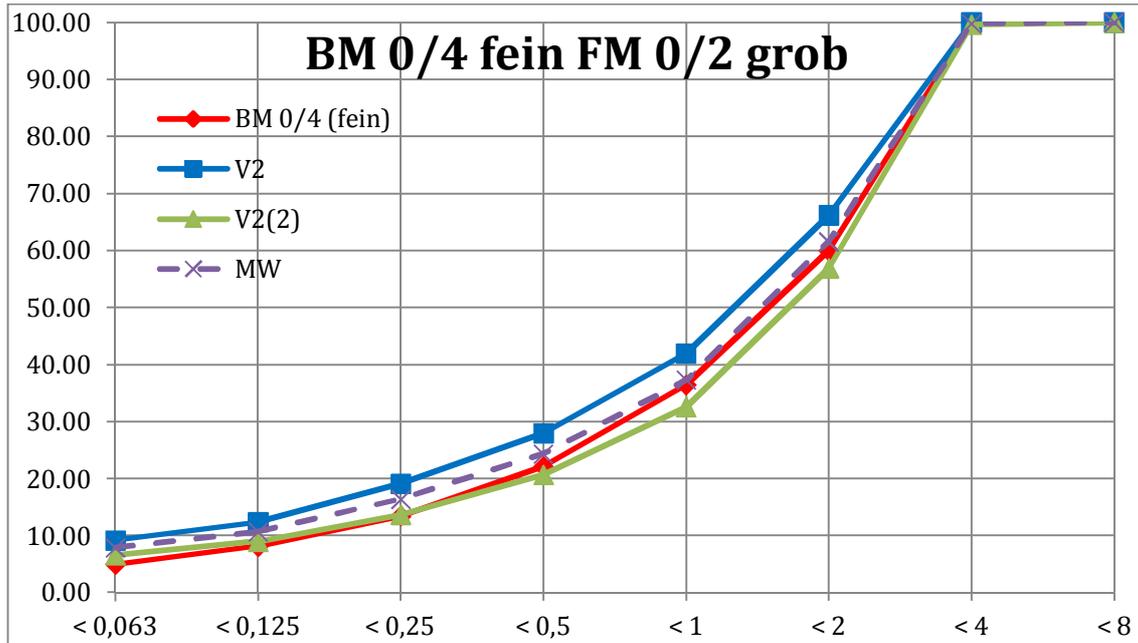
BM 0/4 (fein)	FM 0/2 mittel	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V25	V25(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	5,00	5,98		5,98
0,063 < 0,125	[0,063/0,125]	8,18	9,02		9,02
0,125 < 0,25	[0,125/0,25]	13,46	14,83		14,83
0,25 < 0,5	[0,25/0,5]	22,16	23,47		23,47
0,5 < 1	[0,5/1]	36,46	36,37		36,37
1 < 2	[1/2]	60,00	58,89		58,89
2 < 4	[2/4]	100,00	98,88		98,88
4 < 8	[4/8]	100,00	100,00		100,00



A. 2 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 mittel

Tab. 3 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 grob

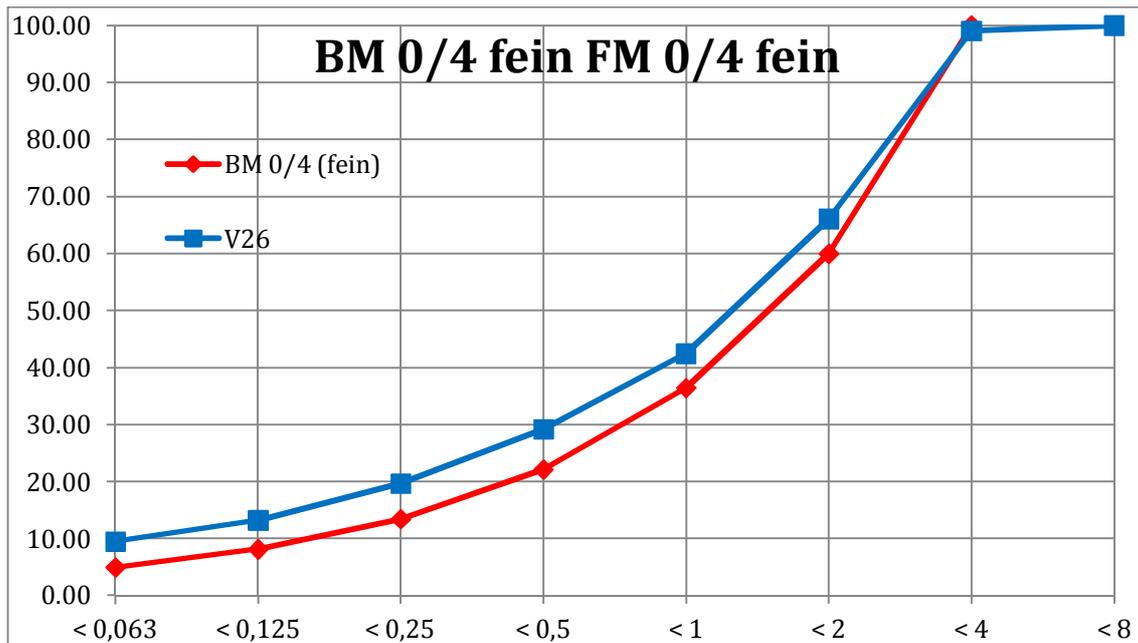
BM 0/4 (fein)	FM 0/2 grob	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V2	V2(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	5,00	9,20	6,60	7,90
0,063 < 0,125	[0,063/0,125]	8,18	12,40	9,00	10,70
0,125 < 0,25	[0,125/0,25]	13,46	19,10	13,70	16,40
0,25 < 0,5	[0,25/0,5]	22,16	28,00	20,70	24,35
0,5 < 1	[0,5/1]	36,46	42,00	32,60	37,30
1 < 2	[1/2]	60,00	66,20	56,90	61,55
2 < 4	[2/4]	100,00	100,00	99,60	99,80
4 < 8	[4/8]	100,00	100,00	100,00	100,00



A. 3 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 grob

Tab. 4 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 fein

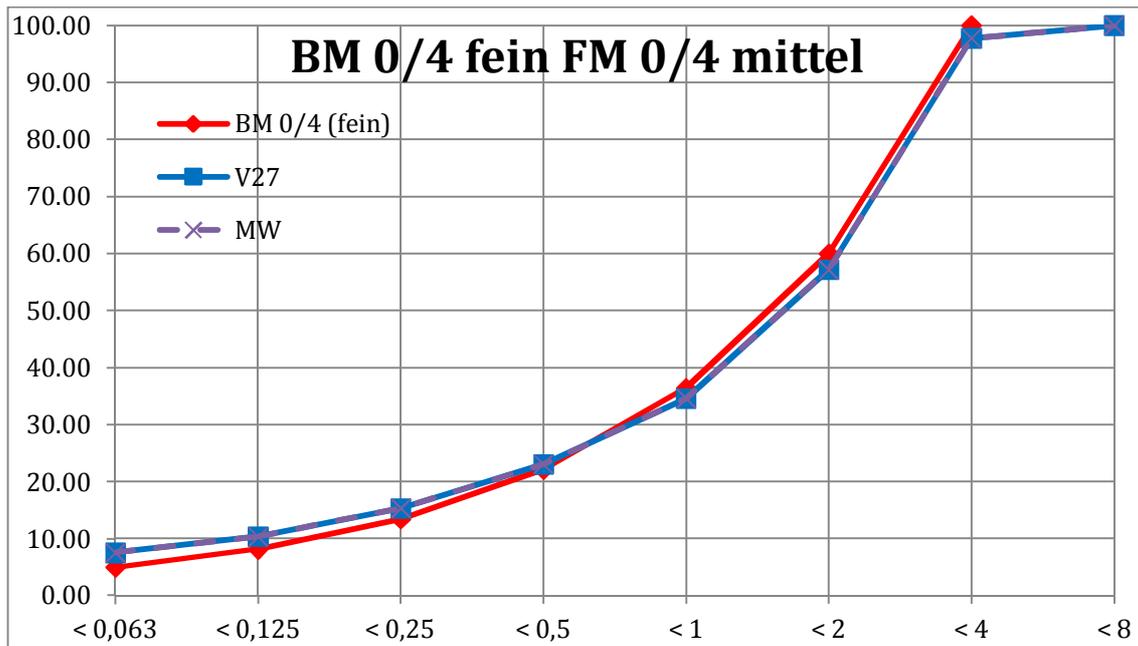
BM 0/4 (fein)	FM 0/4 fein	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V26	V26(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	5,00	9,52		9,52
0,063 < 0,125	[0,063/0,125]	8,18	13,26		13,26
0,125 < 0,25	[0,125/0,25]	13,46	19,66		19,66
0,25 < 0,5	[0,25/0,5]	22,16	29,25		29,25
0,5 < 1	[0,5/1]	36,46	42,49		42,49
1 < 2	[1/2]	60,00	66,08		66,08
2 < 4	[2/4]	100,00	99,02		99,02
4 < 8	[4/8]	100,00	100,00		100,00



A. 4 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 fein

Tab. 5 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 mittel

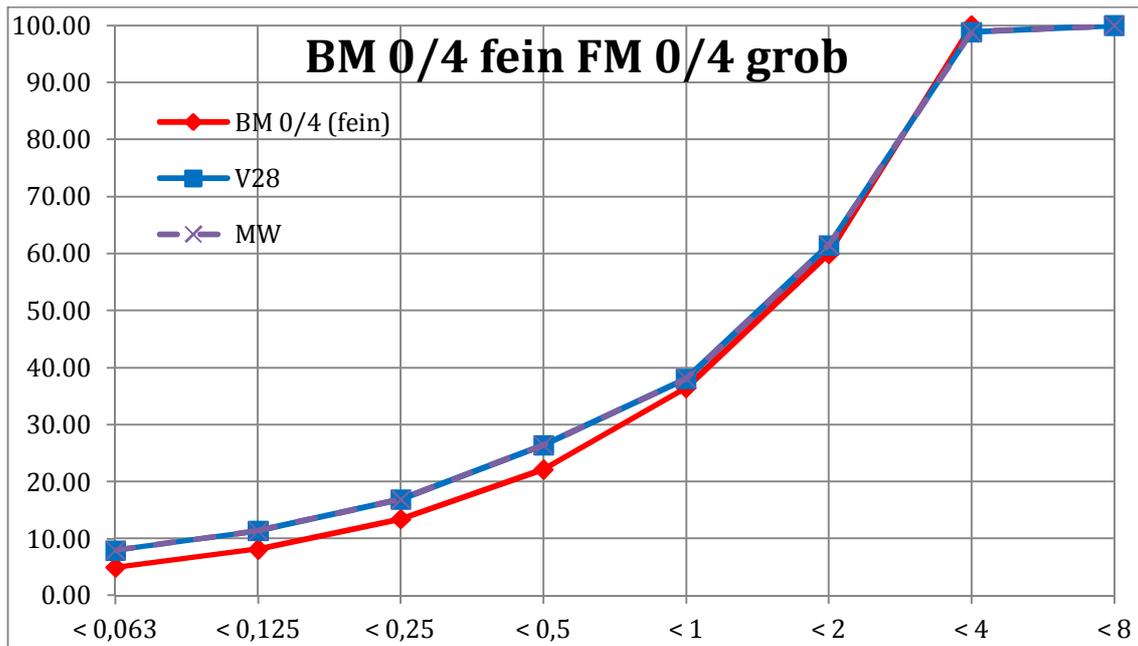
BM 0/4 (fein)	FM 0/4 mittel	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V27	V27(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	5,00	7,56		7,56
0,063 < 0,125	[0,063/0,125]	8,18	10,37		10,37
0,125 < 0,25	[0,125/0,25]	13,46	15,34		15,34
0,25 < 0,5	[0,25/0,5]	22,16	23,08		23,08
0,5 < 1	[0,5/1]	36,46	34,60		34,60
1 < 2	[1/2]	60,00	57,17		57,17
2 < 4	[2/4]	100,00	97,76		97,76
4 < 8	[4/8]	100,00	100,00		100,00



A. 5 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 mittel

Tab. 6 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 grob

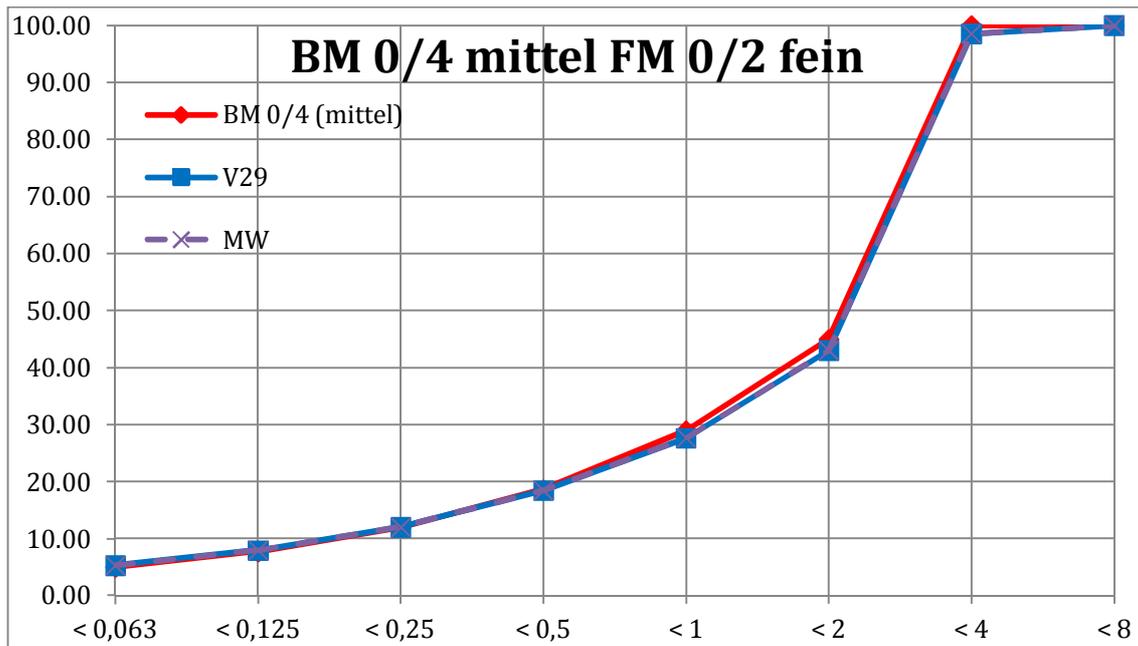
BM 0/4 (fein)	FM 0/4 grob	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V28	V28(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	5,00	7,97		7,97
0,063 < 0,125	[0,063/0,125]	8,18	11,39		11,39
0,125 < 0,25	[0,125/0,25]	13,46	16,91		16,91
0,25 < 0,5	[0,25/0,5]	22,16	26,43		26,43
0,5 < 1	[0,5/1]	36,46	38,09		38,09
1 < 2	[1/2]	60,00	61,47		61,47
2 < 4	[2/4]	100,00	98,84		98,84
4 < 8	[4/8]	100,00	100,00		100,00



A. 6 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 grob

Tab. 7- Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 fein

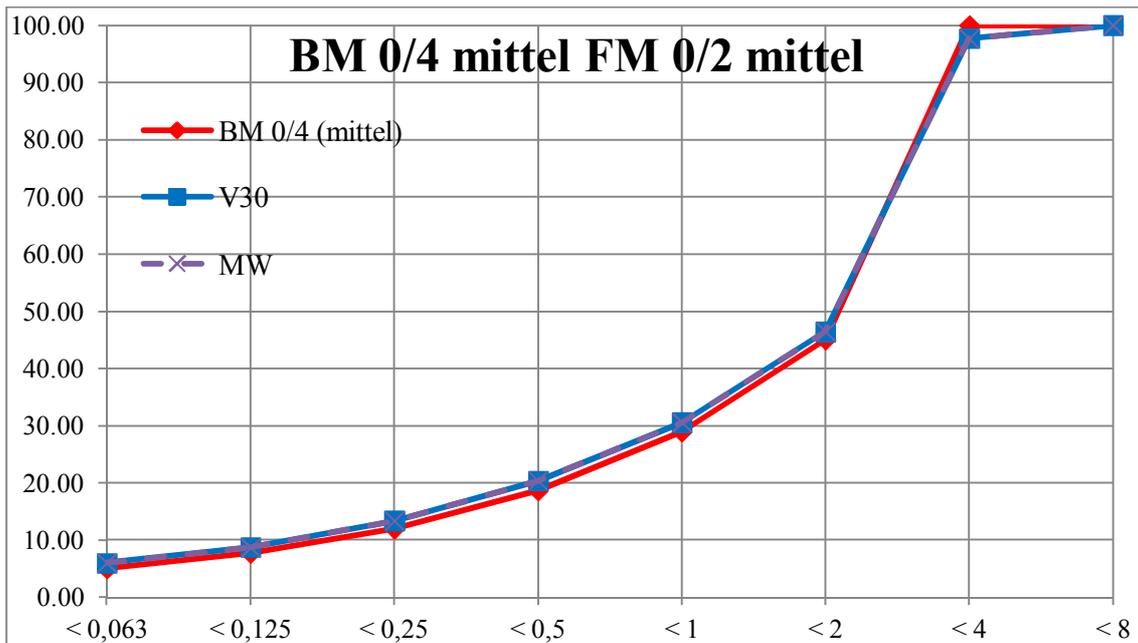
BM 0/4 mittel	FM 0/2 fein	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V29	V29(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	5,00	5,30		5,30
0,063 < 0,125	[0,063/0,125]	7,73	7,97		7,97
0,125 < 0,25	[0,125/0,25]	12,00	12,03		12,03
0,25 < 0,5	[0,25/0,5]	18,65	18,48		18,48
0,5 < 1	[0,5/1]	28,97	27,66		27,66
1 < 2	[1/2]	45,00	43,03		43,03
2 < 4	[2/4]	100,00	98,55		98,55
4 < 8	[4/8]	100,00	100,00		100,00



A. 7 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 fein

Tab. 8- Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 fein

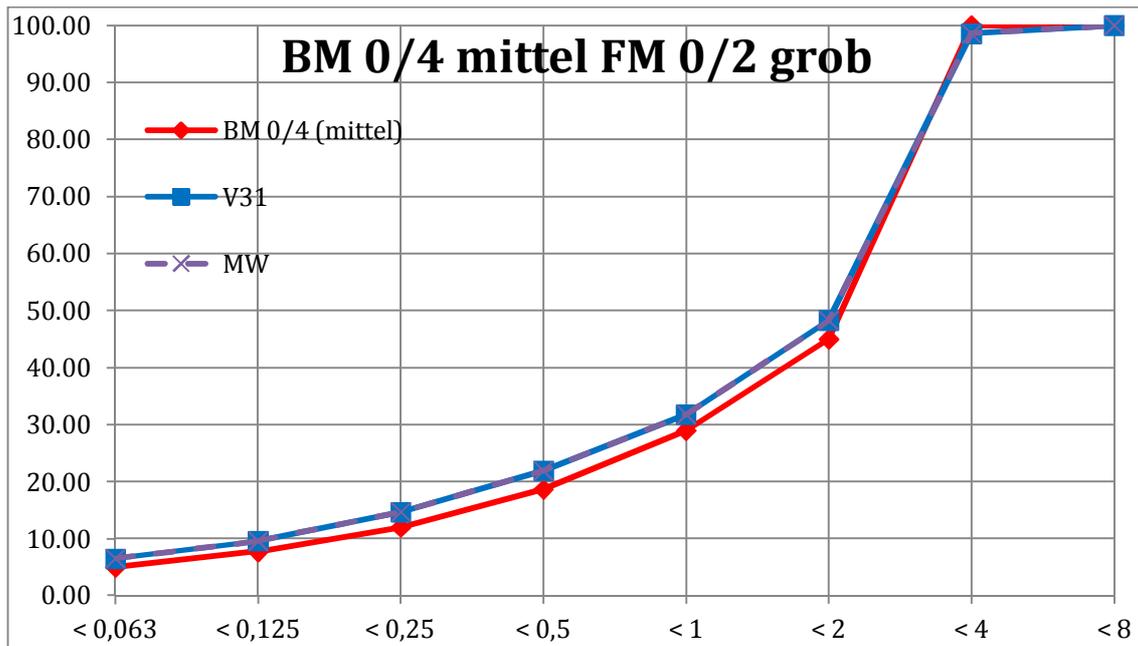
BM 0/4 mittel	FM 0/2 mittel	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V30	V30(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	5,00	6,01		6,01
0,063 < 0,125	[0,063/0,125]	7,73	8,73		8,73
0,125 < 0,25	[0,125/0,25]	12,00	13,39		13,39
0,25 < 0,5	[0,25/0,5]	18,65	20,40		20,40
0,5 < 1	[0,5/1]	28,97	30,58		30,58
1 < 2	[1/2]	45,00	46,44		46,44
2 < 4	[2/4]	100,00	97,69		97,69
4 < 8	[4/8]	100,00	100,00		100,00



A. 8 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 mittel

Tab. 9- Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 fein

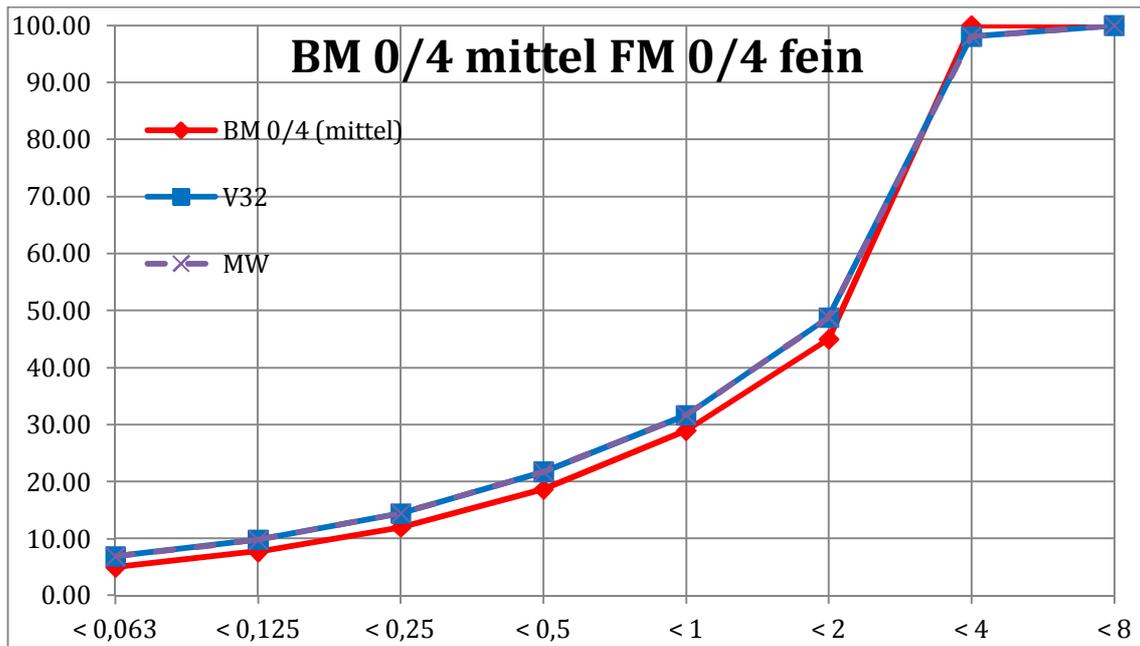
BM 0/4 mittel	FM 0/2 grob	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V31	V31(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	5,00	6,52		6,52
0,063 < 0,125	[0,063/0,125]	7,73	9,62		9,62
0,125 < 0,25	[0,125/0,25]	12,00	14,69		14,69
0,25 < 0,5	[0,25/0,5]	18,65	21,94		21,94
0,5 < 1	[0,5/1]	28,97	31,79		31,79
1 < 2	[1/2]	45,00	48,28		48,28
2 < 4	[2/4]	100,00	98,56		98,56
4 < 8	[4/8]	100,00	100,00		100,00



A. 9 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 grob

Tab. 10- Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 fein

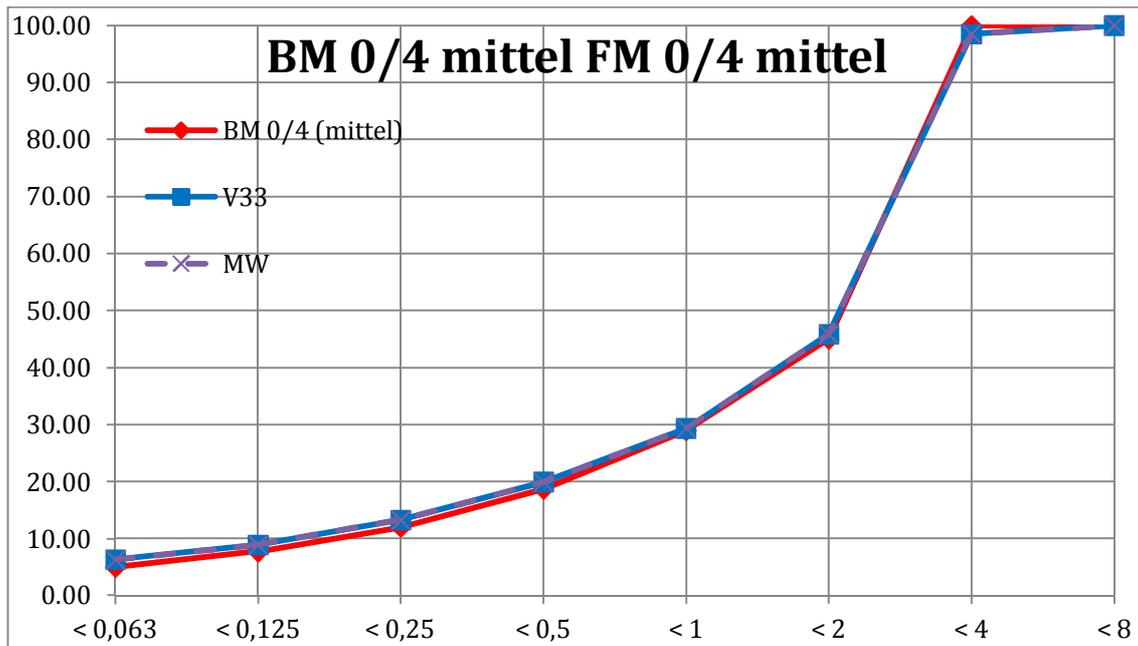
BM 0/4 mittel	FM 0/4 fein	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V32	V32(2)	Mittelwert
0< 0,063	[0/0,063]	5,00	6,92		6,92
0,063< 0,125	[0,063/0,125]	7,73	9,83		9,83
0,125< 0,25	[0,125/0,25]	12,00	14,46		14,46
0,25< 0,5	[0,25/0,5]	18,65	21,76		21,76
0,5< 1	[0,5/1]	28,97	31,68		31,68
1< 2	[1/2]	45,00	48,80		48,80
2< 4	[2/4]	100,00	98,07		98,07
4< 8	[4/8]	100,00	100,00		100,00



A. 10 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 fein

Tab. 11 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 mittel

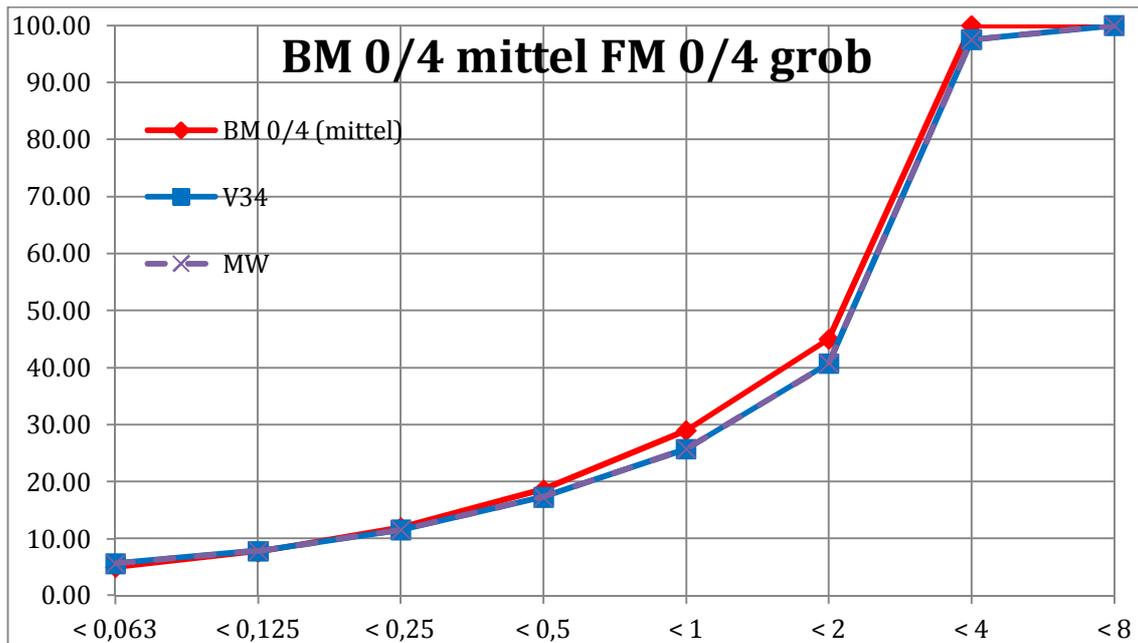
BM 0/4 mittel	FM 0/4 mittel	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V33	V33(2)	Mittelwert
0 <math>< 0,063</math>	[0/0,063]	5,00	6,34		6,34
0,063 <math>< 0,125</math>	[0,063/0,125]	7,73	8,94		8,94
0,125 <math>< 0,25</math>	[0,125/0,25]	12,00	13,30		13,30
0,25 <math>< 0,5</math>	[0,25/0,5]	18,65	19,97		19,97
0,5 <math>< 1</math>	[0,5/1]	28,97	29,37		29,37
1 <math>< 2</math>	[1/2]	45,00	45,87		45,87
2 <math>< 4</math>	[2/4]	100,00	98,50		98,50
4 <math>< 8</math>	[4/8]	100,00	100,00		100,00



