

Deval-Versuch

Untersuchungen zur Verschleißcharakteristik verschiedener Gesteinsarten

Diplomarbeit
2011

Martin Schöck
schoeck@student.TUGraz.at

Betreuer:
Peter Veit
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn
peter.veit@tugraz.at

Holger Bach
Dipl.-Ing.
holger.bach@tugraz.at



Eid

Ich erkläre an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Ich versichere, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einem Beurteiler oder einer Beurteilerin) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Graz, am 08.11.2011

(Unterschrift)

Danksagung

Ich bedanke mich bei den Mitarbeitern des Institutes für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft, im speziellen bei Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Peter Veit, bei Dipl.-Ing. Holger Bach sowie bei Mario Wiesberger.

Weiters möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken, die mich während dieser Zeit unterstützt haben.

Aufgabenstellung

- Beschreibung des Deval-Versuchs („Wet Attrition Test“) nach NF P 18 577 bzw. BS 812. Vergleich mit Micro-Deval-Test nach EN 1097-1 und nach EN 13450 – Darstellung der Unterschiede
- Beschreibung und Erläuterung des Begriffsunterschiedes „Abrieb“/„Verschleiß“ und „Kornbruch“
- Durchführung von Deval-Versuchen an insgesamt 11 Schottersorten (Lieferwerke der ÖBB) nach NF P 18 577
- Durchführung von Deval-Versuchen an insgesamt 11 Schottersorten (Lieferwerke der ÖBB) abschnittsweise mit jeweils eingeschalteter Ermittlung der Korngrößenverteilung und des Ergebniswertes (Siebdurchgang 2,36 mm) nach jedem Abschnitt
- Ermittlung der Korngrößenverteilung mittels Trockensiebung und vorheriger Trocknung des Materials
- Darstellung der Ergebnisse (Ergebniswert und Korngrößenverteilung als Funktion der Umwälzungen graphisch und tabellarisch)
- Vergleich der Ergebnisse mit Versuchsreihen Dritter (Micro-Deval-Tests; Ergebnisse der Hauptprüfungen seit 2004)
- Interpretation der Ergebnisse (Anteil Abrieb und Bruch als Funktion der Gesteinsart) und Schlussfolgerungen im Hinblick auf die Sinnhaftigkeit des Siebdurchgangs 2,36 mm als Schlüsselgröße

Einleitung

Diese Diplomarbeit hat zum Ziel, das Deval-Versuchsverfahren wissenschaftlich zu untersuchen. Dieses Verfahren ist ein Abrasionstest, ein Test zur Bestimmung der Abriebfestigkeit von Schotter.

Bei Abrasion entsteht Feinkorn, welches im Eisenbahnwesen, speziell im Oberbau, zu Problemen führen kann. Diese Feinkornpartikel führen zu einer Schotterverschmutzung, weswegen sich die Durchgängigkeit des Oberbaus und damit dessen Qualität verschlechtert. Dies kann in weiterer Folge zu einer Erhöhung des Erhaltungsaufwandes führen.

Derzeit werden in Österreich für Gleisschotter zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften der Schlagzertrümmerungswert, der LA-Koeffizient sowie der Micro-Deval-Koeffizient bestimmt.

Am Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft der TU Graz ist gerade ein Forschungsprojekt über Gleisschotterversuche und deren Evaluierung bzw. Bewertung in Bearbeitung. Da eine Deval-Prüfmaschine am Institut verfügbar war und es noch Gesteinsmaterial anderer Testreihen gab, bot sich an, über Deval-Versuche und deren zugehörige Normen eine Diplomarbeit zu verfassen.

Inhaltsverzeichnis

1	Deval - Normen und deren Unterschiede	1
1.1	NF P 18-577	1
1.2	ASTM D2-33	2
1.3	BS 812:1951	3
1.4	Sonstige Sekundärliteratur	4
1.4.1	Granulats et liants routiers	4
1.4.2	Controle a l'usure des granulats – Essai Deval	4
1.4.3	Unterschiede der Sekundärliteratur zur Norm	6
1.5	Übersicht über Deval - Normenunterschiede	7
2	Micro-Deval - Normen und deren Unterschiede	8
2.1	EN 1097-1	8
2.2	EN 13450	10
2.3	Übersicht über Micro-Deval - Normenunterschiede	11
3	Versuchsbeschreibung	12
3.1	Einteilung der Gesteine	12
3.2	Durchgeführte Versuche	13
3.3	Gewählte Versuchskonfiguration	14
3.4	Versuchsablauf und Versuchskritik	15
4	Ergebnisse	17
4.1	Dry-Attrition-Test	17
4.2	Wet-Attrition-Test	23
5	Physikalische Vorgänge	29
5.1	Unterschied Kornbruch - Abrieb / Verschleiß	29
5.2	Unterschied Nasser Test – Trockener Test	31
6	Vergleich mit M_{DE} , LA-Koeffizient sowie SZ-Wert	32
6.1	Vergleich mit dem M_{DE} -Wert	32
6.2	Vergleich mit dem LA-Koeffizienten	34
6.3	Vergleich mit dem Schlagzertrümmerungswert	36
6.4	Vergleich mit dem Quarzäquivalenten der Gesteine	38
7	Zusammenfassung	42
	Anhang	43
	Literaturverzeichnis	76
	Abbildungsverzeichnis	77
	Tabellenverzeichnis	78

1 Deval - Normen und deren Unterschiede

1.1 NF P 18-577

Die französische Norm NF P 18-577 [1] liegt in der Version vom April 1979 vor, zurückgezogen wurde sie am 1. Juni 2005. Der Umfang der Norm beträgt drei A4-Seiten.

In dieser Norm werden zwei verschiedene Prüfungen beschreiben, ein trockener Test („Essai Deval sec“) sowie ein Test unter Zugabe von Wasser („Essai Deval humide“). Die Prüfmaschine muss über zwei Zylinder verfügen, welche jeweils Abmessungen über eine Länge von 340 mm, einen Durchmesser von 200 mm \pm 1 mm sowie eine Dicke von 3 mm \pm 0,2 mm haben müssen. Darüber hinaus muss die Maschine einen Drehzahlmesser besitzen. Außerdem müssen die Zylinder um $32^\circ \pm 2^\circ$ zur horizontalen Rotationsachse geneigt sein. Die Umdrehungsgeschwindigkeit um die horizontale Achse muss zwischen 30 und 33 Umdrehungen pro Minute liegen.

Beim nassen Test („Essai Deval humide“) ist zusätzlich Wasser in die Zylinder zu füllen. Dies geschieht, indem die Zylinder so gedreht werden, dass ein Maximum an Wasser eingefüllt werden kann.

Aus einer Menge von 20 kg Gestein werden zwei Probe von 7000 g \pm 5 g gezogen, welche aus 4200 g \pm 3 g der Körnung von 25 mm bis 40 mm sowie aus 2800 g \pm 2 g der Körnung von 40 mm bis 50 mm besteht. Die beiden Zylinder werden jeweils mit den 7000 g \pm 5 g befüllt und mit 10.000 \pm 1 Umdrehungen mit der bereits erwähnten Umdrehungsgeschwindigkeit von 30 bis 33 Umdrehungen pro Minute gedreht.

Nach der Versuchsdurchführung ist das Gestein in einer Wanne aufzufangen und bei einer Temperatur von $105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ bis zur Massenkonstanz zu trocknen. Danach sind die zwei Proben mit einem Siebsatz mit den Siebweiten von 1.6 mm, 10 mm, 25 mm 40 mm und 50 mm zu sieben, wobei der Wert kleiner als 1.6 mm, ausgedrückt in Gramm, in die nachstehende Gleichung eingeht.

Die Formel zur Berechnung des Devalkoeffizienten berechnet sich sowohl für den trockenen Test („DS“) als auch für den nassen Test („DH“) mit

$$DS \text{ oder } DH = 2800 / m$$

wobei m der Masseanteil kleiner als 1,6 mm in Gramm ist.

Alternativ kann m auch folgendermaßen berechnet werden: $m = 7000 - m'$;

wobei m' der Masseanteil größer als 1,6 mm ist, wiederum ausgedrückt in Gramm.

1.2 ASTM D2-33

Die „American Standard Method of Test for Abrasion of Rock by use of the Deval Machine“ [2], kurz ASTM D2-33, liegt in der letztgültigen Version aus dem Jahr 1968 vor. Zurückgezogen wurde diese Norm im Jahr 1970. Der Umfang dieser Norm beträgt eine A4-Seite.

Die Norm gibt vor in beinahe allen Bereichen der französischen Norm gleich zu sein. Die Prüfmaschine, genannt „Deval abrasion testing machine“, soll aus einem oder mehreren hohlen Gusseisenzylindern bestehen. Der offene Durchmesser beträgt 200 mm, die Innenlänge 340 mm. Die Zylinder müssen in einem Winkel von 30° zur horizontalen Rotationsachse geneigt sein.

Um eine Probe zu erhalten, muss man aus einer Probenauswahl von 14 kg ungefähr 50 in etwa gleich große kubische Stücke ziehen. Aus diesen 50 Stücken wird eine Probe von 5000 g \pm 10 g eingewogen, welche zuvor zu waschen und zu trocknen ist.

Für den Test müssen die Proben in den Zylinder eingefüllt werden, welcher mit einem genau passenden aus Eisen bestehenden Deckel verschlossen wird. Die Prüfmaschine muss 10.000-mal um die Horizontalachse rotieren, bei einer Geschwindigkeit von 30 bis 33 Umdrehungen pro Minute.

Nach dem Test ist das Material aus der Maschine auszubauen und mit einem 1,7 mm Quadratlochsieb zu sieben. Das Material, welches durch das Sieb fällt, ist zu wiegen und als Prozentzahl des Ausgangsgewichts zu berechnen. Dies ergibt den Koeffizienten W , der in die nachstehende Formel eingesetzt wird:

Abrasionsbeiwert („French coefficient of wear“) = $40 / W$

In dieser Norm wird nicht unterschieden zwischen einem trockenen und nassen Test. Eine Erwähnung von Wasser kommt im ganzen Text nicht vor.

1.3 BS 812:1951

Die Beschreibung des British Standard 812 aus dem Jahr 1951 liegt dem Verfasser dieser Arbeit nur als Sekundärliteratur vor. [3]

Der Test ist ebenfalls sehr ähnlich dem französischen sowie dem US-amerikanischen Test, im Gegensatz zur ASTM wird aber zwischen einem trockenen Test („Dry Attrition Value“) und einem nassen Test („Wet Attrition Value“) unterschieden.

Die Prüfmaschine besteht aus einem oder mehreren eisernen Zylindern, welche an einem Ende geschlossen sind. Auf das andere Ende ist eine genau passende Abdeckung zu fixieren. Die Zylinder haben eine Länge von 340 mm sowie einen Durchmesser von 200 mm und sind so befestigt, dass sie 30° zur horizontalen Rotationsachse geneigt sind.

Eine Einzelprobe besteht aus 5 kg Gestein mit einer Körnung von 37 mm bis 50 mm [4], flache oder plättchenförmige Steine sind auszuscheiden. Zur Testvorbereitung ist die Probe vor dem Einwiegen zu waschen und zu trocknen.

Für den trockenen Test („Dry Attrition Test“) ist die Probe in einen Zylinder einzufüllen und, nach dem Verschließen des Zylinders, 10.000 Mal bei einer Drehgeschwindigkeit von 30 bis 33 Umdrehungen pro Minute um die horizontale Rotationsachse zu drehen. Danach ist die Probe mit einem 2,36 mm Sieb zu sieben. Der Anteil, der auf dem Sieb verbleibt, ist wiederum mittels Wasser vom Feinanteil zu befreien und danach bei einer konstanten Temperatur von 100°C bis 110°C vier Stunden lang in einem belüfteten Trockenschrank zu trocknen. Nach einer Abkühlphase kann das Material gewogen werden. Der relative Anteil des Gewichtsverlusts im Vergleich zur Ausgangsmasse, ausgedrückt in Prozent, entspricht dem „Dry Attrition Value“ der jeweiligen Probe.

Beim nassen Test („Wet Attrition Test“) ist zusätzlich eine der Probenmasse entsprechende Wassermenge dem Gestein hinzuzufügen. Das restliche Testprocedere entspricht dem des trockenen Tests.

Auch beim nassen Test entspricht der relative Anteil des Gewichtsverlusts dem „Wet Attrition Value“ der jeweiligen Probe.

Es sind jeweils zwei Tests durchzuführen und beide Ergebnisse anzugeben. Der Mittelwert der beiden Proben entspricht dem „Wet Attrition Value“ des Versuchs.

Nach Meinung des Verfassers ist es nicht möglich, unter diesen geometrischen Bedingungen fünf Liter Wasser in einen Zylinder zu füllen. Eine genaue Berechnung hierzu ist im Anhang auf Seite 74 ersichtlich.

1.4 Sonstige Sekundärliteratur

1.4.1 Granulats et liants routiers

Dieser Artikel stammt von Jean Berthier, Professor an der „L'Ecole Nationale des Ponts et Chaussees“ sowie Präsident der BCEOM. [5]

In diesem Text wird die Versuchsdurchführung für den nassen Deval-Test („Deval humide“) wie folgt beschrieben.

Die Prüfmaschine verfügt über einen Zylinder mit einem Durchmesser von 20 cm sowie einer Länge von 34 cm. Es wird aus 50 gebrochenen und befeuchteten Steinen eine Probe von 5 kg der Körnung 40/70 gezogen. Der Zylinder wird damit befüllt und bei einer Geschwindigkeit von 30 Umdrehungen pro Minute 10.000 um die Rotationsachse gedreht. Die Zylinderachse ist mit 32° zur Rotationsachse geneigt.

Zur Berechnung des Devalkoeffizienten benötigt man die Variable ‚P‘, welche die Masse kleiner als 1,6 mm, ausgedrückt in Gramm, beschreibt.

Die Formel zur Berechnung des Koeffizienten lautet:

$$D_H = 20000 / P$$

1.4.2 Controle a l'usure des granulats – Essai Deval

Dieser Text wurde von Universitätsprofessor Dr. Hamouine A. von der Universität Bechar in Algerien geschrieben. [6]

Laut diesem Text ist aus 44 Felsstücken eine Probe mit einem Gewicht von 5000 g ± 50 g zu ziehen. Die Steine sollten hierbei eine durchschnittliche Körnung von 60 mm bis 70 mm aufweisen.

Die Prüfmaschine muss über zwei Zylinder verfügen, welche von einem Motor betrieben werden und zur horizontalen Achse geneigt sein müssen, wobei der Neigungswinkel in diesem Papier nicht angegeben ist. Ein Zylinder ist für den trockenen Versuch vorgesehen, der andere für den nassen Versuch. Die Umdrehungsgeschwindigkeit ist mit 2.000 Umdrehungen pro Stunde beschrieben, was einer Geschwindigkeit von 33 Umdrehungen pro Minute entspricht, der Test dauert insgesamt fünf Stunden. Nach 10.000 Umdrehungen sind die beiden Proben mittels Wasser auszubauen und mit einem 1,6 mm Sieb zu sieben. Das Material größer als 1,6 mm ist 24 Stunden in einem Trockenschrank zu trocknen.

Die Formel zur Berechnung des Devalkoeffizienten lautet:

$$D = 400 / U_{kg} \quad (1)$$

$$\text{Wobei } U_{kg} - U / 5 = (P_1 - P_2) / 5 ; U = P_1 - P_2 \quad (2)$$

P_1 entspricht der Ausgangsmasse, P_2 ist die Masse größer als 1,6 mm nach dem Test. U beschreibt den Feinkornanteil ausgedrückt in Gramm.

Am Schluss wird darauf hingewiesen, dass der Devalkoeffizient des trockenen Tests immer größer ist als der des nassen Tests. Grundsätzlich kann der Deval humide, der nasse Devalkoeffizient, laut dieser Quelle mit ca. 1/3 des trockenen Devalwertes abgeschätzt werden. Devalwerte über dem Wert 12 werden in diesem Skript als ausreichend bzw. gut angesehen.

1.4.3 Unterschiede der Sekundärliteratur zur Norm

Grundsätzlich ist anzumerken, dass sich die ersten beiden beschriebenen Dokumente stark von der französischen Norm NF P 18-577 unterscheiden. In Kapitel 1.4.1 ist sowohl eine andere Körnung als auch eine andere Probenmenge angegeben. Es gibt in diesem Papier auch keinerlei Informationen über eine Trocknungstemperatur oder über die zu verwendende Wassermenge. Die Formel zur Berechnung des Devalkoeffizienten erscheint dem Verfasser fragwürdig, da sie exakt den zehnfachen Wert des Koeffizienten nach der Norm ergeben würde.

In Kapitel 1.4.2 wird ebenfalls über eine Probenmasse von 5 kg geschrieben, auch die Körnung entspricht nicht der in der Norm. Die Vorgangsweise, einen Zylinder für den trockenen und einen Zylinder für den nassen Test zu verwenden, widerspricht ebenfalls der Norm, da sich daraus kein Mittelwert bilden lassen kann. Die angegebene Trockenzeit von 24 Stunden sollte auch nur als Richtwert verstanden werden, da die Trocknungszeit sowohl von der Versuchsart als auch von der Menge des verwendeten Wassers zum Abbau der Probe nach dem Test abhängt.

Im vorliegenden Text ist die zweite Formel folgendermaßen beschrieben:

$$U_{kg} - U / 5 = (P_1 - P_2) / 5 \quad (2)$$

Hierbei handelt es sich nach Meinung des Verfassers um einen Tippfehler, das Minuszeichen müsste durch ein Gleichheitszeichen ersetzt werden, woraufhin die Formel folgendermaßen aussehen würde:

$$U_{kg} = U / 5 = (P_1 - P_2) / 5 \quad (2)$$

1.5 Übersicht über Deval - Normenunterschiede

	NF P 18-577	BS 812:1951	ASTM D2-33
Abmessungen [cm]	Ø 20 ; l=34	Ø 20 ; l=34	Ø 20 ; l=34
Körnung [mm]	4,2 kg 25/40 2,8 kg 40/50	37 / 50	-
Menge [kg]	7	5	5
Umdrehungen	10.000	10.000	10.000
Winkel [°]	32 ± 2	30	30
Siebweite [mm]	1,6	2,36	1,7
Trocknungstemperatur [°C]	105 ± 5	100 - 110	-
Wassermenge [l]	Maximum	5	-
Formel	$D = 2800 / m$	$[\%] < 2,36 \text{ mm}$	$D = 40 / W$

Tabelle 1: Unterschiede der drei Deval-Normen

2 Micro-Deval - Normen und deren Unterschiede

2.1 EN 1097-1

Die ÖNORM EN 1097-1 liegt in der aktuellen Ausgabe vom 1.3.2011 vor und hat einen Gesamtumfang von 14 A4-Seiten. [7]

Die Norm trägt den Titel „Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 1: Bestimmung des Widerstandes gegen Verschleiß (Micro-Deval)“. Diese Norm beschreibt das Referenzverfahren für die Bestimmung des Widerstandes gegen Verschleiß von groben Gesteinskörnungen.

Die Prüfeinrichtung muss über folgende Eigenschaften verfügen:

- I Die Prüfmaschine muss zwischen einer und vier hohle Trommeln besitzen, welche an einem Ende verschlossen sind. Die Innenlänge einer Trommel beträgt $154 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ sowie einen Innendurchmesser von $200 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$. Die Trommeln haben aus nichtrostendem Stahl zu sein, über eine Mindestwanddicke von 3 mm zu verfügen sowie an zwei Wellen angebracht zu sein, welche die horizontale Rotationsachse beschreiben.
- I Die Innenseiten der Trommeln müssen eben sein. Der Deckel der Trommel muss mindestens 8 mm dick sein sowie über wasser- und staubdichte Dichtungen verfügen.
- I Die Reibmittelladung hat aus Stahlkugeln mit einem Durchmesser von $10 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ zu bestehen.
- I Der Antriebsmotor soll über eine Leistung von etwa 1 kW verfügen. Die Umdrehungsgeschwindigkeit muss 100 ± 5 Umdrehungen pro Minute betragen.
- I Darüber hinaus muss die Maschine über ein Zählwerk verfügen welches den Motor bei der gewünschten Umdrehungszahl abstellen kann.

Eine Probe muss aus 2 kg Gestein der Kornklasse 10/14 bestehen, wobei entweder der Durchgang durch das 11,2 mm Sieb bei 30 % bis 40 % oder der Durchgang durch das 12,5 mm Sieb zwischen 60 % und 70 % liegen muss. Die Probe ist zu waschen und bei $110 \pm 5^\circ\text{C}$ bis zur Massenkonstanz zu trocknen, danach ist die Probe bei Raumtemperatur abkühlen zu lassen. Danach sind zwei Messproben einzuengen, welche aus jeweils $500 \text{ g} \pm 2 \text{ g}$ bestehen.

Jede Messprobe ist in eine Trommel einzufüllen und mit einer Reibladung von $5000 \text{ g} \pm 5 \text{ g}$ zu versehen. Danach sind $2,5 \text{ l} \pm 0,05 \text{ l}$ Wasser einzufüllen, die Trommel ist zu verschließen, auf die beiden horizontalen Wellen zu setzen und insgesamt mit 12.000 ± 10 Umdrehungen zu drehen.

Nach der Prüfung ist der Trommelinhalt in einen Auffangbehälter zu entleeren und die Trommel mit Wasser auszuspritzen. Die Gesteinskörner, die Stahlkugeln und das Wasser sind durch ein 8 mm Schutzsieb auf ein 1,6 mm Sieb zu schütten und danach mit einem Wasserstrahl zu säubern. Die Reibladung ist zu entfernen und das Material sowohl auf dem 8 mm Sieb sowie auf dem 1,6 mm Sieb ist in eine Schale zu schütten. Bei $110 \pm 5 \text{ °C}$ sind die Steine zu trocknen, danach ist der Siebrückstand, welcher auf dem 1,6 mm Sieb verbleiben ist, auf 1 g genau zu wiegen.

Die Formel zur Berechnung des Micro-Deval-Koeffizienten, kurz M_{DE} , lautet:

$$M_{DE} = (500 - m) / 5$$

wobei m die Masse des Siebrückstandes auf dem 1,6 mm Sieb, ausgedrückt in Gramm, ist.

Aus dem aus zwei Einzelproben erhaltenen Ergebniswert ist der Mittelwert zu bilden und auf die nächste ganze Zahl aufzurunden. Je höher der M_{DE} -Wert ist, desto schlechter ist der Abriebwiderstand.

Am Ende ist laut dieser Norm ein Prüfbericht zu erstellen.

Im Anhang B ist ein trockener Versuch beschrieben, mit welchem der Koeffizient M_{DS} zu berechnen ist. Die Testdurchführung erfolgt analog zur bereits beschriebenen, mit dem Unterschied, dass kein Wasser der Probe zuzufügen ist.

Anhang C beschreibt alternative Einteilungen für die Kornklassen. Es wird darauf hingewiesen, dass grundsätzlich das Referenzverfahren zu benutzen ist und nicht die Anhänge B oder C.

Anhang D widmet sich der Präzision und gibt ein Wiederholgrenze und eine Vergleichsgrenze an. Darauf wird in dieser Arbeit nicht weiter eingegangen.

Angang A, welcher in der Vorgängernorm EN 1097-1:2004 noch nicht vorhanden war, beschreibt den Verschleißwiderstand von Gleisschotter. Dieser Teil der Norm ist augenscheinlich ident mit dem Anhang E der Norm EN 13450:2004, auf welche im nächsten Kapitel näher eingegangen wird.