A. 11 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 mittel

Tab. 12 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 grob

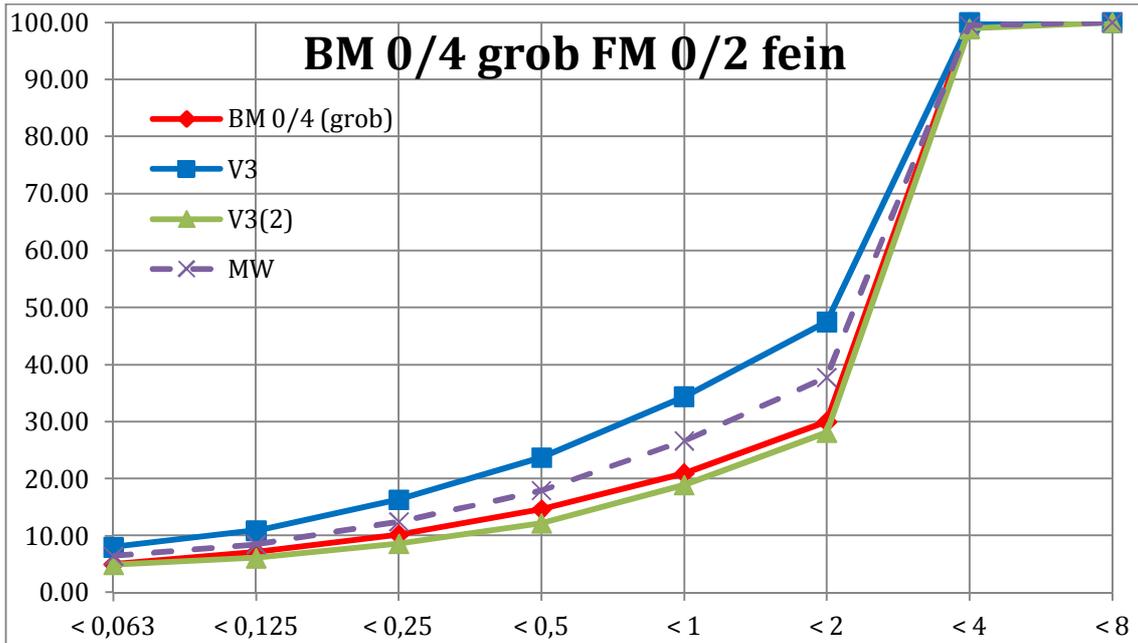
BM 0/4 mittel	FM 0/4 grob	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V34	V34(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	5,00	5,65		5,65
0,063 < 0,125	[0,063/0,125]	7,73	7,86		7,86
0,125 < 0,25	[0,125/0,25]	12,00	11,56		11,56
0,25 < 0,5	[0,25/0,5]	18,65	17,30		17,30
0,5 < 1	[0,5/1]	28,97	25,76		25,76
1 < 2	[1/2]	45,00	40,76		40,76
2 < 4	[2/4]	100,00	97,54		97,54
4 < 8	[4/8]	100,00	100,00		100,00



A. 12 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 grob

Tab. 13 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 fein

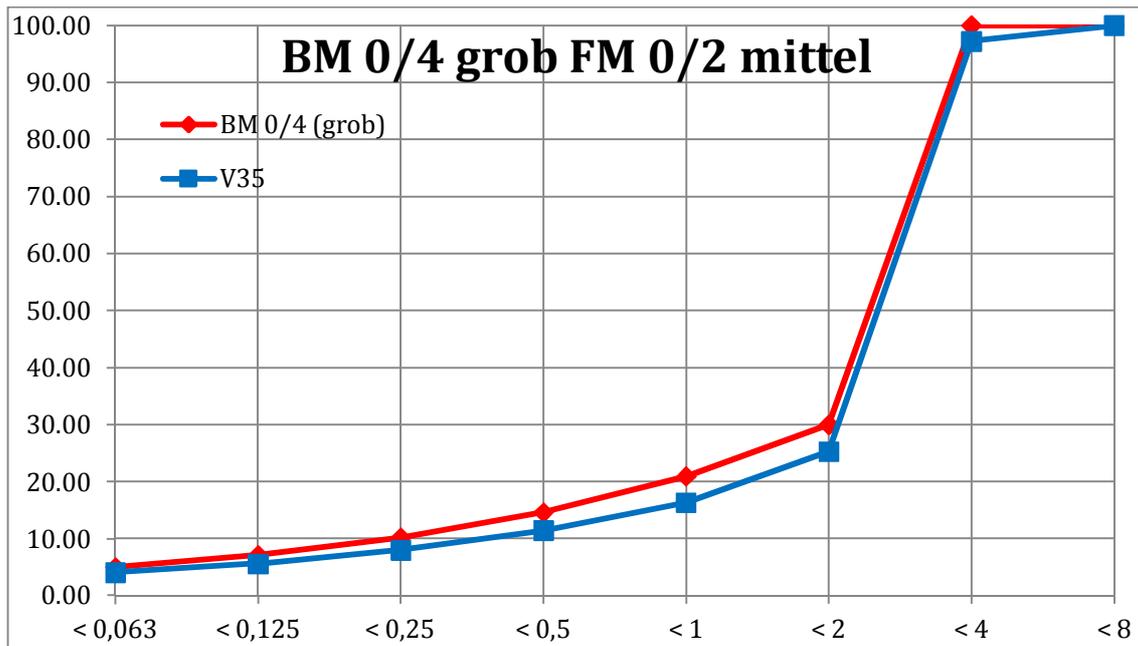
BM 0/4 grob	FM 0/2 fein	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V3	V3(2)	Mittelwert
0 <math>< 0,063</math>	[0/0,063]	5.00	8.00	4.9	6.45
0.063 <math>< 0,125</math>	[0,063/0,125]	7.13	10.90	6.1	8.50
0.125 <math>< 0,25</math>	[0,125/0,25]	10.21	16.30	8.6	12.45
0.25 <math>< 0,5</math>	[0,25/0,5]	14.63	23.70	12.2	17.95
0.5 <math>< 1</math>	[0,5/1]	20.95	34.40	18.9	26.65
1 <math>< 2</math>	[1/2]	30.00	47.50	28.1	37.80
2 <math>< 4</math>	[2/4]	100.00	100.00	98.9	99.45
4 <math>< 8</math>	[4/8]	100.00	100.00	100	100.00



A. 13 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 fein

Tab. 14 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 mittel

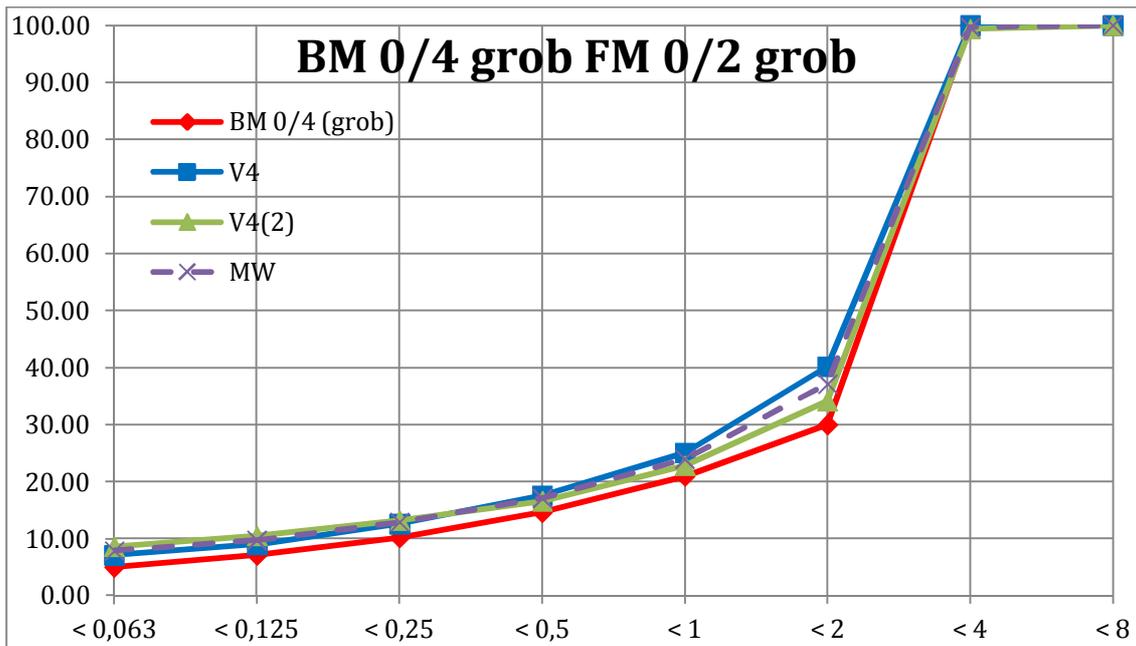
BM 0/4 grob	FM 0/2 mittel	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V35	V35(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	5.00	4.08		4.08
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	7.13	5.60		5.60
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	10.21	8.00		8.00
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	14.63	11.46		11.46
0.5 < 1	[0,5/1]	20.95	16.36		16.36
1 < 2	[1/2]	30.00	25.31		25.31
2 < 4	[2/4]	100.00	97.21		97.21
4 < 8	[4/8]	100.00	100.00		100.00



A. 14 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 mittel

Tab. 15 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 grob

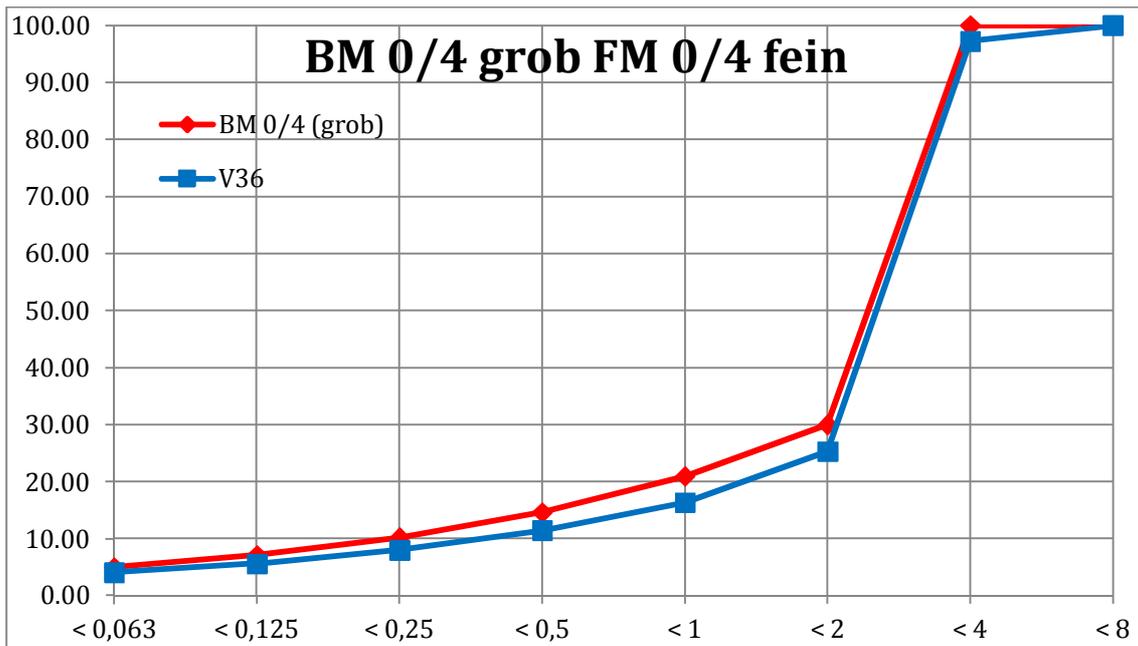
BM 0/4 grob	FM 0/2 grob	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V4	V4(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	5.00	7.10	8.6	7.85
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	7.13	9.00	10.5	9.75
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	10.21	12.60	13.2	12.90
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	14.63	17.60	16.6	17.10
0.5 < 1	[0,5/1]	20.95	25.10	22.8	23.95
1 < 2	[1/2]	30.00	40.20	34.1	37.15
2 < 4	[2/4]	100.00	100.00	99.4	99.70
4 < 8	[4/8]	100.00	100.00	100	100.00



A. 15 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 grob

Tab. 16 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 fein

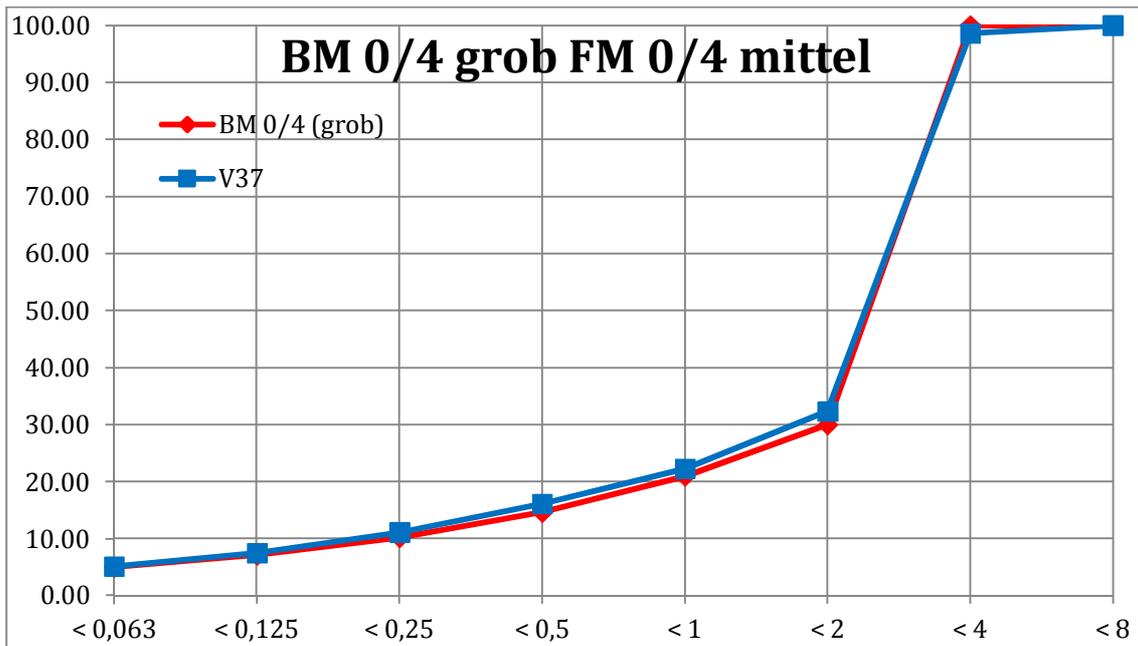
BM 0/4 grob	FM 0/4 fein	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V36	V36(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	5.00	4.08		4.08
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	7.13	5.60		5.60
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	10.21	8.00		8.00
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	14.63	11.46		11.46
0.5 < 1	[0,5/1]	20.95	16.36		16.36
1 < 2	[1/2]	30.00	25.31		25.31
2 < 4	[2/4]	100.00	97.21		97.21
4 < 8	[4/8]	100.00	100.00		100.00



A. 16 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 fein

Tab. 17 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 mittel

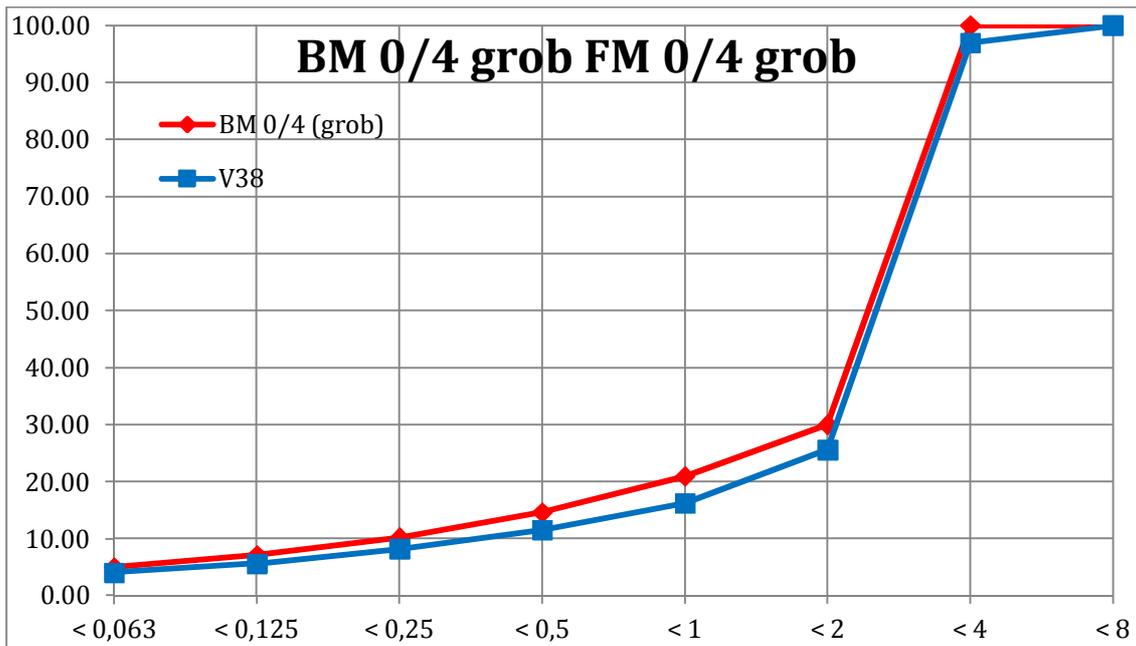
BM 0/4 grob	FM 0/4 mittel	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V37	V37(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	5.00	5.14		5.14
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	7.13	7.49		7.49
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	10.21	11.12		11.12
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	14.63	16.11		16.11
0.5 < 1	[0,5/1]	20.95	22.28		22.28
1 < 2	[1/2]	30.00	32.34		32.34
2 < 4	[2/4]	100.00	98.57		98.57
4 < 8	[4/8]	100.00	100.00		100.00



A. 17 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 mittel

Tab. 18 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 grob

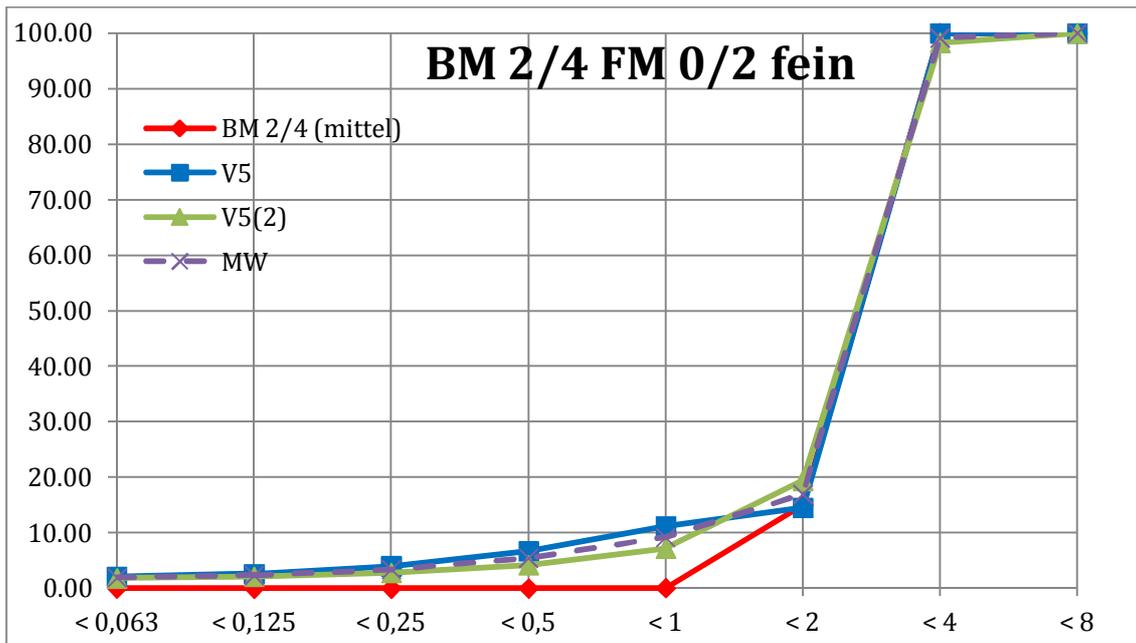
BM 0/4 grob	FM 0/4 grob	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V38	V34(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	5.00	4.05		4.05
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	7.13	5.61		5.61
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	10.21	8.21		8.21
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	14.63	11.54		11.54
0.5 < 1	[0,5/1]	20.95	16.21		16.21
1 < 2	[1/2]	30.00	25.59		25.59
2 < 4	[2/4]	100.00	96.95		96.95
4 < 8	[4/8]	100.00	100.00		100.00



A. 18 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 grob

Tab. 19 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/4 und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 fein

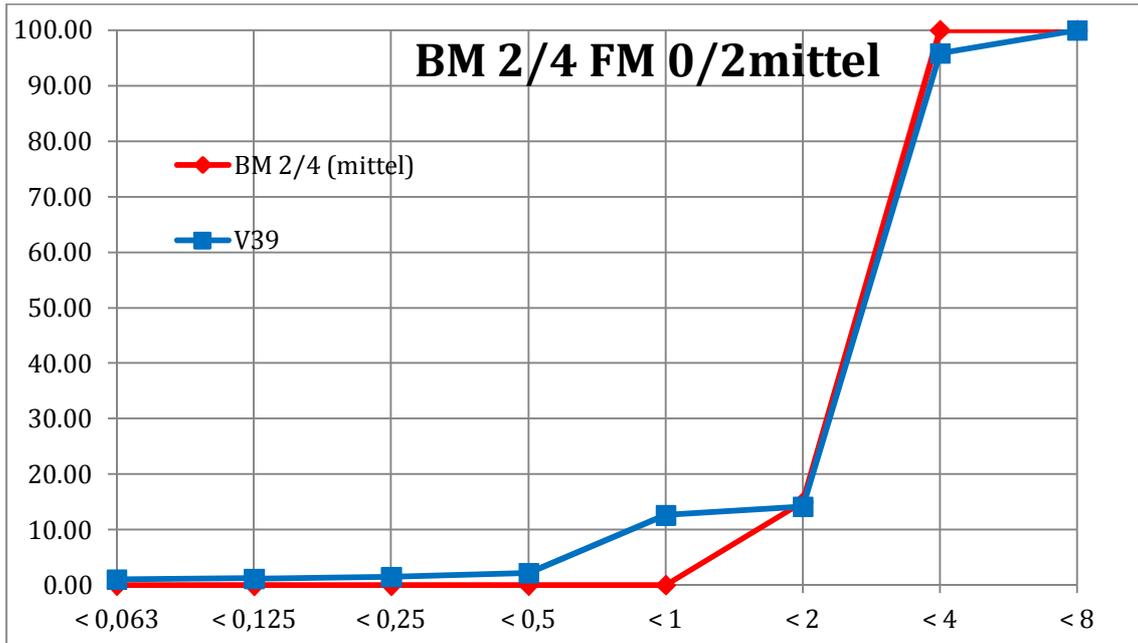
BM 2/4	FM 0/2 fein	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V5	V5(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	0.00	2.10	1.80	1.95
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	0.00	2.60	2.10	2.35
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	0.00	4.00	2.80	3.40
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	0.00	6.70	4.20	5.45
0.5 < 1	[0,5/1]	0.05	11.20	7.20	9.20
1 < 2	[1/2]	15.00	14.50	19.40	16.95
2 < 4	[2/4]	100.00	100.00	98.30	99.15
4 < 8	[4/8]	100.00	100.00	100.00	100.00



A. 19 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/4 und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 fein

Tab. 20 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/4 und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 mittel

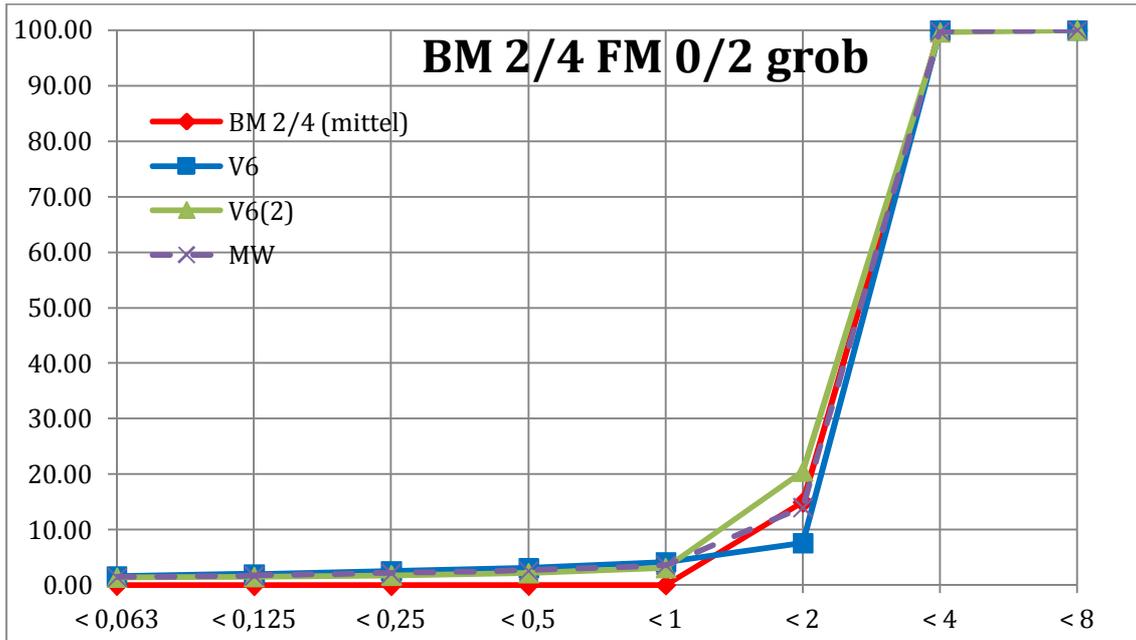
BM 2/4	FM 0/2 mittel	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V39	V39(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	0.00	1.03		1.03
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	0.00	1.19		1.19
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	0.00	1.52		1.52
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	0.00	2.23		2.23
0.5 < 1	[0,5/1]	0.05	12.63		12.63
1 < 2	[1/2]	15.00	14.17		14.17
2 < 4	[2/4]	100.00	95.84		95.84
4 < 8	[4/8]	100.00	100.00		100.00



A. 20 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/4 und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 mittel

Tab. 21 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/4 und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenmaterial 0/2 grob

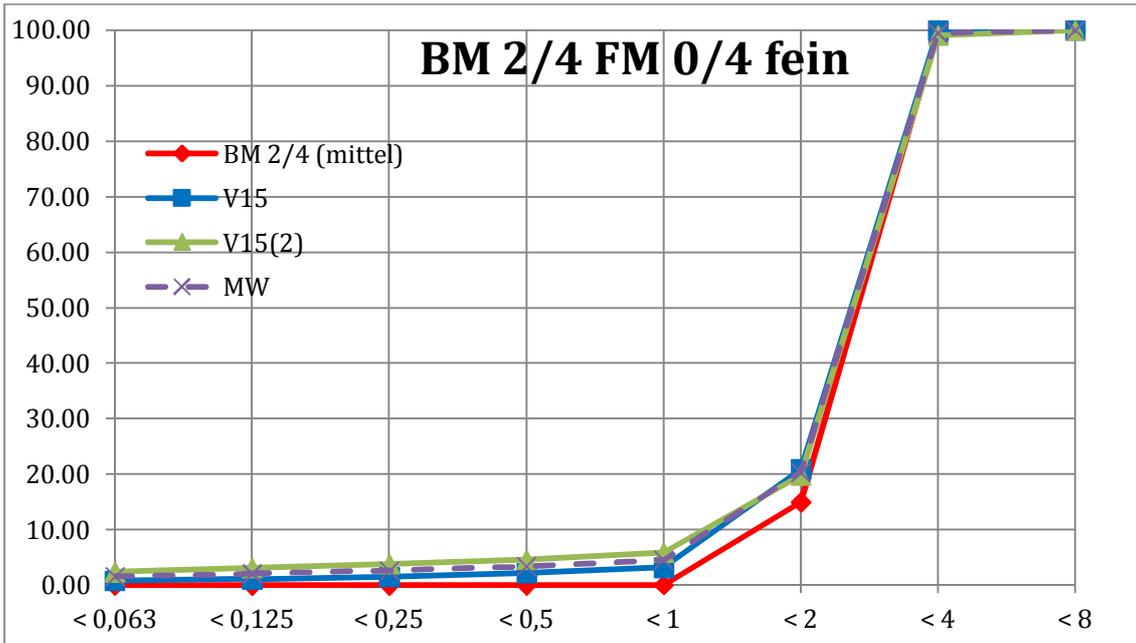
BM 2/4	FM 0/2 grob	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V6	V6(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	0.00	1.60	1.40	1.50
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	0.00	2.00	1.50	1.75
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	0.00	2.60	1.80	2.20
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	0.00	3.10	2.20	2.65
0.5 < 1	[0,5/1]	0.05	4.20	3.10	3.65
1 < 2	[1/2]	15.00	7.60	20.50	14.05
2 < 4	[2/4]	100.00	100.00	99.60	99.80
4 < 8	[4/8]	100.00	100.00	100.00	100.00



A. 21 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/4 und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenmaterial 0/2 grob

Tab. 22 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/4 und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 fein

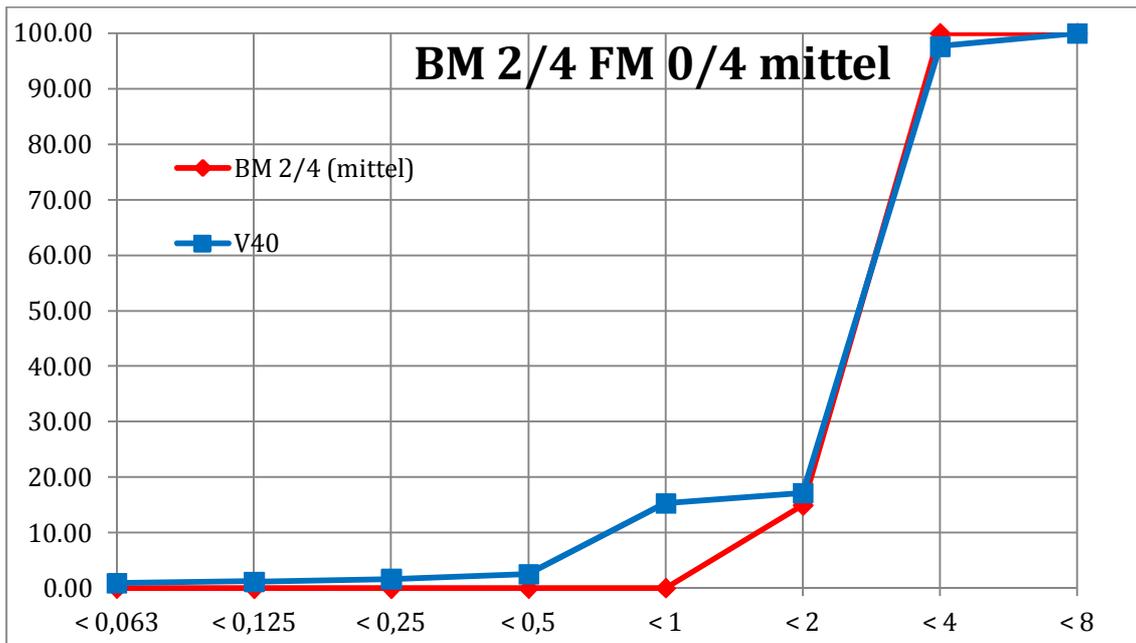
BM 2/4	FM 0/4 fein	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V15	V15(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	0.00	0.80	2.40	1.60
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	0.00	1.10	3.10	2.10
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	0.00	1.50	3.80	2.65
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	0.00	2.20	4.60	3.40
0.5 < 1	[0,5/1]	0.05	3.20	5.90	4.55
1 < 2	[1/2]	15.00	20.90	19.80	20.35
2 < 4	[2/4]	100.00	99.90	99.10	99.50
4 < 8	[4/8]	100.00	100.00	100.00	100.00



A. 22 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/4 und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 fein

Tab. 23 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/4 und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 mittel

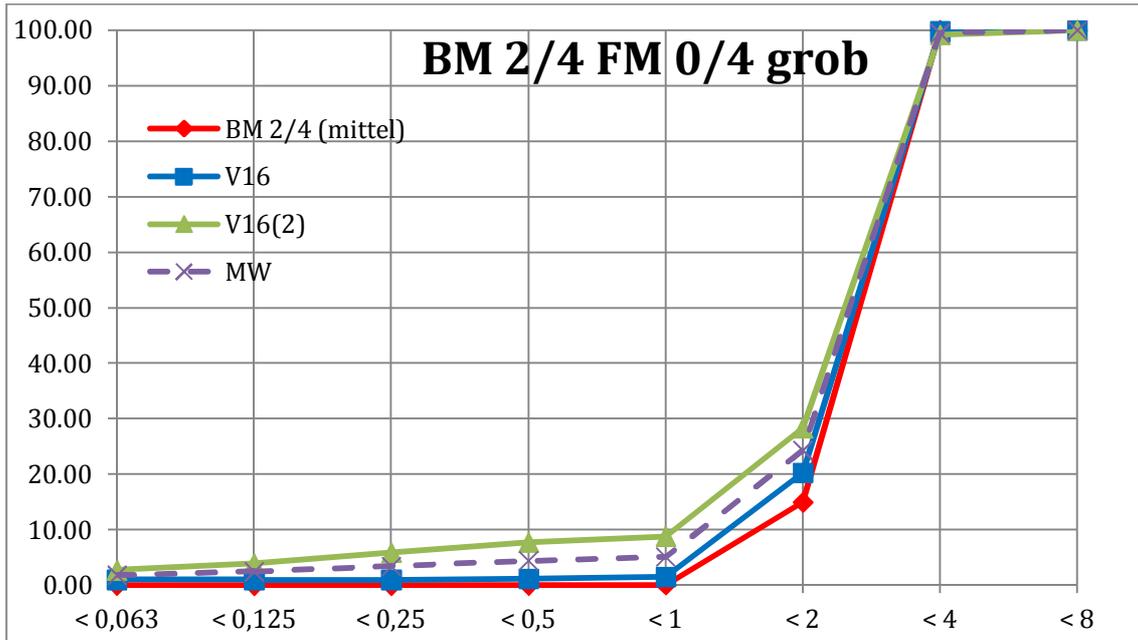
BM 2/4	FM 0/4 mittel	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V40	V40(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	0.00	0.94		0.94
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	0.00	1.19		1.19
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	0.00	1.68		1.68
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	0.00	2.53		2.53
0.5 < 1	[0,5/1]	0.05	15.29		15.29
1 < 2	[1/2]	15.00	17.21		17.21
2 < 4	[2/4]	100.00	97.63		97.63
4 < 8	[4/8]	100.00	100.00		100.00



A. 23 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/4 und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 mittel

Tab. 24 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/4 und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 grob

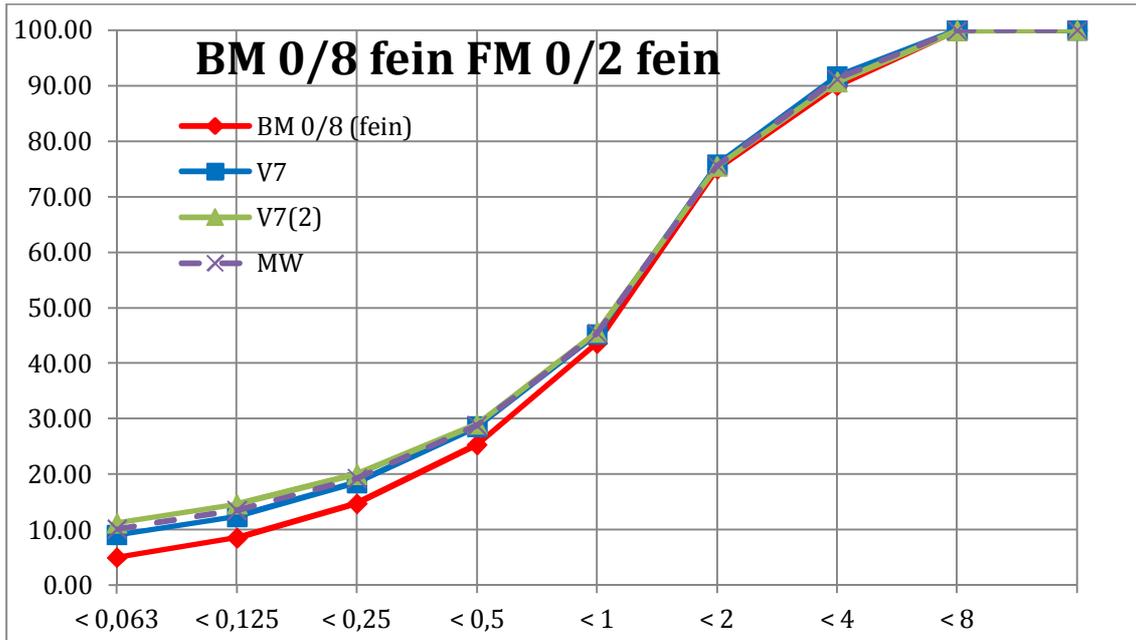
BM 2/4	FM 0/4 grob	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V16	V16(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	0.00	1.00	2.7	1.85
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	0.00	1.00	3.9	2.45
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	0.00	1.00	5.9	3.45
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	0.00	1.20	7.7	4.45
0.5 < 1	[0,5/1]	0.05	1.50	8.8	5.15
1 < 2	[1/2]	15.00	20.30	28.3	24.30
2 < 4	[2/4]	100.00	99.80	99.2	99.50
4 < 8	[4/8]	100.00	100.00	100	100.00



A. 24 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/4 und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 grob

Tab. 25 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 fein

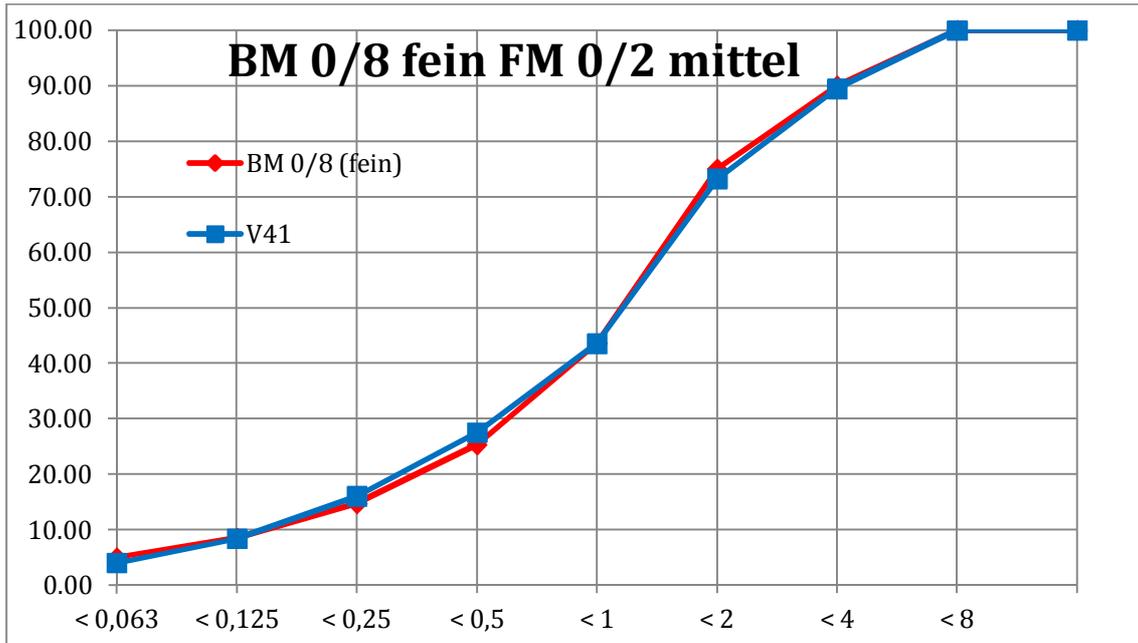
BM 0/8 fein	FM 0/2 fein	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V7	V7(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	5.00	9.10	11.20	10.15
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	8.55	12.40	14.60	13.50
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	14.72	18.50	20.00	19.25
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	25.32	28.60	29.00	28.80
0.5 < 1	[0,5/1]	43.58	45.20	45.60	45.40
1 < 2	[1/2]	75.00	75.80	75.50	75.65
2 < 4	[2/4]	90.00	91.70	90.70	91.20
4 < 8	[4/8]	100.00	100.00	99.90	99.95
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00	100.00	100.00



A. 25 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 fein

Tab. 26 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 mittel

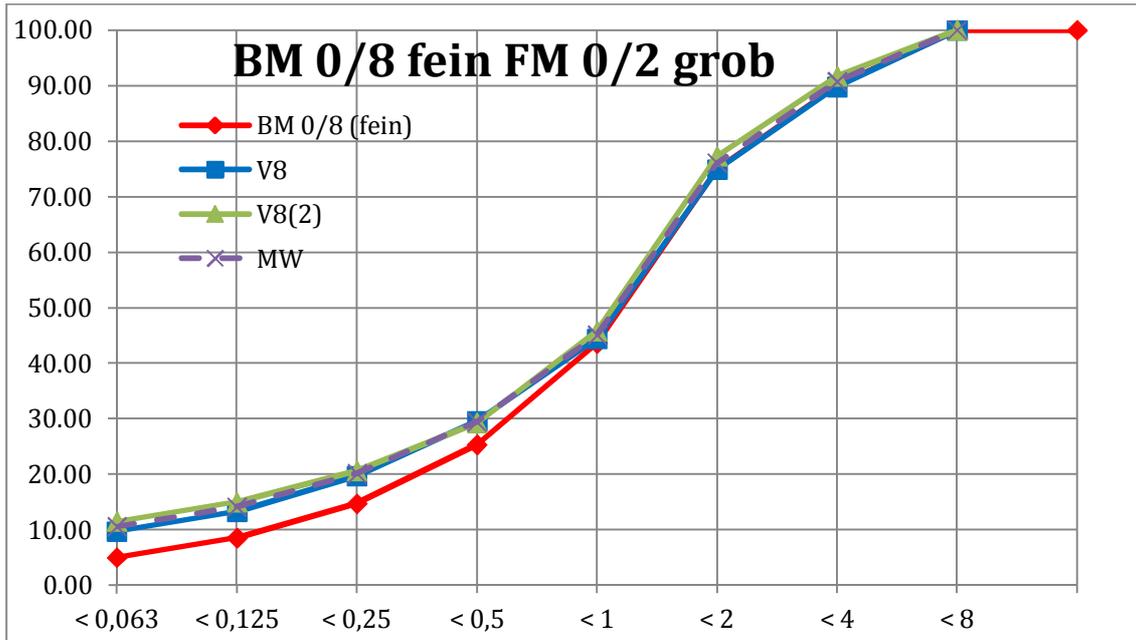
BM 0/8 fein	FM 0/2 mittel	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V41	V41(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	5.00	4.05		4.05
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	8.55	8.41		8.41
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	14.72	16.07		16.07
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	25.32	27.54		27.54
0.5 < 1	[0,5/1]	43.58	43.56		43.56
1 < 2	[1/2]	75.00	73.22		73.22
2 < 4	[2/4]	90.00	89.46		89.46
4 < 8	[4/8]	100.00	99.93		99.93
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00		100.00



A. 26 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 mittel

Tab. 27 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 grob

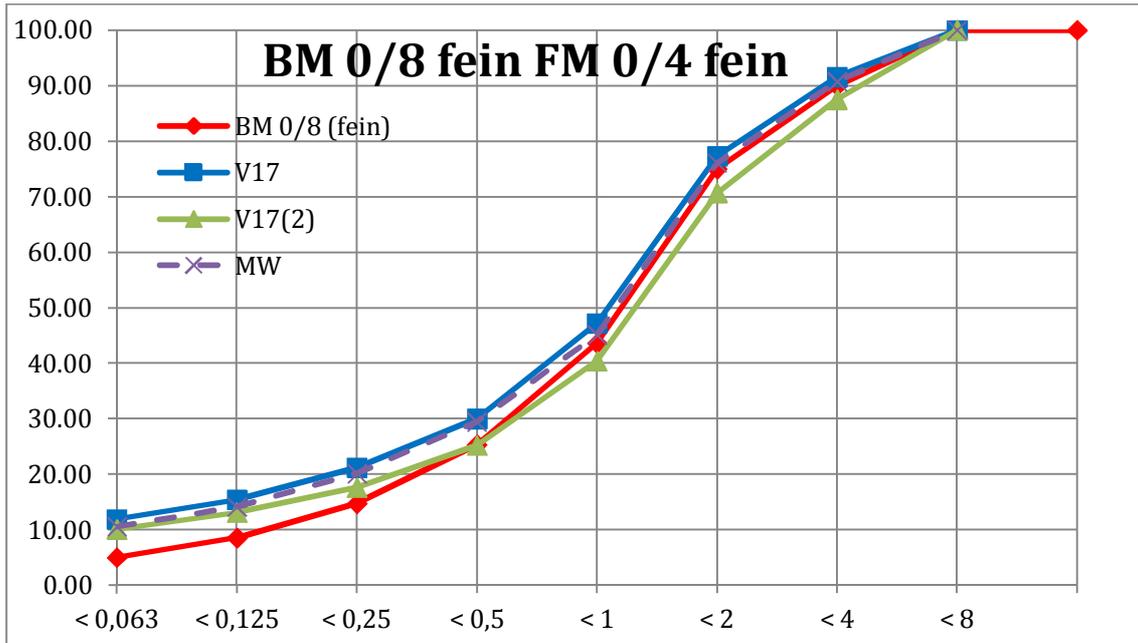
BM 0/8 fein	FM 0/2 grob	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V8	V8(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	5.00	9.70	11.50	10.60
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	8.55	13.30	15.00	14.15
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	14.72	19.70	20.60	20.15
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	25.32	29.60	29.30	29.45
0.5 < 1	[0,5/1]	43.58	44.40	45.80	45.10
1 < 2	[1/2]	75.00	74.90	77.30	76.10
2 < 4	[2/4]	90.00	89.80	91.70	90.75
4 < 8	[4/8]	100.00	100.00	100.00	100.00



A. 27 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 grob

Tab. 28 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 fein

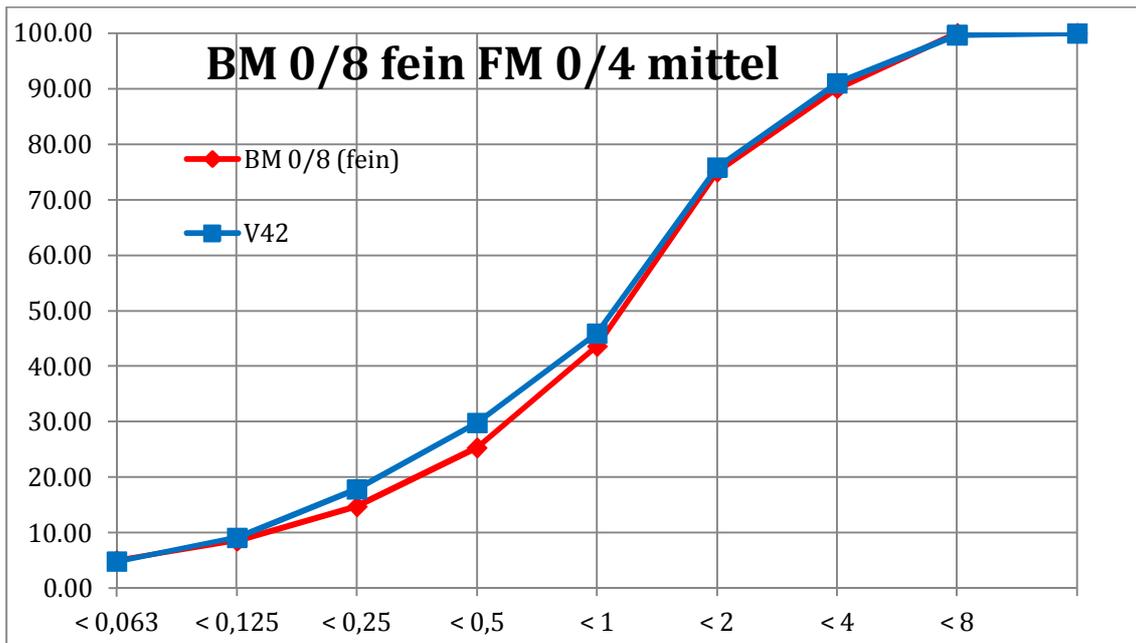
BM 0/8 fein	FM 0/4 fein	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V17	V17(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	5.00	11.90	10.10	11.00
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	8.55	15.40	13.10	14.25
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	14.72	21.20	17.60	19.40
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	25.32	30.00	25.20	27.60
0.5 < 1	[0,5/1]	43.58	47.20	40.40	43.80
1 < 2	[1/2]	75.00	77.30	70.70	74.00
2 < 4	[2/4]	90.00	91.60	87.50	89.55
4 < 8	[4/8]	100.00	100.00	100.00	100.00



A. 28 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 fein

Tab. 29- Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 mittel

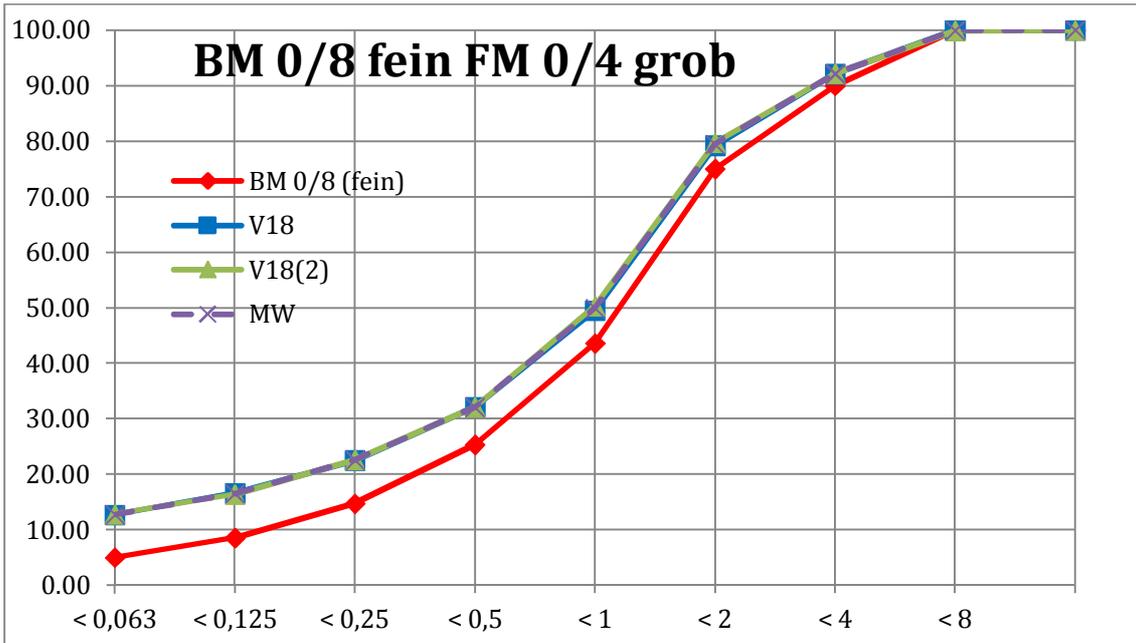
BM 0/8 fein	FM 0/4 mittel	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V42	V42(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	5.00	4.82		4.82
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	8.55	9.15		9.15
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	14.72	17.84		17.84
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	25.32	29.80		29.80
0.5 < 1	[0,5/1]	43.58	45.92		45.92
1 < 2	[1/2]	75.00	75.83		75.83
2 < 4	[2/4]	90.00	90.97		90.97
4 < 8	[4/8]	100.00	99.67		99.67
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00		100.00



A. 29 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 mittel

Tab. 30- Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 grob

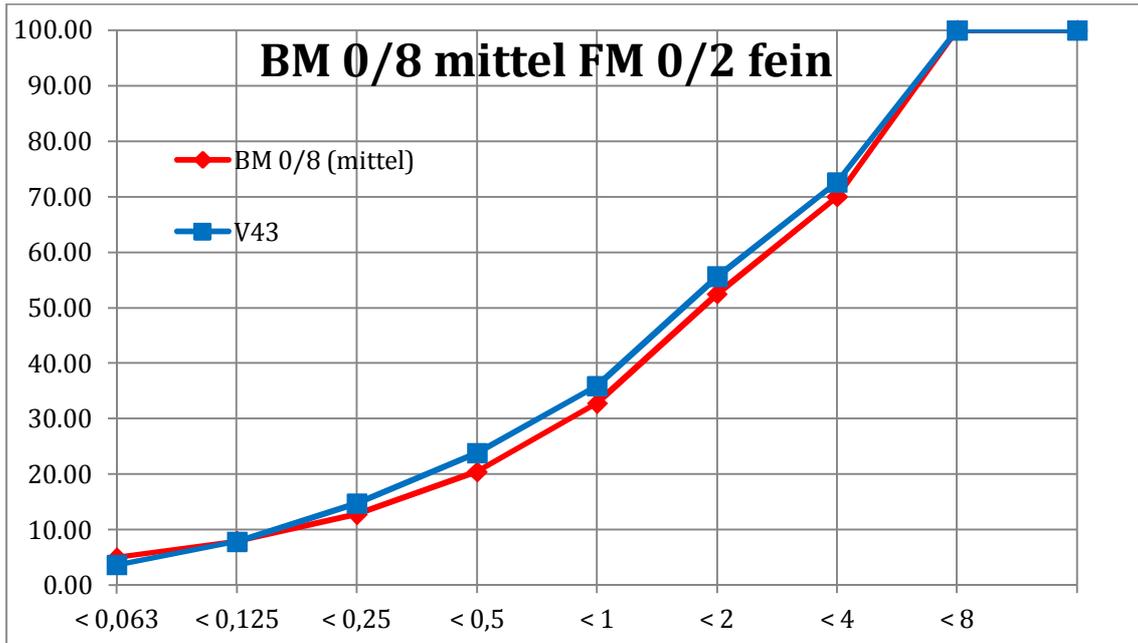
BM 0/8 fein	FM 0/4 grob	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V18	V18(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	5.00	12.70	12.80	12.75
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	8.55	16.60	16.40	16.50
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	14.72	22.50	22.60	22.55
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	25.32	32.10	32.10	32.10
0.5 < 1	[0,5/1]	43.58	49.50	50.30	49.90
1 < 2	[1/2]	75.00	79.20	79.70	79.45
2 < 4	[2/4]	90.00	92.10	92.20	92.15
4 < 8	[4/8]	100.00	100.00	99.90	99.95
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00	100.00	100.00



A. 30 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 grob

Tab. 31- Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 fein

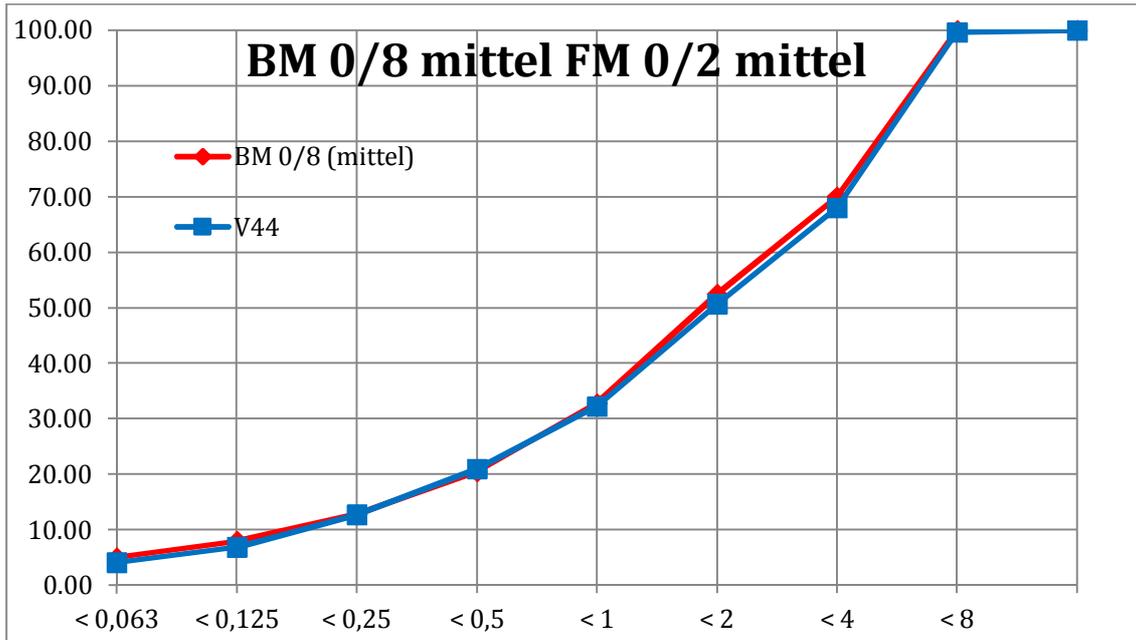
BM 0/8 mittel	FM 0/2 fein	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V43	V43(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	5.00	3.69		3.69
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	7.97	7.87		7.87
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	12.77	14.72		14.72
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	20.45	23.83		23.83
0.5 < 1	[0,5/1]	32.77	35.88		35.88
1 < 2	[1/2]	52.50	55.63		55.63
2 < 4	[2/4]	70.00	72.58		72.58
4 < 8	[4/8]	100.00	100.00		100.00
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00		100.00



A. 31 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 fein

Tab. 32- Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 mittel

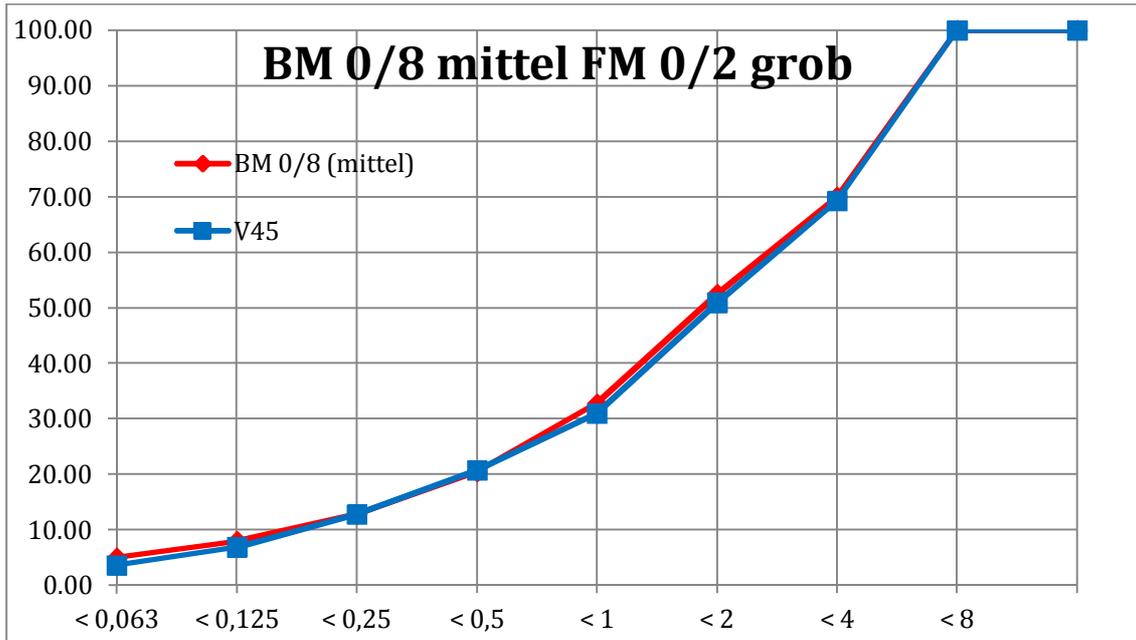
BM 0/8 mittel	FM 0/2 mittel	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V44	V44(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	5.00	4.12		4.12
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	7.97	6.87		6.87
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	12.77	12.73		12.73
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	20.45	20.98		20.98
0.5 < 1	[0,5/1]	32.77	32.20		32.20
1 < 2	[1/2]	52.50	50.68		50.68
2 < 4	[2/4]	70.00	68.00		68.00
4 < 8	[4/8]	100.00	99.60		99.60
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00		100.00