2.2 EN 13450

Die EN 13450 trägt den Titel „Gesteinskörnungen für Gleisschotter“ [8] und hat einen Umfang von 39 A4-Seiten. Die Norm beschreibt sowohl geometrische Anforderungen als auch verschiedene Möglichkeiten der Probenentnahme und eine Beschreibung zur internen Produktionskontrolle. Darüber hinaus werden der Los-Angeles Test, ein Prüfverfahren zum Schlagzertrümmerungstest, ein Versuch zur Bestimmung des Micro-Deval-Koeffizienten, ein Test zur Bestimmung des Widerstandes gegen Frost-Tau-Wechsel sowie ein Test zur Bestimmung der Beständigkeit gegen Magnesiumsulfat beschrieben.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird nur auf den Anhang E eingegangen: Das festgelegte Prüfverfahren zur Bestimmung des Widerstandes gegen Verschleiß (Micro-Deval).

Der Anhang E bezieht sich grundsätzlich auf die EN 1097-1, wobei folgenden Änderungen zu beachten sind.

- I Anstatt der Siebe mit 10 mm, 11.2 mm oder 12.5 mm und 14 mm sind Siebe mit 31,5 mm, 40 mm und 50 mm als Öffnungsweite zu verwenden.
- I Die Innenlänge der Hohltrommeln muss 400 ± 2 mm betragen, es ist keine Reibladung zu verwenden.
- I Die Ausgangsprobe muss aus mindestens 25 kg Material der Kornklasse 31,5 mm bis 50 mm bestehen. Eine Messprobe besteht immer aus zwei Einzelmessproben.
- I Die vorhandenen 25 kg müssen in Bereiche von 31,5 mm bis 40 mm sowie von 40 mm bis 50 mm gesiebt werden, danach gewaschen und bei 110 ± 5 °C bis zur Massenkonstanz getrocknet werden. Danach ist eine Einzelprobe mit einer Masse von $10.000 \text{ g} \pm 100 \text{ g}$ herzustellen, welche aus $5.000 \text{ g} \pm 50 \text{ g}$ aus der Kornklasse 31,5 mm bis 40 mm, sowie aus $5.000 \text{ g} \pm 50 \text{ g}$ aus der Kornklasse 40 mm bis 50 mm besteht.
- I Anstatt 2,5 Liter Wasser laut EN 1097-1 sind bei diesem Versuch $2,0 \pm 0,05$ Liter Wasser zu verwenden, die Umdrehungszahl beträgt 14.000 ± 10 Umdrehungen anstelle 12.000 ± 10 Umdrehungen. Die Berechnungsformel lautet für den Micro-Deval-Koeffizienten:

$$M_{\text{DERB}} = (10000 - m) / 100$$

Wie bereits im vorigen Kapitel erwähnt entspricht dieser Teil der Norm inhaltlich dem des Anhangs A der Norm EN 1097-1:2011.

2.3 Übersicht über Micro-Deval - Normenunterschiede

	EN 1097-1:2011	EN 13450 bzw. EN 1097-1:2011 – Anhang A
Probenmasse [g]	500 ± 2	10.000 ± 100
Trommelinnenlänge [mm]	154 ± 1	400 ± 2
Wasserzugabe	2,5 ± 0,05 Liter	2 ± 0,05 Liter
Umdrehungen	12000	14000
Reibladung	Ja	Nein
Siebweiten [mm]	14, 11.2 (12.5), 10, 1.6	50, 40, 31.5, 1.6
Berechnungsformel	$M_{DE} = (500-m)/5$	$M_{DERB} = (10000-m)/100$

Tabelle 2: Unterschiede EN 1097-1 / EN 13450

3 Versuchsbeschreibung

3.1 Einteilung der Gesteine

Grundsätzlich wurden die Gesteinsarten in vier verschiedene Gruppen eingeteilt, die schotterliefernden Werke der ÖBB werden in dieser Arbeit mit Zahlen von 1 bis 11 bezeichnet.

Die Gruppe A, bestehend aus den Schotterwerken 1, 3, 4, 9 und 10 beschreibt die Granite, Granitporphyr und Dunit. Es handelt sich hierbei um plutonische Magmatite oder auch Granitoide.

Die Gruppe B besteht aus den Schotterwerken 5 bis 8 mit den Gesteinen Diabas und Granulit. Diese Gruppe beschreibt die metamorphen Gesteine.

Die Gruppe C besteht aus dem Werk 11, die Gesteinsart ist ein Dolomit. Hierbei handelt es sich um ein karbonatisches Sediment.

Gruppe D ist das Werk 2 mit der Gesteinsart Basalt, ein vulkanisches Magmatit.

Eine genaue Auflistung mit den zugehörigen Farben und Symbolen findet sich in nachstehender Tabelle.

Gruppe:	Nummer:	Symbol:	Gestein:	Entstehung:	Quarzäquivalent:
A	1	Viereck	Granit	Magmatisch	0,5600
D	2	Viereck	Basalt	Magmatisch	k.A.
A	3	Kreis	Granitporphyr	Magmatisch	0,4526
A	4	Kreis	Dunit	Magmatisch	0,3174
B	5	Viereck	Diabas	Metarmorphit	0,4068
B	6	Dreieck	Granulit	Metarmorphit	0,6556
B	7	Raute	Diabas	Metarmorphit	0,3448
B	8	Dreieck	Diabas	Metarmorphit	0,3474
A	9	Raute	Granit	Magmatisch	0,5218
A	10	Dreieck	Granit	Magmatisch	0,6220
C	11	Viereck	Dolomit	Sedimentär	0,0352

Tabelle 3: Farbcodes und Gesteinsarten

3.2 Durchgeführte Versuche

Grundsätzlich sollte, wie in der Aufgabenstellung beschrieben, Deval-Versuche von insgesamt 11 Schotterwerken durchgeführt werden. Da aber vom Schotterwerk 1, im Prüfungszeitraum kein Material zur Verfügung stand, wurde mit Gestein von diesem Werk keinerlei Tests durchgeführt.

Folgende Tests wurden durchgeführt:

- 1) Der „Dry Attrition Test“, sprich der Devalversuch nach der Norm BS 812:1951 mit 10.000 Umdrehungen bei 33 Umdrehungen pro Minute in trockenem Zustand. Dieser Versuch wurde insgesamt an 10 Schotterwerken, den Schotterwerken mit den Bezeichnungen 2 bis 11, durchgeführt.
- 2) Der „Wet Attrition Test“, sprich der Devalversuch nach der Norm BS 812:1951 mit 10.000 Umdrehungen bei 33 Umdrehungen pro Minute unter Zugabe von Wasser. Dieser Versuch wurde insgesamt an 8 Schotterwerken durchgeführt. Nicht durchgeführt wurde der Versuch an den Schotterwerken mit den Bezeichnungen 1, 5 sowie 9, da von diesen Werken im Prüfungszeitraum nicht genügend Material zur Verfügung stand.
- 3) Ein modifizierter „Dry Attrition Test“. Bei diesem Test wurden die 10.000 Umdrehungen in fünf Abschnitte unterteilt und nach jedem Abschnitt wurde eine Siebung und Wiegung durchgeführt. Bei den Werken 2 und 11 wurde je fünf Mal 2.000 Umdrehungen gedreht, bei den Werken 3 bis 11 wurde die Unterteilung modifiziert. Die absoluten Umdrehungszahlen waren 250, 1.000, 2.000, 4.000 und 10.000 Umdrehungen. Da am Anfang eine stärkere Zunahme des Feinkorns gegeben ist, wurde nach den Versuchen der Werke 2 und 11 die Versuchsunterteilung abgeändert.
Dieser Versuch wurde insgesamt an 10 Schotterwerken, den Schotterwerken mit den Bezeichnungen 2 bis 11, durchgeführt.
Das Ziel dieses Versuchs war, den Feinkornabrieb über die Umdrehungszahl zu analysieren und darzustellen.

3.3 Gewählte Versuchskonfiguration

Nachfolgend wird die Versuchskonfiguration beschrieben, welche für diese Diplomarbeit bzw. für die zugehörigen Deval-Versuche gewählt wurde.

Die verwendete Prüfmaschine des Instituts für Eisenbahnwesen und Verkehrswirtschaft der TU-Graz verfügt über zwei Zylinder mit einem Durchmesser von 210 mm sowie einer Innenlänge von 350 mm. Die Neigung der Zylinder beträgt rund 30°. Die horizontale Rotationsachse wird mit einem Motor angetrieben und das Gerät verfügt über einen Umdrehungszähler sowie einer mechanischen Zeitschaltuhr, welche den Motor nach gewählter Zeit stoppt.

Für die Versuche wurde eine Gesteinskörnung von 37 mm bis 50 mm verwendet, je Probe wurden 5 kg dieses Materials verwendet. Dies wurde aus der britischen Norm BS 812:1951 abgeleitet.

Beim Dry-Attrition-Test wurden beide Zylinder mit jeweils 5 kg Material bestückt und 10.000-mal, ohne Unterbrechung, gedreht.

Beim Wet-Attrition-Test wurden ebenfalls beide Zylinder mit jeweils 5 kg Gestein bestückt. Darüber hinaus wurde bei diesem Test Wasser hinzugefügt. Dazu wurde der Zylinder so gedreht, dass ein Maximum an Wasser in den Zylinder einfüllbar ist. Bei dieser Konfiguration waren dies etwas mehr als 4 Liter Wasser. Eine genaue Berechnung der Wassermenge ist im Anhang auf Seite 74 zu finden. Die ungefähre Prozentzahl der Gesteinsmasse, welche über der Wasserlinie lag, liegt vermutlich zwischen 10 % und 20 %. Bei diesem Versuch wurde das Gestein ebenfalls 10.000-mal ohne Unterbrechung um die horizontale Rotationsachse gedreht.

Die dritte Versuchsart war der unterteilte Dry-Attrition-Test. Auch hier wurde 5 kg Gestein je Probe verwendet. Bei den Schotterwerken 2 und 11 wurde alle 2.000 Umdrehungen der Test unterbrochen, die Probe ausgebaut, gesiebt und gewogen. Bei den Schotterwerken 3 bis 10 wurde eine andere Unterteilung gewählt, nämlich wurde nach jeweils insgesamt 250, 1.000, 2.000, 4.000 und 10.000 Umdrehungen der Versuch unterbrochen und das Material gesiebt und gewogen. Dies geschah, um nach jedem Teilversuch die Kornverteilung sowie den Feinkornanteil zu erhalten.

Insgesamt wurden auch bei diesem Test bei jedem Versuch die 10.000 Umdrehungen erreicht.

3.4 Versuchsablauf und Versuchskritik

Als erster Schritt wurde das vorhandene Gesteinsmaterial gesiebt und die Körner mit einer Größe zwischen 37 mm und 50 mm in einem Behälter gesammelt. Das erste Ziel war, etwas mehr als 30 kg der genannten Kornklasse auszusieben. Dies wurde bei den Schotterwerken 5 und 9 nicht erreicht, bei diesen beiden Werken konnte nur etwas mehr als 20 kg ausgesiebt werden.

Als zweiter Schritt wurde dann das Material gewaschen. Dies gelang mit Hilfe eines 4 mm Quadratlochsiebes, auf welches das Gestein gelegt wurde, um Staub, Feinanteile und andere Fremdstoffe mit einer Wasserspritze abzuspritzen. Es waren ungefähr sechs Waschvorgänge pro Schotterwerk vonnöten. Nach dem Waschen wurden die Steine in zwei Stahlwannen gefüllt und gleichmäßig verteilt, um die Trocknung zu beschleunigen. Daraufhin wurden die Behältnisse bei 110 °C getrocknet.

Am folgenden Tag, falls das Gestein bereits trocken war, wurde der Schotter mit Hilfe einer Waage in insgesamt sechs 5000 g \pm 10 g schwere Teilproben aufgeteilt. Die Proben wurden dann mit einem Laufzettel versehen und mit einer internen Probennummer versehen. Diese Nummer war eine römische Zahl von I bis VI, wobei folgende selbstgewählte Konvention verwendet wurde:

- Die Proben mit den Bezeichnungen I und II wurden für den unterteilten Dry-Attrition-Test verwendet.
- Die Proben mit den Bezeichnungen III und IV wurden für den nach Norm durchgeführten Dry-Attrition-Test verwendet.
- Die Proben mit den Bezeichnungen V und VI wurden für den Wet-Attrition Test verwendet.

Nach dem Aufteilen wurden jeweils zwei Proben in die Zylinder der Prüfmaschine gefüllt und der entsprechende Test durchgeführt. Die Zylinder wurden mit einem Deckel mit Hilfe eines Stahlverschlusses verschlossen. Vor dem Einbau der Proben wurden die Zylinder mit Druckluft gesäubert, um eventuelle Feinteile der vorhergehenden Tests auszublasen, außerdem konnten mit Druckluft bei Bedarf Feuchtigkeitsrückstände getrocknet werden.

Bei den Tests welche nach der Norm durchgeführt wurden (Proben III bis VI) dauerte dieser Test insgesamt fünf Stunden.

Nach dem Versuch wurden die Steine aus den Zylindern vorsichtig mit Hilfe einer Metallschaufel herausgenommen. Durch eine Schrägstellung des Zylinders konnte das Feinkorn

mit Hilfe der Wasserspritze gründlich ausgespült werden. Sowohl das Wasser, in dem jetzt das Feinkorn gelöst war, als auch das Festgestein wurden in einer der jeweiligen Probe zugeteilten Stahlwanne aufgefangen. Nach diesem Vorgang wurden die jeweils zwei Stahlwannen pro Versuch in den Trockenschrank gestellt und bei $105 \pm 5 \text{ °C}$ bis zur Massenkonstanz getrocknet.

Als nächster Schritt wurden die trockenen Proben in den Siebsatz gefüllt. Der Siebsatz bestand aus den Sieben mit 45 mm, 31.5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm sowie 1 mm. Die für die Normen relevanten Größen von 1.6 mm, 1.7 mm und 2.36 mm wurden durch lineare Interpolation errechnet.

Der Feinanteil, welcher sich durch das Trocknen des Wassers an der Oberfläche der Stahlwanne angesammelt hatte, musste mit einem Pinsel von der Wanne abgewischt werden und konnte so ebenfalls mit Hilfe der Metallschaufel in den Siebsatz eingebracht werden. Die Siebmaschine wurde für ungefähr fünf Minuten eingeschaltet.

Nach der Siebung und vor der Wiegung der einzelnen Siebrückstände musste von Hand nachgesiebt werden und die größeren Körner mit dem Pinsel vom Feinkorn, so gut wie möglich, befreit werden. Dies geschah, indem jedes einzelne Korn mit dem Pinsel bearbeitet wurde, was einen großen Zeitaufwand bedeutete. Dieses Problem tritt allerdings nur bei einer Trockensiebung auf. Würde man eine Nasssiebung durchführen, müsste man allerdings den ganzen Siebsatz nach erfolgter Siebung trocknen, was bedeuten würde, dass man pro Probe einen, pro Versuch zwei Siebsätze benötigen würde.

Insgesamt ist davon auszugehen, dass für einen Versuch nach Norm ein Zeitbedarf von mindestens drei Tagen notwendig ist. Bei dem unterteilten Test hängt dies von der Anzahl der Unterteilungen ab. In diesem Falle handelte es sich um insgesamt fünf Teilver suche, daher kann man mit einem Mindestzeitbedarf von sieben Tagen rechnen. Dies hängt aber auch immer von der verwendeten Menge an Wasser ab, die für den Ausbau der Probe aus der Maschine verwendet wurde. Daher konnte es vorkommen, dass eine Probe am nächsten Tag noch nicht vollständig trocken war und daher noch weitere 24 Stunden im Trockenschrank belassen wurde. Dies war vor allem beim Wet-Attrition-Test der Fall, da bei diesem Test zusätzlich zum Wasser, welches für den Ausbau der Probe notwendig war, noch ca. 4 Liter Wasser von der Versuchsdurchführung hinzukamen.

4 Ergebnisse

4.1 Dry-Attrition-Test

Die Ergebnisse werden folgend in Diagrammen und einer zugehörigen Beschreibung dargestellt.

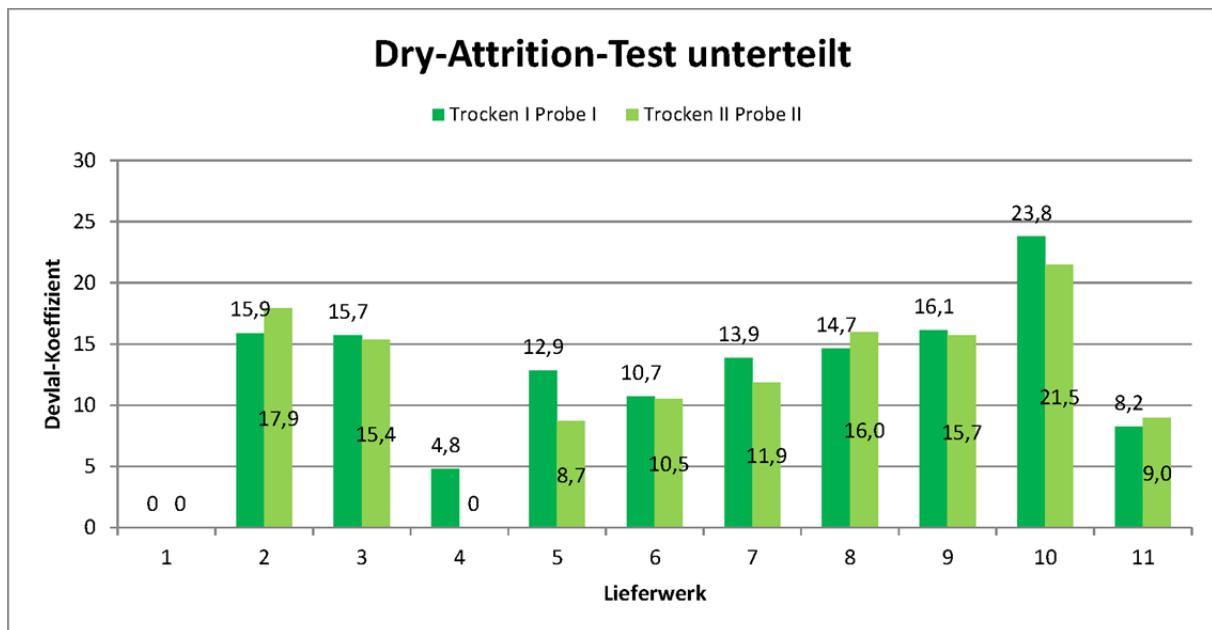


Abbildung 1: Ergebnisse Dry-Attrition-Test unterteilt

Die Abbildung 1 zeigt die Ergebnisse beider Proben des unterteilten Dry-Attrition-Tests für alle geprüften Schotterwerke. Es ist hierbei festzustellen, dass die Streuungen zwischen den einzelnen Proben eines Versuchs gering sind, abgesehen von den Werken 4 und 5. Beim Werk 4 wird darauf hingewiesen, dass der Versuch der Probe II als ungültig und damit mit dem Wert Null definiert wurde.

Bei diesem Versuch lassen sich kaum Rückschlüsse von den Ergebniswerten zu der zugehörigen Gesteinsgruppe ziehen. Es zeigt sich aber, dass der Basalt und die Granitoide, mit Ausnahme des Lieferwerkes 4, bei diesem Test die besten Werte erreichten. Das Werk mit der größten Streuung, Nummer 5, gehört zur Gruppe der Metamorphite. Dieses Ergebnis wird sich auch bei den anderen Tests zeigen.

In nachstehender Abbildung ist der Feinkornanteil über die Umdrehungszahl aufgetragen.

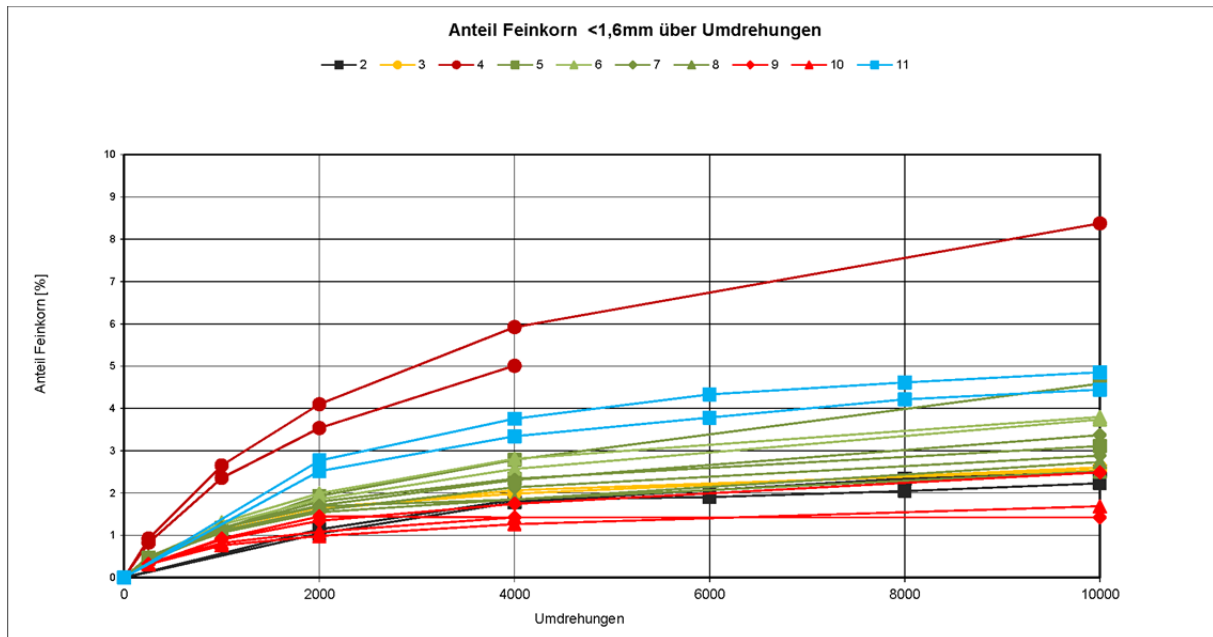


Abbildung 2: Feinkornanteil über Umdrehungszahl

Es zeigt sich, dass am Anfang eine stärkere Zunahme des Feinkornanteils zu beobachten ist und sich die Kurve mit Fortdauer des Versuches deutlich abflacht. Es wären hier weitere Untersuchungen durchzuführen, ob und wann sich diese Kurven nach mehreren 10.000 Umdrehungen asymptotisch einer Horizontalen annähern, sprich ob es noch zu einer weiteren Feinkornzunahme kommt bzw. ab wann keine Feinkornzunahme mehr stattfindet. Bei den Schotterwerken 2 und 10 scheint dieser Zustand relativ kurz bevorzustehen.

Auch ist in Abbildung 2 abzulesen, dass die Gesteine der Granitoide und der Basalt, wieder mit Ausnahme des Werkes 4, besser abschneiden als die restlichen Gesteine. Die meisten Proben liegen bei einem Feinkornanteil zwischen 1,5 % und 4 %, nur der Dolomit, Werk 4 sowie die Probe II des Werkes 5 als Teil der Gruppe der Metamorphite, liegen über diesen 4 %.

Eine Darstellung der Steigung des letzten Teilversuchs ist in nachstehendem Diagramm abgebildet.