A. 32 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 mittel

Tab. 33- Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 grob

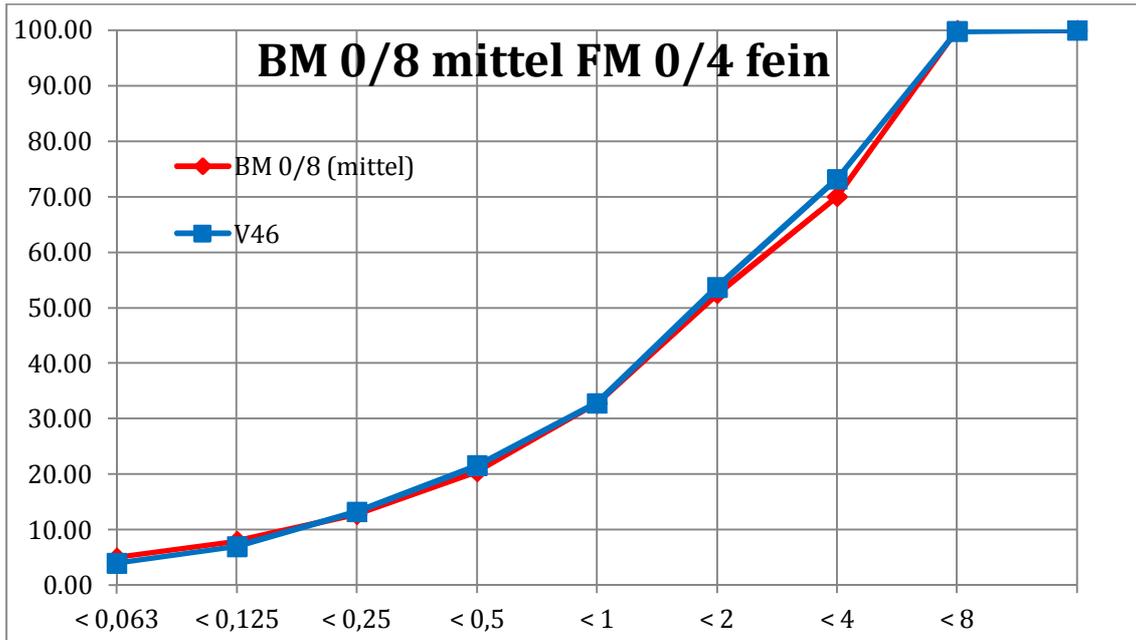
BM 0/8 mittel	FM 0/2 grob	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V45	V45(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	5.00	3.62		3.62
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	7.97	6.88		6.88
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	12.77	12.79		12.79
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	20.45	20.71		20.71
0.5 < 1	[0,5/1]	32.77	30.94		30.94
1 < 2	[1/2]	52.50	50.91		50.91
2 < 4	[2/4]	70.00	69.24		69.24
4 < 8	[4/8]	100.00	99.97		99.97
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00		100.00



A. 33 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 grob

Tab. 34- Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 fein

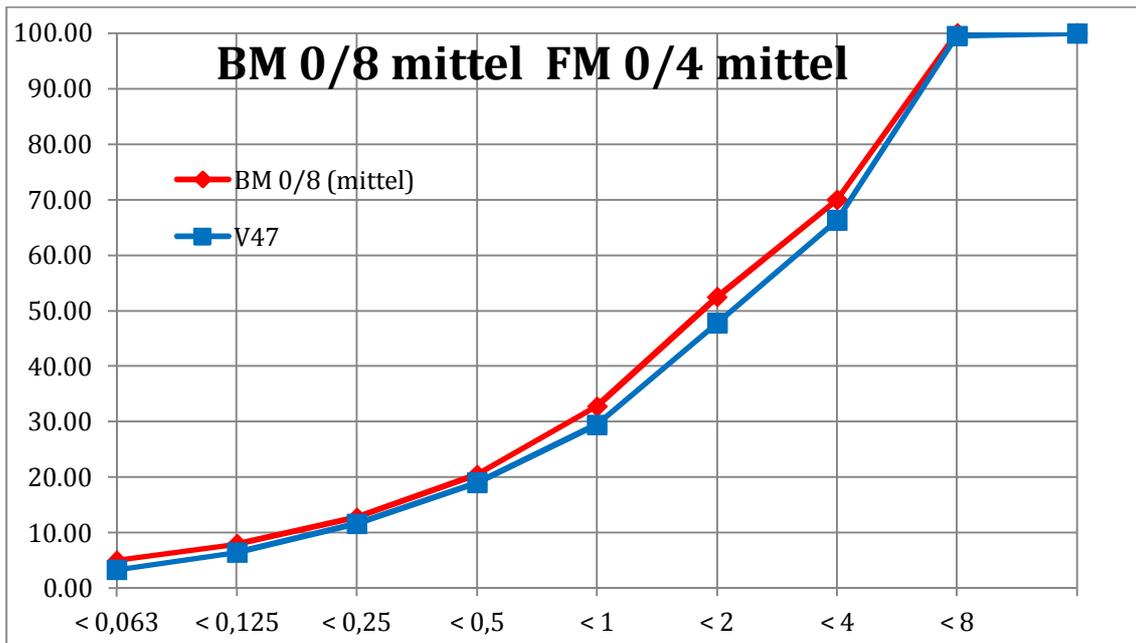
BM 0/8 (mittel)	FM 0/4 fein	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V46	V46(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	5.00	3.99		3.99
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	7.97	7.00		7.00
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	12.77	13.23		13.23
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	20.45	21.58		21.58
0.5 < 1	[0,5/1]	32.77	32.79		32.79
1 < 2	[1/2]	52.50	53.69		53.69
2 < 4	[2/4]	70.00	73.13		73.13
4 < 8	[4/8]	100.00	99.80		99.80
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00		100



A. 34 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 fein

Tab. 35- Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 mittel

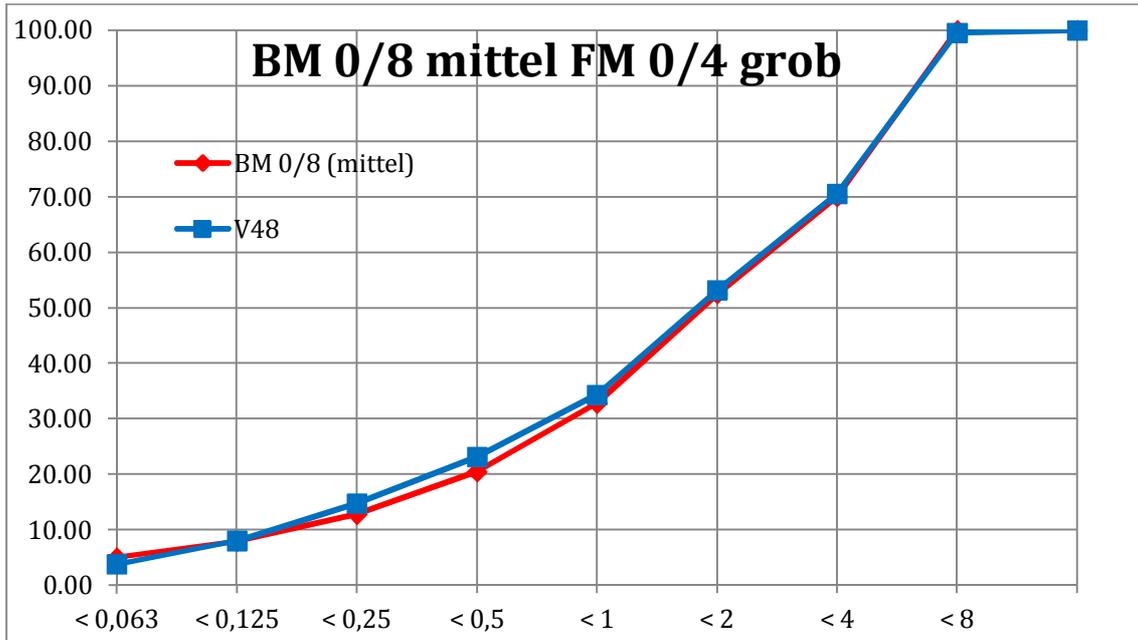
BM 0/8 mittel	FM 0/4 mittel	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V47	V47(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	5.00	3.34		3.34
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	7.97	6.44		6.44
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	12.77	11.68		11.68
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	20.45	19.07		19.07
0.5 < 1	[0,5/1]	32.77	29.47		29.47
1 < 2	[1/2]	52.50	47.80		47.80
2 < 4	[2/4]	70.00	66.32		66.32
4 < 8	[4/8]	100.00	99.55		99.55
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00		100



A. 35 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 mittel

Tab. 36- Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 grob

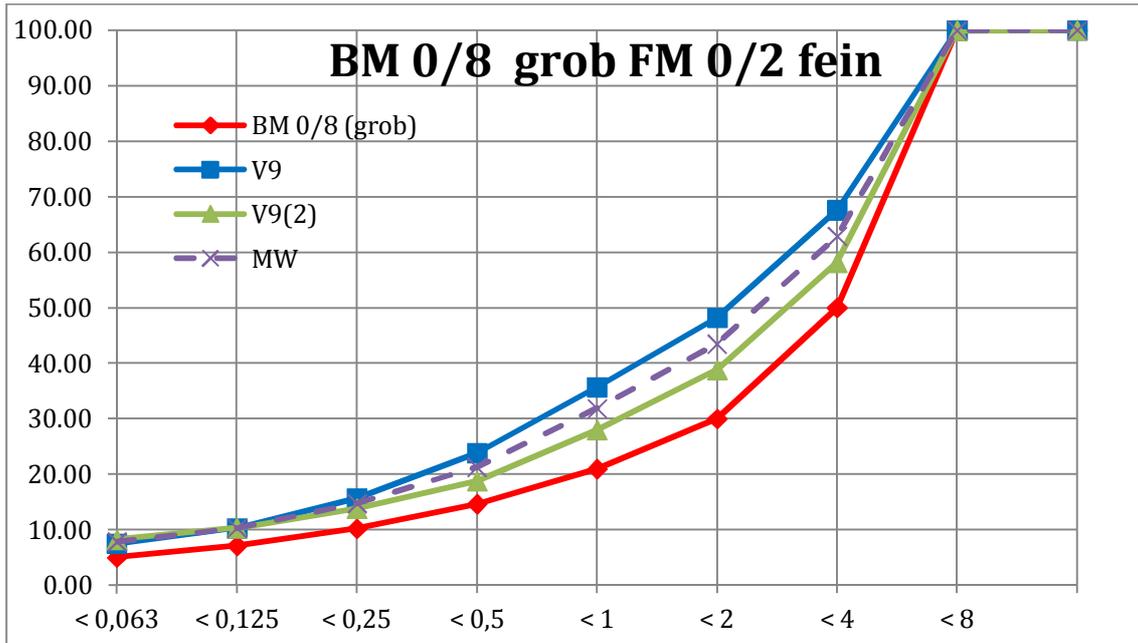
BM 0/8 mittel	FM 0/4 grob	Ausgangs- sieb- linie	Siebdurchgang M.-%		
			V48	V48(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	5.00	3.82		3.82
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	7.97	8.02		8.02
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	12.77	14.74		14.74
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	20.45	23.13		23.13
0.5 < 1	[0,5/1]	32.77	34.32		34.32
1 < 2	[1/2]	52.50	53.19		53.19
2 < 4	[2/4]	70.00	70.54		70.54
4 < 8	[4/8]	100.00	99.55		99.55
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00		100.00



A. 36 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 grob

Tab. 37- Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 fein

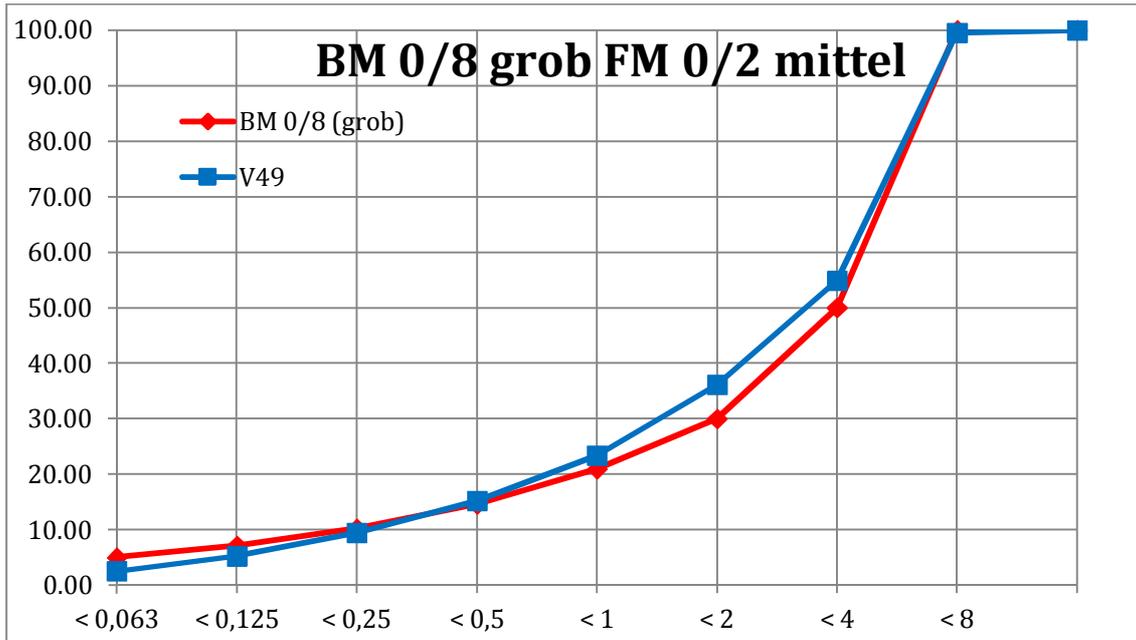
BM 0/8 grob	FM 0/2 fein	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V9	V9(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	5.00	7.50	8.2	7.85
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	7.13	10.30	10.3	10.30
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	10.21	15.70	13.8	14.75
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	14.63	23.80	18.8	21.30
0.5 < 1	[0,5/1]	20.95	35.70	28	31.85
1 < 2	[1/2]	30.00	48.20	38.8	43.50
2 < 4	[2/4]	50.00	67.60	58.1	62.85
4 < 8	[4/8]	100.00	100.00	99.9	99.95
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00	100.00	100.00



A. 37 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 fein

Tab. 38- Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 mittel

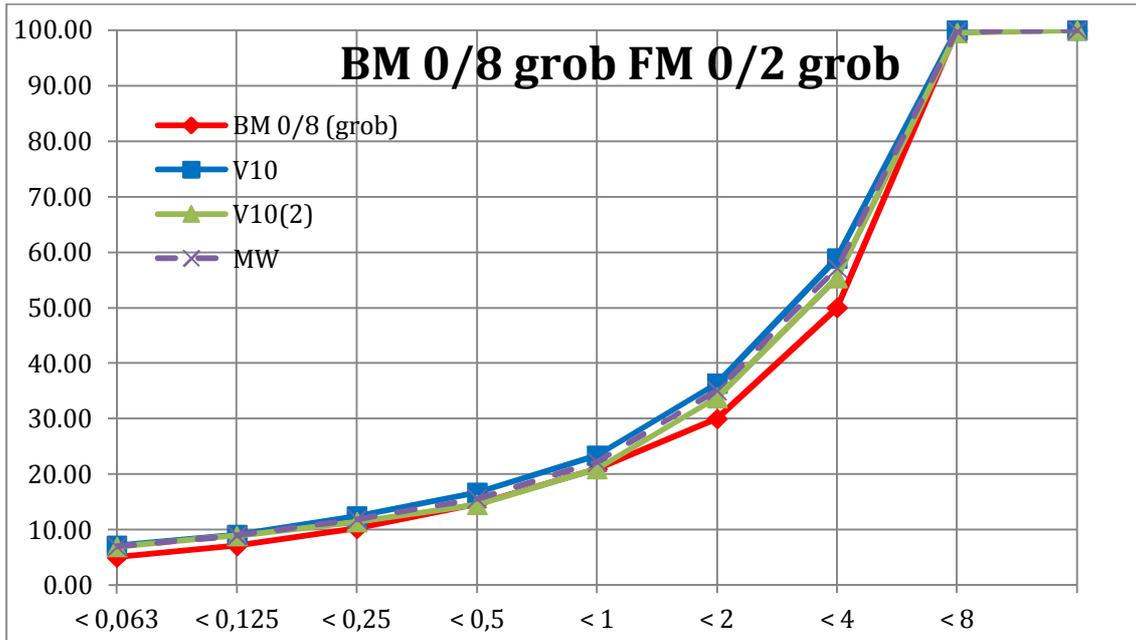
BM 0/8 grob	FM 0/2 mittel	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V49	V49(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	5.00	2.55		2.55
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	7.13	5.27		5.27
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	10.21	9.47		9.47
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	14.63	15.22		15.22
0.5 < 1	[0,5/1]	20.95	23.39		23.39
1 < 2	[1/2]	30.00	36.13		36.13
2 < 4	[2/4]	50.00	54.88		54.88
4 < 8	[4/8]	100.00	99.52		99.52
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00		100.00



A. 38 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 mittel

Tab. 39- Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 grob

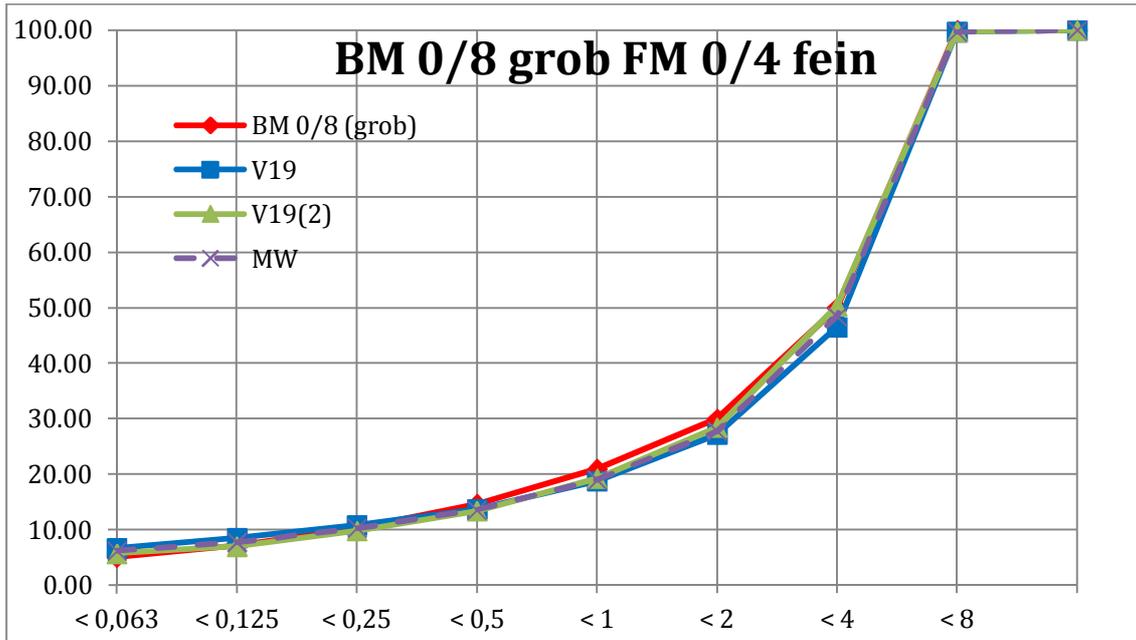
BM 0/8 grob	FM 0/2 grob	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V10	V10(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	5.00	7.10	6.90	7.00
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	7.13	9.10	8.90	9.00
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	10.21	12.40	11.40	11.90
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	14.63	16.70	14.50	15.60
0.5 < 1	[0,5/1]	20.95	23.40	21.00	22.20
1 < 2	[1/2]	30.00	36.40	33.80	35.10
2 < 4	[2/4]	50.00	58.90	55.40	57.15
4 < 8	[4/8]	100.00	100.00	99.50	99.75
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00	100.00	100.00



A. 39 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 grob

Tab. 40- Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 fein

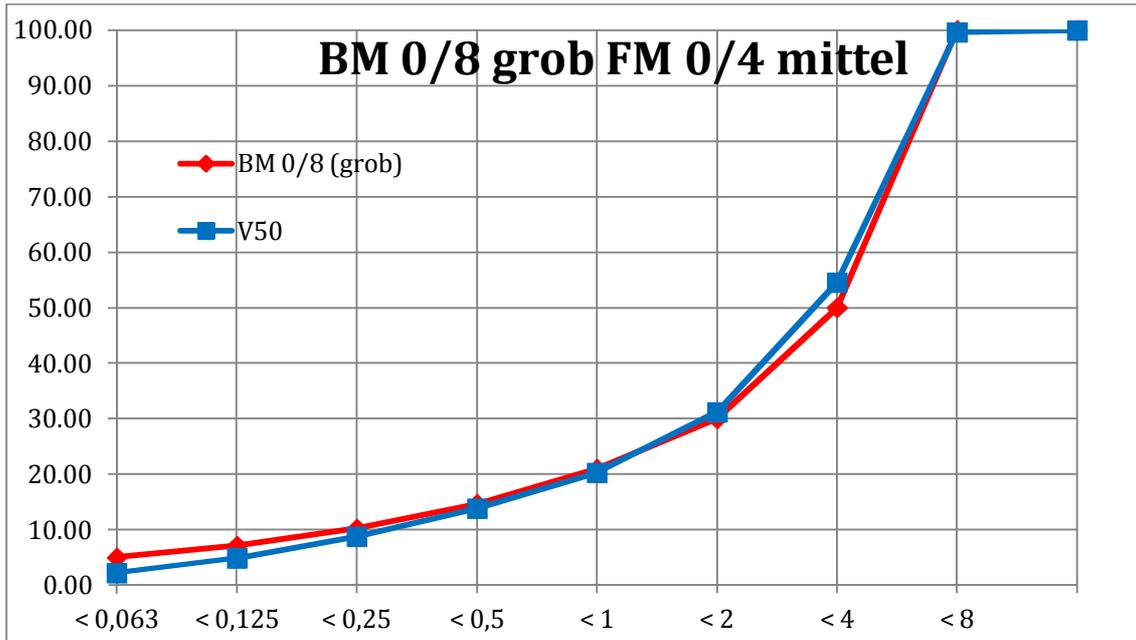
BM 0/8 grob	FM 0/4 fein	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V19	V19(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	5.00	6.70	5.7	6.20
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	7.13	8.50	7	7.75
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	10.21	10.80	9.8	10.30
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	14.63	13.70	13.4	13.55
0.5 < 1	[0,5/1]	20.95	18.80	19.2	19.00
1 < 2	[1/2]	30.00	27.20	28.4	27.80
2 < 4	[2/4]	50.00	46.50	50.3	48.40
4 < 8	[4/8]	100.00	99.70	99.7	99.70
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00	100.00	100.00



A. 40 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 fein

Tab. 41- Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 mittel

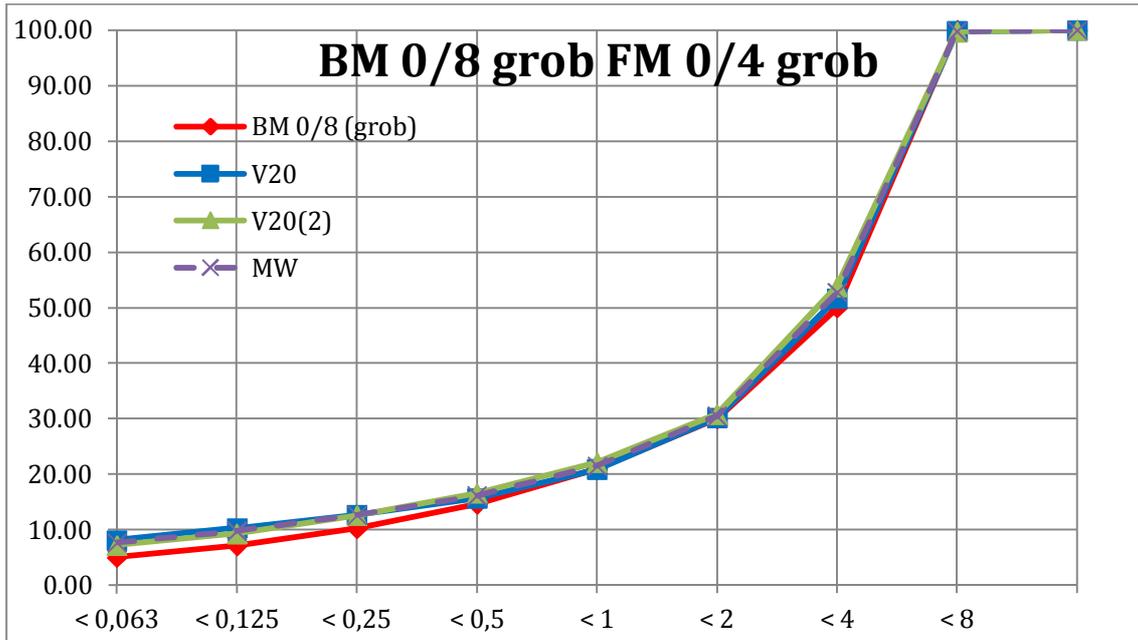
BM 0/8 grob	FM 0/4 mittel	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V50	V50(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	5.00	2.23		2.23
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	7.13	4.91		4.91
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	10.21	8.79		8.79
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	14.63	13.81		13.81
0.5 < 1	[0,5/1]	20.95	20.28		20.28
1 < 2	[1/2]	30.00	31.18		31.18
2 < 4	[2/4]	50.00	54.56		54.56
4 < 8	[4/8]	100.00	99.62		99.62
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00		100.00



A. 41 - Ausgangssieblinie von 0/8 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 mittel

Tab. 42- Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 grob

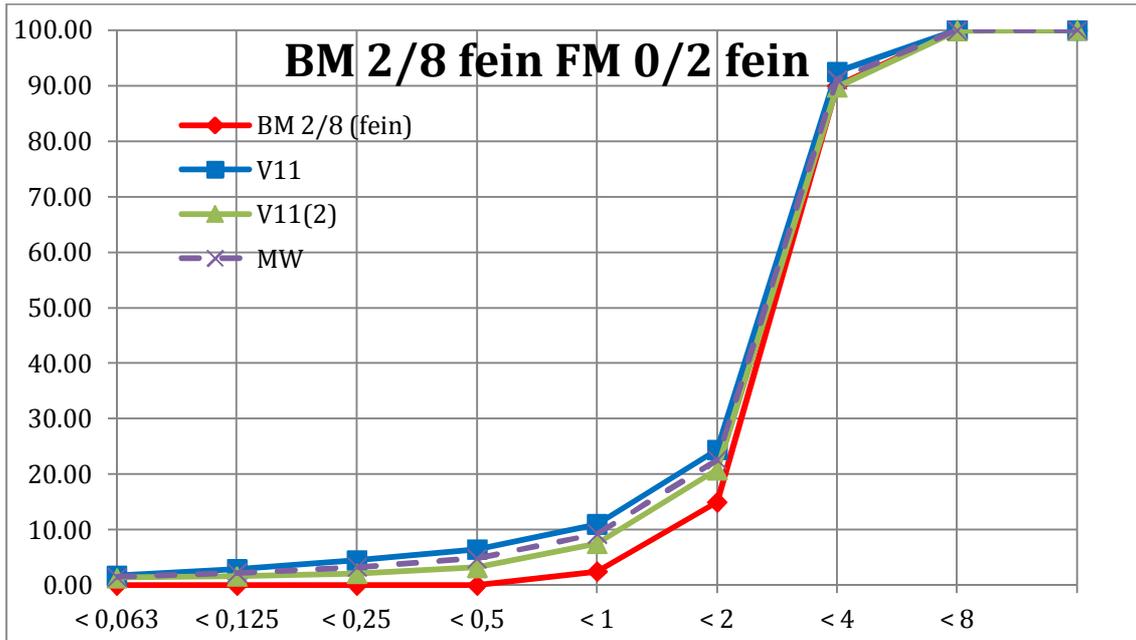
BM 0/8 grob	FM 0/4 grob	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V20	V20(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	5.00	8.10	7.2	7.65
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	7.13	10.30	9.3	9.80
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	10.21	12.70	12.6	12.65
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	14.63	15.70	16.6	16.15
0.5 < 1	[0,5/1]	20.95	20.90	22.1	21.50
1 < 2	[1/2]	30.00	30.20	30.8	30.50
2 < 4	[2/4]	50.00	51.70	53.8	52.75
4 < 8	[4/8]	100.00	99.80	99.7	99.75
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00	100.00	100.00



A. 42 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 grob

Tab. 43- Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 fein

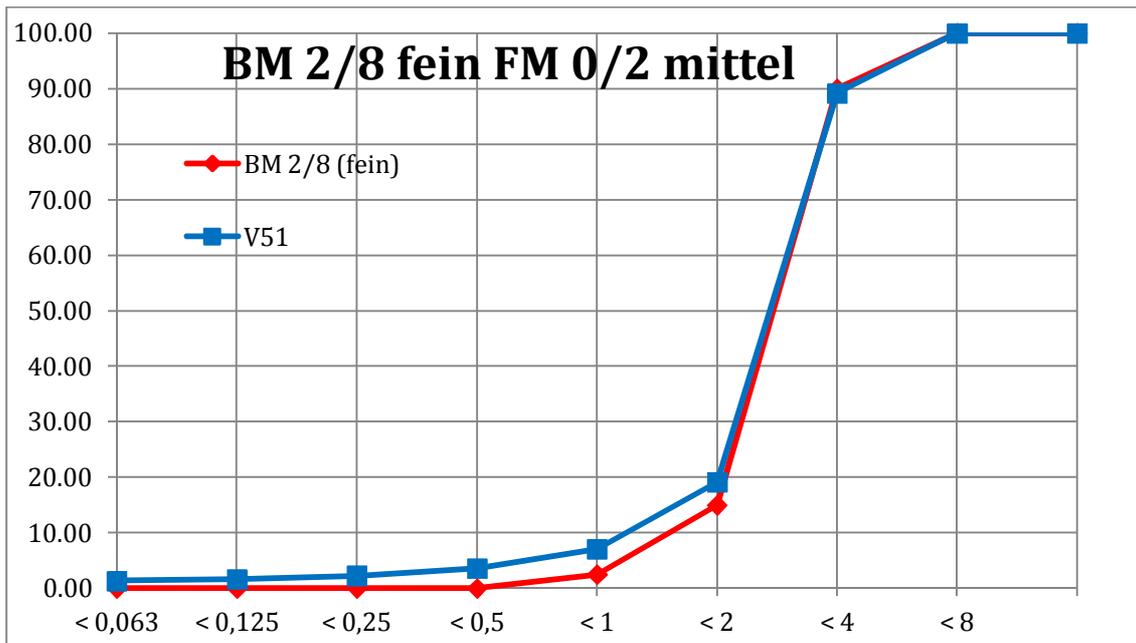
BM 2/8 fein	FM 0/2 fein	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V11	V11(2)	Mittelwert
0 <math>< 0,063</math>	[0/0,063]	0.00	1.70	1.30	1.50
0.063 <math>< 0,125</math>	[0,063/0,125]	0.00	2.90	1.60	2.25
0.125 <math>< 0,25</math>	[0,125/0,25]	0.00	4.50	2.10	3.30
0.25 <math>< 0,5</math>	[0,25/0,5]	0.00	6.50	3.20	4.85
0.5 <math>< 1</math>	[0,5/1]	2.50	11.00	7.50	9.25
1 <math>< 2</math>	[1/2]	15.00	24.40	20.80	22.60
2 <math>< 4</math>	[2/4]	90.00	92.50	89.70	91.10
4 <math>< 8</math>	[4/8]	100.00	100.00	99.90	99.95
8 <math>< 11,2</math>	[8/11,2]	100.00	100.00	100.00	100.00