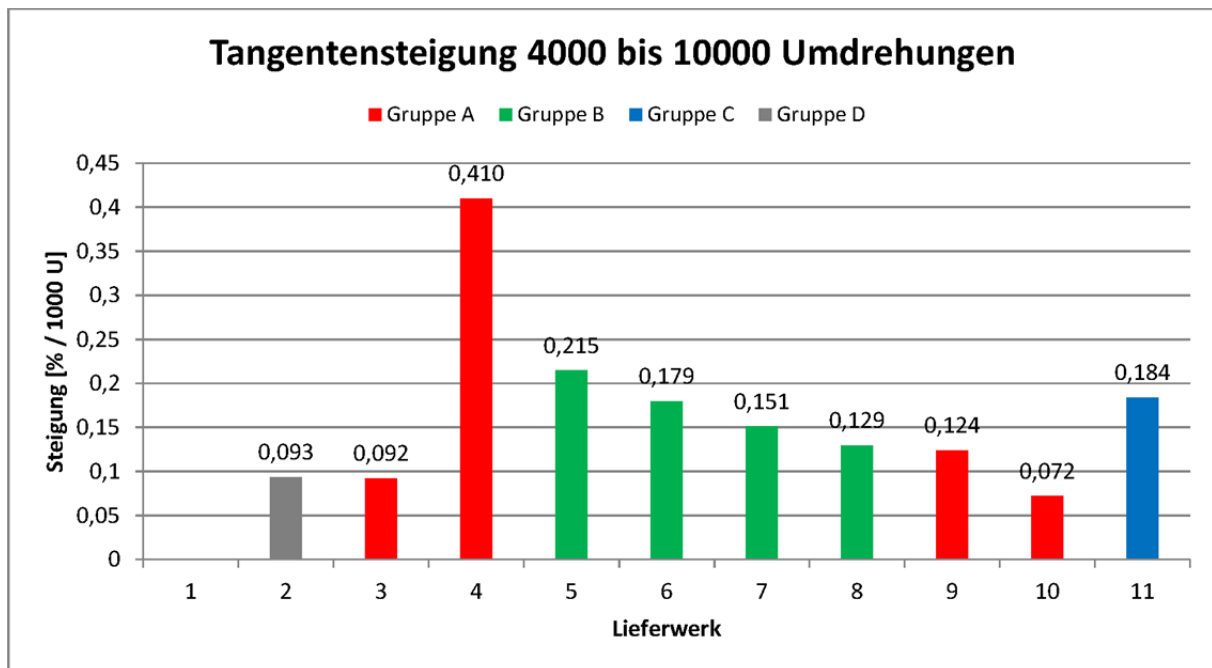


Abbildung 3: Tangentensteigung Unterteilter Test

Die Abbildung 3 beschreibt die Tangentensteigung des unterteilten Dry-Attrition-Tests für die letzten 6.000 Umdrehungen. Auch bei den Schotterwerken 2 und 11 wurde dieser Bereich zur Berechnung der Steigung herangezogen, trotz einer anderen Testunterteilung.

Bei diesen Steigungen handelt es sich um die Mittelwerte der beiden Proben, als Einheit auf der y-Achse wurde gewählt: Prozent pro 1.000 Umdrehungen. Die Ergebnisse wurden nach den Gesteinsgruppen gegliedert.

Die Werte dieses Diagramms zeigen eine gute Korrelation zwischen dem absoluten Devalwert und der Steigung der Tangenten. Dies kann so gedeutet werden, dass eine starke Steigung der Tangente am Beginn eines Versuches auch bedeutet, dass gegen Ende der 10.000 Umdrehungen auch eine größere Steigung der Tangente zu beobachten ist. Dies bedeutet auch, wie bereits bei den anderen Diagrammen gesehen, dass der Abrieb nach 10.000 Umdrehungen noch nicht abgeschlossen ist.

Die Werte der Steigung bewegen sich in einer Bandbreite von 0,072 % des Werkes 4 bis zu 0,410 % bei Werk 10.

Nach Gesteinsgruppen aufgeteilt zeigt sich, dass die Granitoide, mit Ausnahme des Werkes 4, den geringsten Anstieg verzeichnen und damit den besten Wert liefern. Schotterwerk 2 (Basalt) zeigt ähnliche Werte wie Gruppe A, der Wert liegt knapp unter 0,1 %. Der Dolomit als karbonatisches Sedimentgestein liegt im oberen Bereich der Steigungen. In Abbildung 2 ist aber ersichtlich, dass die Steigung auch zwischen 4.000 und 10.000

Umdrehungen abnimmt, da bei diesem Lieferwerk die Unterteilung mit fünf Mal jeweils 2.000 Umdrehungen gewählt wurde. Für die Berechnung allerdings wurden nur die Stützstellen bei 4.000 und bei 10.000 Umdrehungen herangezogen und linear verbunden um die Steigung der Tangente in diesem Bereich zu berechnen.

Bei der Gruppe der Metamorphite findet sich eine Bandbreite der Steigungen von 0,129 % bis 0,215 %. Dies liegt in der Mitte der durchgeführten Versuche. Auffällig hierbei ist aber, dass Schotterwerk 5 eine höhere, aus beiden Versuchen gemittelte Steigung hat als Schotterwerk 6, obwohl Schotterwerk 5 einen etwas höheren gemittelten Devalkoeffizienten aufweist. Dies ist damit erklärbar, dass die Proben der Schotterwerke 5 und 6 bei 4.000 Umdrehungen noch relativ nahe beieinander liegen, die Steigung vor allem der Probe II des Werkes 5 aber mit rund 0,3 % sehr hoch ist und es damit insgesamt zu einer höheren Steigung führt als die Steigung des Werkes 6.

Um die Gültigkeit der Ergebnisse zweier Proben zu erhalten, wurde ein Prüfkriterium aus der Schweiz für diese Versuche angewandt. [9].

Um dieses Schweizer Kriterium anwenden zu können, muss man den arithmetischen Mittelwert bilden (maßgebender Wert). Wenn man diesen Wert mit 1,1 multipliziert, sprich um 10 % erhöht, und der Größere der beiden Werte kleiner ist als dieser um 10 % erhöhte Mittelwert ist, dann ist die Probe gültig. Andernfalls wird der Versuch für ungültig erklärt.

Eine Aufstellung der Ergebnisse dieser Vergleichsrechnung ist in Tabelle 4 ersichtlich.

Gruppe:	Nummer:	Schweizer Kriterium:		
		Probe I + II	Probe III + IV	Probe V + VI
A	1			
D	2	OK	OK	OK
A	3	OK	OK	OK
A	4	ungültig	OK	OK
B	5	ungültig	ungültig	
B	6	OK	ungültig	ungültig
B	7	OK	ungültig	OK
B	8	OK	OK	OK
A	9	OK	OK	
A	10	OK	ungültig	OK
C	11	OK	OK	OK

Tabelle 4: Überblick über die Gültigkeit der Tests nach [9]

Die Ergebnisse des Dry-Attrition-Tests, welcher nach Norm durchgeführt wurde, d.h. nicht unterteilt, werden in dem folgenden Diagramm dargestellt.

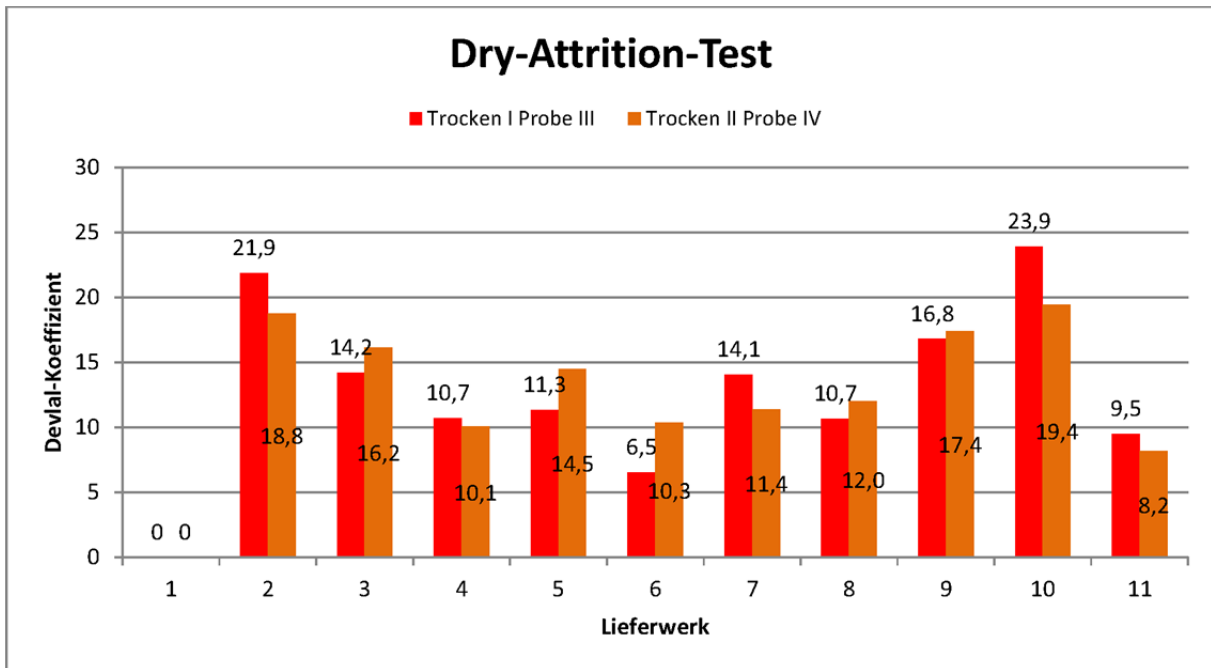


Abbildung 4: Ergebnisse Dry-Attrition-Test

Auch hier zeigt sich, dass die Gesteine der Granitoide sowie der Basalt die besten Ergebnisse liefern. Die Streuungen bei diesem Test sind allerdings höher, sodass nach dem gewählten Kriterium vier der zehn Versuche für ungültig zu erklären wären. Diese ungültigen Versuche verteilen sich so, dass drei davon aus der Gruppe der Metamorphite stammen sowie das Werk 10 aus der Gruppe der Granitoide. (siehe Tabelle 4)

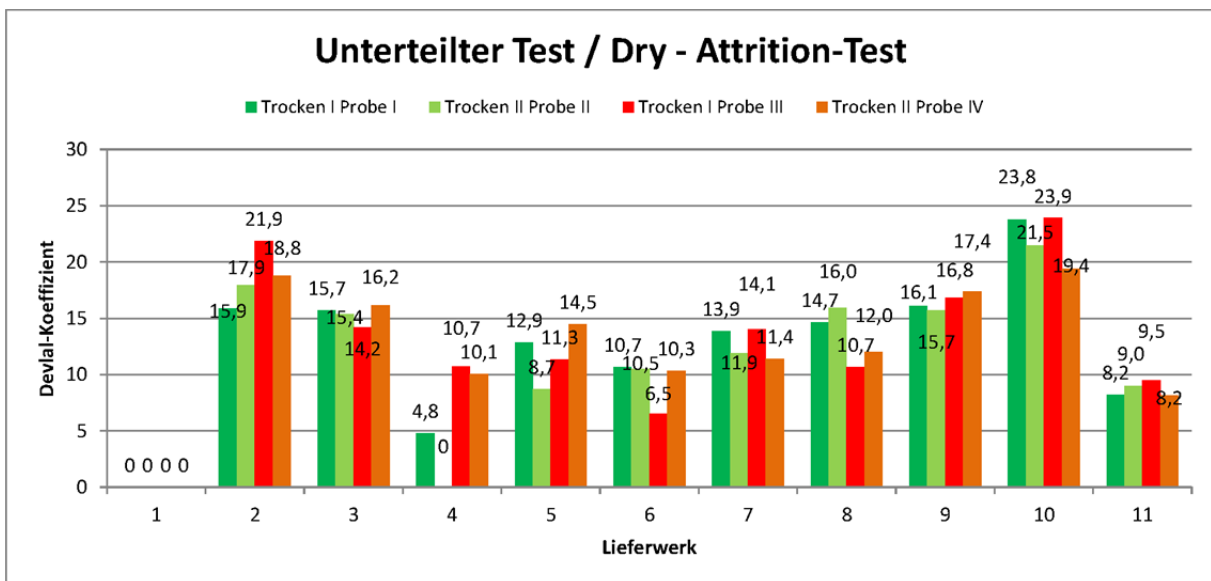


Abbildung 5: Vergleich unterteilter Test / Norm-Test

In dieser Abbildung ist der Vergleich zwischen dem unterteilten Test (Proben I und II) sowie dem Dry-Attrition-Test nach der Norm (Proben III und IV) zu sehen. Man erkennt, dass bei diesem Vergleich die Werke 3, 7, 9 und 11 ähnliche Ergebnisse zeigen. Bei den Werken 5, 6 und 10 streut jeweils eine Probe nach oben oder unten.

Die Lieferwerke 2 und 8 zeigen verschiedene Ergebnisse der beiden Versuche, wobei bei Werk 2 der Test nach Norm besser ist, bei Werk 8 aber der unterteilte Test deutlich besser abschnitt.

Beim Schotterwerk 4 ist der relative Unterschied zwischen den beiden Testverfahren am größten. Eine Erklärung für diesen großen Unterschied kann vom Verfasser dieser Arbeit nicht gegeben werden.

Grundsätzlich zeigt sich aber bereits nach diesen zwei Versuchsarten, dass die metamorphen Gesteine sowie der Dunit des Schotterwerkes 4, die größten Streuungen in den Versuchen aufweisen und damit nach dem erwähnten Kriterium als ungünstig zu bezeichnen wären. Hierzu sei abermals auf Tabelle 4 auf Seite 20 verwiesen.

4.2 Wet-Attrition-Test

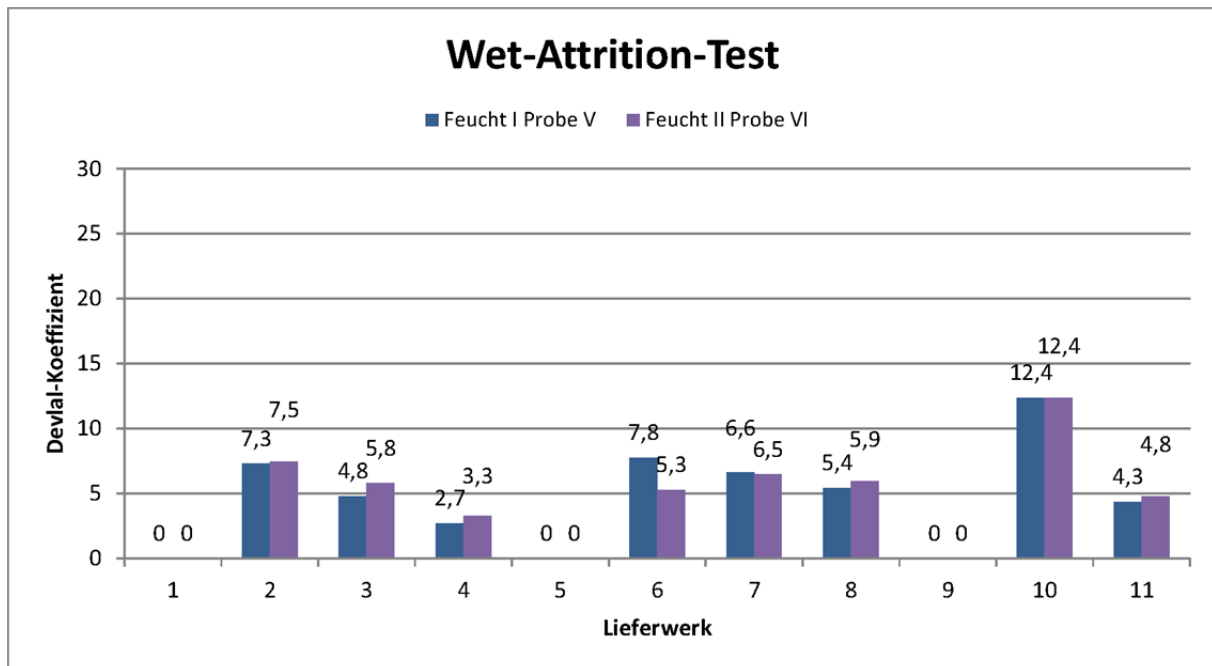


Abbildung 6: Wet-Attrition-Test

Dieses Diagramm veranschaulicht die Ergebnisse des Wet-Attrition-Tests.

Allgemein kann davon ausgegangen werden, dass die Ergebniswerte geringer sind als beim Dry-Attrition-Test.

Die Werte zeigen bei dieser Versuchskonfiguration nicht eindeutig, welche Gruppe an Gesteinen die widerstandsfähigste gegen Abrieb ist. Die Granitoide und der Basalt sind zwar, wie bei den beiden zuvor gezeigten Tests auch, unter den besseren Ergebnissen. Das Schotterwerk 7 sowie Probe V des Schotterwerkes 6 liegen aber bei diesem Test nicht weit hinter dahinter bzw. sind sogar besser als das Werk 3, welches zur Gesteinsgruppe der Granitoide gehört. Auffällig ist bei diesem Test auch der große relative Abstand des Ergebniswertes des Werkes 10 zu den übrigen Ergebnissen.

Die Ergebnisse zeigen geringe Streuungen unter den Proben, nur bei Lieferwerk 6 würde der Versuch nach dem Testkriterium aus der Schweiz für ungültig erklärt werden.

Der Vergleich von dem Dry-Attrition-Test mit dem Wet-Attrition-Test ist im nachstehenden Diagramm dargestellt.

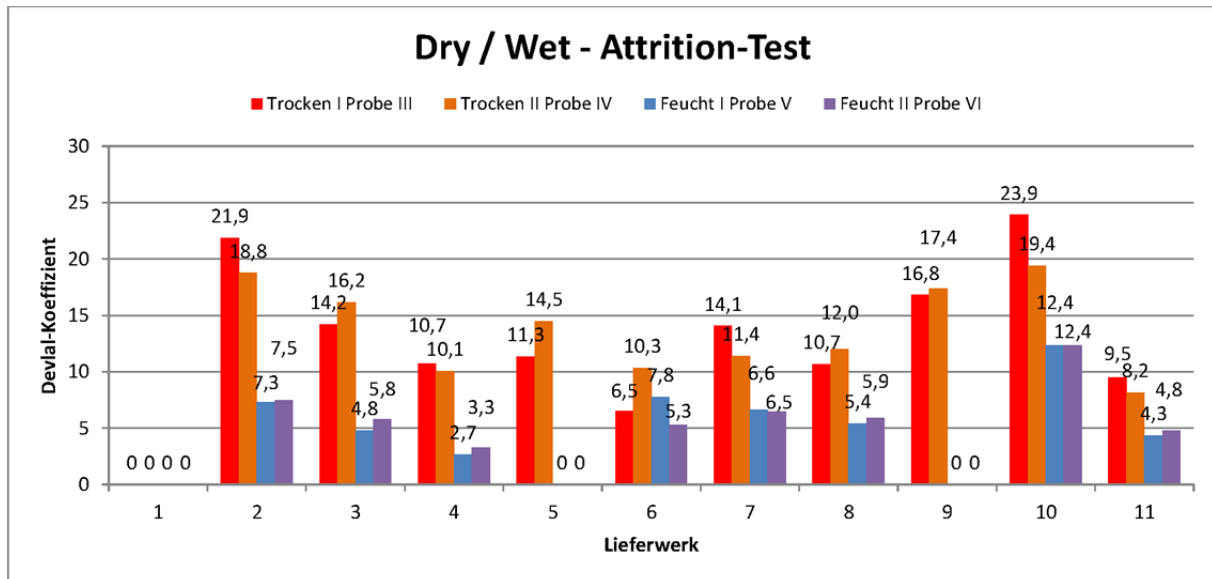


Abbildung 7: Unterschied Dry-Attrition-Test / Wet-Attrition-Test

Als erstes Ergebnis fällt in diesem Diagramm auf, dass bei allen Werken der Deval-Koeffizient des Dry-Attrition-Tests höher liegt als der des Wet-Attrition-Tests, beim Schotterwerk 6 dieser Unterschied aber weniger ausgeprägt ist. Eine Erklärung kann dafür vom Verfasser nicht abgegeben werden. Es ist allerdings auffällig, dass sowohl der Dry-Attrition-Test als auch der Wet-Attrition-Test bei diesem Werk über so große Streuungen verfügt, dass beide Ergebnisse nach dem Kriterium aus der Schweiz ungültig wären.

Der Verhältniswert aus [6] (Kapitel 1.4.2) von 3:1 kann nicht bestätigt werden. Die Verhältniswerte erreichen Werte von ca. 3,5:1 bis zu 2:1, beim bereits erwähnten Werk 6 ist das Verhältnis wenig über 1:1.

Eine genaue Auflistung der Verhältnisse der Tests im Rahmen der Diplomarbeit kann der Abbildung 8 entnommen werden.

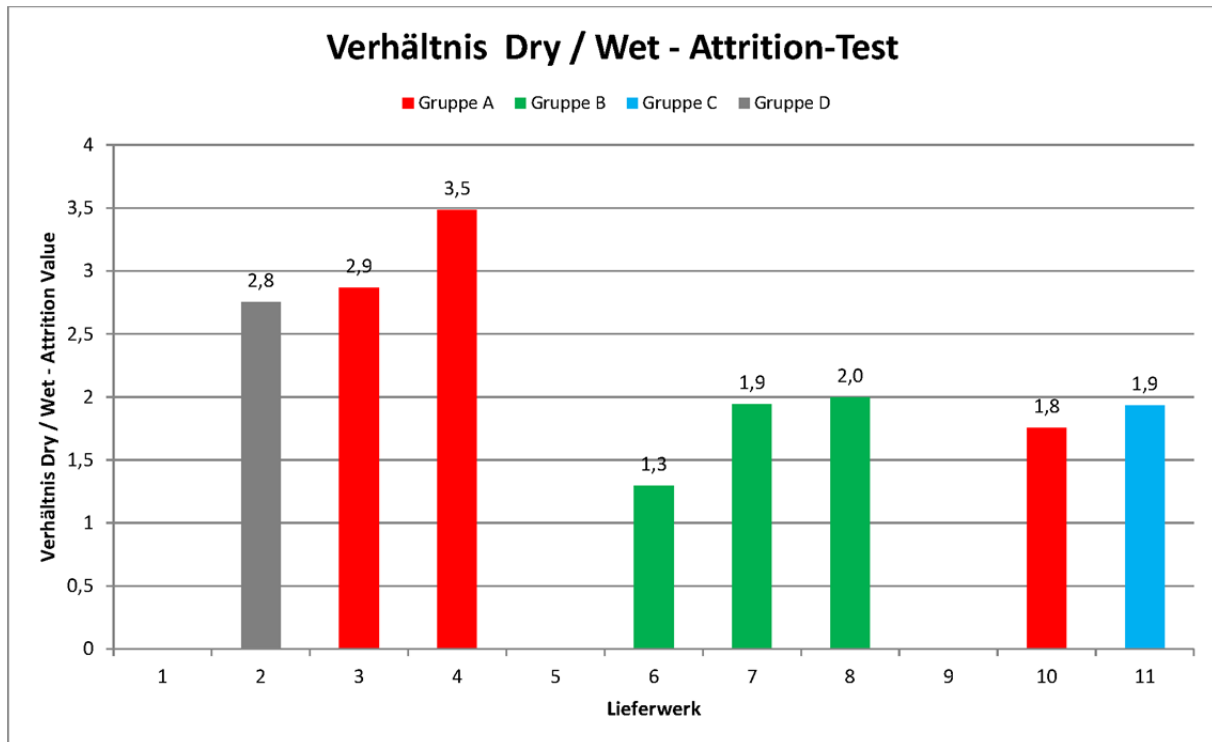


Abbildung 8: Verhältniswert Dry / Wet – Attrition-Value

Nach einer anderen Quelle [10] würden die Verhältnisse aus Dry-Attrition-Test und Wet-Attrition-Test von der Gesteinsart abhängen. Diese Prüfung stammt aus dem Jahr 2005, die Tests wurden nach der US-amerikanischen Norm ASTM D2-33 durchgeführt, die Wasserzugabe beim nassen Test betrug 0,5 Liter.

Die vergleichbaren Schotterwerke sind Nummer 3, 4, 7 und 8. Alle vier Werke werden in dieser Quelle in der Gruppe der basischen und ultrabasischen Silikatgesteine geführt, für welche ein Verhältniswert von rund 2,0 angegeben wird. Dieser Faktor kann für die metamorphen Gesteine der Werke 7 und 8 bestätigt werden, bei den Werken 3 und 4 ist das Verhältnis jedoch weitaus größer. Vergleicht man allerdings die detaillierten Ergebnisse der einzelnen Werke mit der Quelle, ergeben sich andere Verhältniswerte. Beim Werk 3 sind die Ergebnisse Nass zu Trocken 9,3 % zu 3,3 %, was ein Verhältnis von 2,8 bedeutet und damit sehr nahe an das Ergebnis in Abbildung 8 herankommt. Werk 4 hat in der Quelle ein Verhältnis von 2,3 bei Ergebnissen Nass zu Trocken 18,4 % zu 7,9 %. Hier sind sowohl das Ergebnis als auch das Verhältnis ein anderes als bei den Versuchen im Rahmen dieser Diplomarbeit. Die Ergebnisse des Werkes 7 in der Quelle sind Nass zu Trocken 8,9 % zu 3,5 %, ein Verhältnis von 2,5. Werk 8 hat ein ebenfalls Verhältnis von 2,5 bei Werten von 9,8 % zu 4,0%.

Allgemein kann man sagen, dass die Werte mit den Ergebnissen der Diplomarbeitenversuche nur schwer vergleichbar sind, da sie nach einer anderen Norm durchgeführt wurden, eine andere Körnung sowie weniger Wasser verwendet wurde. Die Ergebniswerte in dieser Quelle sind allesamt höher als die vom Verfasser durchgeführten Versuche zeigen. Dies kann auch daran liegen, dass diese Tests bereits 2005 durchgeführt wurden und sich seitdem die Eigenschaften der abgebauten Gesteine verändert haben könnten.

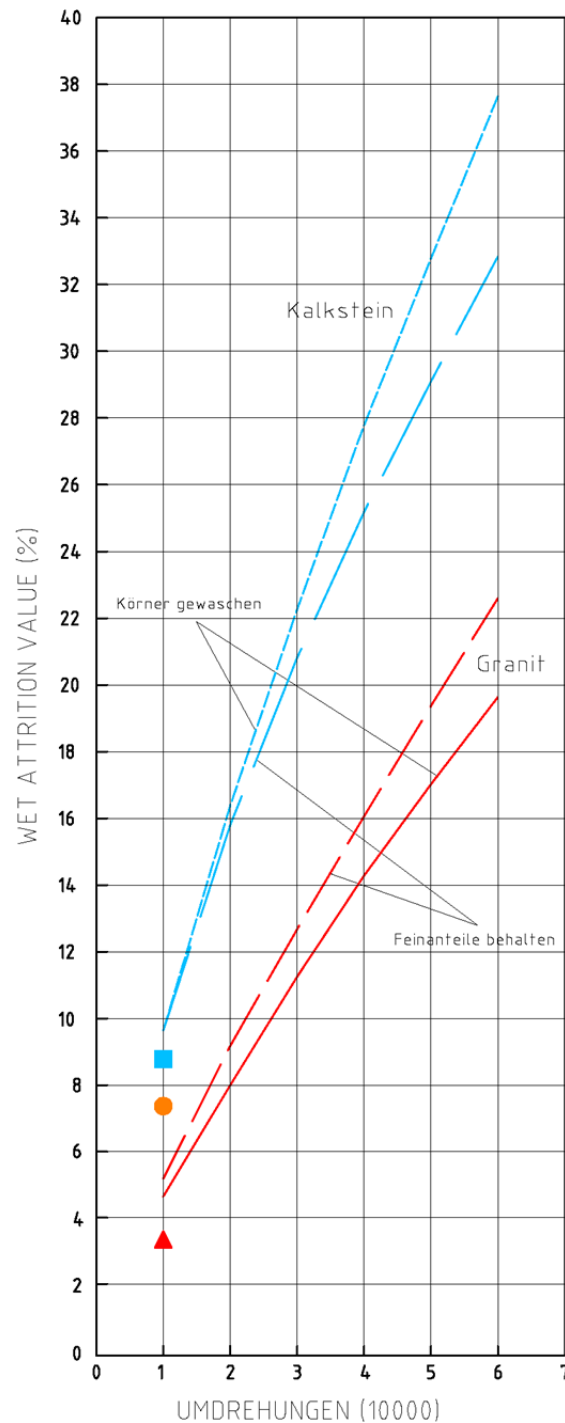


Abbildung 9: Modifiziertes Selig-Diagramm [11]

Ein anderes Diagramm zum Wet-Attrition-Test ist als Abbildung 9 geführt. Dieses Diagramm wurde aus [11] entnommen und umgezeichnet, indem die Feinkornneubildung bzw. der Wet-Attrition-Value je 10.000 Umdrehungen aufsummiert wurde.

Es zeigt die Zunahme des Feinkornanteils bei einem Wet-Attrition-Test eines Granits sowie eines Kalksteins. Es wurden jeweils zwei Versuche je Gesteinsart durchgeführt, einmal wurde das Feinkorn nach jeder Siebung alle 10.000 Umdrehungen beim folgenden Teilversuch wieder miteingefüllt, das andere Mal wurde das Gestein gewaschen und somit das Feinkorn nach jedem Teilversuch entfernt.

Die Ergebnisse zeigen allerdings unterschiedliche Tendenzen. Beim Kalkstein ist der Wet-Attrition-Value beim Versuch, bei dem das Gestein gewaschen wurde, höher als beim Versuch bei dem das Feinkorn für die weiteren Teilversuche wiederverwendet wurde. Beim Granit zeigt sich genau der gegenteilige Effekt, nämlich dass der Versuch mit jeweils vom Feinkorn befreitem Gestein niedriger ist als beim Versuch bei welchem das Feinkorn behalten wurde.

Fragwürdig bei diesem Diagramm erscheint allerdings der stetige Anstieg der Kurven mit nur sehr geringen Tendenzen zur Abflachung bzw. zum Übergang in eine horizontale Linie. Um diese Kurven zu verifizieren bzw. falsifizieren, sollten weitere Untersuchungen angestellt werden.

Die Ergebnisse der Deval-Versuche im Rahmen dieser Arbeit wurden in das Diagramm mit deren Symbolen und Farbcodes laut Tabelle 3 (Seite 12) eingetragen. Es zeigt sich, dass die Werte der Lieferwerke in etwa zu den Kurven des Ausgangsdiagramms passen bzw. die Abweichungen nicht all zu groß erscheinen.

Der Dolomit, sprich Lieferwerk 11, liegt ungefähr 1 % unter dem Wert der Referenzkurve des Kalksteines. Dies erscheint plausibel, da es sich sowohl beim Dolomit des Lieferwerkes als auch beim Kalkstein der Referenzkurve um ein karbonatisches Sediment handelt.

Bei der Gruppe der Granitoide ist das Ergebnis nicht eindeutig für die ganze Gruppe zu bestimmen, daher wird auf die zwei Schotterwerke, welche in das Diagramm aufgenommen wurden, einzeln eingegangen.

Den niedrigsten und damit besten Wert zeigt das Schotterwerk 10, ein Granit. Der ermittelte Wert bei den Versuchen liegt ca. 1 % unter der Granit-Referenzkurve und erscheint damit plausibel.

Das Werk 3 liegt ungefähr in der Mitte zwischen den beiden Referenzkurven des Kalksteins sowie des Granits. Da es sich bei diesem Werk um einen Granitporphyr handelt,

welcher etwas weicher ist als die Granite, kann dieses Ergebnis auch noch als plausibel, zumindest aber nicht als Ausreißer bezeichnet werden.

Sollte es, wie bereits erwähnt, weitere Untersuchungen zu diesen Kurven geben, genauer gesagt Tests mit mehreren 10.000 Umdrehungen, sollten diese auch weiter geführt werden als die 60.000 Umdrehungen in diesem Diagramm.

Die Versuche sollten so lange durchgeführt werden bis die Feinkornzunahme sehr gering wird bzw. gegen Null tendiert. Dies wäre, nach Meinung des Verfassers, im ungünstigsten Fall, wenn sich quaderförmige Gesteinsstücke in Kugeln mit dem gleichen Durchmesser abreiben. Bei diesem Vorgang würde es zu einem Feinkornabrieb von maximal rund 48 % der Ausgangsmasse des Quaders kommen. Eine genaue Berechnung ist im Anhang auf Seite 75 ersichtlich.

Darüber hinaus sollte nach mindestens allen 10.000 Umdrehungen die Steigung der Tangente berechnet werden, um zu sehen ob sich die Tangente einer horizontalen Linie annähert oder ob, wie in Abbildung 9 zumindest bis 60.000 Umdrehungen, eine beinahe konstante Steigung der Tangente vorliegt.

Grundsätzlich können nach diesen Versuchsergebnissen die Granite, Granitporphyrite und der Dolomit, sprich die Gesteinsgruppen der Granitoide und des Basalts, als die widerstandsfähigsten Gesteinsarten gegen Verschleiß bei allen drei durchgeführten Varianten der Deval-Tests angesehen werden. Die größten Streuungen in einem Versuch unter den zwei Proben zeigen die Gesteine der Gruppe der metamorphen Gesteine, auch bei den Testvergleichen zwischen dem unterteilten Test und dem Dry-Attrition-Test nach Norm zeigt diese Gruppe die größten Abweichungen in den Ergebnissen.

Trotzdem kann im Grunde davon ausgegangen werden, dass je höher der Deval-Koeffizient des Dry-Attrition-Tests ist, desto höher ist auch der Deval-Koeffizient des Wet-Attrition-Tests.

5 Physikalische Vorgänge

5.1 Unterschied Kornbruch - Abrieb / Verschleiß

Der Unterschied zwischen diesen beiden physikalischen Vorgängen des Gesteins liegt in der Intensität und Dauer der aufgebrachten Kräfte.

Bei den Deval-Versuchen entstand beinahe ausschließlich Abrieb und nur sehr selten ein Kornbruch. Dies ist damit zu erklären, dass in einem Prüfzylinder Körner stetig aneinander reiben und es daher durch den Abrieb der Zwickel zur Entstehung von Feinkorn beim Übergang von Gesteinsquadern zu Kugeln kommt. (Siehe Abbildung 11)



Abbildung 10: Korn vor Versuchsdurchführung



Abbildung 11: Abgeriebene Kanten nach Versuchsdurchführung

Kornbruch hingegen ist ein Vorgang, an welchem größere Kräfte beteiligt sein müssen. In Bezug auf diesen Versuch könnte dies nur dann der Fall sein, wenn ein Korn während einer Drehung des Zylinders sich mit in die Höhe bewegt und dann entweder auf die Zylinderwand oder auf ein anderes Korn herunterfällt. Die maximale Fallhöhe wäre der Durchmesser des Zylinders, in diesem Fall wären dies rund 20 cm. Bei einer solchen wiederholten Belastung könnte es zu einem Kornbruch kommen.



Abbildung 12: Foto Kornbruch

5.2 Unterschied Nasser Test – Trockener Test

Die Ergebnisse dieser beiden Testverfahren unterscheiden sich sehr stark voneinander, die Feinkornanteile des nassen Tests sind weit höher als die der trockenen Tests. Hierzu sei noch einmal auf Abbildung 7 verwiesen. Wie auch bereits erwähnt, lässt sich kein Verhältniswert für alle Gesteine zwischen den Ergebnissen dieser beiden Testarten angeben.

Eine physikalische Erklärung für den höheren Abrieb bei einem Test unter Zugabe von Wasser wird nachstehend beschrieben. Nach Meinung des Verfassers dieser Arbeit ist dies damit zu begründen, dass beim trockenen Test zwischen zwei Steinen sich immer etwas Feinkorn befindet, welches wie eine Schutzschicht bzw. ein Puffer wirkt. Es kommt zwar zu einer Reibung zwischen den Gesteinen, diese ist aber dadurch geringer als wäre kein Feinkorn dazwischen.

Beim nassen Test ist die Reibung höher, da das Feinkorn bei jeder Umdrehung des Zylinders zwischen den Steinen weggeschwemmt wird. Daher kann sich keine Schutzschicht am Gestein ausbilden und es kommt daher zu mehr Kontakt zwischen den Steinen.

6 Vergleich mit M_{DE} , LA-Koeffizient sowie SZ-Wert

6.1 Vergleich mit dem M_{DE} -Wert

In diesem Kapitel wird versucht, die Deval-Werte mit den Micro-Deval Werten zu vergleichen bzw. mit Hilfe von Diagrammen eine mögliche Korrelation herzustellen.

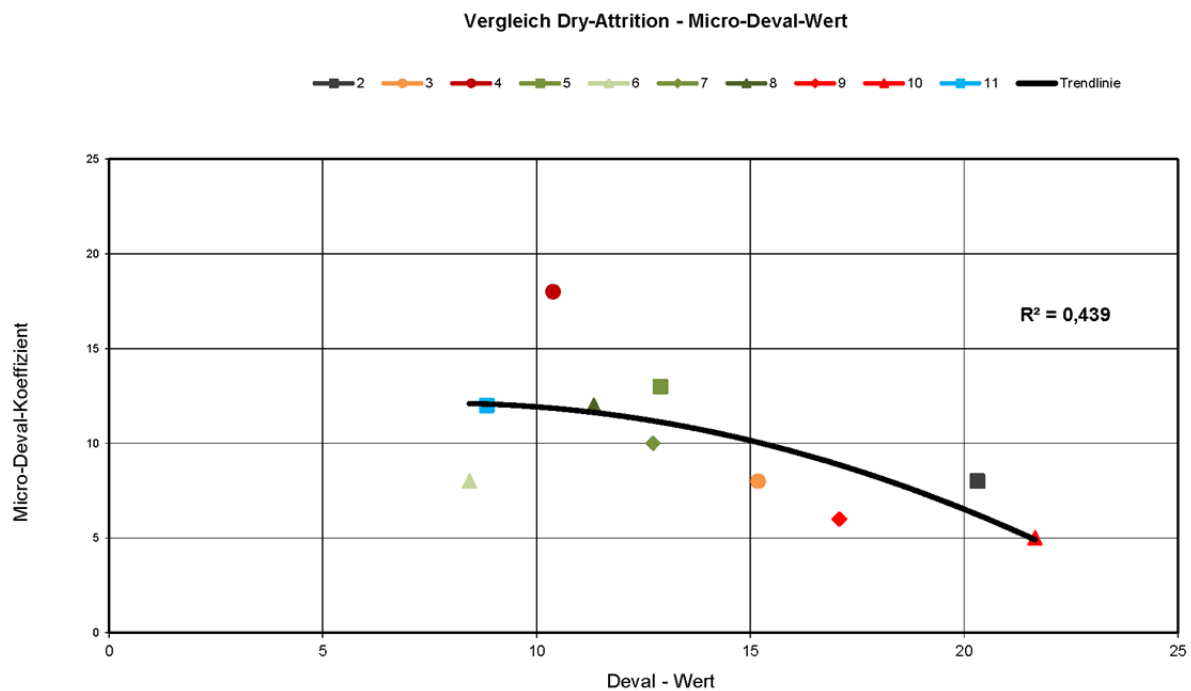


Abbildung 13: Vergleich Dry-Attrition-Value / M_{DE}

Dieses Diagramm zeigt einen Zusammenhang des Dry-Attrition Deval-Wertes mit dem Micro-Deval-Wert. Es scheint, dass es eine relativ gute Korrelation zwischen diesen beiden Abriebtests gibt. Dies ist mit der schwarzen Trendlinie dargestellt. Es handelt sich hierbei um eine polynomische Trendlinie zweiten Grades mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,439.

Die größten Abweichungen zur Trendlinie zeigen die Schotterwerke 4 aus der Gruppe der granitoiden Gesteine sowie 6 aus der Gruppe der Metamorphite. Das Schotterwerk 4 weist einen hohen Micro-Deval-Wert und einen niedrigen Deval-Wert auf, das bedeutet bei beiden Testmethoden den Wert mit dem höchsten Abrieb.

Das Werk 6 weist sowohl einen niedrigeren Micro-Deval-Wert, was grundsätzlich gut ist, als auch einen niedrigeren Deval-Wert, als die Trendlinie auf. Da dies ein widersprüchliches Ergebnis darstellt und es sich bei beiden Testmethoden um Abriebtests handelt, sollte dieser Umstand im Rahmen weiterer Tests untersucht bzw. überprüft werden. Eine

mögliche Erklärung wäre allerdings, dass die Tests des Micro-Deval-Tests nass, der Deval-Test aber trocken durchgeführt wurde.

Anmerkungen:

- Das Bestimmtheitsmaß einer Trendlinie kann alle Werte zwischen null und eins annehmen, wobei je näher der Wert bei eins liegt, desto besser wurden die Wertepaare des Diagramms durch die Trendlinie beschrieben.
- Es wurde bei allen Diagrammen polynomische Trendlinien zweiten Grades verwendet, da diese weitaus bessere Ergebnisse beim Bestimmtheitsmaß erreichten als lineare. Trendlinien höherer Ordnung wurden nicht verwendet.
- Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass bei den Micro-Deval-Tests, beim LA-Verfahren sowie beim Test zur Bestimmung des Schlagzertrümmungswertes, im Gegensatz zum Deval-Test, ein hoher Koeffizient (Ergebniswert) schlechter ist, d.h. dass mehr Abrieb in Form von Feinanteil auftritt. Daher ergibt sich, dass die Trendlinien in der gewählten Darstellung des Diagramms eine negative Steigung aufweisen.

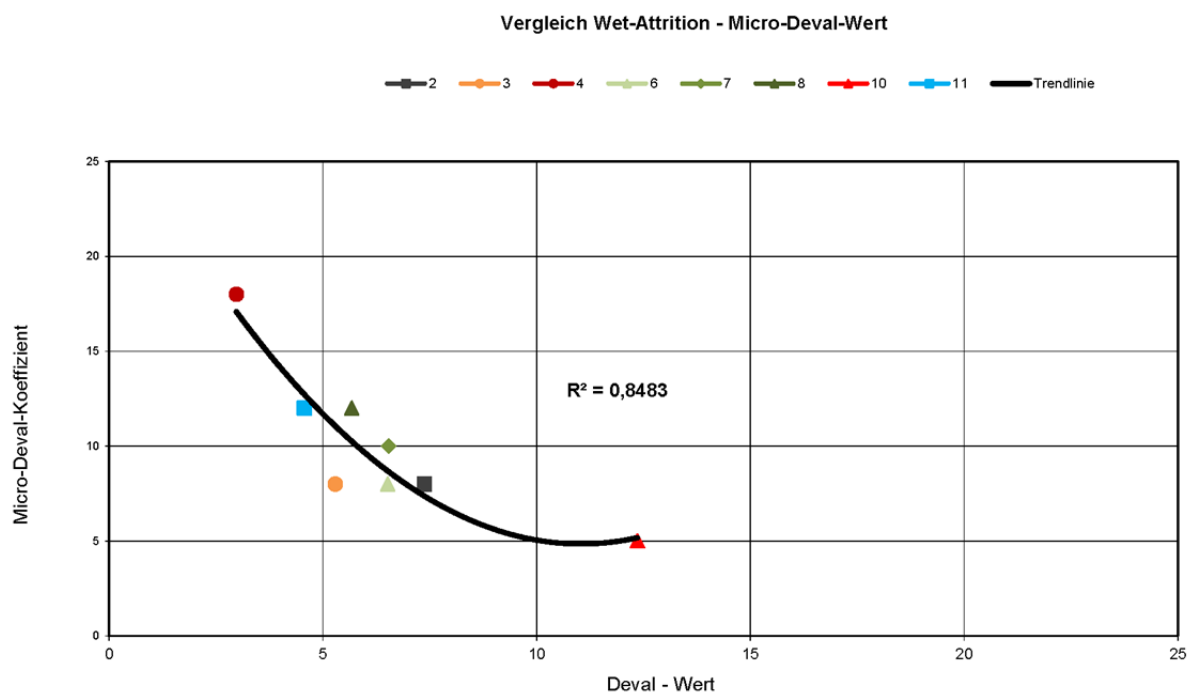


Abbildung 14: Vergleich Wet-Attrition-Value / M_{DE}

Dieses Diagramm zeigt den Vergleich des Wet-Attrition-Tests mit dem Micro-Deval-Test. Man erkennt, dass sich die Wertepaare gut mit einer polynomischen Trendlinie zweiten Grades beschreiben lassen. Das Bestimmtheitsmaß beträgt 0,8483.

Bei diesem Diagramm ist eigentlich nur das Schotterwerk 10 hervorzuheben, welches ein viel besseres Ergebnis als die anderen Werke aufweist, weshalb es auch hier besser war eine polynomische Trendlinie einzulegen, um alle Wertepaare möglichst gut zu beschreiben.

6.2 Vergleich mit dem LA-Koeffizienten

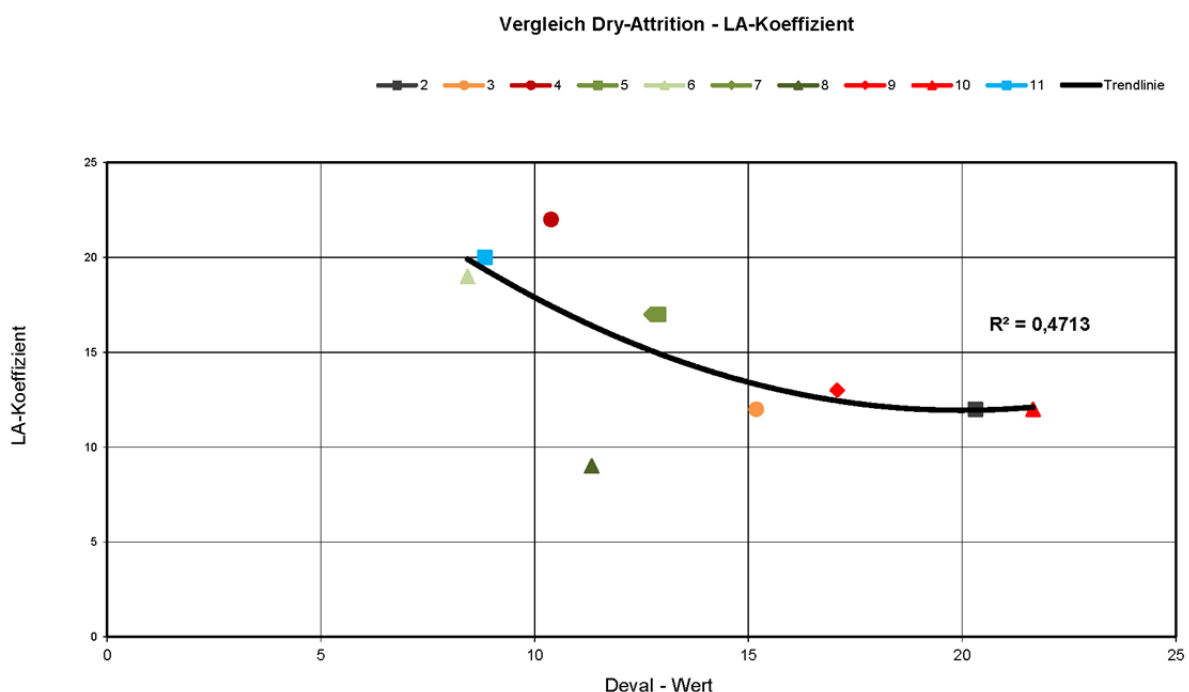


Abbildung 15: Vergleich Dry-Attrition-Value / LA-Koeffizient

Diese Abbildung zeigt einen Vergleich zwischen dem trockenen Test nach Norm sowie dem LA-Koeffizienten der gewählten Schotterwerke.

Das Bestimmtheitsmaß der Trendlinie beträgt 0,4713 und ist damit geringer als beim Vergleich mit dem Micro-Deval-Test.

Dies könnte die Ursache haben, dass das Gestein beim LA-Testverfahren einer kombinierten Beanspruchung ausgesetzt ist, nämlich wird durch die verwendete Reibladung zusätzlich zur Reibung eine Schlagzertrümmerung erreicht.