A. 43 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 fein

Tab. 44 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 mittel

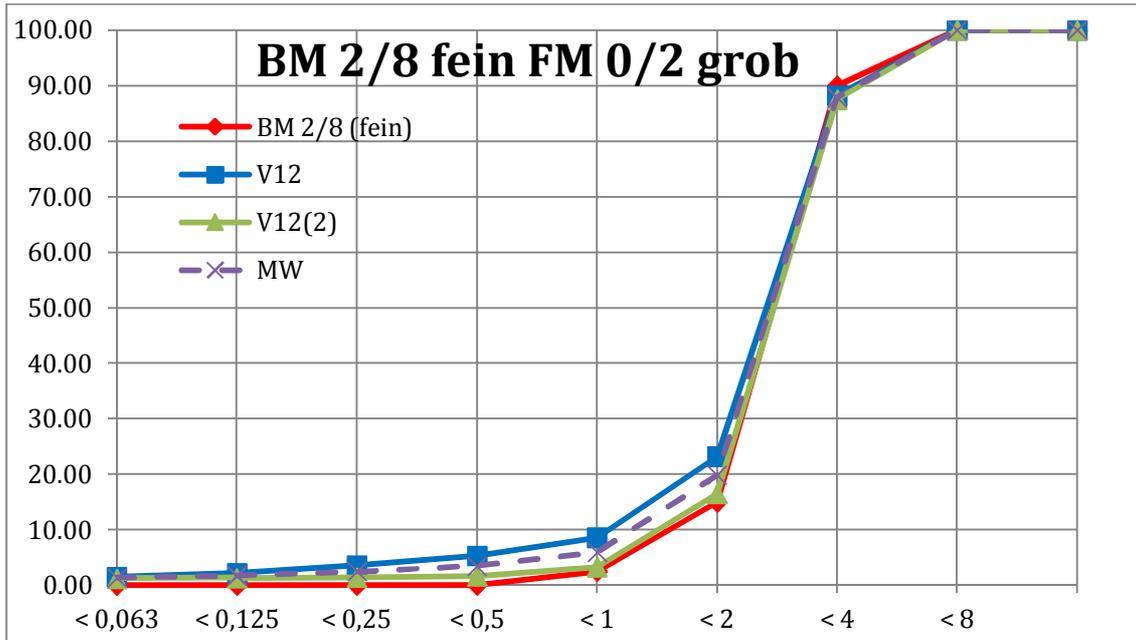
BM 2/8 fein	FM 0/2 mittel	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V51	V51(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	0.00	1.30		1.30
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	0.00	1.62		1.62
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	0.00	2.27		2.27
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	0.00	3.56		3.56
0.5 < 1	[0,5/1]	2.50	7.05		7.05
1 < 2	[1/2]	15.00	19.14		19.14
2 < 4	[2/4]	90.00	89.14		89.14
4 < 8	[4/8]	100.00	99.95		99.95
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00		100.00



A. 44 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 mittel

Tab. 45 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 grob

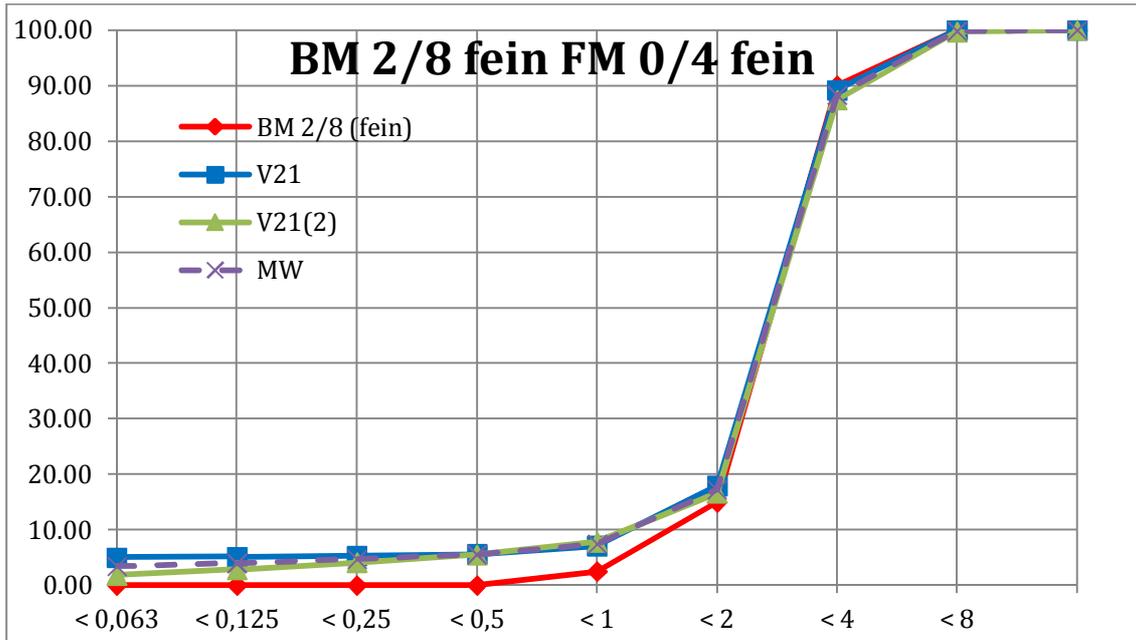
BM 2/8 fein	FM 0/2 grob	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V12	V12(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	0.00	1.50	1.20	1.35
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	0.00	2.20	1.30	1.75
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	0.00	3.60	1.40	2.50
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	0.00	5.30	1.60	3.45
0.5 < 1	[0,5/1]	2.50	8.60	3.30	5.95
1 < 2	[1/2]	15.00	23.20	16.50	19.85
2 < 4	[2/4]	90.00	88.20	87.50	87.85
4 < 8	[4/8]	100.00	100.00	100.00	100.00
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00	100.00	100.00



A. 45 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 grob

Tab. 46 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 fein

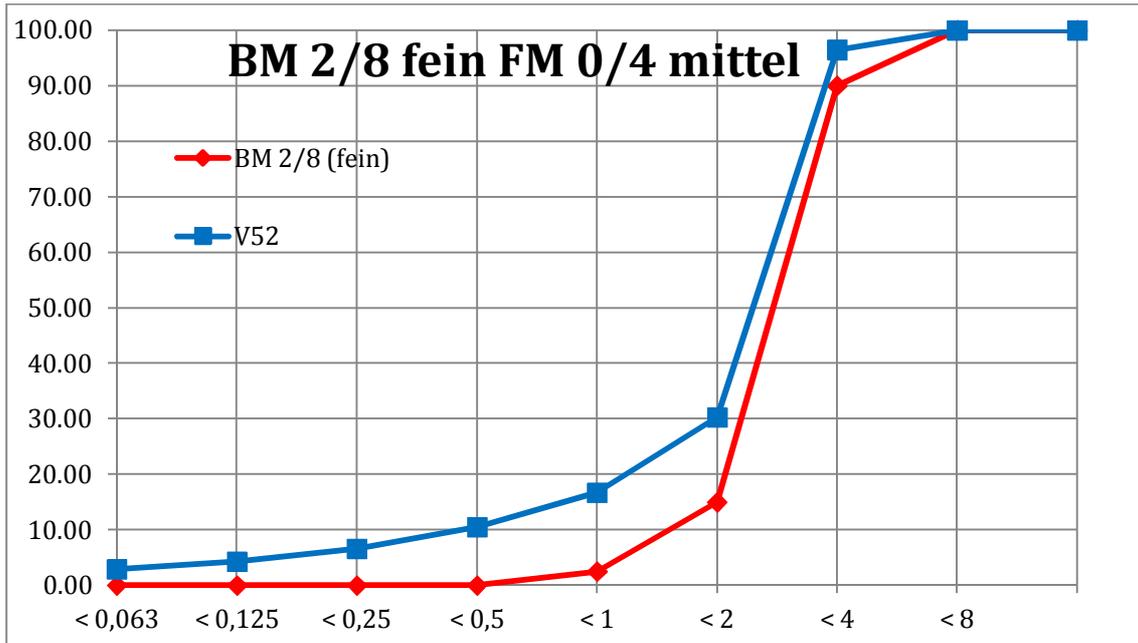
BM 2/8 fein	FM 0/4 fein	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V21	V21(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	0.00	5.00	1.80	3.40
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	0.00	5.10	2.80	3.95
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	0.00	5.30	4.10	4.70
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	0.00	5.60	5.50	5.55
0.5 < 1	[0,5/1]	2.50	7.10	7.80	7.45
1 < 2	[1/2]	15.00	17.90	16.60	17.25
2 < 4	[2/4]	90.00	89.20	87.40	88.30
4 < 8	[4/8]	100.00	100.00	99.70	99.85
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00	100.00	100.00



A. 46 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 fein

Tab. 47 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 mittel

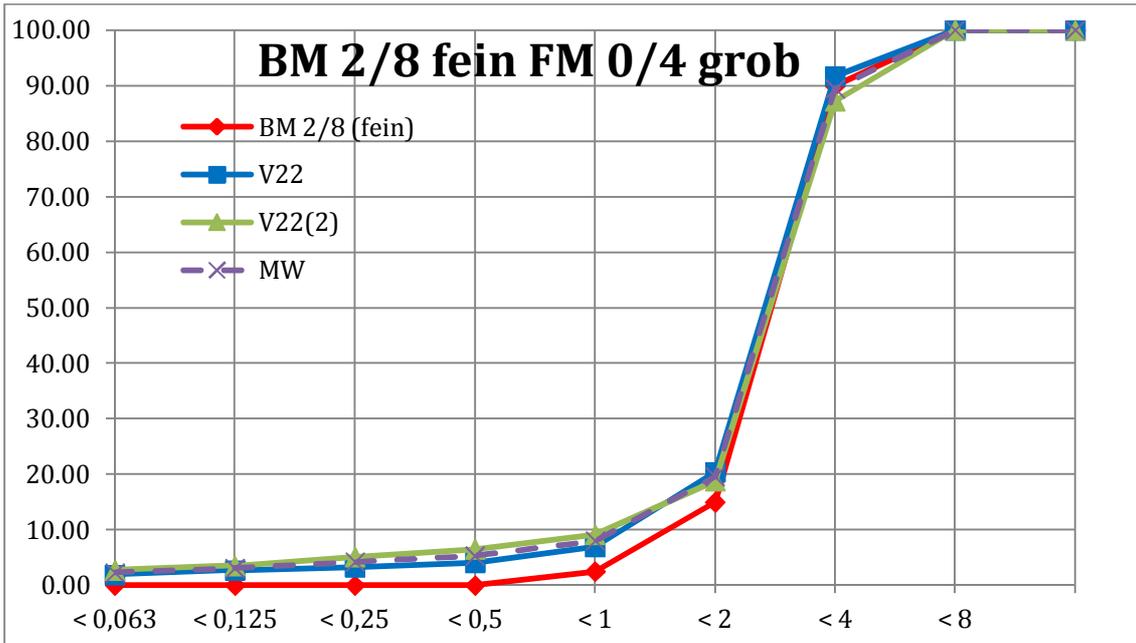
BM 2/8 fein	FM 0/4 mittel	Ausgangs- sieb- linie	Siebdurchgang M.-%		
			V52	V52(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	0.00	2.90		2.90
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	0.00	4.25		4.25
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	0.00	6.60		6.60
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	0.00	10.50		10.50
0.5 < 1	[0,5/1]	2.50	16.67		16.67
1 < 2	[1/2]	15.00	30.25		30.25
2 < 4	[2/4]	90.00	96.46		96.46
4 < 8	[4/8]	100.00	100.00		100.00
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00		100.00



A. 47 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 mittel

Tab. 48 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 grob

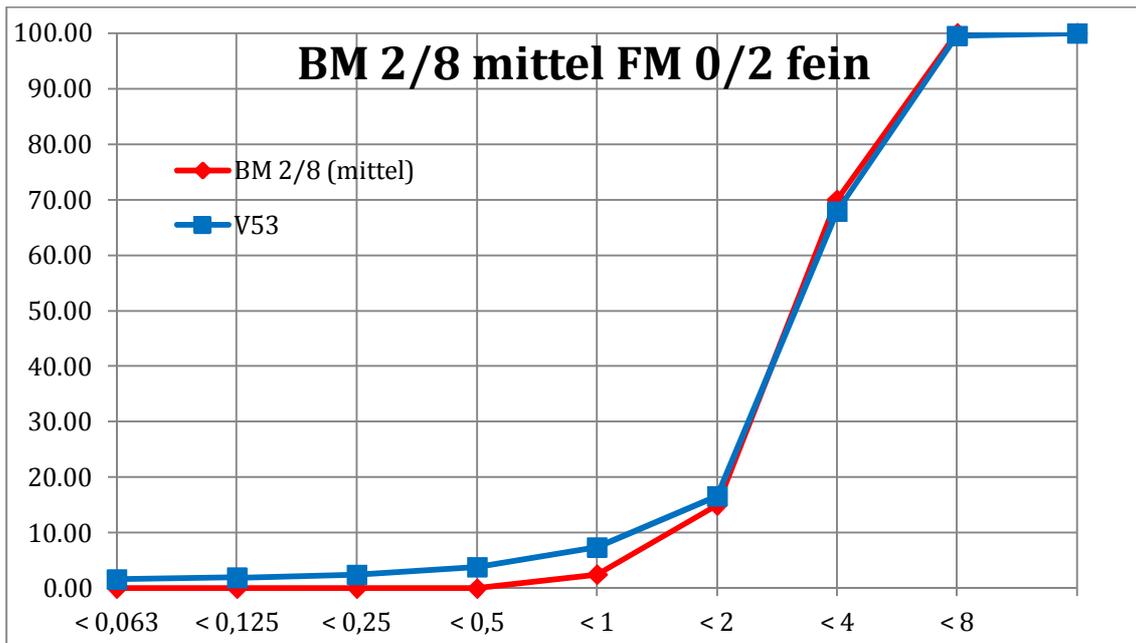
BM 2/8 fein	FM 0/4 grob	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V22	V22(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	0.00	1.90	2.70	2.30
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	0.00	2.70	3.50	3.10
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	0.00	3.30	5.10	4.20
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	0.00	4.10	6.50	5.30
0.5 < 1	[0,5/1]	2.50	6.90	9.10	8.00
1 < 2	[1/2]	15.00	20.40	18.80	19.60
2 < 4	[2/4]	90.00	91.70	87.20	89.45
4 < 8	[4/8]	100.00	100.00	100.00	100.00
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00	100.00	100.00



A. 48 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 grob

Tab. 49 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 fein

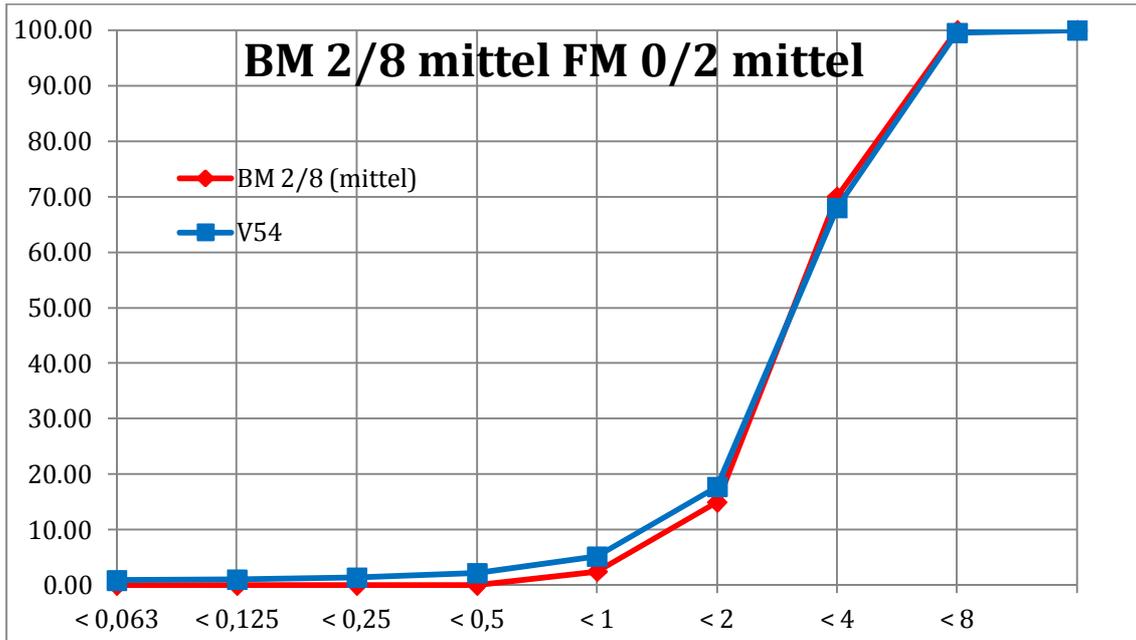
BM 2/8 mittel	FM 0/2 fein	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V53	V53(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	0.00	1.63		1.63
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	0.00	1.91		1.91
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	0.00	2.47		2.47
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	0.00	3.84		3.84
0.5 < 1	[0,5/1]	2.50	7.39		7.39
1 < 2	[1/2]	15.00	16.60		16.60
2 < 4	[2/4]	70.00	67.88		67.88
4 < 8	[4/8]	100.00	99.53		99.53
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00		100.00



A. 49 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 fein

Tab. 50 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 mittel

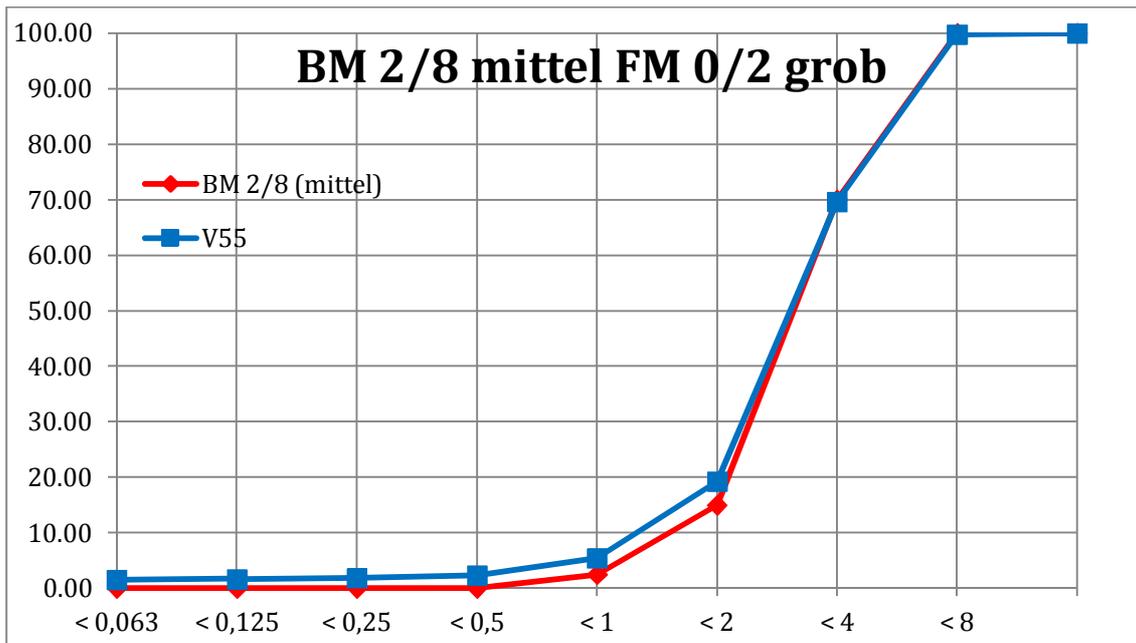
BM 2/8 mittel	FM 0/2 mittel	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V54	V54(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	0.00	0.89		0.89
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	0.00	1.05		1.05
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	0.00	1.41		1.41
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	0.00	2.20		2.20
0.5 < 1	[0,5/1]	2.50	5.17		5.17
1 < 2	[1/2]	15.00	17.75		17.75
2 < 4	[2/4]	70.00	67.96		67.96
4 < 8	[4/8]	100.00	99.55		99.55
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00		100.00



A. 50 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 mittel

Tab. 51 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 grob

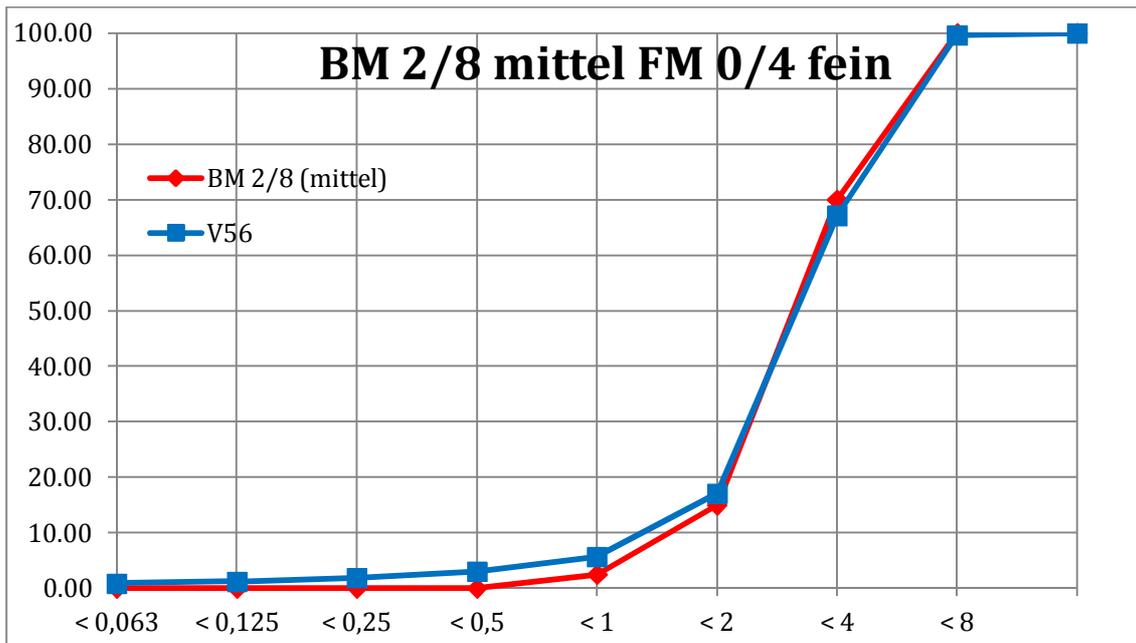
BM 2/8 mittel	FM 0/2 grob	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V55	V55(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	0.00	1.52		1.52
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	0.00	1.64		1.64
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	0.00	1.83		1.83
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	0.00	2.33		2.33
0.5 < 1	[0,5/1]	2.50	5.40		5.40
1 < 2	[1/2]	15.00	19.26		19.26
2 < 4	[2/4]	70.00	69.63		69.63
4 < 8	[4/8]	100.00	99.76		99.76
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00		100.00



A. 51 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 grob

Tab. 52 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 fein

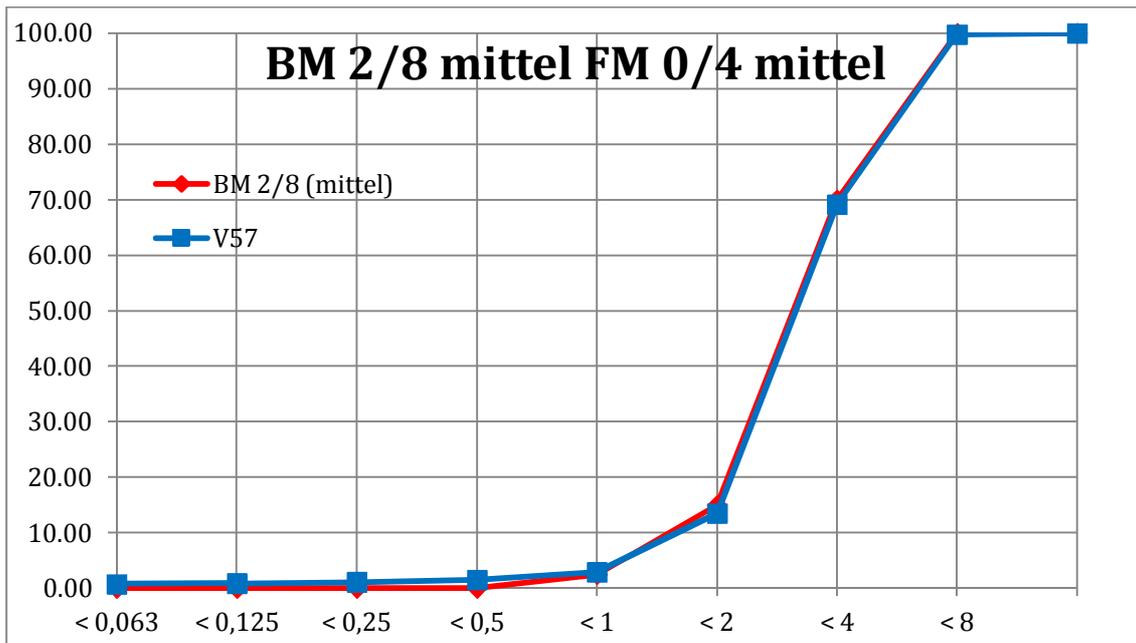
BM 2/8 mittel	FM 0/4 fein	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V56	V56(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	0.00	0.85		0.85
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	0.00	1.20		1.20
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	0.00	1.88		1.88
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	0.00	3.01		3.01
0.5 < 1	[0,5/1]	2.50	5.63		5.63
1 < 2	[1/2]	15.00	17.08		17.08
2 < 4	[2/4]	70.00	67.14		67.14
4 < 8	[4/8]	100.00	99.59		99.59
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00		100.00



A. 52 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 fein

Tab. 53 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 mittel

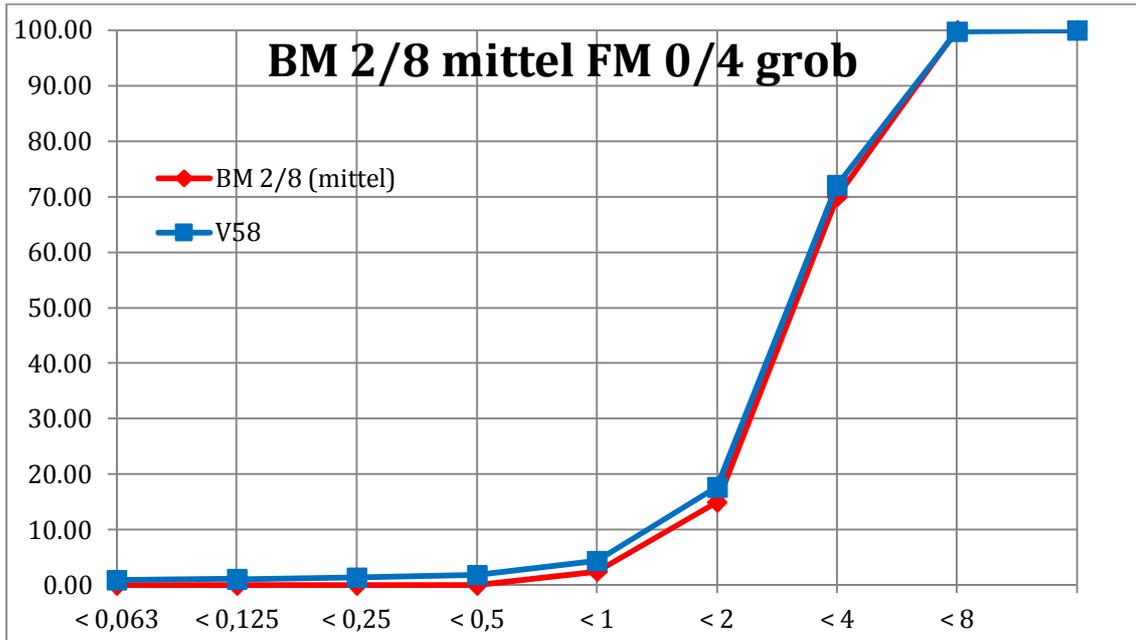
BM 2/8 mittel	FM 0/4 mittel	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V57	V57(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	0.00	0.74		0.74
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	0.00	0.88		0.88
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	0.00	1.11		1.11
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	0.00	1.48		1.48
0.5 < 1	[0,5/1]	2.50	2.91		2.91
1 < 2	[1/2]	15.00	13.50		13.50
2 < 4	[2/4]	70.00	69.13		69.13
4 < 8	[4/8]	100.00	99.76		99.76
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00		100.00



A. 53 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 mittel

Tab. 54 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 grob

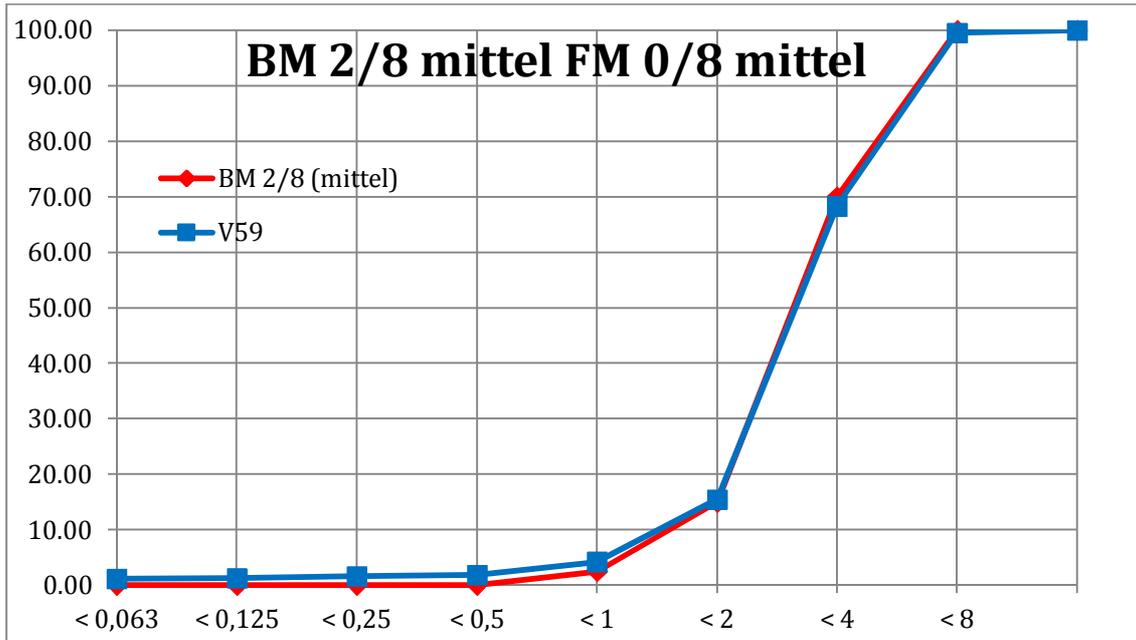
BM 2/8 mittel	FM 0/4 grob	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V58	V58(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	0.00	0.95		0.95
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	0.00	1.12		1.12
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	0.00	1.41		1.41
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	0.00	1.86		1.86
0.5 < 1	[0,5/1]	2.50	4.42		4.42
1 < 2	[1/2]	15.00	17.69		17.69
2 < 4	[2/4]	70.00	72.08		72.08
4 < 8	[4/8]	100.00	99.78		99.78
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00		100.00