Als auffälligster Wert erscheint hier das Werk 8, welches den besten LA-Koeffizienten hat, beim Devalwert aber im hinteren Bereich liegt und somit den größten Abstand zur Trendlinie aufweist.

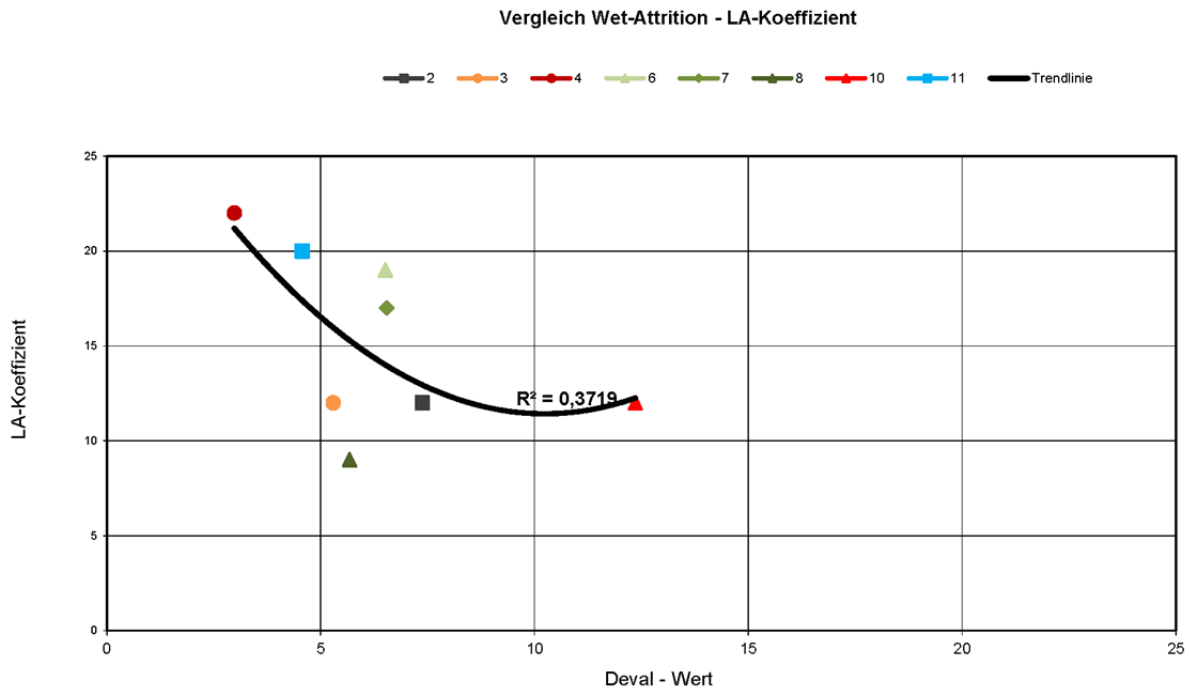


Abbildung 16: Vergleich Wet-Attrition-Value / LA-Koeffizient

Bei diesem Ergebnis kann man nur wenig Korrelation zwischen den Wertepaaren erkennen. Die Trendlinie weist ein Bestimmtheitsmaß von 0,3719 auf, es liegen sowohl oberhalb als auch unterhalb dieser Kurve Wertepaare mit relativ großem Abstand.

Der Vergleich des LA-Koeffizienten mit dem Wet-Attrition-Value zeigt schlechtere Werte des Bestimmtheitsmaßes als mit dem trockenen Test, dies könnte daran liegen, dass beim LA-Testverfahren kein Wasser zugesetzt wird und daher der dem Dry-Attrition-Test ähnlicher ist.

6.3 Vergleich mit dem Schlagzertrümmerungswert

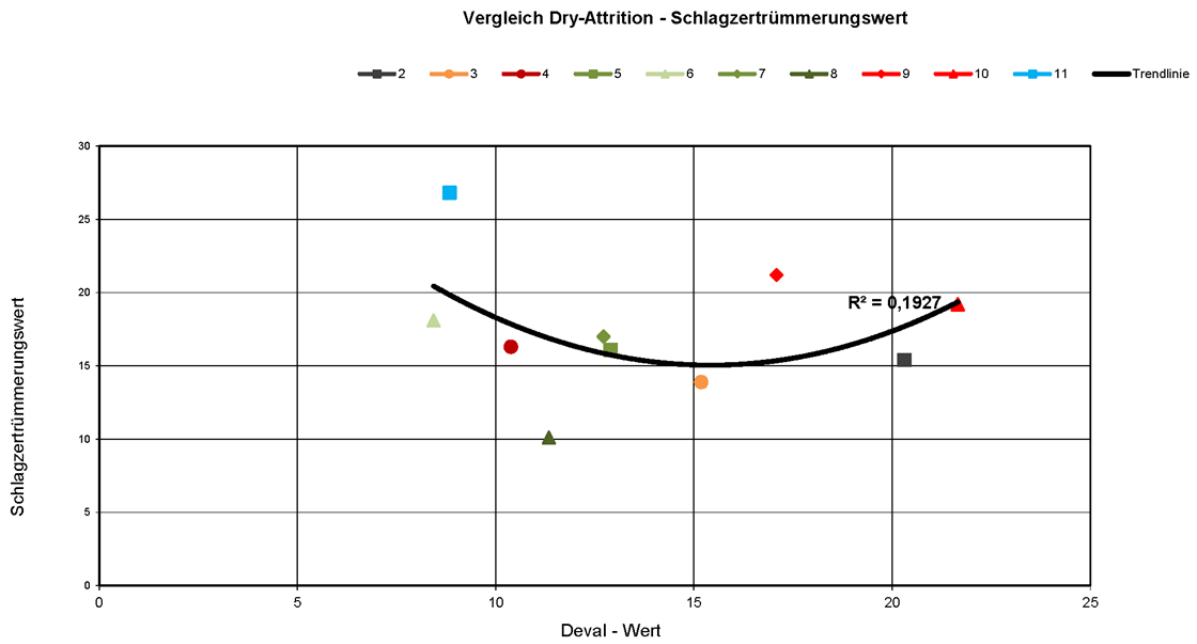


Abbildung 17: Vergleich Dry-Attrition-Value / Schlagzertrümmerungswert

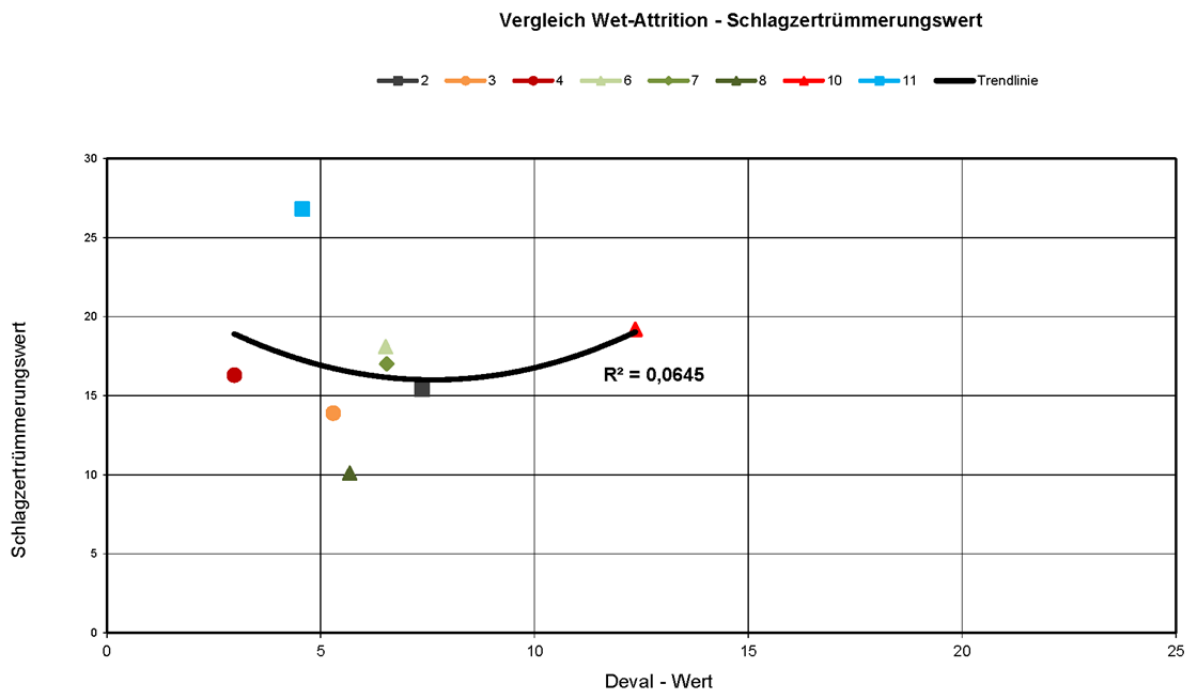


Abbildung 18: Vergleich Wet-Attrition-Value / Schlagzertrümmerungswert

Diese beiden Diagramme zeigen einen Vergleich des Schlagzertrümmerungswertes mit dem Dry-Attrition-Test und dem Wet-Attrition-Test. Bei beiden Vergleichen ergeben sich bei den Trendlinien die schlechtesten Werte des Bestimmtheitsmaßes, nämlich 0,1927 sowie 0,0645. Daher kann man davon sprechen, dass die Ergebnisse dieser Testmethoden nicht miteinander korrelieren.

Dies könnte daran liegen, dass es sich hierbei um zwei völlig verschiedene Beanspruchungen bei den Tests handelt. Der Deval-Test ist beinahe ein reiner Abriebstest und der Schlagzertrümmerungstest ist, wie der Name schon sagt, ein Test mit ausschließlich einer Schlagbelastung auf das Gestein.

6.4 Vergleich mit dem Quarzäquivalenten der Gesteine

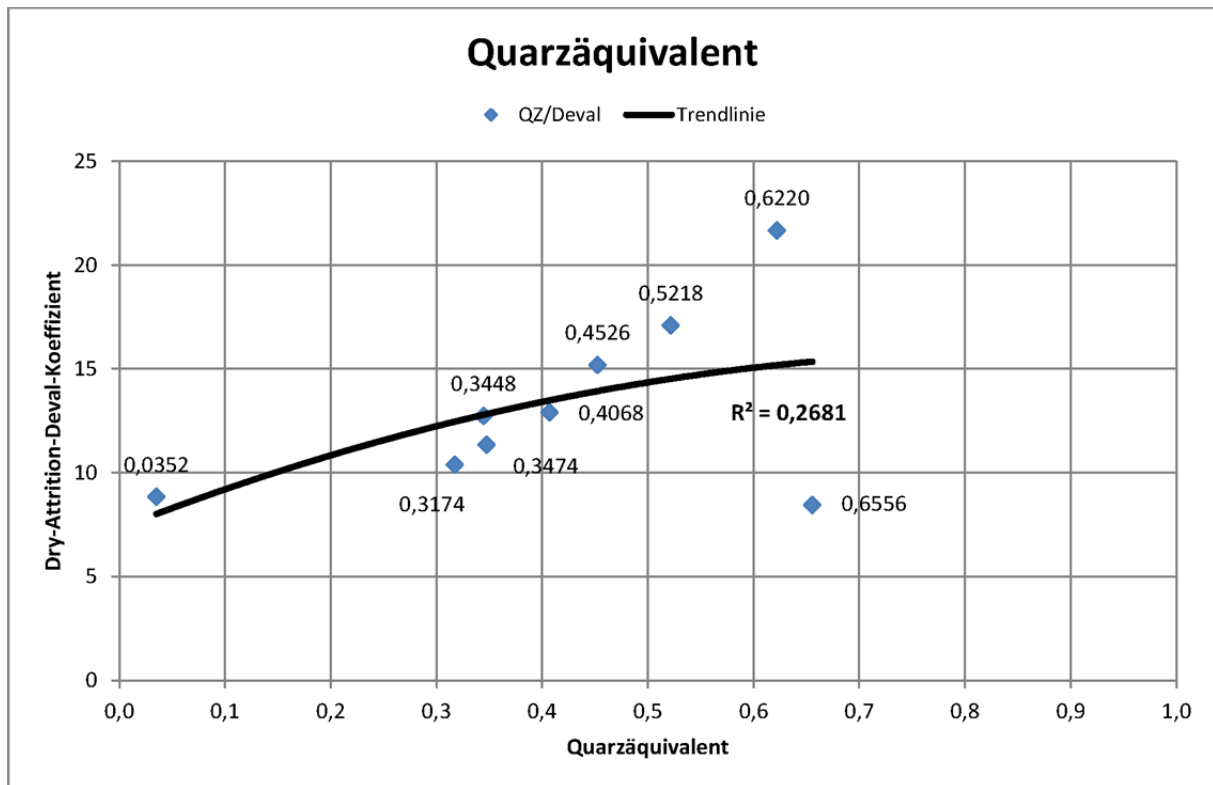


Abbildung 19: Vergleich Dry-Attrition-Value / Quarzäquivalent

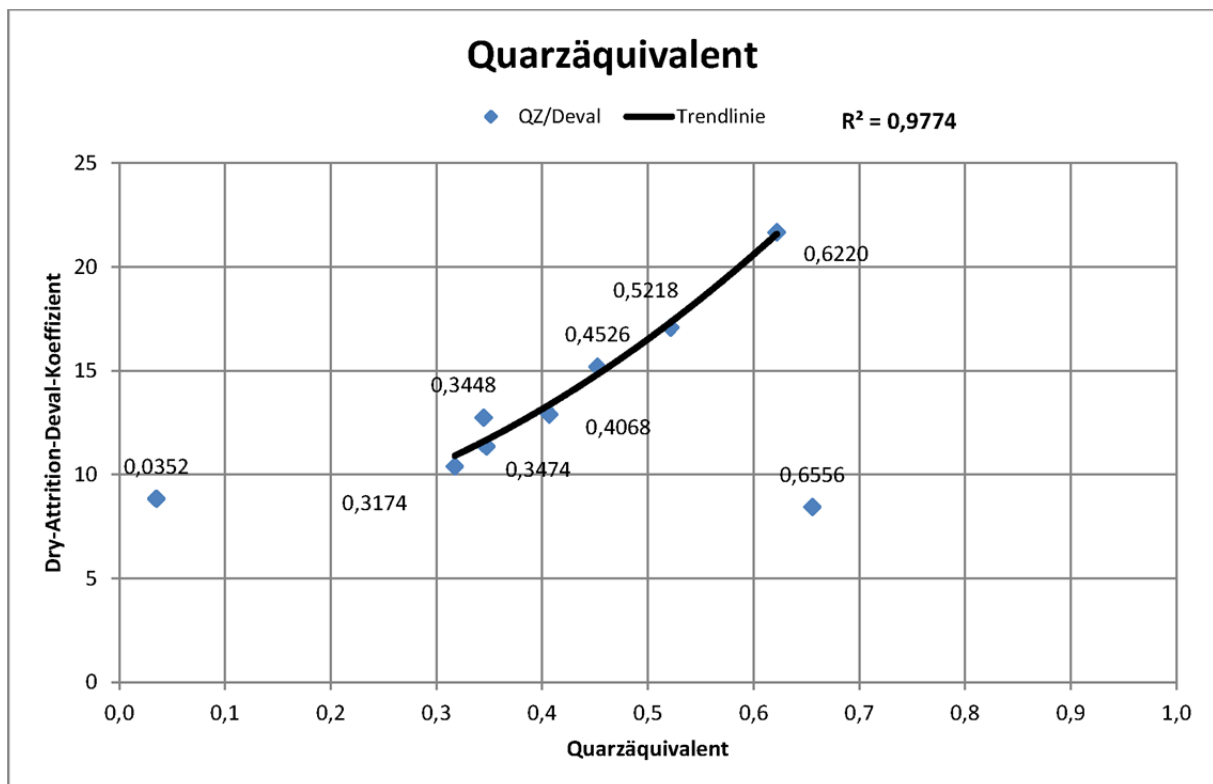


Abbildung 20: Vergleich Dry-Attrition-Value / Quarzäquivalent; selektive Trendlinie

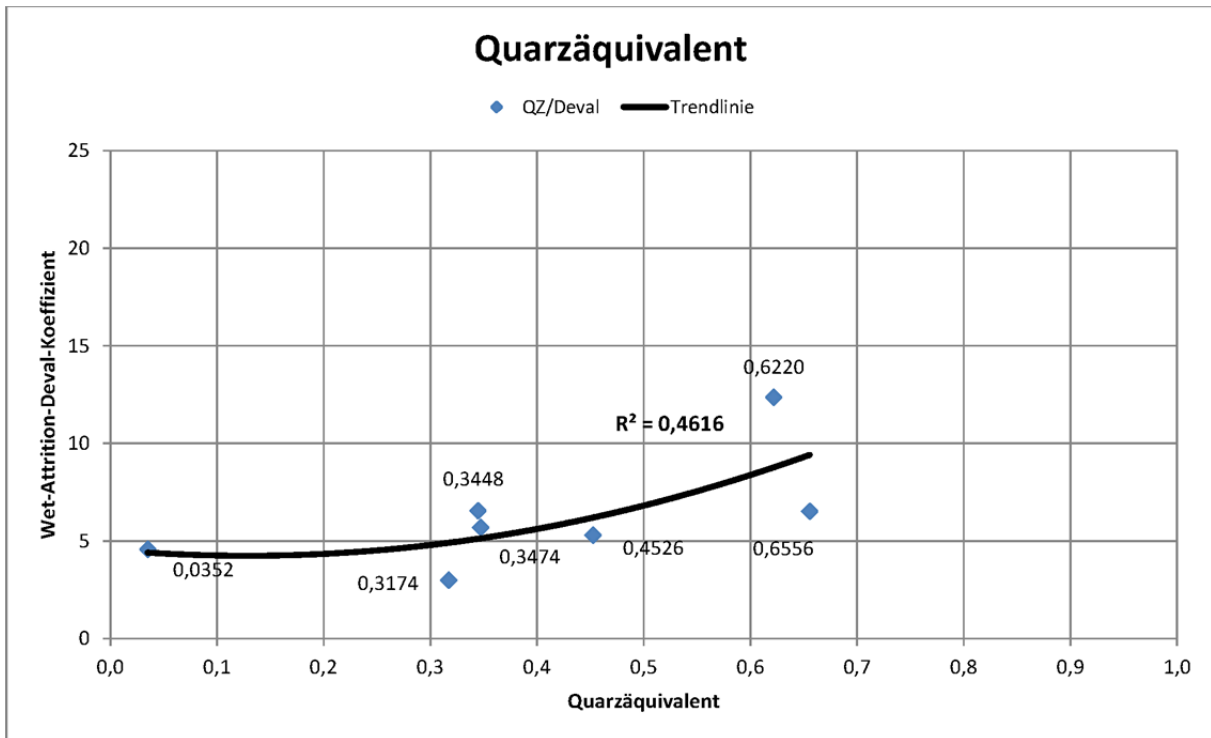


Abbildung 21: Vergleich Wet-Attrition-Value / Quarzäquivalent

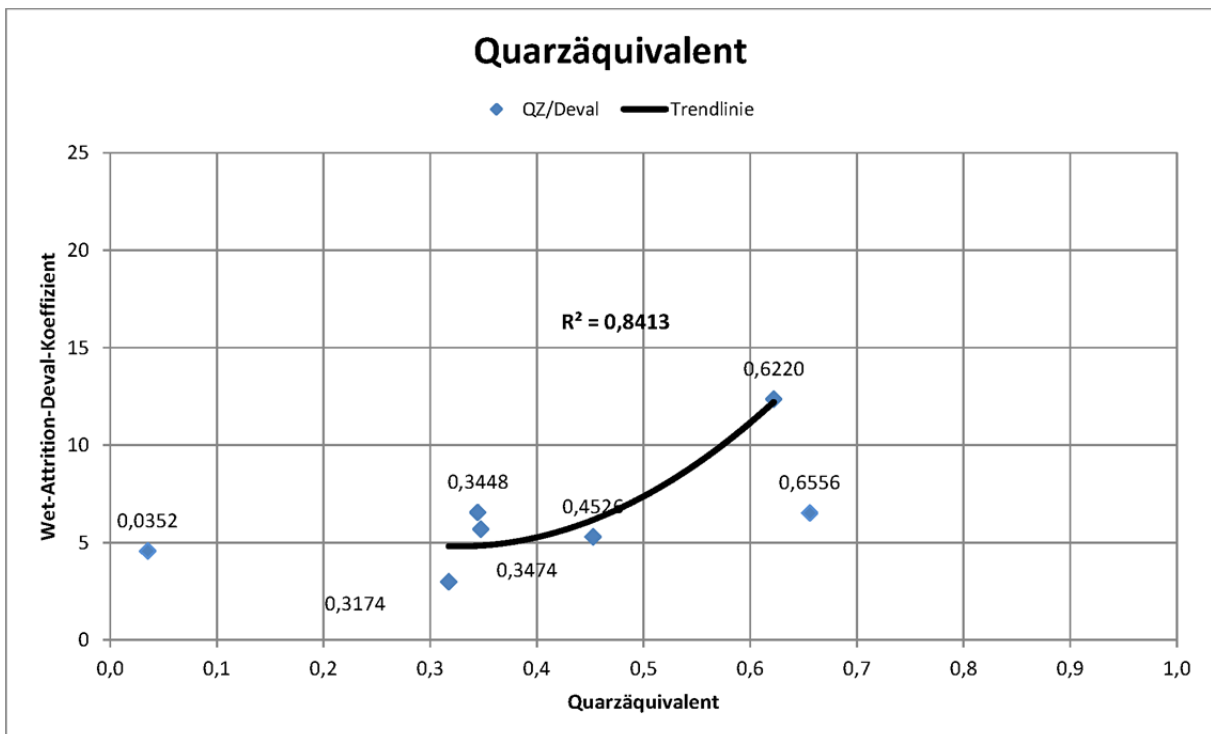


Abbildung 22: Vergleich Wet-Attrition-Value / Quarzäquivalent, selektive Trendlinie

Das Quarzäquivalent nach Rosiwal [12] beschreibt die absolute Schleifhärte eines Gesteins. Diese steht im Gegensatz zur bekannteren Einteilung, der Mohs'schen Härteskala, welche aber nur relative Härten angibt und nicht linear ist. Dieser Quarzäquivalent-Wert wird folgendermaßen berechnet.

Jedes Mineral eines Gesteins verfügt über einen Rosiwal-Schleifhärtegrad, wobei der Vergleichswert hierbei für das Mineral Quarz mit 1,00 gewählt wurde. Es werden alle Minerale mit ihrem Volumenanteil und deren zugehöriger Schleifhärte aufsummiert. Berechnet wird der Quarzäquivalent $F_{\text{ÄQU}}$ nach nachstehender Formel:

$$F_{\text{ÄQU}} = \sum_{i=1}^n (A_i * S_i)$$

mit:	$F_{\text{ÄQU}}$	Äquivalenter Quarzgehalt [-]
	A_i	Anteil der Mineralart [-]
	S_i	Rosiwal-Schleifhärte (bezogen auf Quarz) [-]
	n	Anzahl aller Minerale

Daraus ergeben sich dann die Werte, die in den drei Diagrammen oberhalb abgebildet sind. Angegeben sind diese Werte für jede Gesteinsart in Tabelle 3 auf Seite 12.

Es ist auch noch darauf hinzuweisen, dass vom Gestein des Schotterwerkes 2 kein Wert für den Quarzäquivalent bei der Verfassung dieser Arbeit zur Verfügung stand.

Die Abbildung 19 zeigt den Vergleich des Quarzäquivalents mit dem Dry-Attrition-Test. Die eingezeichnete Trendlinie zeigt dabei das geringe Bestimmtheitsmaß von 0,2681. Dies ist darauf zurückzuführen, dass es bei diesen Werten zwei stark abweichende Werte gibt. Dies sind sowohl das härteste und das weichste Gestein, respektive die Schotterwerke 11 und 6. Es zeigt sich auch, dass diese beiden Werke einen ähnlichen Deval-Wert erreichten, beim Quarzäquivalent aber ein Unterschied um mehr als den Faktor 18 existiert.

In Abbildung 20 wurden dann die beiden Werke 6 und 11 für die Berechnung der Trendlinie ausgeblendet. Das Ergebnis zeigt eine sehr gute Korrelation dieser sieben verbliebenen Datenpaare. Das Bestimmtheitsmaß der Trendlinie beträgt 0,9774 und ist damit sehr nahe am Maximum von 1,00.

Bei Abbildung 21 wird der Quarzäquivalent mit dem Wet-Attrition-Test verglichen. Es zeigt sich hier keine starke Korrelation. Die Steigung der Trendlinie ist auch sehr gering, das Bestimmtheitsmaß beträgt 0,4616.

Die größten Abweichungen zeigen auch hier die Lieferwerke 6 und 11. In diesem Fall hat jedoch Werk 6 einen etwas höheren Devalwert als Werk 11. Trotzdem kann dies nicht auf den weitaus höheren Quarzäquivalenz-Wert zurückgeführt werden. Eine andere mögliche Erklärung wäre, dass die Festigkeit des Gefügeverbandes, sprich die Verbindung zwischen den Mineralien, nicht in den Wert der Quarzäquivalente eingeht und es daher zu diesen beschriebenen Ergebnissen führt.

Das Diagramm, geführt als Abbildung 22, zeigt wieder die Trendlinie, wobei die Werte der Werke 6 und 11 nicht in die Berechnung einfließen. Das Bestimmtheitsmaß dieser Trendlinie beträgt 0,8413, es ist dabei um rund 15 % niedriger als bei der Trendlinie des Dry-Attrition-Tests.

Trotzdem kann man bei diesen Ergebnissen eine Korrelation der absoluten Härte mit dem Deval-Koeffizienten erkennen, vor allem, wenn man die offensichtlich stark abweichenden Werte aus der Berechnung der Trendlinie ausschließt.

7 Zusammenfassung

Diese Diplomarbeit wurde im Rahmen einer Forschungsarbeit am Institut für Eisenbahnen und Verkehrswirtschaft der TU Graz erstellt. Sie behandelt das Thema der Deval-Versuche an Gleisschotter.

Es wurden insgesamt drei verschiedene Versuchsarten an den Lieferwerken der ÖBB durchgeführt.

- Der „Dry Attrition Test“, der Devalversuch nach der Norm BS 812:1951 mit 10.000 Umdrehungen bei 33 Umdrehungen pro Minute in trockenem Zustand.
- Der „Wet Attrition Test“, der Devalversuch nach der Norm BS 812:1951 mit 10.000 Umdrehungen bei 33 Umdrehungen pro Minute unter Zugabe von Wasser.
- Ein modifizierter „Dry Attrition Test“. Bei diesem Test wurden die 10.000 Umdrehungen in fünf Abschnitte unterteilt und nach jedem Abschnitt wurde eine Siebung und Wiegung durchgeführt. Anfangs wurde je fünf Mal 2.000 Umdrehungen gedreht. Da am Anfang eine stärkere Zunahme des Feinkorns gegeben ist, wurde nach den ersten beiden Versuchen die Versuchsunterteilung modifiziert. Das Ziel dieses Versuchs war es, den Feinkornabrieb über die Umdrehungszahl zu analysieren und darzustellen.

Die Ergebnisse dieser Versuche können wie folgt beschrieben werden:

- I Der Wet-Attrition-Value ist höher als der Dry-Attrition-Value. Dies bedeutet, dass der Feinkornabrieb beim nassen Test höher ist und damit der Deval-Koeffizient niedriger. Ein allgemein gültiger Verhältniswert dieser beiden Tests kann nicht angegeben werden.
- I Beim unterteilten Dry-Attrition-Test kann man erkennen, dass der Feinkornabrieb am Anfang höher ist und mit Fortdauer des Versuches die Steigung der Tangente abflacht. Das Ende des Abriebs ist allerdings nach 10.000 Umdrehungen noch nicht erreicht, weshalb weitere Untersuchungen in diese Richtung folgen sollten.
- I Es wurde versucht, mögliche Korrelationen mit anderen Gleisschottertestverfahren aufzuzeigen. Eine starke Korrelation ist beim Vergleich der Ergebniswerte mit dem Micro-Deval-Test gegeben. Beim Vergleich mit dem LA-Test ist diese bereits weit geringer, eine Korrelation mit dem Schlagzertrümmerungstest aber kann ausgeschlossen werden. Vergleiche mit dem Quarzäquivalent nach Rosiwal zeigen ebenfalls einen ähnlichen Trend der Ergebnisse. Eine Umrechnung der Werte zu anderen Tests erscheint aber nicht möglich.

Anhang

A.) Ergebnisblätter

Die Diagramme ab der nächsten Seite zeigen die Ergebnisse der durchgeführten Tests.

Es sind jeweils drei Seiten pro Schotterwerk auf den folgenden Seiten, welche die Kornverteilung der einzelnen Versuche beschreiben. Die erste Seite pro Werk beschreibt die Probe I, die zweite Seite die Probe II und die dritte Seite die Proben III und IV sowie V und VI, wenn diese durchgeführt werden konnten.

Es ist noch festzuhalten, dass der Versuch bei Schotterwerk ,4', Probe II, ungültig ist. Beim fünften Teilversuch war der Deckel des Zylinders nicht ordnungsgemäß aufgesetzt und daher undicht, was zu einem steten Austritt von Feinanteil führte. In den Diagrammen in Kapitel 4.1 wurde daher der Wert dieses Teilversuches mit Null definiert.

Deval-Versuche nach NF P 18-577 bzw. ASTM D2-33 bzw. BS 812:1951

Diplomarbeit Martin Schöck

Schofwerk:	2	
Gesteinsart:	Basalt	
Datum:	01.08.2011	
Probe:	1.1	
Einwaage:	5010,00	[g]
Siebweite		Summenlinie
[mm]	[g]	[%]
50,0	0	100,00
45,0	2082	58,10
31,5	2827	1,21
16,0	0	1,21
8,0	7	1,07
4,0	1	1,05
2,36	0	1,05
2,0	0	1,05
1,7	0	1,04
1,6	0	1,04
1,0	1	1,08
<1,0	51	0,00

02.08.2011	1.2		
5010,00	[g]	Summenlinie	[%]
0	100,00		
1759	64,67		
3091	2,59		
25	2,09		
5	1,99		
5	1,89		
5	1,87		
5	1,79		
4	1,78		
3	1,78		
1	1,77		
88	0,00		

03.08.2011	1.3		
5010,00	[g]	Summenlinie	[%]
0	100,00		
1758	64,67		
3087	2,63		
24	2,15		
0	2,15		
4	2,07		
1	2,07		
0	2,07		
0	2,07		
0	2,07		
103	0,00		

04.08.2011	1.4		
5010,00	[g]	Summenlinie	[%]
0	100,00		
1671	66,43		
3161	2,91		
25	2,41		
0	2,41		
2	2,37		
0	2,35		
1	2,35		
1	2,34		
1	2,34		
1	2,33		
116	0,00		

05.08.2011	1.5		
5010,00	[g]	Summenlinie	[%]
0	100,00		
1571	66,35		
3204	3,81		
59	2,62		
3	2,56		
2	2,52		
0	2,52		
0	2,52		
0	2,51		
0	2,51		
1	2,50		
124	0,00		

Summe	4969	[g]
Massenverlust	0,82	[%]
<2,36 mm	1,05	[%]
<1,7 mm	1,04	[%]
<1,6 mm	1,04	[%]

4979	[g]
0,62	[%]
1,81	[%]
1,78	[%]
1,78	[%]

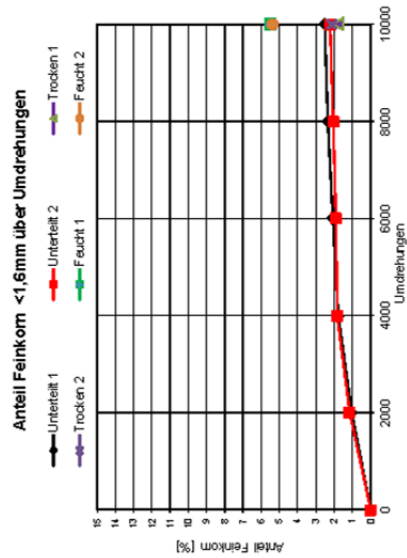
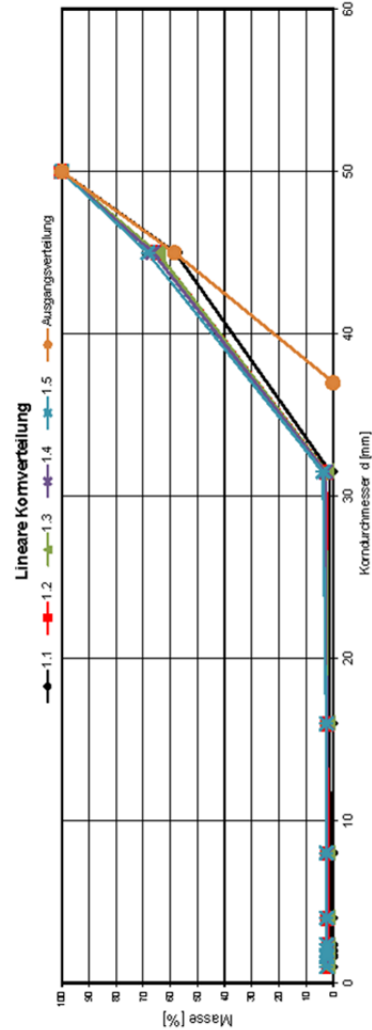
4976	[g]
0,68	[%]
2,07	[%]
2,07	[%]

4977	[g]
0,66	[%]
2,35	[%]
2,34	[%]
2,34	[%]

0,92	[%]
2,52	[%]
2,51	[%]
2,51	[%]

Kursive Werte wurden linear interpoliert!

Devalwert (ASTM)	15,92
Devalwert (NF P 18 577)	15,90
Attrition Value (BS 812)	2,52



Deval-Versuche nach NF P 18-577 bzw. ASTM D2-33 bzw. BS 812:1951

Diplomarbeit Martin Schöck

Schotterwerk:
Cesteinsart: 2 Basalt

Datum:	02.08.2011	
Probe:	2.1	
Einwaage:	5014,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	2894	41,75
31,5	2012	1,25
16,0	0	1,25
8,0	4	1,17
4,0	1	1,15
2,36	0	1,15
2,0	0	1,15
1,7	0	1,14
1,6	0	1,14
1,0	1	1,13
<1,0	56	0,00

Summe	4968 [g]
Massenverlust	0,92 [%]
<2,36 mm	1,15 [%]
<1,7 mm	1,14 [%]
<1,6 mm	1,14 [%]

Kursive Werte wurden linear interpoliert!

Datum:	03.08.2011	
Probe:	2.2	
Einwaage:	5014,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	3036	39,13
31,5	1855	1,94
16,0	0	1,94
8,0	3	1,88
4,0	1	1,86
2,36	0	1,85
2,0	0	1,84
1,7	0	1,84
1,6	0	1,84
1,0	1	1,82
<1,0	91	0,00

Summe	4988 [g]
Massenverlust	0,52 [%]
<2,36 mm	1,85 [%]
<1,7 mm	1,84 [%]
<1,6 mm	1,84 [%]

Datum:	04.08.2011	
Probe:	2.3	
Einwaage:	5014,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	3011	39,48
31,5	1839	2,51
16,0	26	1,99
8,0	3	1,93
4,0	1	1,91
2,36	0	1,91
2,0	0	1,91
1,7	0	1,90
1,6	0	1,90
1,0	1	1,89
<1,0	94	0,00

Summe	4975 [g]
Massenverlust	0,78 [%]
<2,36 mm	1,91 [%]
<1,7 mm	1,90 [%]
<1,6 mm	1,90 [%]

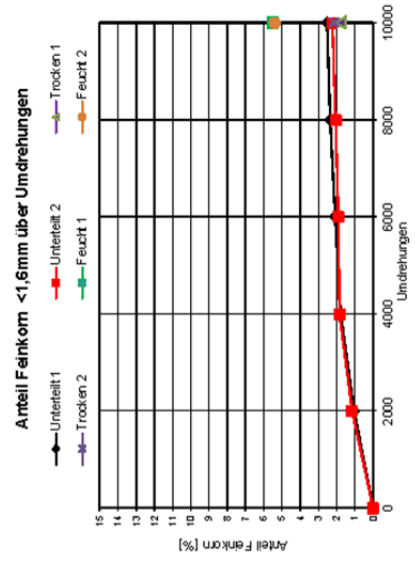
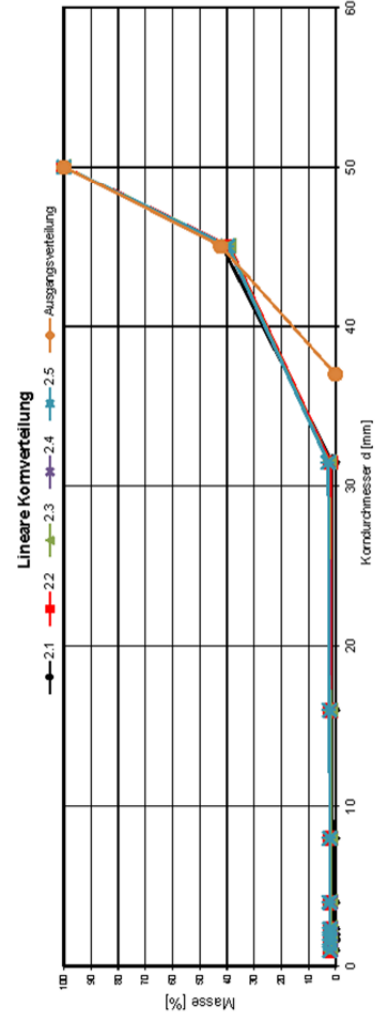
Datum:	05.08.2011	
Probe:	2.4	
Einwaage:	5014,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	3003	39,75
31,5	1850	2,63
16,0	26	2,11
8,0	2	2,07
4,0	1	2,05
2,36	0	2,05
2,0	0	2,05
1,7	0	2,05
1,6	0	2,05
1,0	0	2,05
<1,0	102	0,00

Summe	4984 [g]
Massenverlust	0,60 [%]
<2,36 mm	2,05 [%]
<1,7 mm	2,05 [%]
<1,6 mm	2,05 [%]

Datum:	09.08.2011	
Probe:	2.5	
Einwaage:	5014,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	2994	39,70
31,5	1828	2,88
16,0	26	2,36
8,0	5	2,26
4,0	0	2,26
2,36	0	2,24
2,0	1	2,24
1,7	1	2,23
1,6	1	2,23
1,0	1	2,22
<1,0	110	0,00

Summe	4984 [g]
Massenverlust	0,98 [%]
<2,36 mm	2,24 [%]
<1,7 mm	2,23 [%]
<1,6 mm	2,23 [%]

Devalwert (ASTM) **17,94**
Devalwert (NF P 18-577) **17,91**
Attrition Value (BS 812) **2,24**



Deval-Versuche nach NF P 18-577 bzw. ASTM D2-33 bzw. BS 812:1951

Diplomarbeit Martin Schöck

Schotterwerk:
Gesteinsart: 2 Basalt

Datum:	02.08.2011	
Probe:	3	
Einwaage:	5012,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	2230	55,09
31,5	2508	4,59
16,0	128	2,01
8,0	8	1,85
4,0	1	1,83
2,36	0	1,83
2,0	0	1,83
1,7	0	1,83
1,6	0	1,82
1,0	1	1,81
<1,0	90	0,00

Summe	4966 [g]
Massenverlust	0,92 [%]
< 2,36 mm	1,83 [%]
< 1,7 mm	1,83 [%]
< 1,6 mm	1,82 [%]

Datum:	04.08.2011	
Probe:	4	
Einwaage:	5002,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1858	62,47
31,5	2921	3,47
16,0	51	2,44
8,0	14	2,16
4,0	1	2,14
2,36	0	2,14
2,0	0	2,14
1,7	0	2,13
1,6	0	2,13
1,0	1	2,12
<1,0	105	0,00

Summe	4951 [g]
Massenverlust	1,02 [%]
< 2,36 mm	2,14 [%]
< 1,7 mm	2,13 [%]
< 1,6 mm	2,13 [%]

Datum:	01.08.2011	
Probe:	5	
Einwaage:	4996,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	976	80,45
31,5	3638	7,59
16,0	103	5,53
8,0	0	5,53
4,0	1	5,51
2,36	0	5,51
2,0	0	5,51
1,7	1	5,50
1,6	1	5,49
1,0	2	5,47
<1,0	273	0,00

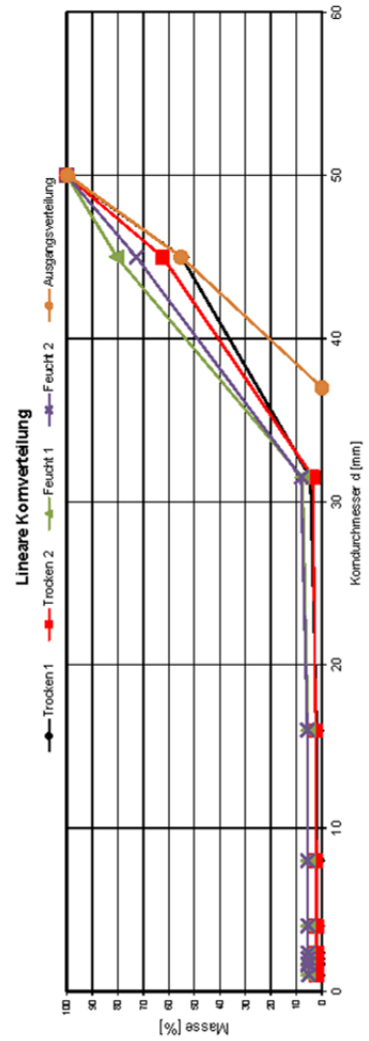
Summe	4993 [g]
Massenverlust	0,06 [%]
< 2,36 mm	5,51 [%]
< 1,7 mm	5,50 [%]
< 1,6 mm	5,49 [%]

Datum:	01.08.2011	
Probe:	6	
Einwaage:	4996,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1360	72,75
31,5	3224	8,14
16,0	118	5,77
8,0	14	5,49
4,0	3	5,43
2,36	1	5,43
2,0	0	5,43
1,7	2	5,38
1,6	3	5,37
1,0	8	5,27
<1,0	263	0,00

Summe	4990 [g]
Massenverlust	0,12 [%]
< 2,36 mm	5,43 [%]
< 1,7 mm	5,38 [%]
< 1,6 mm	5,37 [%]

Kursive Werte wurden linear interpoliert!

Devalwert (ASTM)	21,90	18,74	7,28	7,43
Devalwert (NF P 18 577)	21,87	18,75	7,29	7,46
Attrition Value (BS 812)	1,83	2,14	5,51	5,43



TU Graz Institut für Eisenbahnen und Verkehrswirtschaft
Bearbeiter: Schöck Martin



Deval-Versuche nach NF P 18-577 bzw. ASTM D2-33 bzw. BS 812:1951

Diplomarbeit Martin Schöck

Schoofwerk:
Cesteinsart: 3
Granitporphyr

Datum:	15.09.2011	
Probe:	1.1	
Einwaage:	5005,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1731	65,39
31,5	3248	0,44
16,0	0	0,44
8,0	1	0,42
4,0	1	1,12
2,36	0	0,40
2,0	0	0,40
1,7	0	0,40
1,6	0	0,40
1,0	0	0,40
<1,0	20	0,00

Summe	5001	[g]
Massenverlust	0,08	[%]
< 2,36 mm	0,40	[%]
< 1,7 mm	0,40	[%]
< 1,6 mm	0,40	[%]

Kursive Werte wurden linear interpoliert!

16.09.2011	1.2	5005,00	[g]	Summenlinie	[%]
0	100,00				
1292	74,18				
3640	1,42				
11	1,20				
3	1,14				
1	1,12				
0	1,12				
0	1,12				
0	1,12				
0	1,12				
56	0,00				

5003	[g]
0,04	[%]
1,12	[%]
1,12	[%]

20.09.2011	1.3	5005,00	[g]	Summenlinie	[%]
0	100,00				
1241	75,16				
3697	3,16				
60	1,96				
15	1,66				
2	1,62				
1	1,60				
1	1,60				
1	1,60				
1	1,60				
80	0,00				

4996	[g]
0,18	[%]
1,60	[%]
1,60	[%]

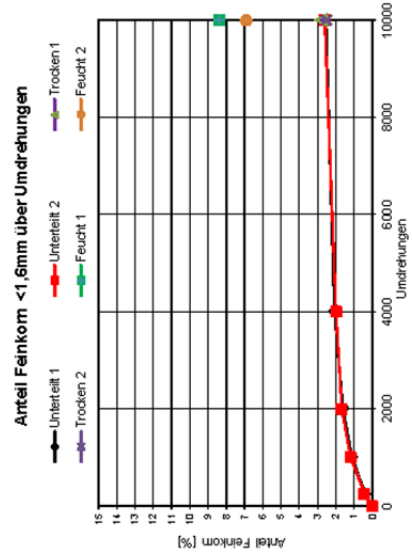
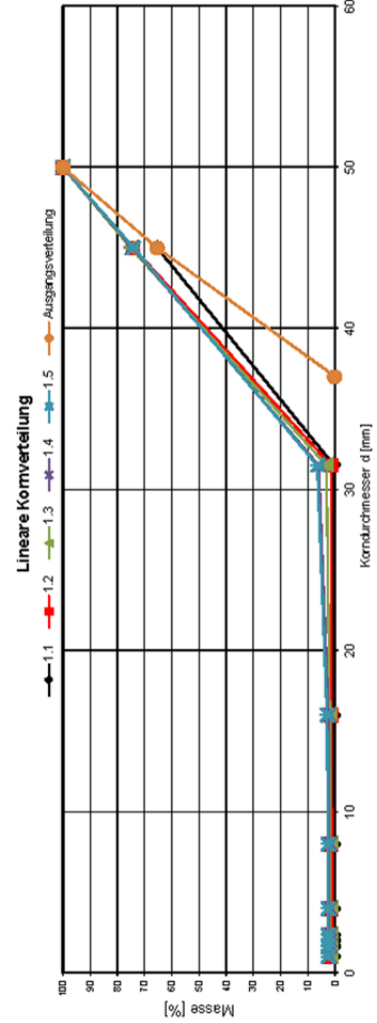
21.09.2011	1.4	5005,00	[g]	Summenlinie	[%]
0	100,00				
1278	74,03				
3420	5,96				
179	2,38				
15	2,08				
2	2,06				
0	2,06				
0	2,06				
0	2,06				
0	2,06				
103	0,00				

4996	[g]
0,18	[%]
2,06	[%]
2,06	[%]

23.09.2011	1.5	5005,00	[g]	Summenlinie	[%]
0	100,00				
1297	74,03				
3374	6,49				
179	2,90				
16	2,58				
2	2,54				
0	2,54				
0	2,54				
0	2,54				
0	2,54				
127	0,00				

4996	[g]
0,20	[%]
2,54	[%]
2,54	[%]

Devalwert (ASTM) **15,73**
Devalwert (NF P 18-577) **15,72**
Attrition Value (BS 812) **2,54**