A. 54 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 grob

Tab. 55 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/8 mittel

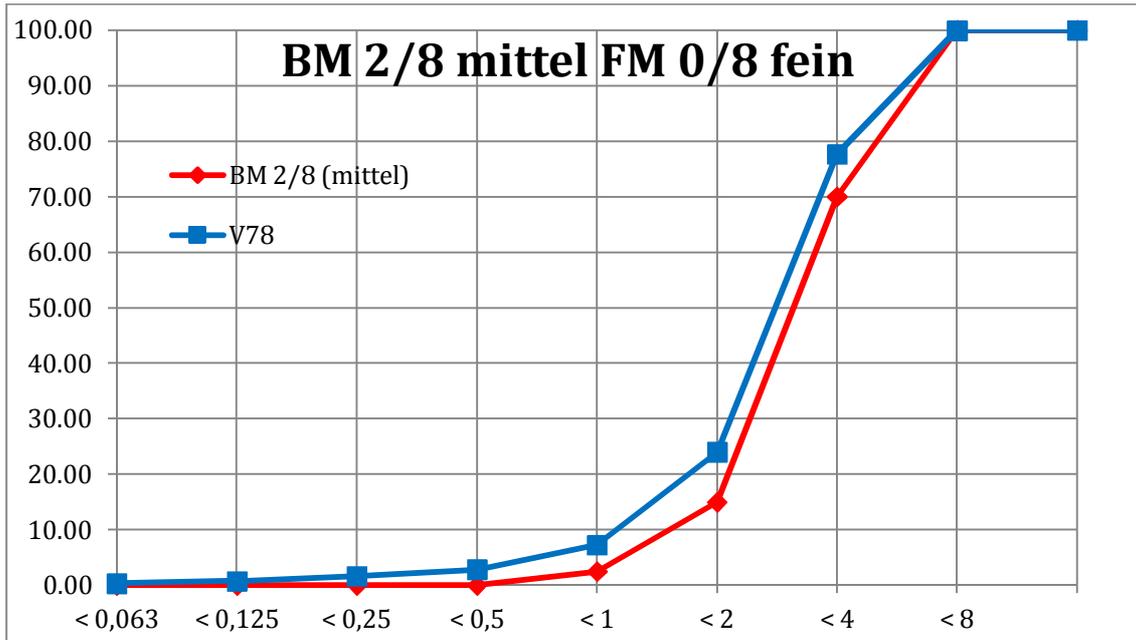
BM 2/8 mittel	FM 0/8 mittel	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V59	V59(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	0.00	1.14		1.14
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	0.00	1.28		1.28
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	0.00	1.64		1.64
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	0.00	1.91		1.91
0.5 < 1	[0,5/1]	2.50	4.22		4.22
1 < 2	[1/2]	15.00	15.47		15.47
2 < 4	[2/4]	70.00	68.30		68.30
4 < 8	[4/8]	100.00	99.50		99.50
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00		100.00



A. 55 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/8 mittel

Tab. 56 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/8 fein

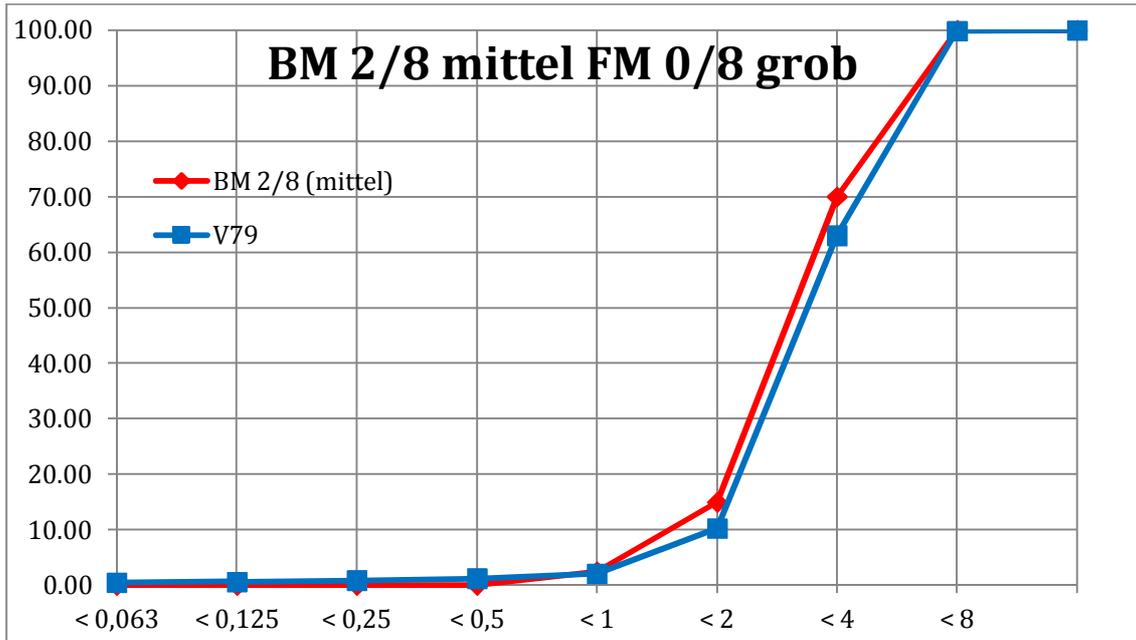
BM 2/8 mittel	FM 0/8 fein	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V78	V782)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	0.00	0.30		0.30
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	0.00	0.74		0.74
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	0.00	1.67		1.67
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	0.00	2.84		2.84
0.5 < 1	[0,5/1]	2.50	7.24		7.24
1 < 2	[1/2]	15.00	24.01		24.01
2 < 4	[2/4]	70.00	77.63		77.63
4 < 8	[4/8]	100.00	99.93		99.93
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00		100.00



A. 56 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/8 fein

Tab. 57 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/8 grob

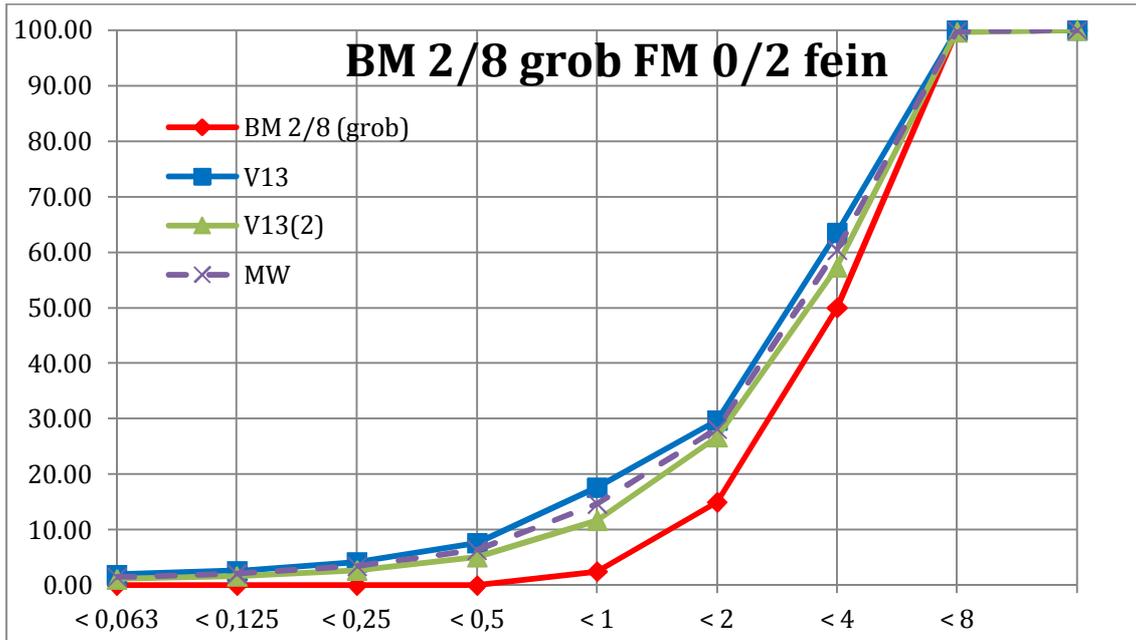
BM 2/8 mittel	FM 0/8 grob	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V79	V79(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	0.00	0.49		0.49
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	0.00	0.63		0.63
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	0.00	0.89		0.89
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	0.00	1.24		1.24
0.5 < 1	[0,5/1]	2.50	2.09		2.09
1 < 2	[1/2]	15.00	10.24		10.24
2 < 4	[2/4]	70.00	63.00		63.00
4 < 8	[4/8]	100.00	99.84		99.84
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00		100.00



A. 57 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/8 grob

Tab. 58 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 fein

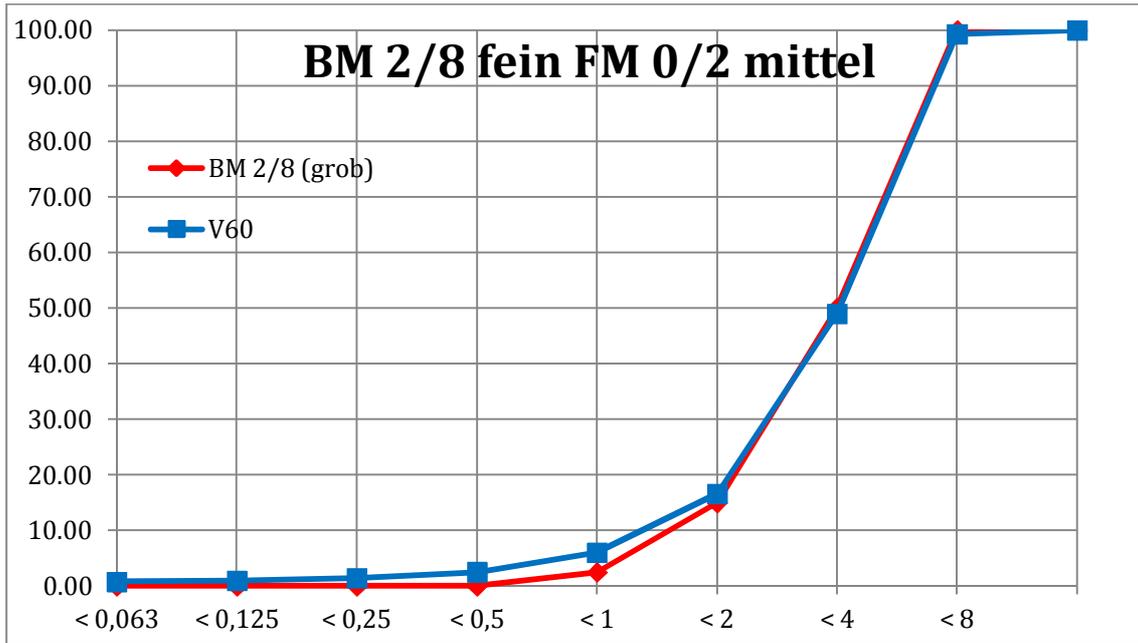
BM 2/8 grob	FM 0/2 fein	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V13	V13(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	0.00	1.90	1.10	1.50
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	0.00	2.60	1.60	2.10
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	0.00	4.20	2.70	3.45
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	0.00	7.60	5.10	6.35
0.5 < 1	[0,5/1]	2.50	17.60	11.70	14.65
1 < 2	[1/2]	15.00	29.70	26.70	28.20
2 < 4	[2/4]	50.00	63.50	57.30	60.40
4 < 8	[4/8]	100.00	100.00	99.60	99.80
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00	100.00	100.00



A. 58 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 fein

Tab. 59 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 mittel

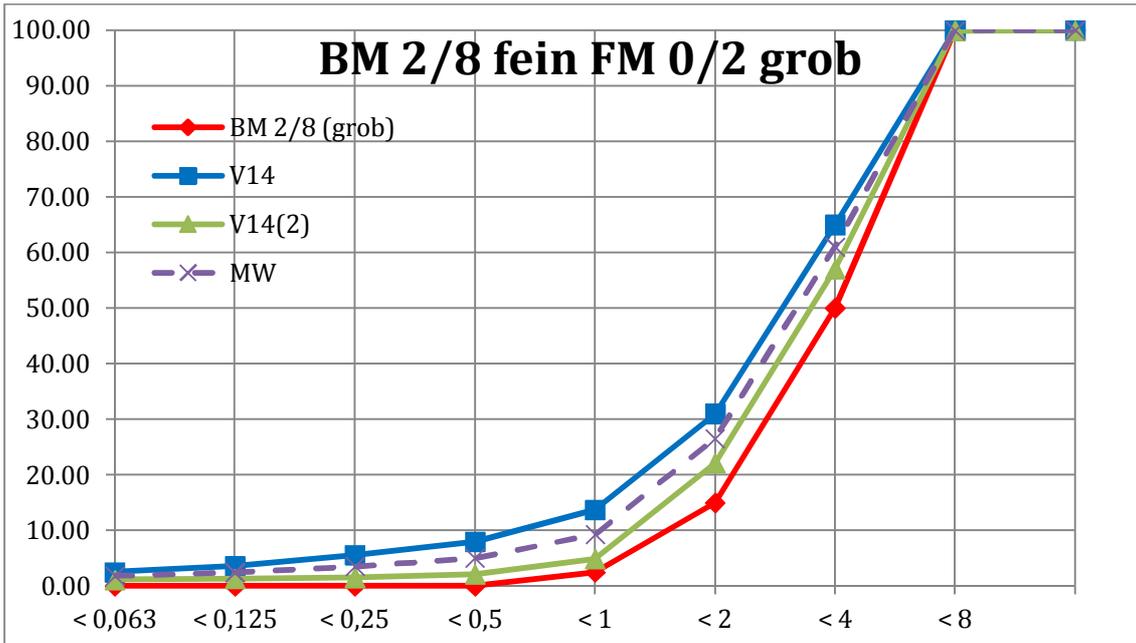
BM 2/8 grob	FM 0/2 mittel	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V60	V60(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	0.00	0.76		0.76
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	0.00	0.97		0.97
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	0.00	1.46		1.46
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	0.00	2.51		2.51
0.5 < 1	[0,5/1]	2.50	6.02		6.02
1 < 2	[1/2]	15.00	16.56		16.56
2 < 4	[2/4]	50.00	49.02		49.02
4 < 8	[4/8]	100.00	99.32		99.32
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00		100.00



A. 59 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 mittel

Tab. 60 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 grob

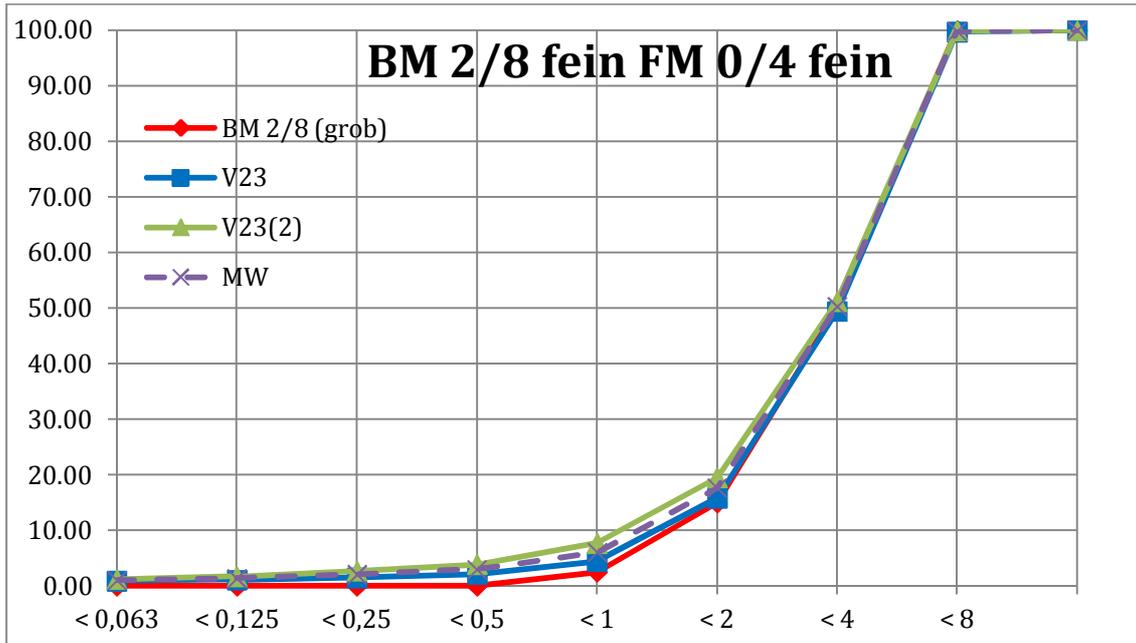
BM 2/8 grob	FM 0/2 grob	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V14	V14(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	0.00	2.50	1.10	1.80
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	0.00	3.60	1.30	2.45
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	0.00	5.60	1.50	3.55
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	0.00	8.00	2.10	5.05
0.5 < 1	[0,5/1]	2.50	13.70	4.90	9.30
1 < 2	[1/2]	15.00	31.00	22.10	26.55
2 < 4	[2/4]	50.00	65.00	57.00	61.00
4 < 8	[4/8]	100.00	100.00	99.90	99.95
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00	100.00	100.00



A. 60 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 grob

Tab. 61 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 fein

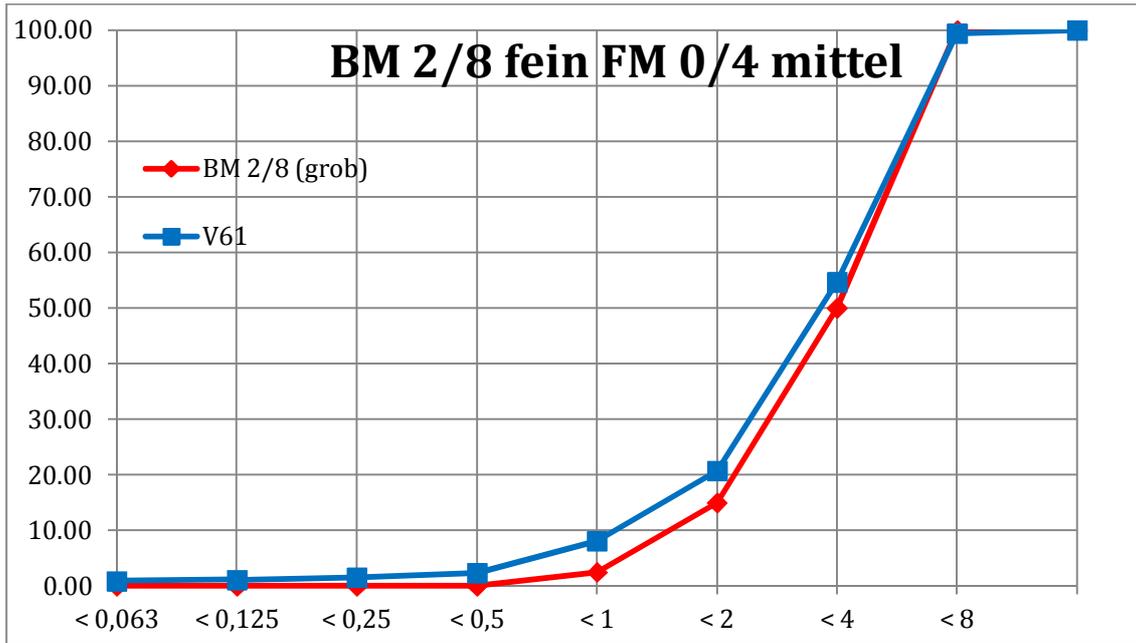
BM 2/8 grob	FM 0/4 fein	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V23	V23(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	0.00	0.90	1.20	1.05
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	0.00	1.10	1.70	1.40
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	0.00	1.50	2.70	2.10
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	0.00	2.10	3.90	3.00
0.5 < 1	[0,5/1]	2.50	4.40	7.70	6.05
1 < 2	[1/2]	15.00	15.80	19.50	17.65
2 < 4	[2/4]	50.00	49.40	51.20	50.30
4 < 8	[4/8]	100.00	99.70	99.90	99.80
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00	100.00	100.00



A. 61 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 fein

Tab. 62 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 mittel

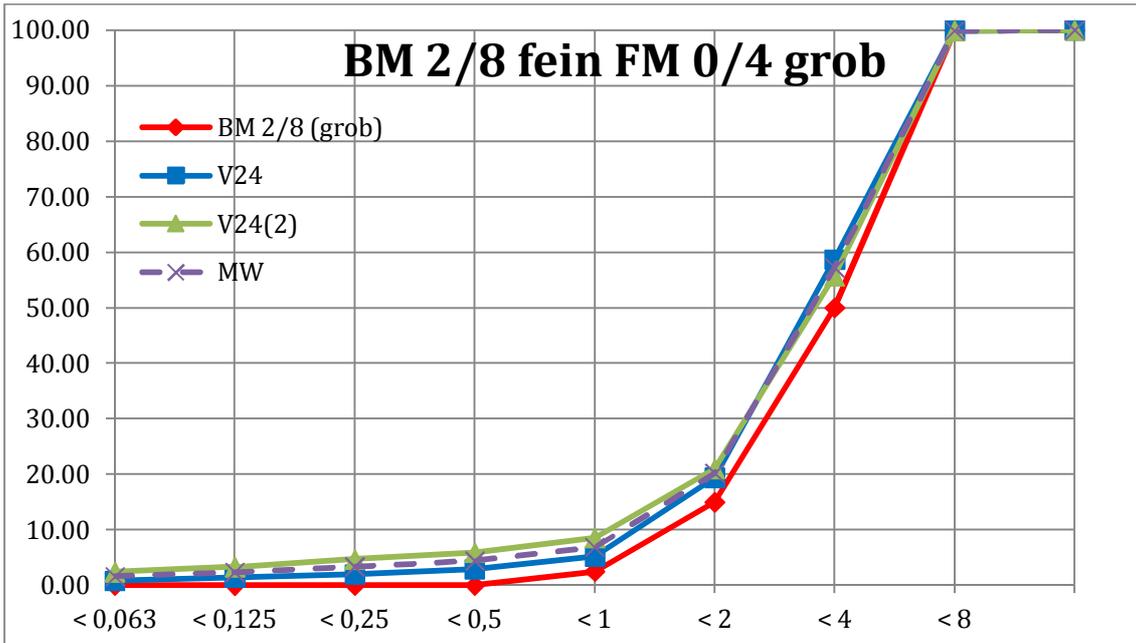
BM 2/8 grob	FM 0/4 mittel	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V61	V61(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	0.00	0.88		0.88
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	0.00	1.12		1.12
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	0.00	1.55		1.55
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	0.00	2.35		2.35
0.5 < 1	[0,5/1]	2.50	8.12		8.12
1 < 2	[1/2]	15.00	20.73		20.73
2 < 4	[2/4]	50.00	54.68		54.68
4 < 8	[4/8]	100.00	99.41		99.41
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00		100.00



A. 62 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 mittel

Tab. 63 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 grob

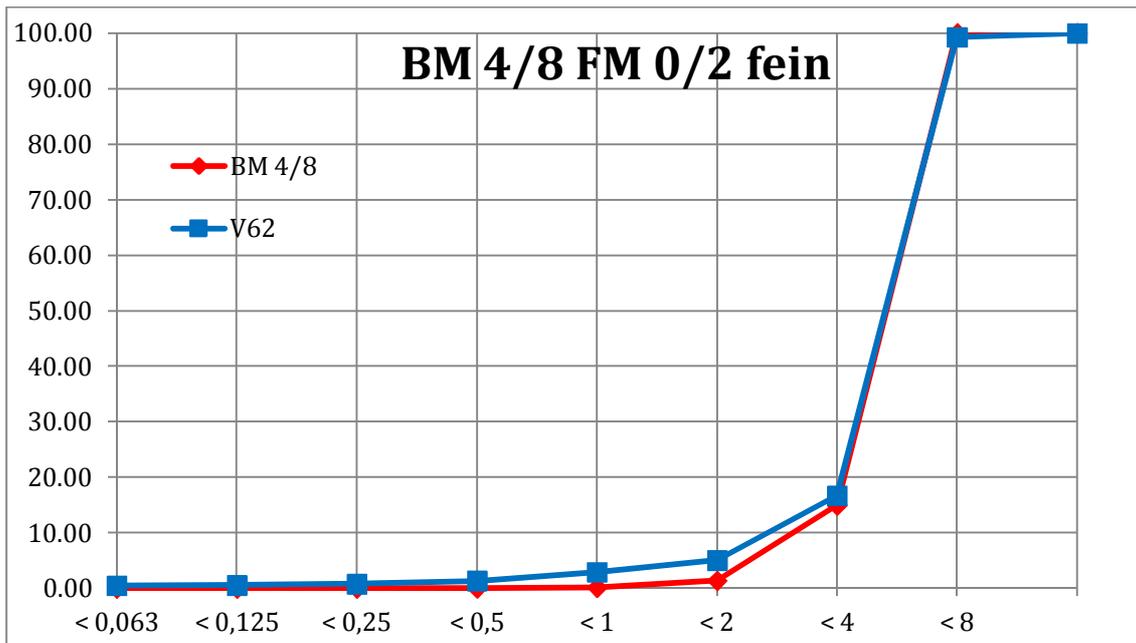
BM 2/8 grob	FM 0/4 grob	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V24	V24(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	0.00	0.80	2.40	1.60
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	0.00	1.40	3.30	2.35
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	0.00	2.00	4.70	3.35
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	0.00	2.90	5.90	4.40
0.5 < 1	[0,5/1]	2.50	5.20	8.50	6.85
1 < 2	[1/2]	15.00	19.40	21.00	20.20
2 < 4	[2/4]	50.00	58.70	55.70	57.20
4 < 8	[4/8]	100.00	99.90	99.90	99.90
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00	100.00	100.00



A. 63 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 2/8 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 grob

Tab. 64 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 4/8 und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 fein

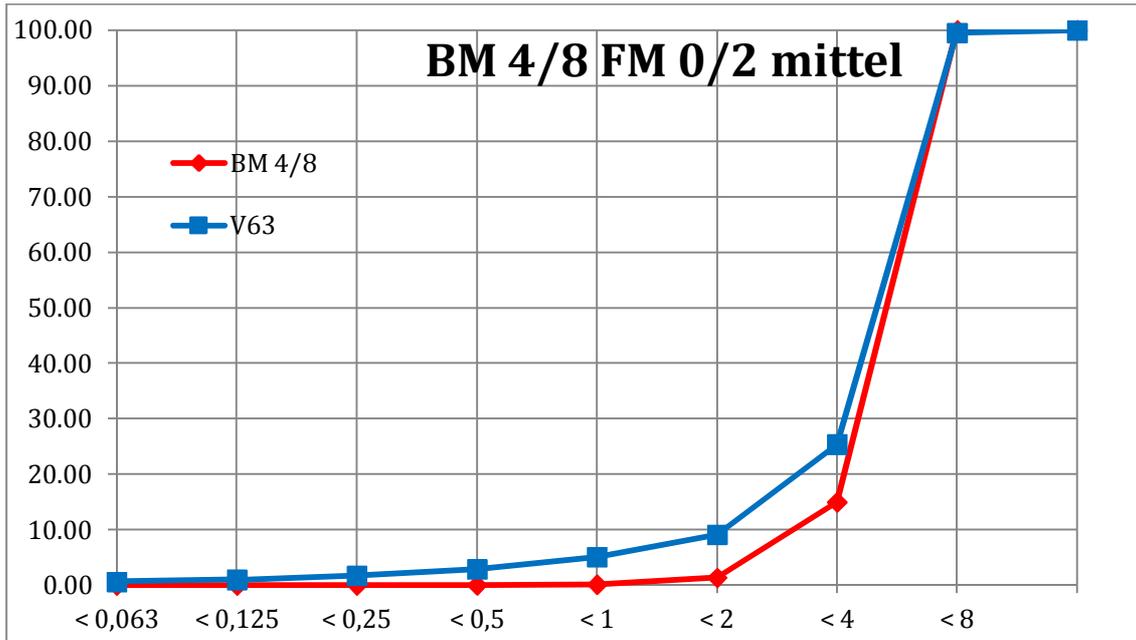
BM 4/8	FM 0/2 fein	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V62	V62(2)	Mittelwert
0 < 0,063	[0/0,063]	0.00	0.48		0.48
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	0.00	0.56		0.56
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	0.00	0.79		0.79
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	0.01	1.34		1.34
0.5 < 1	[0,5/1]	0.13	2.94		2.94
1 < 2	[1/2]	1.38	5.04		5.04
2 < 4	[2/4]	15.00	16.68		16.68
4 < 8	[4/8]	100.00	99.25		99.25
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00		100.00



A. 64 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 4/8 und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 fein

Tab. 65 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 4/8 und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 mittel

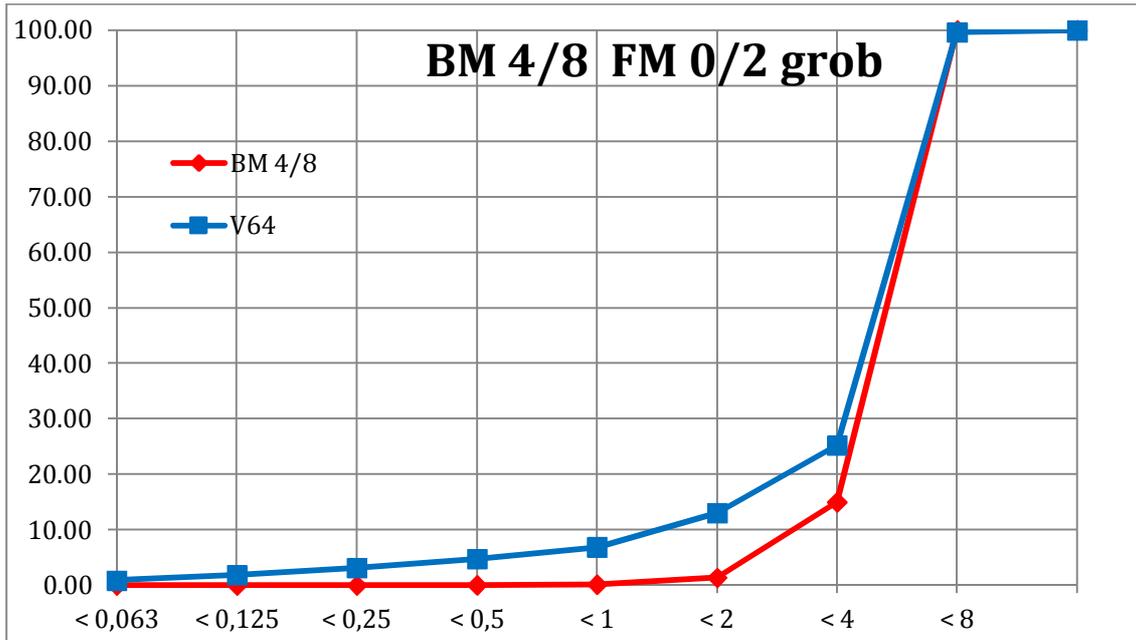
BM 4/8	FM 0/2 mittel	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V63	V63(2)	MW
0 <math>< 0,063</math>	[0/0,063]	0.00	0.64		0.64
0.063 <math>< 0,125</math>	[0,063/0,125]	0.00	1.00		1.00
0.125 <math>< 0,25</math>	[0,125/0,25]	0.00	1.73		1.73
0.25 <math>< 0,5</math>	[0,25/0,5]	0.01	2.90		2.90
0.5 <math>< 1</math>	[0,5/1]	0.13	5.10		5.10
1 <math>< 2</math>	[1/2]	1.38	9.13		9.13
2 <math>< 4</math>	[2/4]	15.00	25.37		25.37
4 <math>< 8</math>	[4/8]	100.00	99.51		99.51
8 <math>< 11,2</math>	[8/11,2]	100.00	100.00		100.00