Deval-Versuche nach NF P 18-577 bzw. ASTM D2-33 bzw. BS 812:1951

Diplomarbeit Martin Schöck

Schleifwerk:	3		
Gesteinsart:	Granitporphyr		
Datum:	15.09.2011		
Probe:	2.1		
Einwaage:	4999,00	[g]	
Siebweite			
[mm]	Masse	Summenlinie	
	[g]	[%]	
50,0	0	100,00	
45,0	698	86,02	
31,5	4273	1,24	
16,0	0	1,24	
8,0	0	1,20	
4,0	1	1,18	
2,36	0	1,18	
2,0	0	1,18	
1,7	0	1,18	
1,6	0	1,18	
1,0	0	1,18	
<1,0	21	0,00	
Summe	4993	[g]	
Massenverlust	0,12	[%]	
< 2,36 mm	0,42	[%]	
< 1,7 mm	0,42	[%]	
< 1,6 mm	0,42	[%]	

	16.09.2011		
	2.2		
	4999,00	[g]	
	Masse	Summenlinie	
	[g]	[%]	
	0	100,00	
	561	88,76	
	4370	1,24	
	0	1,24	
	2	1,20	
	1	1,18	
	0	1,18	
	0	1,18	
	0	1,18	
	0	1,18	
	0	1,18	
	59	0,00	
	4993	[g]	
	0,12	[%]	
	1,18	[%]	
	1,18	[%]	
	1,18	[%]	

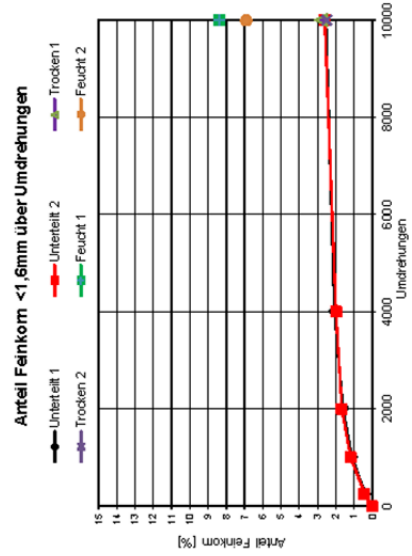
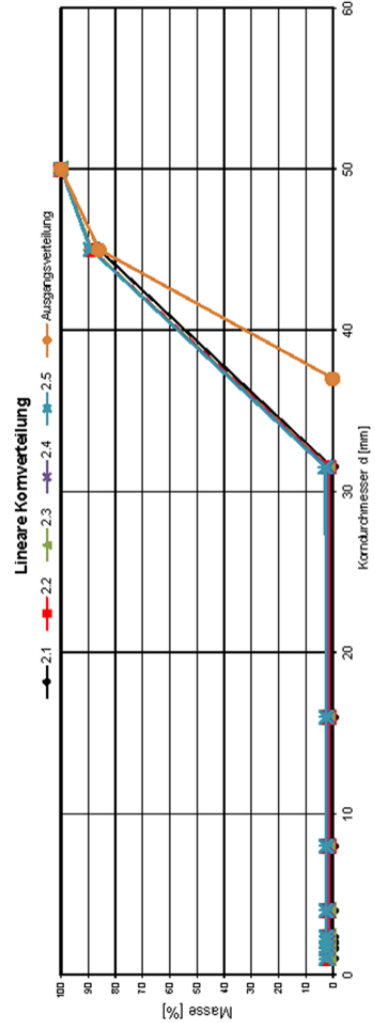
	20.09.2011		
	2.3		
	4999,00	[g]	
	Masse	Summenlinie	
	[g]	[%]	
	0	100,00	
	558	88,82	
	4348	1,70	
	0	1,70	
	1	1,68	
	1	1,66	
	0	1,66	
	0	1,66	
	0	1,66	
	0	1,66	
	83	0,00	
	4991	[g]	
	0,16	[%]	
	1,66	[%]	
	1,66	[%]	
	1,66	[%]	

	21.09.2011		
	2.4		
	4999,00	[g]	
	Masse	Summenlinie	
	[g]	[%]	
	0	100,00	
	538	88,98	
	4306	2,87	
	12	2,63	
	0	2,63	
	1	2,61	
	0	2,61	
	0	2,61	
	0	2,61	
	0	2,61	
	130	0,00	
	4990	[g]	
	0,18	[%]	
	1,98	[%]	
	1,98	[%]	
	1,98	[%]	

	23.09.2011		
	2.5		
	4999,00	[g]	
	Masse	Summenlinie	
	[g]	[%]	
	0	100,00	
	538	89,21	
	4306	2,87	
	12	2,63	
	0	2,63	
	1	2,61	
	0	2,61	
	0	2,61	
	0	2,61	
	130	0,00	
	4990	[g]	
	0,24	[%]	
	2,61	[%]	
	2,61	[%]	
	2,61	[%]	

Kursive Werte wurden linear interpoliert!

Devalwert (ASTM) **15,34**
Devalwert (NF P 18-577) **15,36**
Attrition Value (BS 812) **2,61**



Deval-Versuche nach NF P 18-577 bzw. ASTM D2-33 bzw. BS 812:1951

Diplomarbeit Martin Schöck

Schotterwerk: 3
Gesteinsart: Granitporphyr

Datum:	08.08.2011	
Probe:	3	
Einwaage:	5006,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	614	87,72
31,5	4220	3,34
16,0	0	3,34
8,0	11	3,12
4,0	2	3,08
2,56	3	3,03
2,0	3	3,02
1,7	10	2,86
1,6	12	2,81
1,0	26	2,50
<1,0	125	0,00

Summe	5001	[g]
Massenverlust	0,10	[%]
< 2,36 mm	3,03	[%]
< 1,7 mm	2,86	[%]
< 1,6 mm	2,81	[%]

Datum:	08.08.2011	
Probe:	4	
Einwaage:	4999,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	924	81,52
31,5	3769	6,12
16,0	158	2,96
8,0	9	2,78
4,0	8	2,62
2,56	5	2,55
2,0	4	2,54
1,7	5	2,49
1,6	6	2,48
1,0	8	2,38
<1,0	119	0,00

Summe	4999	[g]
Massenverlust	0,08	[%]
< 2,36 mm	2,55	[%]
< 1,7 mm	2,49	[%]
< 1,6 mm	2,48	[%]

Datum:	11.08.2011	
Probe:	5	
Einwaage:	4996,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	307	93,85
31,5	4085	12,02
16,0	172	8,57
8,0	0	8,57
4,0	3	8,51
2,56	1	8,50
2,0	1	8,49
1,7	5	8,40
1,6	7	8,37
1,0	15	8,19
<1,0	409	0,00

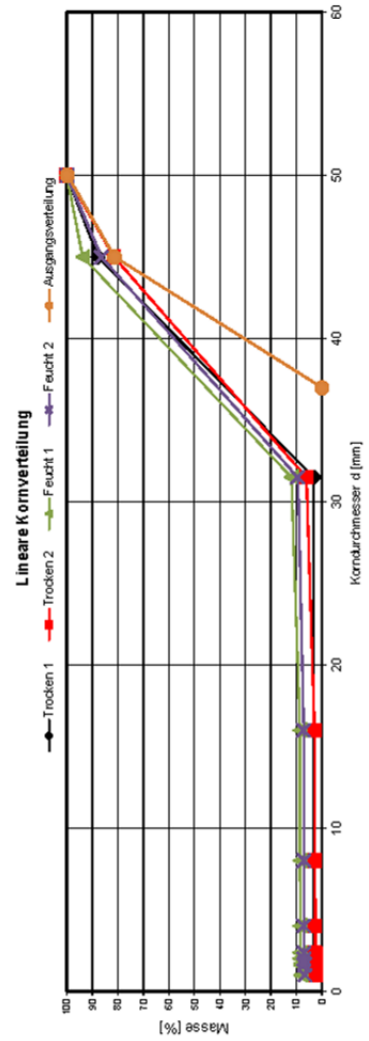
Summe	4992	[g]
Massenverlust	0,08	[%]
< 2,36 mm	8,50	[%]
< 1,7 mm	8,40	[%]
< 1,6 mm	8,37	[%]

Datum:	11.08.2011	
Probe:	6	
Einwaage:	5000,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	674	86,52
31,5	3856	9,40
16,0	112	7,16
8,0	0	7,16
4,0	2	7,12
2,56	2	7,09
2,0	2	7,08
1,7	9	6,94
1,6	11	6,89
1,0	24	6,60
<1,0	330	0,00

Summe	4999	[g]
Massenverlust	0,02	[%]
< 2,36 mm	7,09	[%]
< 1,7 mm	6,94	[%]
< 1,6 mm	6,89	[%]

Kursive Werte wurden linear interpoliert!

Devalwert (ASTM)	13,97	16,05	4,76	5,77
Devalwert (NF P 18577)	14,21	16,16	4,78	5,81
Attrition Value (BS 812)	3,03	2,55	8,50	7,09



TU Graz Institut für Eisenbahnen und Verkehrswirtschaft
Bearbeiter: Schöck Martin



Deval-Versuche nach NF P 18-577 bzw. ASTM D2-33 bzw. BS 812:1951

Diplomarbeit Martin Schöck

Schoofwerk:
Cesteinsart: 4 Dunit

Datum:	22.08.2011	
Probe:	1.1	
Einwaage:	5008,00	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1698	66,04
31,5	3203	4,16
16,0	50	1,02
8,0	0	2,78
4,0	2	0,98
2,36	2	0,95
2,0	2	0,94
1,7	2	0,93
1,6	2	0,92
1,0	2	2,64
<1,0	45	0,00

Summe	5003	[g]
Massenverlust	0,10	[%]
< 2,36 mm	0,95	[%]
< 1,7 mm	0,93	[%]
< 1,6 mm	0,92	[%]

Datum:	23.08.2011	
Probe:	1.2	
Einwaage:	5008,00	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1324	73,50
31,5	3465	4,16
16,0	86	2,84
8,0	11	4,32
4,0	7	4,18
2,36	4	4,73
2,0	3	4,12
1,7	3	4,70
1,6	3	4,70
1,0	2	4,08
<1,0	132	0,00

Summe	4997	[g]
Massenverlust	0,22	[%]
< 2,36 mm	2,67	[%]
< 1,7 mm	2,66	[%]
< 1,6 mm	2,65	[%]

Datum:	24.08.2011	
Probe:	1.3	
Einwaage:	5008,00	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1229	75,44
31,5	3491	5,69
16,0	58	4,54
8,0	35	6,20
4,0	10	6,00
2,36	4	5,95
2,0	3	5,94
1,7	3	5,92
1,6	3	5,92
1,0	2	5,90
<1,0	204	0,00

Summe	5005	[g]
Massenverlust	0,06	[%]
< 2,36 mm	4,13	[%]
< 1,7 mm	4,10	[%]
< 1,6 mm	4,10	[%]

Datum:	25.08.2011	
Probe:	1.4	
Einwaage:	5008,00	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1143	77,52
31,5	3358	10,06
16,0	198	6,89
8,0	54	8,70
4,0	11	8,48
2,36	3	8,46
2,0	1	8,46
1,7	4	8,40
1,6	5	8,38
1,0	10	8,26
<1,0	412	0,00

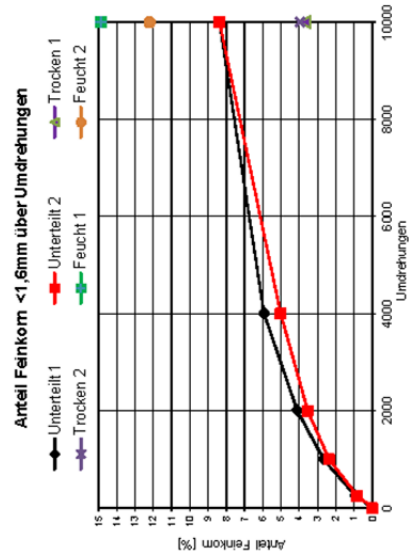
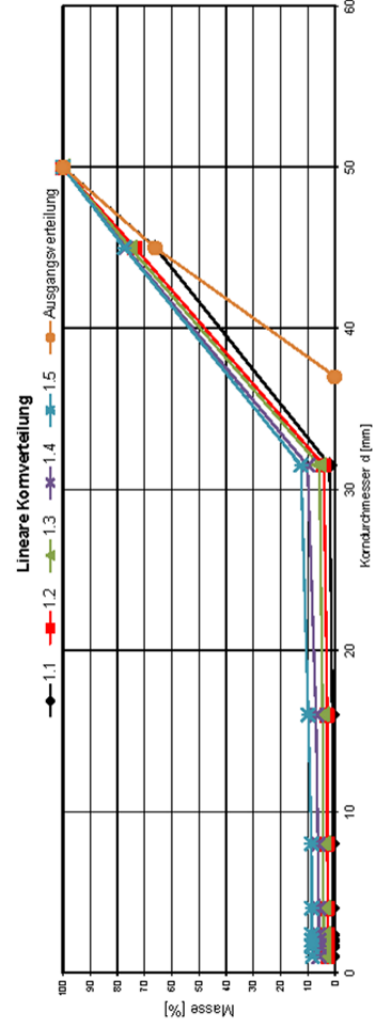
Summe	5004	[g]
Massenverlust	0,08	[%]
< 2,36 mm	5,95	[%]
< 1,7 mm	5,92	[%]
< 1,6 mm	5,92	[%]

Datum:	29.08.2011	
Probe:	1.5	
Einwaage:	5008,00	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1122	77,52
31,5	3247	12,44
16,0	133	9,78
8,0	54	8,70
4,0	11	8,48
2,36	3	8,46
2,0	1	8,46
1,7	4	8,40
1,6	5	8,38
1,0	10	8,26
<1,0	412	0,00

Summe	5004	[g]
Massenverlust	0,36	[%]
< 2,36 mm	8,46	[%]
< 1,7 mm	8,40	[%]
< 1,6 mm	8,38	[%]

Kursive Werte wurden linear interpoliert!

Devalwert (ASTM) **4,76**
Devalwert (BS 812) **4,77**
Devalwert (NF P 18-577) **4,77**



Deval-Versuche nach NF P 18-577 bzw. ASTM D2-33 bzw. BS 812:1951

Diplomarbeit Martin Schöck

Schoftenwerk:
Gesteinsart: 4
Dunit

Datum:	22.08.2011	
Probe:	2.1	
Einwaage:	5004,00	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1134	77,28
31,5	3806	4,29
16,0	0	1,04
8,0	7	0,90
4,0	2	0,86
2,36	1	0,84
2,0	1	0,84
1,7	1	0,83
1,6	1	0,83
1,0	2	0,80
<1,0	40	0,00

Summe	4992	[g]
Massenverlust	0,24	[%]
< 2,36 mm	0,84	[%]
< 1,7 mm	0,83	[%]
< 1,6 mm	0,83	[%]

Kursive Werte wurden linear interpoliert!

23.08.2011	2.2	5004,00	Mass	Summenlinie
[g]	[g]	[g]	[%]	
0	100,00			
1119	77,57			
3655	4,29			
85	2,59			
7	2,45			
2	2,41			
2	2,37			
2	2,37			
2	2,36			
2	2,36			
1	2,35			
117	0,00			

4988	0	Massenverlust
[g]	[%]	[%]
0,32	0,64	
2,37	4,74	
2,36	4,72	
2,36	4,72	

24.08.2011	2.3	5004,00	Mass	Summenlinie
[g]	[g]	[g]	[%]	
0	100,00			
999	80,00			
3635	7,25			
185	3,94			
7	3,68			
5	3,58			
3	3,55			
2	3,54			
2	3,54			
2	3,54			
1	3,53			
176	0,00			

4996	0	Massenverlust
[g]	[%]	[%]
0,16	0,32	
3,55	7,10	
3,54	7,08	
3,53	7,06	

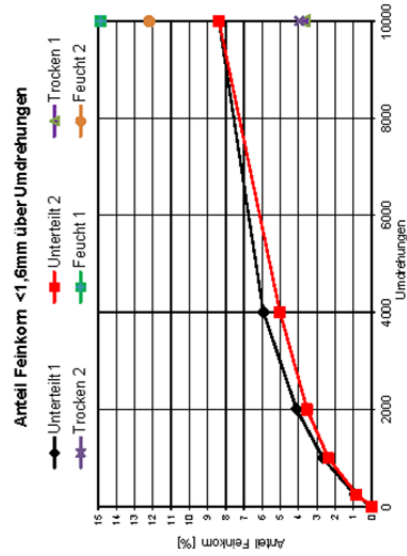
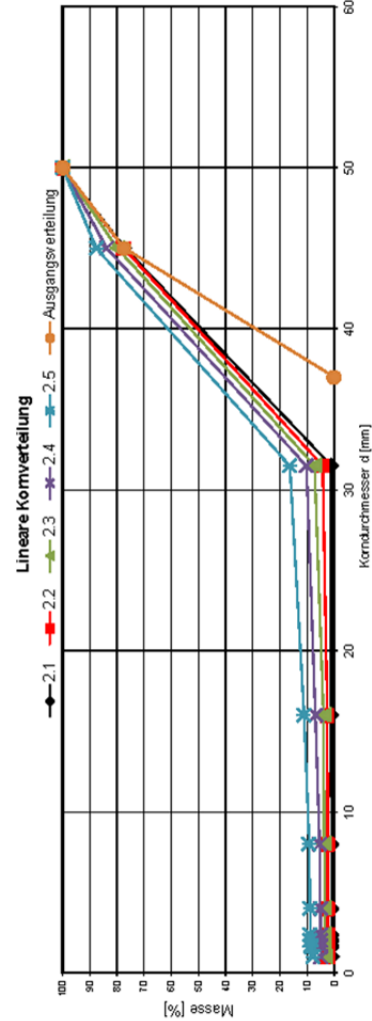
25.08.2011	2.4	5004,00	Mass	Summenlinie
[g]	[g]	[g]	[%]	
0	100,00			
809	83,81			
3675	10,25			
188	6,89			
7	5,34			
14	5,06			
4	5,03			
2	5,02			
2	5,01			
2	5,01			
2	5,01			
2	5,01			
249	0,00			

4996	0	Massenverlust
[g]	[%]	[%]
0,16	0,32	
5,03	10,06	
5,01	10,02	
5,01	10,02	

29.08.2011	2.5	5004,00	Mass	Summenlinie
[g]	[g]	[g]	[%]	
0	100,00			
615	87,59			
3531	16,34			
260	11,10			
91	9,26			
18	8,90			
6	8,85			
3	8,84			
2	8,49			
2	8,37			
2	8,37			
58	7,67			
380	0,00			

0,96	0	Massenverlust
[%]	[%]	[%]
8,85	17,70	
8,49	16,98	
8,37	16,74	

Probe 4-2.5 wegen stetigen Austritts von Feinmaterial aufgrund Leckage des Verschlusses der Trommel UNGÜLTIG!



Devalwert (ASTM) **4,71**
Devalwert (BS 812) **4,78**
Devalwert (NF P 18-577) **4,78**

Deval-Versuche nach NF P 18-577 bzw. ASTM D2-33 bzw. BS 812:1951

Diplomarbeit Martin Schöck

Schotterwerk: 4
Gesteinsart: Dunit

Datum:	19.08.2011	4
Probe:	5001,00	3
Einwaage:	5001,00	g
Siebweite		Summenlinie
[mm]	[g]	[%]
50,0	0	100,00
45,0	694	86,11
31,5	3639	13,31
16,0	331	6,68
8,0	49	5,70
4,0	34	5,02
2,36	36	4,46
2,0	36	4,32
1,7	47	3,88
1,6	61	3,73
1,0	74	2,84
<1,0	142	0,00

Summe	4998	[g]
Massenverlust	0,06	[%]
< 2,36 mm	4,46	[%]
< 1,7 mm	3,88	[%]
< 1,6 mm	3,73	[%]

19.08.2011	4
5005,00	g
Summenlinie	[%]
0	100,00
679	86,43
3812	10,22
172	6,78
28	6,22
29	5,64
36	5,06
36	4,92
61	4,21
69	3,97
118	2,56
128	0,00

5002	[g]
0,06	[%]
5,05	[%]
4,21	[%]
3,97	[%]

22.08.2011	5
4992,00	g
Summenlinie	[%]
0	100,00
344	93,10
3811	16,70
27	16,16
2	16,12
8	15,96
3	15,93
2	15,92
40	15,14
53	14,88
130	13,31
664	0,00

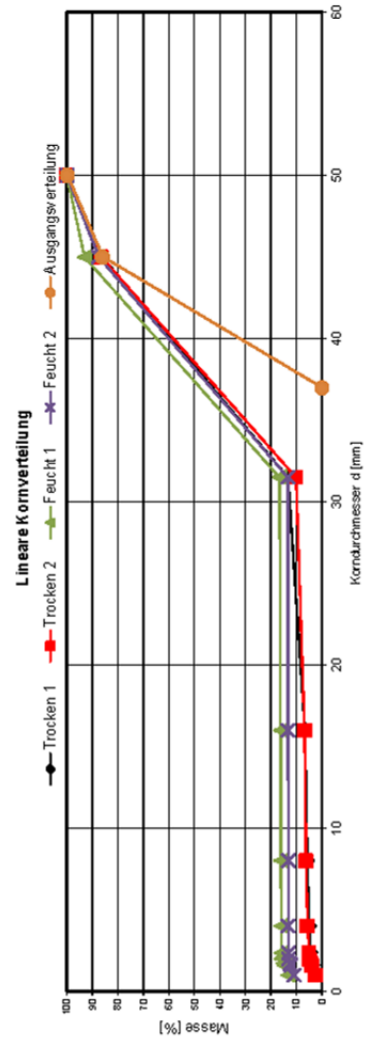
4988	[g]
0,08	[%]
15,93	[%]
15,14	[%]
14,88	[%]

22.08.2011	6
5005,00	g
Summenlinie	[%]
0	100,00
620	67,60
3714	13,30
0	13,30
5	13,20
1	13,18
1	13,17
1	13,16
37	12,44
49	12,20
120	10,76
538	0,00

4999	[g]
0,12	[%]
13,17	[%]
12,44	[%]
12,20	[%]

Kursive Werte wurden linear interpoliert!

Devalwert (ASTM)	10,32	9,50	2,64	3,21
Devalwert (NF P 18 577)	10,72	10,05	2,69	3,27
Attrition Value (BS 812)	4,45	5,05	15,93	13,17



TU Graz
Institut für Eisenbahnen und Verkehrswirtschaft
Bearbeiter: Schöck Martin



Deval-Versuche nach NF P 18-577 bzw. ASTM D2-33 bzw. BS 812:1951

Diplomarbeit Martin Schöck

Schoofwerk: 5
Gesteinsart: Diabas

Datum:	06.09.2011	
Probe:	1.1	
Einwaage:	5009,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1089	78,23
31,5	3882	0,64
16,0	0	0,64
8,0	5	0,54
4,0	2	1,20
2,36	1	0,48
2,0	1	0,48
1,7	1	0,47
1,6	1	0,47
1,0	1	0,46
<1,0	23	0,00

Summe	5003	[g]
Massenverlust	0,12	[%]
< 2,36 mm	0,48	[%]
< 1,7 mm	0,47	[%]
< 1,6 mm	0,47	[%]

Kursive Werte wurden linear interpoliert!