A. 65 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 4/8 und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 mittel

Tab. 66 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 4/8 und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 frob

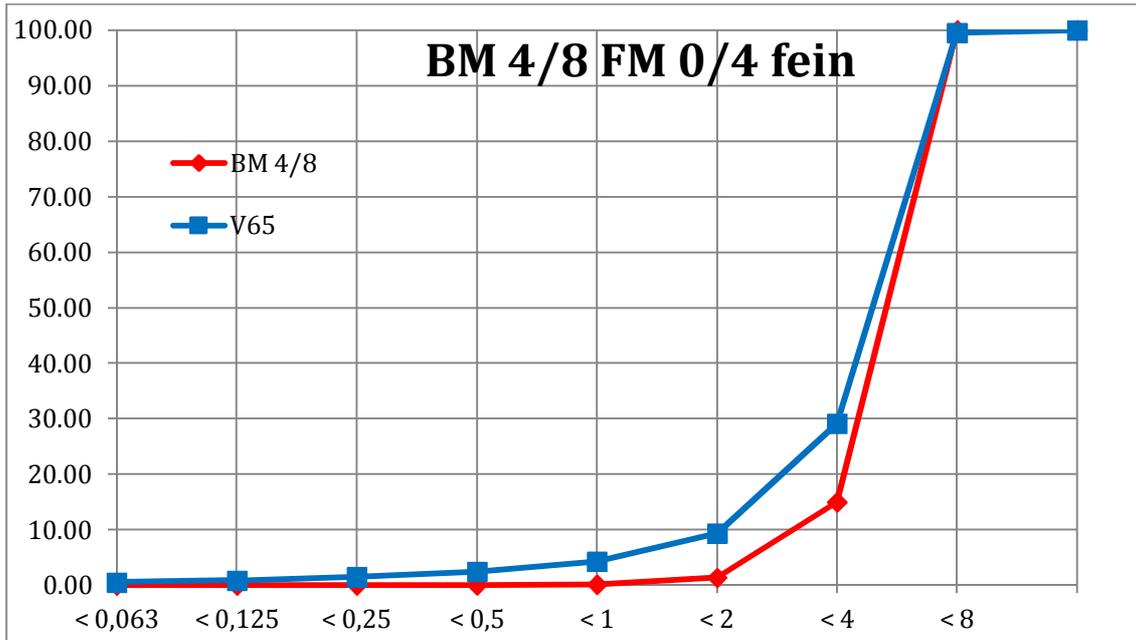
BM 4/8	FM 0/2 grob	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V64	V64(2)	MW
0 < 0,063	[0/0,063]	0.00	0.85		0.85
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	0.00	1.83		1.83
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	0.00	3.14		3.14
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	0.01	4.75		4.75
0.5 < 1	[0,5/1]	0.13	6.86		6.86
1 < 2	[1/2]	1.38	13.02		13.02
2 < 4	[2/4]	15.00	25.18		25.18
4 < 8	[4/8]	100.00	99.61		99.61
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00		100.00



A. 66 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 4/8 und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 grob

Tab. 67 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 4/8 und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 fein

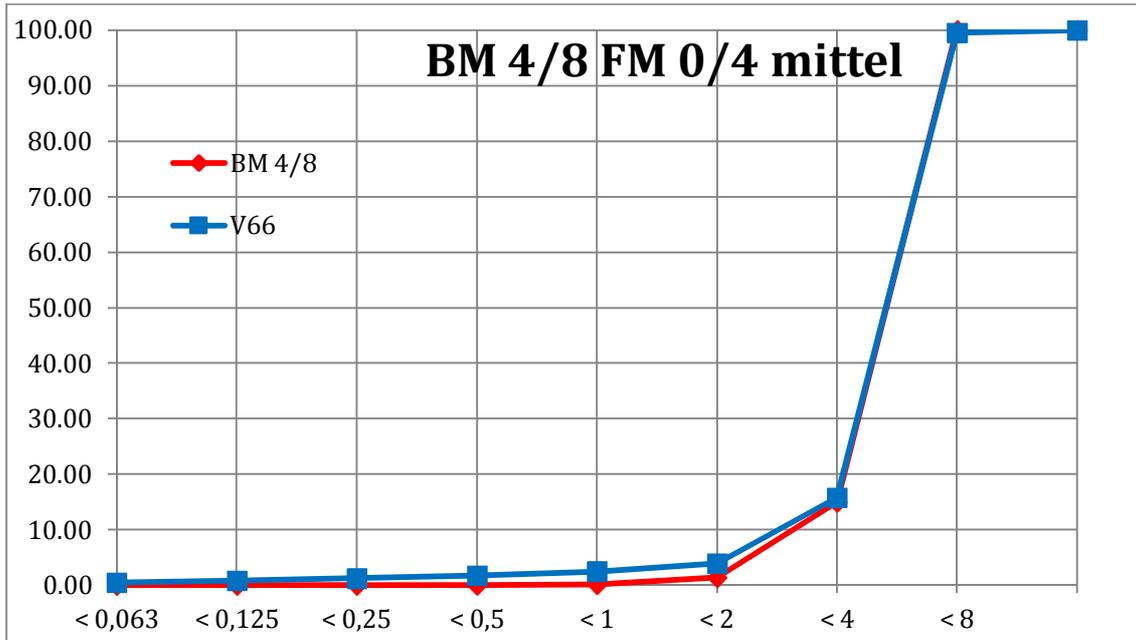
BM 4/8	FM 0/4 fein	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V65	V65(2)	MW
0 < 0,063	[0/0,063]	0.00	0.53		0.53
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	0.00	0.87		0.87
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	0.00	1.48		1.48
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	0.01	2.48		2.48
0.5 < 1	[0,5/1]	0.13	4.26		4.26
1 < 2	[1/2]	1.38	9.34		9.34
2 < 4	[2/4]	15.00	29.11		29.11
4 < 8	[4/8]	100.00	99.48		99.48
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00		100.00



A. 67 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 4/8 und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 fein

Tab. 68 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 4/8 und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 mittel

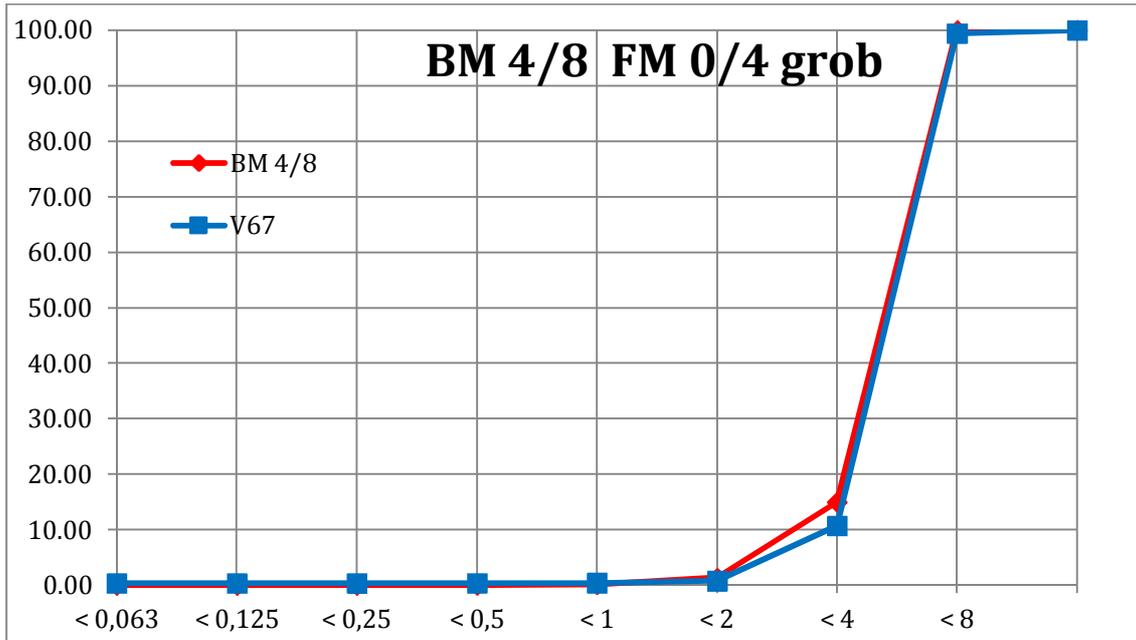
BM 4/8	FM 0/4 mittel	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V66	V67(2)	MW
0 < 0,063	[0/0,063]	0.00	0.49		0.49
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	0.00	0.83		0.83
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	0.00	1.24		1.24
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	0.01	1.77		1.77
0.5 < 1	[0,5/1]	0.13	2.50		2.50
1 < 2	[1/2]	1.38	3.96		3.96
2 < 4	[2/4]	15.00	15.82		15.82
4 < 8	[4/8]	100.00	99.53		99.53
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00		100.00



A. 68 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 4/8 und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 mittel

Tab. 69 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 4/8 und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 grob

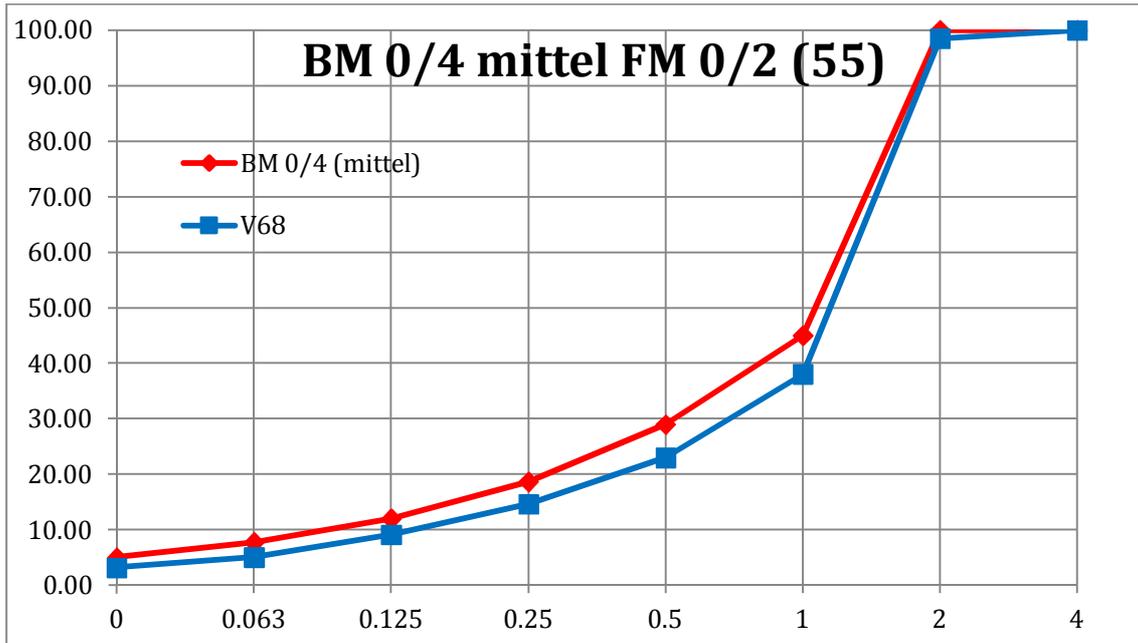
BM 4/8	FM 0/4 grob	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V67	V67(2)	MW
0 < 0,063	[0/0,063]	0.00	0.34		0.34
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	0.00	0.36		0.36
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	0.00	0.38		0.38
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	0.01	0.39		0.39
0.5 < 1	[0,5/1]	0.13	0.42		0.42
1 < 2	[1/2]	1.38	0.79		0.79
2 < 4	[2/4]	15.00	10.69		10.69
4 < 8	[4/8]	100.00	99.41		99.41
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00		100.00



A. 69 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 4/8 und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/4 grob

Tab. 70 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 (55)

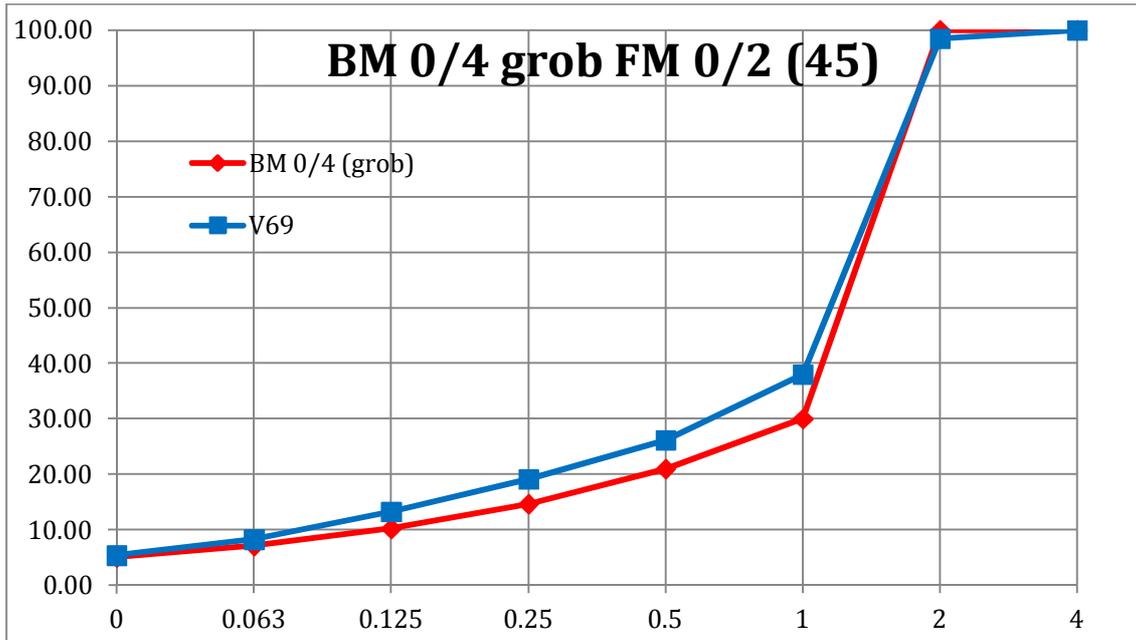
BM 0/4 mittel	FM 0/2 (55)	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V68	V68(2)	MW
0 < 0,063	[0/0,063]	5.00	3.16		3.16
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	7.73	5.04		5.04
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	12.00	9.12		9.12
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	18.65	14.62		14.62
0.5 < 1	[0,5/1]	28.97	22.99		22.99
1 < 2	[1/2]	45.00	38.03		38.03
2 < 4	[2/4]	100.00	98.47		98.47
4 < 8	[4/8]	100.00	100.00		100.00



A. 70 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 mittel und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 (55)

Tab. 71 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 (45)

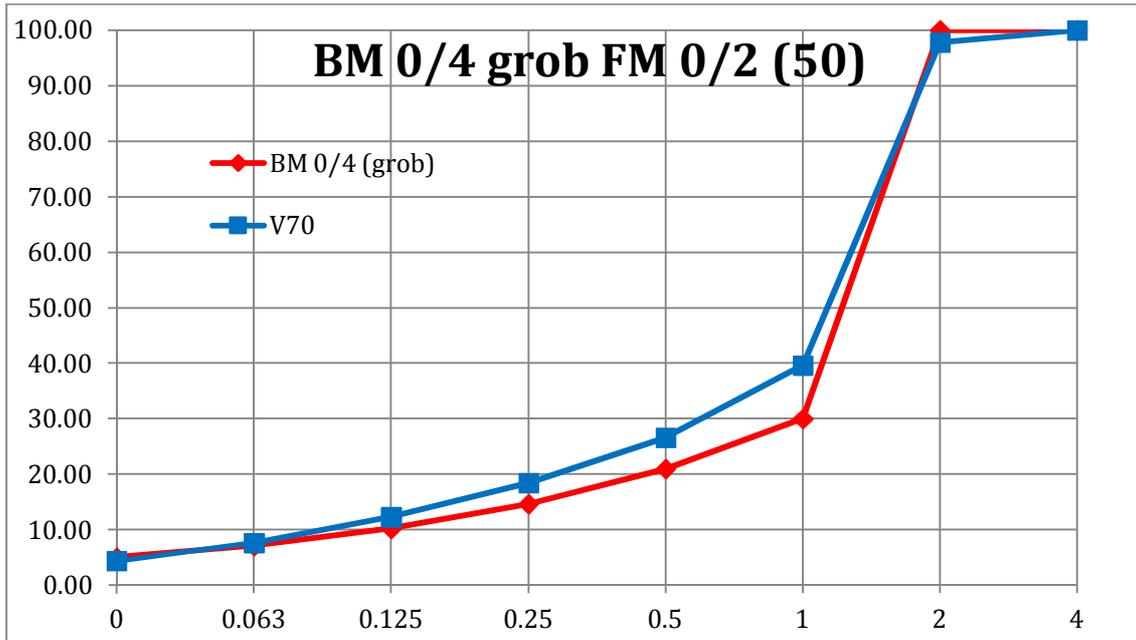
BM 0/4 grob	FM 0/2 (45)	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V69	V69(2)	MW
0 < 0,063	[0/0,063]	5.00	5.39		5.39
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	7.13	8.26		8.26
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	10.21	13.24		13.24
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	14.63	19.11		19.11
0.5 < 1	[0,5/1]	20.95	26.14		26.14
1 < 2	[1/2]	30.00	37.98		37.98
2 < 4	[2/4]	100.00	98.44		98.44
4 < 8	[4/8]	100.00	100.00		100.00



A. 71 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 (45)

Tab. 72 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 (50)

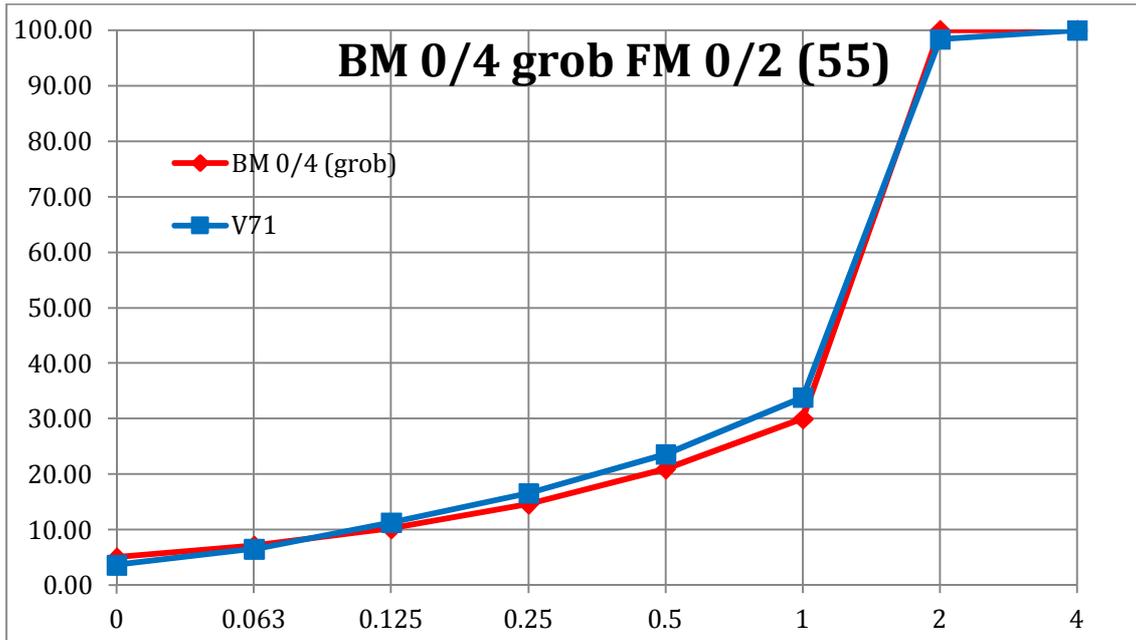
BM 0/4 grob	FM 0/2 (50)	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V70	V70(2)	MW
0 < 0,063	[0/0,063]	5.00	4.39		4.39
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	7.13	7.64		7.64
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	10.21	12.29		12.29
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	14.63	18.45		18.45
0.5 < 1	[0,5/1]	20.95	26.57		26.57
1 < 2	[1/2]	30.00	39.56		39.56
2 < 4	[2/4]	100.00	97.77		97.77
4 < 8	[4/8]	100.00	100.00		100.00



A. 72 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 (50)

Tab. 73 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 (55)

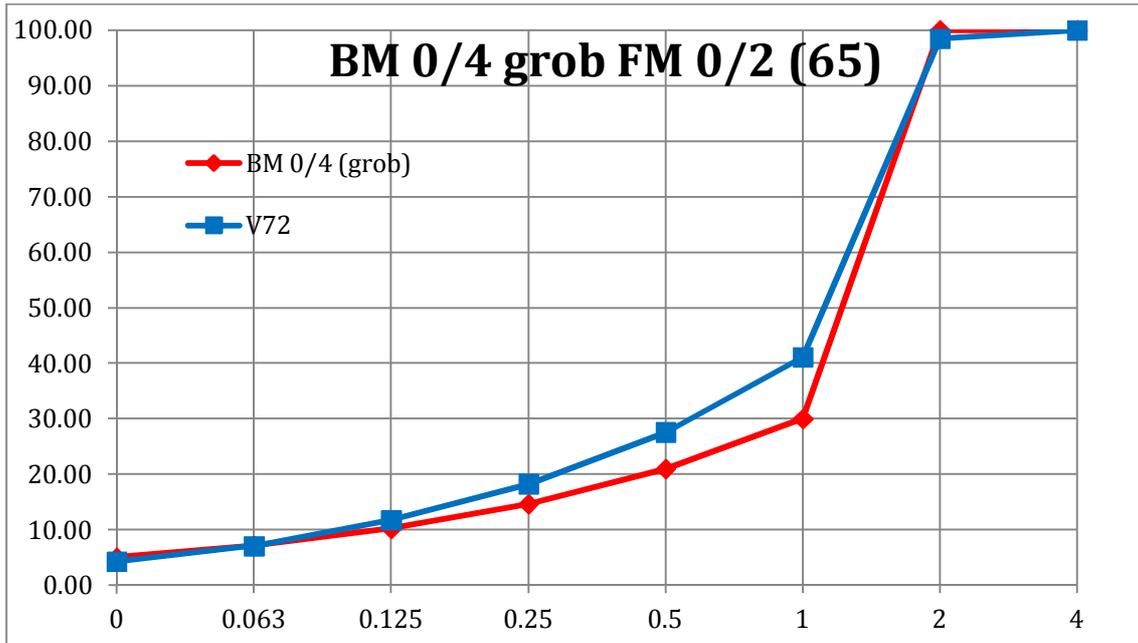
BM 0/4 grob	FM 0/2 (55)	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V71	V71(2)	MW
0 < 0,063	[0/0,063]	5.00	3.64		3.64
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	7.13	6.52		6.52
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	10.21	11.32		11.32
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	14.63	16.57		16.57
0.5 < 1	[0,5/1]	20.95	23.59		23.59
1 < 2	[1/2]	30.00	33.87		33.87
2 < 4	[2/4]	100.00	98.33		98.33
4 < 8	[4/8]	100.00	100.00		100.00



A. 73 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 (55)

Tab. 74 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 (65)

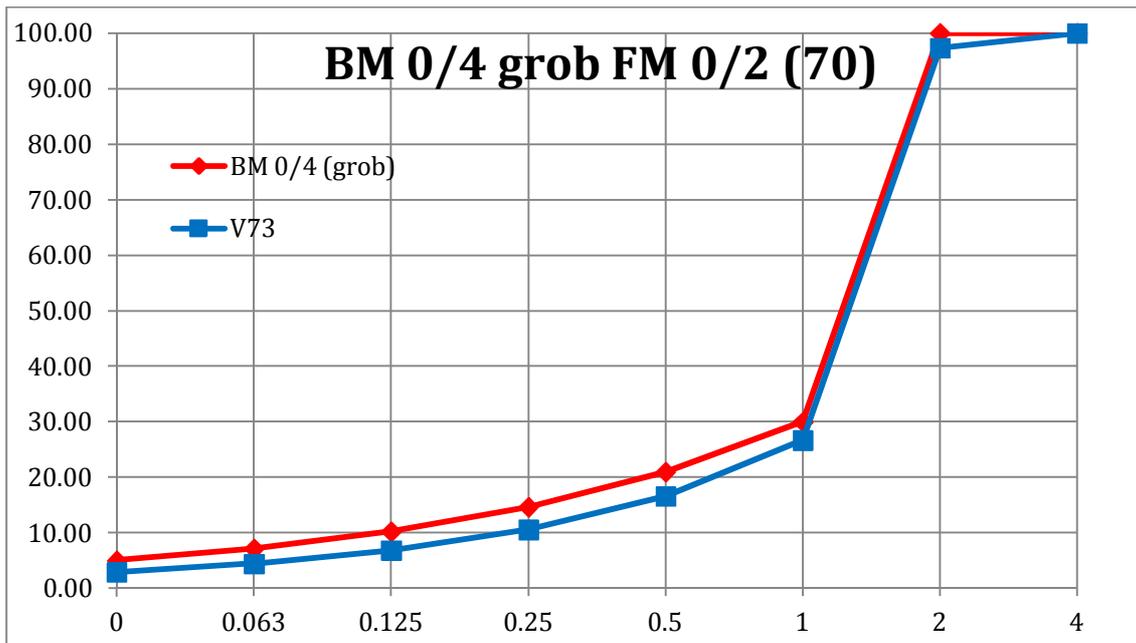
BM 0/4 grob		FM 0/2 (65)	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
				V72	V72(2)	MW
0	< 0,063	[0/0,063]	5.00	4.26		4.26
0.063	< 0,125	[0,063/0,125]	7.13	7.08		7.08
0.125	< 0,25	[0,125/0,25]	10.21	11.73		11.73
0.25	< 0,5	[0,25/0,5]	14.63	18.25		18.25
0.5	< 1	[0,5/1]	20.95	27.57		27.57
1	< 2	[1/2]	30.00	41.10		41.10
2	< 4	[2/4]	100.00	98.44		98.44
4	< 8	[4/8]	100.00	100.00		100.00



A. 74 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 (65)

Tab. 75 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 (70)

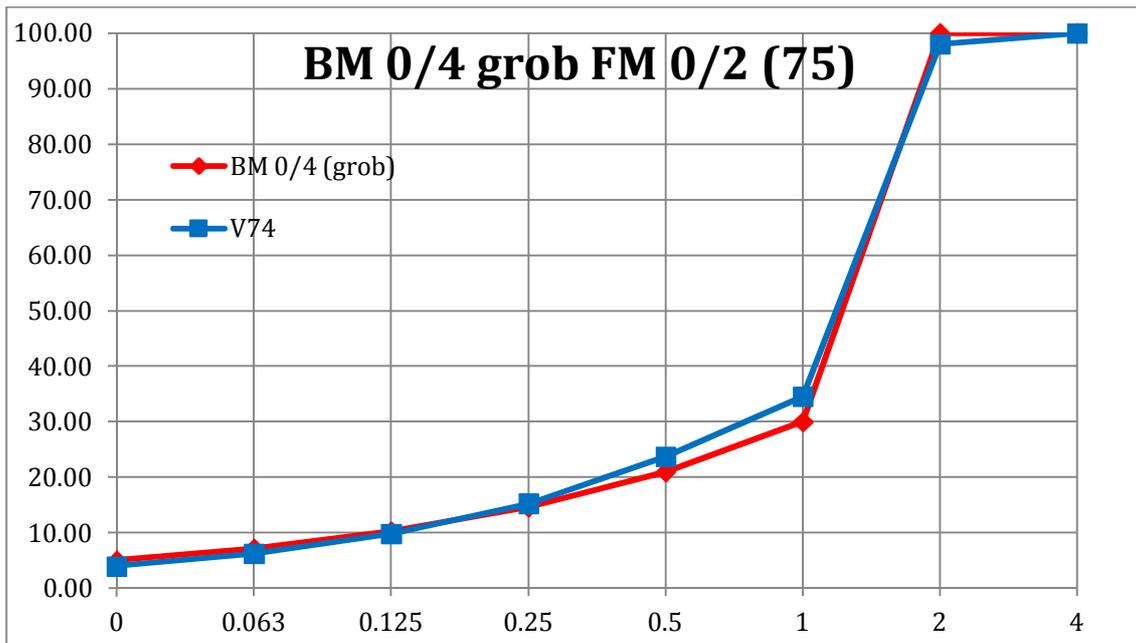
BM 0/4 grob	FM 0/2 (70)	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V73	V73(2)	MW
0 < 0,063	[0/0,063]	5.00	2.90		2.90
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	7.13	4.40		4.40
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	10.21	6.82		6.82
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	14.63	10.56		10.56
0.5 < 1	[0,5/1]	20.95	16.56		16.56
1 < 2	[1/2]	30.00	26.66		26.66
2 < 4	[2/4]	100.00	97.32		97.32
4 < 8	[4/8]	100.00	100.00		100.00



A. 75 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 (70)

Tab. 76 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 (75)

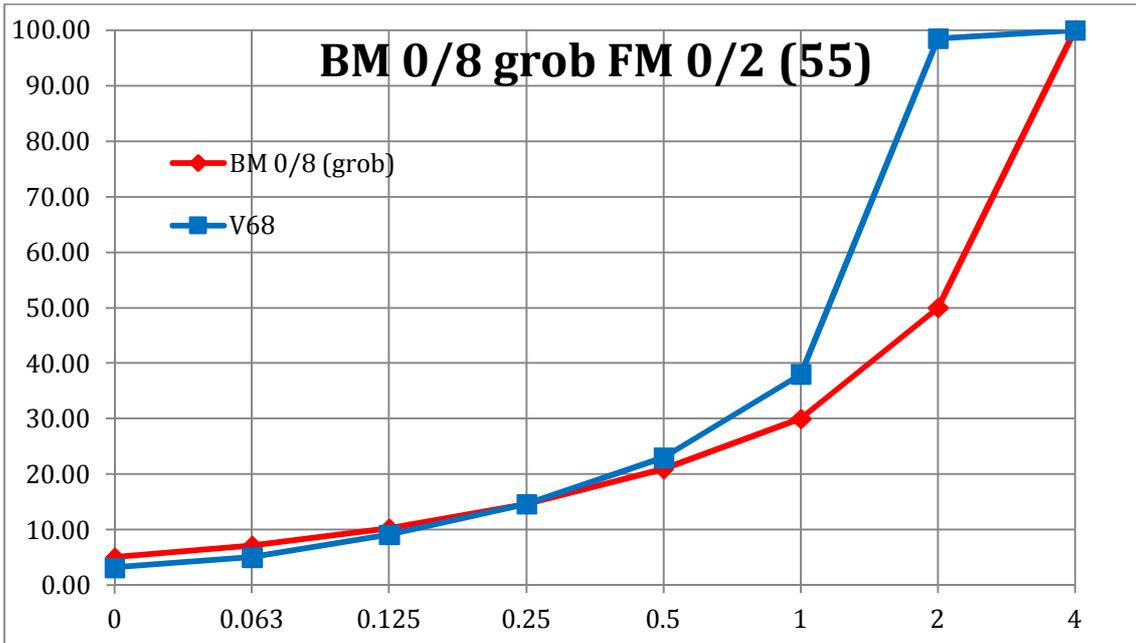
BM 0/4 grob	FM 0/2 (75)	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V74	V74(2)	MW
0 < 0,063	[0/0,063]	5.00	3.94		3.94
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	7.13	6.23		6.23
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	10.21	9.82		9.82
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	14.63	15.26		15.26
0.5 < 1	[0,5/1]	20.95	23.71		23.71
1 < 2	[1/2]	30.00	34.50		34.50
2 < 4	[2/4]	100.00	98.02		98.02
4 < 8	[4/8]	100.00	100.00		100.00



A. 76 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/4 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 (75)

Tab. 77 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 (55)

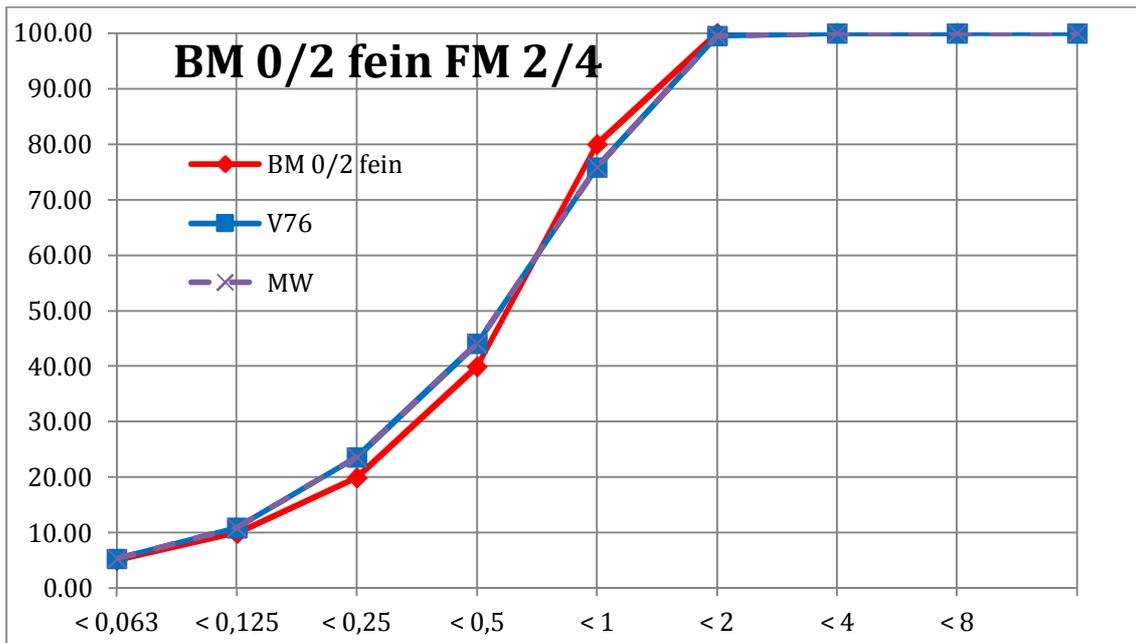
BM 0/8 grob	FM 0/2 (55)	Ausgangs- sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V75	V75(2)	MW
0 < 0,063	[0/0,063]	5.00	2.13		2.13
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	7.13	4.13		4.13
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	10.21	7.16		7.16
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	14.63	11.24		11.24
0.5 < 1	[0,5/1]	20.95	16.95		16.95
1 < 2	[1/2]	30.00	27.36		27.36
2 < 4	[2/4]	50.00	46.73		46.73
4 < 8	[4/8]	100.00	99.60		99.60
8 < 11,2	[8/11,2]	100.00	100.00		100.00



A. 77 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/8 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 0/2 (55)

Tab. 78 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/2 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 2/4

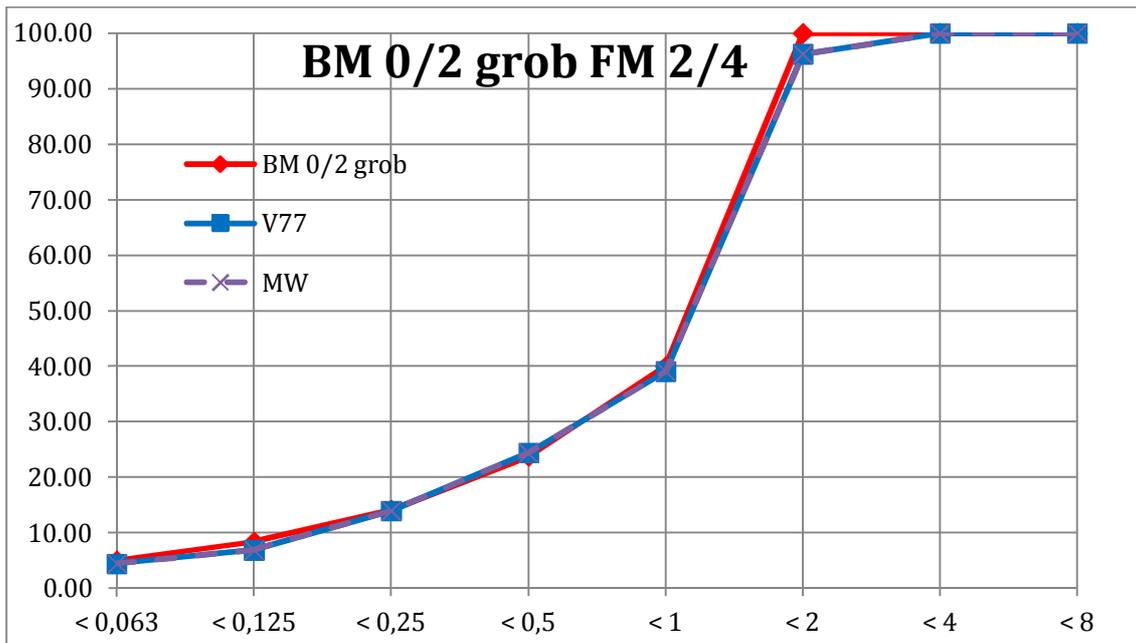
BM 0/2 fein	FM 2/4	Ausgangs-sieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V76	V76(2)	MW
0 < 0,063	[0/0,063]	5.00	5.33		5.33
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	9.94	10.91		10.91
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	19.92	23.60		23.60
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	39.92	44.10		44.10
0.5 < 1	[0,5/1]	80.00	75.85		75.85
1 < 2	[1/2]	100.00	99.54		99.54
2 < 4	[2/4]	100.00	100.00		100.00
4 < 8	[4/8]	100.00	100.00		100.00



A. 78 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/2 fein und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 2/4

Tab. 79 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/2 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 2/4

BM 0/2 grob	BM 2/4	Ausgangssieblinie	Siebdurchgang M.-%		
			V77	V77(2)	MW
0 < 0,063	[0/0,063]	5.00	4.43		4.43
0.063 < 0,125	[0,063/0,125]	8.37	6.88		6.88
0.125 < 0,25	[0,125/0,25]	14.10	13.96		13.96
0.25 < 0,5	[0,25/0,5]	23.75	24.40		24.40
0.5 < 1	[0,5/1]	40.00	39.06		39.06
1 < 2	[1/2]	100.00	96.23		96.23
2 < 4	[2/4]	100.00	99.97		99.97
4 < 8	[4/8]	100.00	100.00		100.00



A. 79 - Ausgangssieblinie von Bettungsmaterial 0/2 grob und Sieblinien nach der Kombination mit Fugenkombination 2/4

11.2 Krümmungszahlen

Tab. 80 - Verhältnisse der Krümmungszahlen vor und nach jedem Versuch

Versuch Nr.	Bettungs-material	Fugen-material	$C_{0(BM)}$	$C_{(FM)}$	$C_{1(BM)}$	$C_{0(BM)} / C_{(FM)}$	$C_{0(BM)} / C_{1(BM)}$
V1	0/4 fein	0/2 fein	1,78	0,56	1,94	3,18	0,92
V25	0/4 fein	0/2 mittel	1,78	1,57	1,89	1,13	0,94
V2	0/4 fein	0/2 grob	1,78	2,24	2,46	0,80	0,73
V26	0/4 fein	0/4 fein	1,78	1,78	2,29	1,00	0,78
V27	0/4 fein	0/4 mittel	1,78	2,33	2,59	0,77	0,69
V28	0/4 fein	0/4 grob	1,78	5,80	2,23	0,31	0,80
V29	0/4 mittel	0/2 fein	2,33	2,24	2,71	1,04	0,86
V30	0/4 mittel	0/2 mittel	2,33	1,57	2,35	1,48	0,99
V31	0/4 mittel	0/2 grob	2,33	0,56	2,49	4,14	0,93
V32	0/4 mittel	0/4 fein	2,33	1,78	2,64	1,30	0,88
V33	0/4 mittel	0/4 mittel	2,33	2,33	2,74	1,00	0,85
V34	0/4 mittel	0/4 grob	2,33	5,80	3,12	0,40	0,75
V3	0/4 grob	0/2 fein	5,80	0,56	3,60	10,34	1,61
V35	0/4 grob	0/2 mittel	5,80	1,57	3,88	3,69	1,49
V4	0/4 grob	0/2 grob	5,80	2,24	5,77	2,59	1,00
V36	0/4 grob	0/4 fein	5,80	1,78	3,88	3,25	1,49
V37	0/4 grob	0/4 mittel	5,80	2,33	5,21	2,49	1,11
V38	0/4 grob	0/4 grob	5,80	5,80	3,96	1,00	1,47
V5	2/4	0/2 fein	1,09	0,56	1,60	1,94	0,68
V39	2/4	0/2 mittel	1,09	1,57	2,09	0,69	0,52
V6	2/4	0/2 grob	1,09	2,24	1,14	0,49	0,96
V15	2/4	0/4 fein	1,09	1,78	1,25	0,61	0,87

Versuch Nr.	Bettungs-material	Fugen-material	$C_{0(BM)}$	$C_{(FM)}$	$C_{1(BM)}$	$C_{0(BM)}/C_{(FM)}$	$C_{0(BM)}/C_{1(BM)}$
V40	2/4	0/4 mittel	1,09	2,33	2,21	0,47	0,49
V16	2/4	0/4 grob	1,09	5,80	1,25	0,19	0,87
V7	0/8 fein	0/2 fein	1,68	0,56	-	2,99	-
V41	0/8 fein	0/2 mittel	1,68	1,57	1,42	1,07	1,18
V8	0/8 fein	0/2 grob	1,68	2,24	-	0,75	-
V17	0/8 fein	0/4 fein	1,68	1,78	-	0,94	-
V42	0/8 fein	0/4 mittel	1,68	2,33	1,27	0,72	1,32
V18	0/8 fein	0/4 grob	1,68	5,80	-	0,29	-
V43	0/8 mittel	0/2 fein	1,55	0,56	1,39	2,76	1,12
V44	0/8 mittel	0/2 mittel	1,55	1,57	1,38	0,99	1,12
V45	0/8 mittel	0/2 grob	1,55	2,24	2,36	0,69	0,66
V46	0/8 mittel	0/4 fein	1,55	1,78	1,56	0,87	0,99
V47	0/8 mittel	0/4 mittel	1,55	2,33	1,52	0,67	1,02
V48	0/8 mittel	0/4 grob	1,55	5,80	1,96	0,27	0,79
V9	0/8 grob	0/2 fein	3,45	0,56	1,93	6,15	1,79
V49	0/8 grob	0/2 mittel	3,45	1,57	1,86	2,20	1,85
V10	0/8 grob	0/2 grob	3,45	2,24	3,59	1,54	0,96
V19	0/8 grob	0/4 fein	3,45	1,78	4,25	1,94	0,81
V50	0/8 grob	0/4 mittel	3,45	2,33	2,57	1,48	1,34
V20	0/8 grob	0/4 grob	3,45	5,80	6,12	0,60	0,56
V11	2/8 fein	0/2 fein	1,13	0,56	1,50	2,01	0,75
V51	2/8 fein	0/2 mittel	1,13	1,57	1,35	0,72	0,83
V12	2/8 fein	0/2 grob	1,13	2,24	1,29	0,50	0,87
V21	2/8 fein	0/4 fein	1,13	1,78	1,38	0,63	0,82
V52	2/8 fein	0/4 mittel	1,13	2,33	2,90	0,48	0,39
V22	2/8 fein	0/4 grob	1,13	5,80	1,43	0,19	0,79
V53	2/8 mittel	0/2 fein	1,11	0,56	1,34	1,99	0,83
V54	2/8 mittel	0/2 mittel	1,11	1,57	1,21	0,71	0,92
V55	2/8 mittel	0/2 grob	1,11	2,24	1,22	0,50	0,91
V56	2/8 mittel	0/4 fein	1,11	1,78	1,23	0,62	0,90
V57	2/8 mittel	0/4 mittel	1,11	2,33	1,10	0,48	1,02
V58	2/8 mittel	0/4 grob	1,11	5,80	1,19	0,19	0,93
V78	2/8 mittel	0/8 fein	1,11	1,68	1,27	0,66	0,88
V59	2/8 mittel	0/8 mittel	1,11	1,55	1,17	0,72	0,96
V79	2/8 mittel	0/8 grob	1,11	3,45	0,99	0,32	1,13
V13	2/8 grob	0/2 fein	1,06	0,56	1,56	1,89	0,68
V60	2/8 grob	0/2 mittel	1,06	1,57	1,19	0,68	0,89
V14	2/8 grob	0/2 grob	1,06	2,24	1,18	0,47	0,90
V23	2/8 grob	0/4 fein	1,06	1,78	1,18	0,60	0,90
V61	2/8 grob	0/4 mittel	1,06	2,33	2,90	0,46	0,37
V24	2/8 grob	0/4 grob	1,06	5,80	1,21	0,18	0,87
V68	0/4 mittel	0/2 (55)	2,33	1,06	2,72	2,20	0,86
V69	0/4 grob	0/2 (45)	5,80	1,90	3,82	3,06	1,52

Versuch Nr.	Bettungs-material	Fugen-material	$C_{0(BM)}$	$C_{(FM)}$	$C_{1(BM)}$	$C_{0(BM)}/C_{(FM)}$	$C_{0(BM)}/C_{1(BM)}$
V70	0/4 grob	0/2 (50)	5,80	1,69	3,14	3,43	1,85
V71	0/4 grob	0/2 (55)	5,80	1,06	4,35	5,49	1,33
V72	0/4 grob	0/2 (65)	5,80	1,55	2,57	3,74	2,26
V73	0/4 grob	0/2 (70)	5,80	1,53	3,60	3,79	1,61
V74	0/4 grob	0/2 (75)	5,80	1,51	3,49	3,83	1,66
V75	0/8 grob	0/2 (55)	3,45	1,06	2,81	3,27	1,23
V76	0/2 fein	2/4	0,56	1,09	1,26	0,52	0,45
V77	0/2 grob	2/4	2,24	1,09	1,94	2,06	1,15
V62	4/8	0/2 fein	1,11	0,56	1,24	1,98	0,89
V63	4/8	0/2 mittel	1,11	1,57	1,46	0,70	0,76
V64	4/8	0/2 grob	1,11	2,24	2,05	0,49	0,54
V65	4/8	0/4 fein	1,11	1,78	1,20	0,62	0,92
V66	4/8	0/4 mittel	1,11	2,33	1,19	0,48	0,93
V67	4/8	0/4 grob	1,11	5,80	0,99	0,19	1,12

11.3 Ungleichförmigkeitszahl

Tab. 81- Änderung der Ungleichförmigkeitszahlen

Versuch Nr.	Bettungs-material	Fugen-material	$U_{0(BM)}$	$U_{(FM)}$	$U_{1(BM)}$	$\frac{U_{0(BM)}}{U_{(FM)}}$	$\frac{U_{0(BM)}}{U_{1(BM)}}$
V1	0/4 fein	0/2 fein	11.90	15.94	17.19	0.75	0.69
V25	0/4 fein	0/2 mittel	11.90	7.32	14.06	1.63	0.85
V2	0/4 fein	0/2 grob	11.90	8.31	17.84	1.43	0.67
V26	0/4 fein	0/4 fein	11.90	11.90	24.88	1.00	0.48
V27	0/4 fein	0/4 mittel	11.90	13.30	18.47	0.89	0.64
V28	0/4 fein	0/4 grob	11.90	11.84	19.61	1.01	0.61
V29	0/4 mittel	0/2 fein	13.30	15.94	13.93	0.83	0.95
V30	0/4 mittel	0/2 mittel	13.30	7.32	15.91	1.82	0.84
V31	0/4 mittel	0/2 grob	13.30	8.31	18.35	1.60	0.72
V32	0/4 mittel	0/4 fein	13.30	11.90	18.94	1.12	0.70
V33	0/4 mittel	0/4 mittel	13.30	13.30	16.33	1.00	0.81
V34	0/4 mittel	0/4 grob	13.30	11.84	13.58	1.12	0.98
V3	0/4 grob	0/2 fein	11.84	15.94	15.77	0.74	0.75
V35	0/4 grob	0/2 mittel	11.84	7.32	7.52	1.62	1.58
V4	0/4 grob	0/2 grob	11.84	8.31	20.24	1.43	0.58
V36	0/4 grob	0/4 fein	11.84	11.90	7.52	0.99	1.58
V37	0/4 grob	0/4 mittel	11.84	13.30	13.41	0.89	0.88
V38	0/4 grob	0/4 grob	11.84	11.84	7.71	1.00	1.53
V5	2/4	0/2 fein	1.84	15.94	2.76	0.12	0.66
V39	2/4	0/2 mittel	1.84	7.32	3.57	0.25	0.51
V6	2/4	0/2 grob	1.84	8.31	1.91	0.22	0.96
V15	2/4	0/4 fein	1.84	11.90	2.23	0.15	0.82
V40	2/4	0/4 mittel	1.84	13.30	3.87	0.14	0.48
V16	2/4	0/4 grob	1.84	11.84	2.35	0.16	0.78
V7	0/8 fein	0/2 fein	9.86	15.94	-	0.62	-
V41	0/8 fein	0/2 mittel	9.86	7.32	10.30	1.35	0.96
V8	0/8 fein	0/2 grob	9.86	8.31	-	1.19	-
V17	0/8 fein	0/4 fein	9.86	11.90	-	0.83	-
V42	0/8 fein	0/4 mittel	9.86	13.30	10.72	0.74	0.92
V18	0/8 fein	0/4 grob	9.86	11.84	-	0.83	-
V43	0/8 mittel	0/2 fein	16.06	15.94	15.36	1.01	1.05
V44	0/8 mittel	0/2 mittel	16.06	7.32	16.05	2.19	1.00
V45	0/8 mittel	0/2 grob	16.06	8.31	23.23	1.93	0.69
V46	0/8 mittel	0/4 fein	16.06	11.90	14.30	1.35	1.12
V47	0/8 mittel	0/4 mittel	16.06	13.30	15.80	1.21	1.02
V48	0/8 mittel	0/4 grob	16.06	11.84	23.39	1.36	0.69
V9	0/8 grob	0/2 fein	19.89	15.94	31.83	1.25	0.62
V49	0/8 grob	0/2 mittel	19.89	7.32	14.19	2.72	1.40
V10	0/8 grob	0/2 grob	19.89	8.31	25.39	2.39	0.78

Versuch Nr.	Bettungs-material	Fugen-material	$U_{0(BM)}$	$U_{(FM)}$	$U_{1(BM)}$	$U_{0(BM)}/U_{(FM)}$	$U_{0(BM)}/U_{1(BM)}$
V19	0/8 grob	0/4 fein	19.89	11.90	20.84	1.67	0.95
V50	0/8 grob	0/4 mittel	19.89	13.30	14.44	1.50	1.38
V20	0/8 grob	0/4 grob	19.89	11.84	34.51	1.68	0.58
V11	2/8 fein	0/2 fein	2.00	15.94	2.93	0.13	0.68
V51	2/8 fein	0/2 mittel	2.00	7.32	2.55	0.27	0.79
V12	2/8 fein	0/2 grob	2.00	8.31	2.46	0.24	0.81
V21	2/8 fein	0/4 fein	2.00	11.90	2.54	0.17	0.79
V52	2/8 fein	0/4 mittel	2.00	13.30	6.19	0.15	0.32
V22	2/8 fein	0/4 grob	2.00	11.84	2.69	0.17	0.74
V53	2/8 mittel	0/2 fein	2.27	15.94	2.88	0.14	0.79
V54	2/8 mittel	0/2 mittel	2.27	7.32	2.66	0.31	0.85
V55	2/8 mittel	0/2 grob	2.27	8.31	2.72	0.27	0.84
V56	2/8 mittel	0/4 fein	2.27	11.90	2.69	0.19	0.85
V57	2/8 mittel	0/4 mittel	2.27	13.30	2.20	0.17	1.03
V58	2/8 mittel	0/4 grob	2.27	11.84	2.50	0.19	0.91
V78	2/8 mittel	0/8 fein	2.27	9.86	2.87	0.23	0.79
V59	2/8 mittel	0/8 mittel	2.27	16.06	2.43	0.14	0.93
V79	2/8 mittel	0/8 grob	2.27	19.89	1.97	0.11	1.15
V13	2/8 grob	0/2 fein	3.00	15.94	5.52	0.19	0.54
V60	2/8 grob	0/2 mittel	3.00	7.32	3.54	0.41	0.85
V14	2/8 grob	0/2 grob	3.00	8.31	3.79	0.36	0.79
V23	2/8 grob	0/4 fein	3.00	11.90	3.57	0.25	0.84
V61	2/8 grob	0/4 mittel	3.00	13.30	6.19	0.23	0.48
V24	2/8 grob	0/4 grob	3.00	11.84	3.45	0.25	0.87
V68	0/4 mittel	0/2 (55)	13.30	11.82	9.40	1.13	1.41
V69	0/4 grob	0/2 (45)	11.84	8.36	16.18	1.42	0.73
V70	0/4 grob	0/2 (50)	11.84	8.23	14.33	1.44	0.83
V71	0/4 grob	0/2 (55)	11.84	11.82	13.03	1.00	0.91
V72	0/4 grob	0/2 (65)	11.84	6.90	13.06	1.72	0.91
V73	0/4 grob	0/2 (70)	11.84	6.54	7.11	1.81	1.67
V74	0/4 grob	0/2 (75)	11.84	6.23	10.94	1.90	1.08
V75	0/8 grob	0/2 (55)	19.89	11.82	13.62	1.68	1.46
V76	0/2 fein	2/4	15.94	1.84	6.59	8.68	2.42
V77	0/2 grob	2/4	8.31	1.84	7.59	4.52	1.09
V62	4/8	0/2 fein	1.87	15.94	2.14	0.12	0.88
V63	4/8	0/2 mittel	1.87	7.32	2.79	0.26	0.67
V64	4/8	0/2 grob	1.87	8.31	3.89	0.23	0.48
V65	4/8	0/4 fein	1.87	11.90	3.34	0.16	0.56
V66	4/8	0/4 mittel	1.87	13.30	2.02	0.14	0.93
V67	4/8	0/4 grob	1.87	11.84	1.61	0.16	1.16

11.4 Vergleich der Krümmungs- und der Ungleichförmigkeitszahlen

Tab. 82 - Vergleich der Änderung von den C- und U-Werten gegenüber der Durchlässigkeitsbedingung

Versuch Nr.	Bettungs-material	Fugen-material	C_0/C_1	U_0/U_1	D_{15}/d_{15}
V1	0/4 fein	0/2 fein	0,92	0,69	1,56
V25	0/4 fein	0/2 mittel	0,94	0,85	1,37
V2	0/4 fein	0/2 grob	0,73	0,67	1,08
V26	0/4 fein	0/4 fein	0,78	0,48	1,00
V27	0/4 fein	0/4 mittel	0,69	0,64	0,81
V28	0/4 fein	0/4 grob	0,80	0,61	0,56
V29	0/4 mittel	0/2 fein	0,86	0,95	1,93
V30	0/4 mittel	0/2 mittel	0,99	0,84	1,69
V31	0/4 mittel	0/2 grob	0,93	0,72	1,33
V32	0/4 mittel	0/4 fein	0,88	0,70	1,23
V33	0/4 mittel	0/4 mittel	0,85	0,81	1,00
V34	0/4 mittel	0/4 grob	0,75	0,98	0,68
V3	0/4 grob	0/2 fein	1,61	0,75	2,81
V35	0/4 grob	0/2 mittel	1,49	1,58	2,47
V4	0/4 grob	0/2 grob	1,00	0,58	1,94
V36	0/4 grob	0/4 fein	1,49	1,58	1,80
V37	0/4 grob	0/4 mittel	1,11	0,88	1,46
V38	0/4 grob	0/4 grob	1,47	1,53	1,00
V5	2/4	0/2 fein	0,68	0,66	10,62
V39	2/4	0/2 mittel	0,52	0,51	9,31
V6	2/4	0/2 grob	0,96	0,96	7,32
V15	2/4	0/4 fein	0,87	0,82	6,80
V40	2/4	0/4 mittel	0,49	0,48	5,51
V16	2/4	0/4 grob	0,87	0,78	3,78
V7	0/8 fein	0/2 fein	-	-	1,36
V41	0/8 fein	0/2 mittel	1,18	0,96	1,20
V8	0/8 fein	0/2 grob	-	-	0,94
V17	0/8 fein	0/4 fein	-	-	0,87
V42	0/8 fein	0/4 mittel	1,32	0,92	0,71
V18	0/8 fein	0/4 grob	-	-	0,48
V43	0/8 mittel	0/2 fein	1,12	1,05	1,71
V44	0/8 mittel	0/2 mittel	1,12	1,00	1,50
V45	0/8 mittel	0/2 grob	0,66	0,69	1,18
V46	0/8 mittel	0/4 fein	0,99	1,12	1,10
V47	0/8 mittel	0/4 mittel	1,02	1,02	0,89
V48	0/8 mittel	0/4 grob	0,79	0,69	0,61
V9	0/8 grob	0/2 fein	1,79	0,62	2,81
V49	0/8 grob	0/2 mittel	1,85	1,40	2,47
V10	0/8 grob	0/2 grob	0,96	0,78	1,94
V19	0/8 grob	0/4 fein	0,81	0,95	1,80

Versuch Nr.	Bettungs-material	Fugen-material	C_0/C_1	U_0/U_1	D_{15}/d_{15}
V50	0/8 grob	0/4 mittel	1,34	1,38	1,46
V20	0/8 grob	0/4 grob	0,56	0,58	1,00
V11	2/8 fein	0/2 fein	0,75	0,68	10,62
V51	2/8 fein	0/2 mittel	0,83	0,79	9,31
V12	2/8 fein	0/2 grob	0,87	0,81	7,32
V21	2/8 fein	0/4 fein	0,82	0,79	6,80
V52	2/8 fein	0/4 mittel	0,39	0,32	5,51
V22	2/8 fein	0/4 grob	0,79	0,74	3,78
V53	2/8 mittel	0/2 fein	0,83	0,79	10,62
V54	2/8 mittel	0/2 mittel	0,92	0,85	9,31
V55	2/8 mittel	0/2 grob	0,91	0,84	7,32
V56	2/8 mittel	0/4 fein	0,90	0,85	6,80
V57	2/8 mittel	0/4 mittel	1,02	1,03	5,51
V58	2/8 mittel	0/4 grob	0,93	0,91	3,78
V78	2/8 mittel	0/8 fein	0,88	0,79	7,79
V59	2/8 mittel	0/8 mittel	0,96	0,93	6,20
V79	2/8 mittel	0/8 grob	1,13	1,15	3,78
V13	2/8 grob	0/2 fein	0,68	0,54	10,62
V60	2/8 grob	0/2 mittel	0,89	0,85	9,31
V14	2/8 grob	0/2 grob	0,90	0,79	7,32
V23	2/8 grob	0/4 fein	0,90	0,84	6,80
V61	2/8 grob	0/4 mittel	0,37	0,48	5,51
V24	2/8 grob	0/4 grob	0,87	0,87	3,78
V68	0/4 mittel	0/2 (55)	0,86	1,41	1,62
V69	0/4 grob	0/2 (45)	1,52	0,73	0,96
V70	0/4 grob	0/2 (50)	1,85	0,83	1,02
V71	0/4 grob	0/2 (55)	1,33	0,91	0,14
V72	0/4 grob	0/2 (65)	2,26	0,91	0,15
V73	0/4 grob	0/2 (70)	1,61	1,67	0,16
V74	0/4 grob	0/2 (75)	1,66	1,08	0,17
V75	0/8 grob	0/2 (55)	1,23	1,46	1,08
V76	0/2 fein	2/4	0,45	2,42	0,09
V77	0/2 grob	2/4	1,15	1,09	0,14
V62	4/8	0/2 fein	0,89	0,88	21,23
V63	4/8	0/2 mittel	0,76	0,67	18,63
V64	4/8	0/2 grob	0,54	0,48	14,63
V65	4/8	0/4 fein	0,92	0,87	13,60
V66	4/8	0/4 mittel	0,93	0,93	11,03
V67	4/8	0/4 grob	1,12	1,16	7,55