Datum:	07.09.2011	
Probe:	1.2	
Einwaage:	5009,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1072	78,56
31,5	3796	2,58
16,0	62	1,34
8,0	4	1,26
4,0	3	1,84
2,36	1	1,18
2,0	1	1,18
1,7	1	1,17
1,6	1	1,17
1,0	1	1,16
<1,0	58	0,00

Summe	4999	[g]
Massenverlust	0,20	[%]
< 2,36 mm	1,18	[%]
< 1,7 mm	1,17	[%]
< 1,6 mm	1,17	[%]

Datum:	08.09.2011	
Probe:	1.3	
Einwaage:	5009,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1051	78,97
31,5	3773	3,48
16,0	77	1,94
8,0	3	1,88
4,0	2	1,84
2,36	2	1,81
2,0	2	1,80
1,7	2	1,79
1,6	2	1,79
1,0	1	1,78
<1,0	89	0,00

Summe	4998	[g]
Massenverlust	0,22	[%]
< 2,36 mm	1,81	[%]
< 1,7 mm	1,79	[%]
< 1,6 mm	1,79	[%]

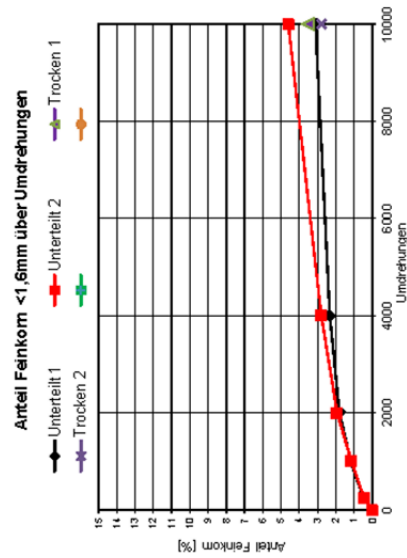
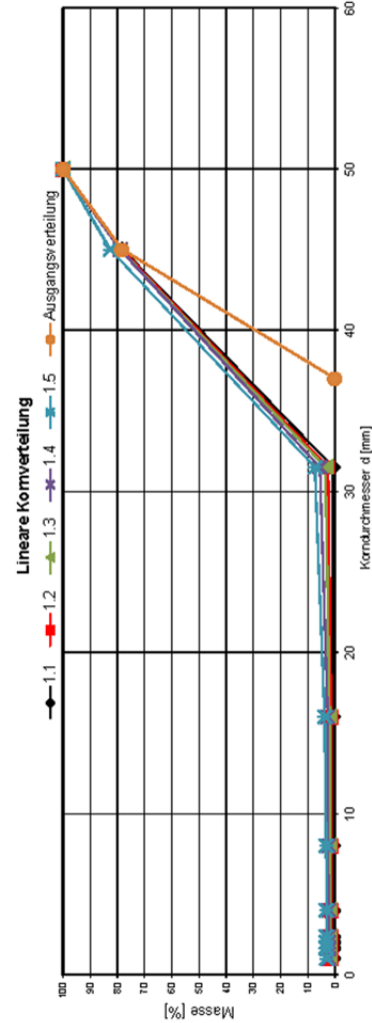
Datum:	10.09.2011	
Probe:	1.4	
Einwaage:	5009,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1048	79,01
31,5	3672	5,49
16,0	140	2,68
8,0	11	2,46
4,0	5	2,36
2,36	2	2,35
2,0	1	2,34
1,7	1	2,34
1,6	1	2,33
1,0	1	2,32
<1,0	116	0,00

Summe	4994	[g]
Massenverlust	0,30	[%]
< 2,36 mm	2,35	[%]
< 1,7 mm	2,34	[%]
< 1,6 mm	2,33	[%]

Datum:	13.09.2011	
Probe:	1.5	
Einwaage:	5009,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	866	82,64
31,5	3758	7,30
16,0	173	3,83
8,0	31	3,21
4,0	4	3,13
2,36	2	3,11
2,0	1	3,11
1,7	1	3,11
1,6	1	3,11
1,0	0	3,11
<1,0	155	0,00

Summe	4994	[g]
Massenverlust	0,42	[%]
< 2,36 mm	3,11	[%]
< 1,7 mm	3,11	[%]
< 1,6 mm	3,11	[%]

Devalwert (ASTM) **12,87**
Devalwert (NF P 18-577) **12,86**
Attrition Value (BS 812) **3,11**



Deval-Versuche nach NF P 18-577 bzw. ASTM D2-33 bzw. BS 812:1951

Diplomarbeit Martin Schöck

Schoofwerk: 5
Gesteinsart: Diabas

Datum:	06.09.2011	
Probe:	2.1	
Einwaage:	4995,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1668	66,51
31,5	3061	5,10
16,0	219	0,70
8,0	7	0,56
4,0	3	0,50
2,36	2	0,47
2,0	2	0,46
1,7	2	0,46
1,6	2	0,45
1,0	1	0,44
<1,0	22	0,00

Summe	4984 [g]
Massenverlust	0,22 [%]
< 2,36 mm	0,47 [%]
< 1,7 mm	0,46 [%]
< 1,6 mm	0,45 [%]

Datum:	07.09.2011	
Probe:	2.2	
Einwaage:	4985,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1756	64,79
31,5	2802	8,60
16,0	283	2,93
8,0	67	1,58
4,0	14	1,30
2,36	8	1,19
2,0	7	1,16
1,7	6	1,14
1,6	5	1,14
1,0	3	1,87
<1,0	93	0,00

Summe	4987 [g]
Massenverlust	0,16 [%]
< 2,36 mm	1,19 [%]
< 1,7 mm	1,14 [%]
< 1,6 mm	1,14 [%]

Datum:	08.09.2011	
Probe:	2.3	
Einwaage:	4985,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1346	72,96
31,5	3166	9,36
16,0	241	4,52
8,0	84	2,83
4,0	33	2,17
2,36	14	2,00
2,0	10	1,97
1,7	9	1,94
1,6	8	1,93
1,0	5	2,78
<1,0	93	0,00

Summe	4978 [g]
Massenverlust	0,34 [%]
< 2,36 mm	2,00 [%]
< 1,7 mm	1,94 [%]
< 1,6 mm	1,93 [%]

Datum:	10.09.2011	
Probe:	2.4	
Einwaage:	4995,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1537	69,12
31,5	2849	11,87
16,0	303	5,79
8,0	104	3,98
4,0	46	3,05
2,36	17	2,87
2,0	11	2,83
1,7	10	2,80
1,6	9	2,78
1,0	6	2,71
<1,0	136	0,00

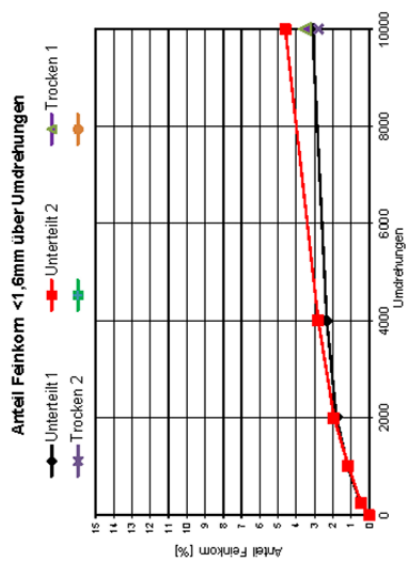
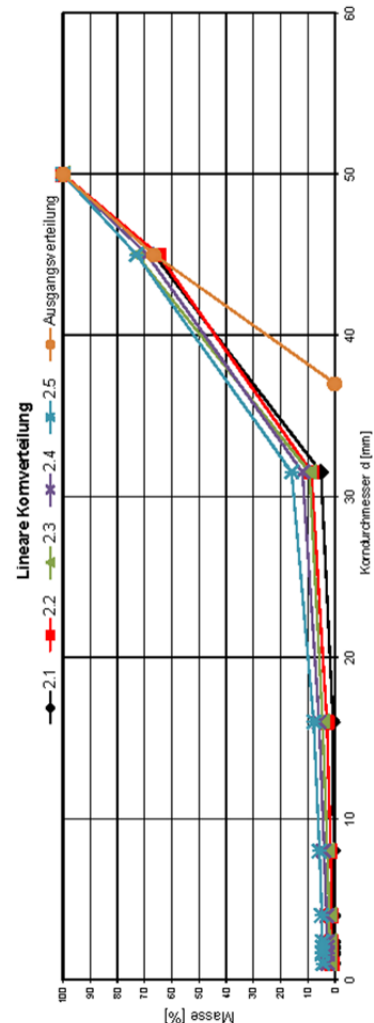
Summe	4977 [g]
Massenverlust	0,36 [%]
< 2,36 mm	2,87 [%]
< 1,7 mm	2,80 [%]
< 1,6 mm	2,78 [%]

Datum:	13.09.2011	
Probe:	2.5	
Einwaage:	4995,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1342	73,03
31,5	2845	15,84
16,0	401	7,78
8,0	104	5,69
4,0	41	4,86
2,36	16	4,68
2,0	11	4,84
1,7	10	4,60
1,6	9	4,59
1,0	7	4,50
<1,0	224	0,00

Summe	4977 [g]
Massenverlust	0,40 [%]
< 2,36 mm	4,68 [%]
< 1,7 mm	4,60 [%]
< 1,6 mm	4,59 [%]

Kursive Werte wurden linear interpoliert!

Devalwert (ASTM) **8,69**
Devalwert (NF P 18-577) **8,73**
Attrition Value (BS 812) **4,68**



Deval-Versuche nach NF P 18-577 bzw. ASTM D2-33 bzw. BS 812:1951

Diplomarbeit Martin Schöck

Schotterwerk:
Gesteinsart: 5 Diabas

Datum:	01.09.2011	
Probe:	3	
Einwaage:	5002,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	716	85,67
31,5	3897	7,65
16,0	173	4,18
8,0	18	3,82
4,0	10	3,62
2,36	5	3,56
2,0	4	3,54
1,7	3	3,53
1,6	3	3,53
1,0	2	3,50
<1,0	175	0,00

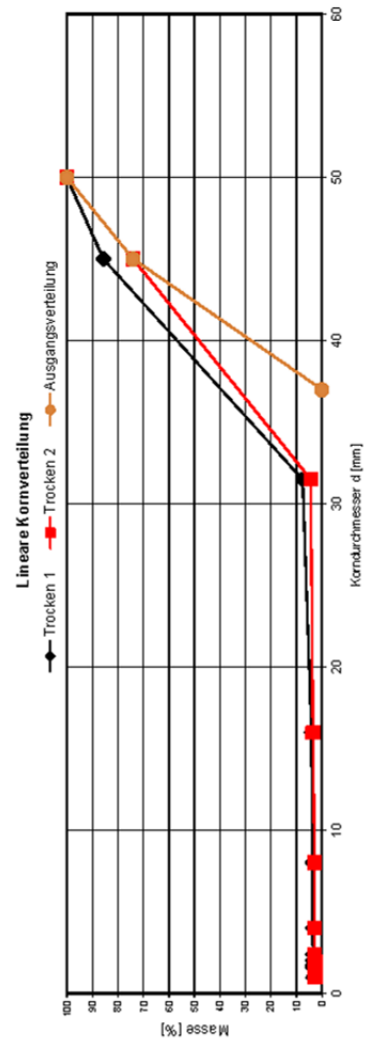
Summe	4995	[g]
Massenverlust	0,14	[%]
≤ 2,36 mm	3,56	[%]
≤ 1,7 mm	3,53	[%]
≤ 1,6 mm	3,53	[%]

Datum:	02.09.2011	
Probe:	4	
Einwaage:	5010,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1298	74,05
31,5	3483	4,42
16,0	46	3,50
8,0	32	2,86
4,0	4	2,78
2,36	2	2,76
2,0	1	2,76
1,7	1	2,76
1,6	1	2,76
1,0	0	2,76
<1,0	198	0,00

Summe	5002	[g]
Massenverlust	0,16	[%]
≤ 2,36 mm	2,76	[%]
≤ 1,7 mm	2,76	[%]
≤ 1,6 mm	2,76	[%]

Kursive Werte wurden linear interpoliert!

Devalwert (ASTM)	11,33	14,50
Devalwert (NF P 18577)	11,33	14,47
Attrition Value (BS 812)	3,56	2,76



TU Graz
Institut für Eisenbahnen und Verkehrswirtschaft
Bearbeiter: Schöck Martin



Deval-Versuche nach NF P 18-577 bzw. ASTM D2-33 bzw. BS 812:1951

Diplomarbeit Martin Schöck

Schoffwerk:
Cesteinsart: 6 Granulit

Datum:	31.08.2011	
Probe:	1.1	
Einwaage:	5005,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1328	73,45
31,5	3640	0,68
16,0	0	0,68
8,0	3	0,62
4,0	5	0,52
2,36	3	0,49
2,0	2	0,46
1,7	2	0,47
1,6	2	0,47
1,0	1	0,46
<1,0	23	0,00

Summe	5002	[g]
Massenverlust	0,06	[%]
< 2,36 mm	0,49	[%]
< 1,7 mm	0,47	[%]
< 1,6 mm	0,47	[%]

Kursive Werte wurden linear interpoliert!

Datum:	01.09.2011	
Probe:	1.2	
Einwaage:	5005,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1322	73,59
31,5	3689	1,88
16,0	13	1,82
8,0	17	2,08
4,0	9	1,90
2,36	3	1,87
2,0	2	1,86
1,7	2	1,85
1,6	2	1,85
1,0	1	1,84
<1,0	62	0,00

Summe	5005	[g]
Massenverlust	0,08	[%]
< 2,36 mm	1,87	[%]
< 1,7 mm	1,85	[%]
< 1,6 mm	1,85	[%]

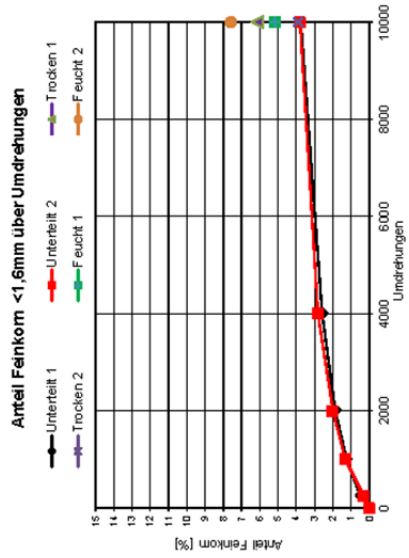
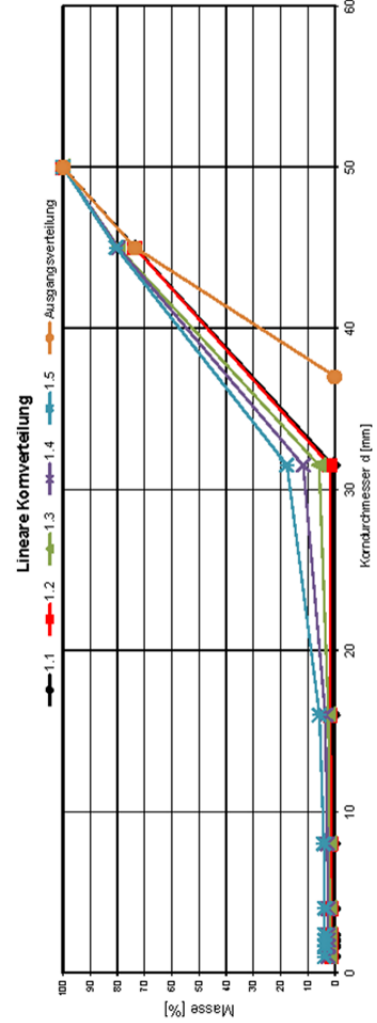
Datum:	02.09.2011	
Probe:	1.3	
Einwaage:	5005,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1015	79,70
31,5	3694	5,84
16,0	171	2,42
8,0	33	2,84
4,0	11	2,62
2,36	4	2,58
2,0	2	2,58
1,7	2	2,57
1,6	2	2,57
1,0	1	2,56
<1,0	92	0,00

Summe	5001	[g]
Massenverlust	0,08	[%]
< 2,36 mm	1,87	[%]
< 1,7 mm	1,85	[%]
< 1,6 mm	1,85	[%]

Datum:	03.09.2011	
Probe:	1.4	
Einwaage:	5005,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	973	80,52
31,5	3141	11,67
16,0	409	3,50
8,0	79	4,10
4,0	15	3,80
2,36	5	3,75
2,0	3	3,74
1,7	2	3,74
1,6	2	3,73
1,0	1	3,72
<1,0	186	0,00

Summe	5005	[g]
Massenverlust	0,00	[%]
< 2,36 mm	2,88	[%]
< 1,7 mm	2,57	[%]
< 1,6 mm	2,57	[%]

Devalwert (ASTM) **10,70**
Devalwert (NF P 18-577) **10,70**
Attrition Value (BS 812) **3,75**



Deval-Versuche nach NF P 18-577 bzw. ASTM D2-33 bzw. BS 812:1951

Diplomarbeit Martin Schöck

Schoofwerk: 6
Gesteinsart: Granulit

Datum:	31.08.2011	
Probe:	2.1	
Einwaage:	5010,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1618	67,61
31,5	3228	3,00
16,0	112	0,76
8,0	10	0,56
4,0	9	0,38
2,36	4	0,33
2,0	3	0,32
1,7	2	0,32
1,6	2	0,32
1,0	0	0,32
<1,0	16	0,00

Summe	4996	[g]
Massenverlust	0,28	[%]
< 2,36 mm	0,33	[%]
< 1,7 mm	0,32	[%]
< 1,6 mm	0,32	[%]

Kursive Werte wurden linear interpoliert!

01.09.2011	2.2	5010,00	Masse [g]	Summenlinie [%]
0	100,00			
1486	70,29			
3221	3,88			
110	1,88			
8	1,52			
8	1,36			
3	1,33			
2	1,32			
2	1,31			
2	1,30			
2	1,28			
64	0,00			

5001	0,18	1,33	1,31	1,30
Masse [g]	0,14	2,01	1,99	1,99
Summenlinie [%]	0,14	2,01	1,99	1,99

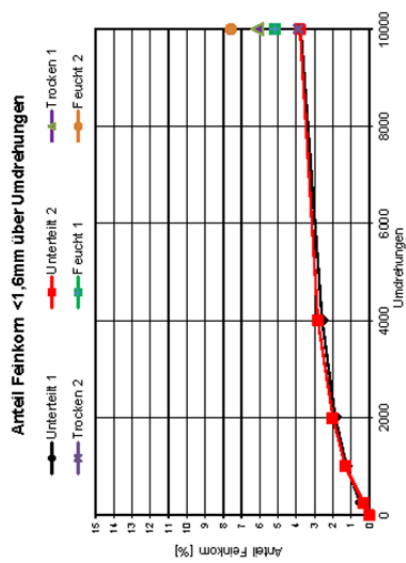
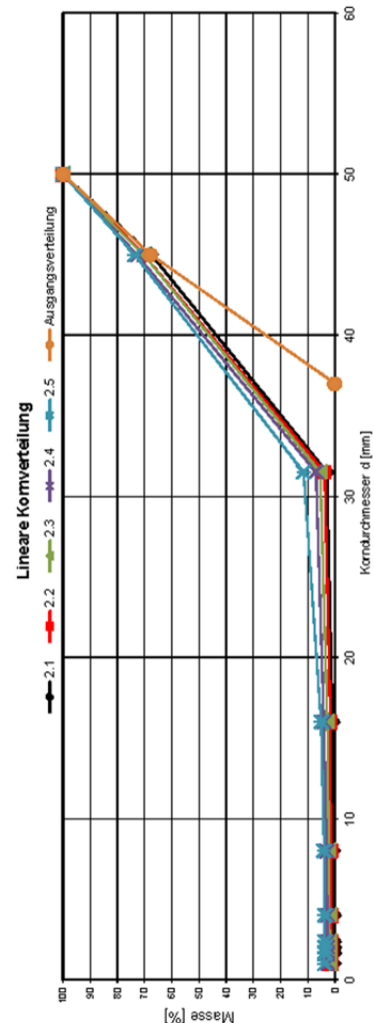
02.09.2011	2.3	5010,00	Masse [g]	Summenlinie [%]
0	100,00			
1480	70,42			
3252	5,42			
127	2,88			
30	2,28			
11	2,06			
4	2,01			
3	2,00			
2	1,99			
2	1,99			
2	1,99			
1	1,98			
99	0,00			

5003	0,14	2,01	1,99
Masse [g]	0,14	2,01	1,99
Summenlinie [%]	0,14	2,01	1,99

03.09.2011	2.4	5010,00	Masse [g]	Summenlinie [%]
0	100,00			
1362	72,79			
3108	6,95			
325	4,06			
51	4,02			
11	3,80			
2	3,80			
0	3,80			
0	3,80			
0	3,80			
190	0,00			

5006	0,08	2,81	2,81
Masse [g]	0,08	2,81	2,81
Summenlinie [%]	0,08	2,81	2,81

Devalwert (ASTM) **10,53**
Devalwert (NF P 18-577) **10,51**
Attrition Value (BS 812) **3,80**



Deval-Versuche nach NF P 18-577 bzw. ASTM D2-33 bzw. BS 812:1951

Diplomarbeit Martin Schöck

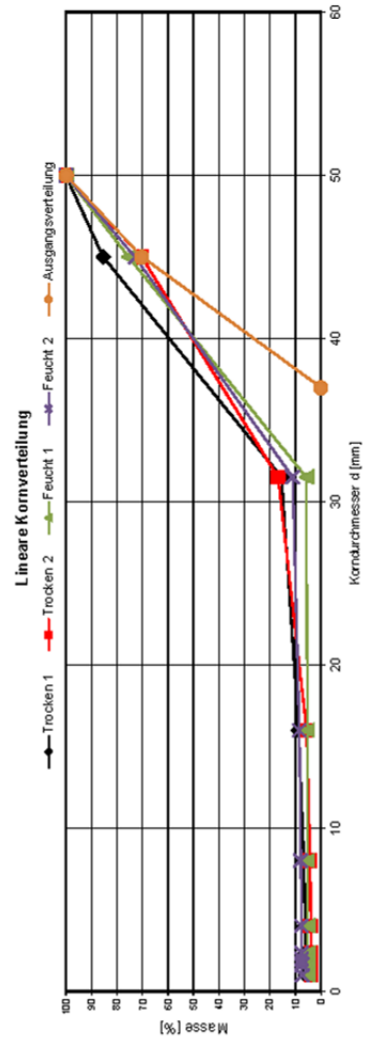
Schotterwerk:
Gesteinsart: 6 Granulit

Datum:	30.08.2011	4	30.08.2011	4	30.08.2011	5	31.08.2011	6
Probe:	3							
Einwaage:	5000,00							
Siebweite (mm)	5,0	0	0	0	0	0	0	0
	10,0	730	1480	1480	1231	1356	1356	1356
	15,0	3488	2666	2666	3489	3083	3083	3083
	20,0	332	552	552	21	130	130	130
	25,0	105	68	68	4	31	31	31
	30,0	625	14	14	4	13	13	13
	35,0	619	6	6	1	5	5	5
	40,0	617	4	4	0	3	3	3
	45,0	614	4	4	0	3	3	3
	50,0	613	4	4	0	3	3	3
	55,0	605	3	3	0	2	2	2
	60,0	0,00	191	191	298	377	377	377
Summe		4989	4978	4978	5007	4995	4995	4995
Massenverlust		0,22	0,30	0,30	0,02	0,06	0,06	0,06
≤ 2,36 mm		6,19	3,91	3,91	5,15	7,60	7,60	7,60
≤ 1,7 mm		6,14	3,88	3,88	5,15	7,58	7,58	7,58
≤ 1,6 mm		6,13	3,87	3,87	5,15	7,57	7,57	7,57

Summe	4989	4978	4978	5007	4995
Massenverlust	0,22	0,30	0,30	0,02	0,06
≤ 2,36 mm	6,19	3,91	3,91	5,15	7,60
≤ 1,7 mm	6,14	3,88	3,88	5,15	7,58
≤ 1,6 mm	6,13	3,87	3,87	5,15	7,57

Kursive Werte wurden linear interpoliert!

Devalwert (ASTM)	6,52	10,31	7,76	5,28
Devalwert (NF P 18577)	6,53	10,34	7,75	5,29
Attrition Value (BS 812)	6,19	3,91	5,15	7,60



TU Graz
Institut für Eisenbahnen und Verkehrswirtschaft
Bearbeiter: Schöck Martin



Deval-Versuche nach NF P 18-577 bzw. ASTM D2-33 bzw. BS 812:1951

Diplomarbeit Martin Schöck

Schoofwerk:
Cesteinsart: 7 Diabas

Datum:	06.09.2011	
Probe:	1.1	
Einwaage:	5007,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1487	70,27
31,5	3486	0,56
16,0	0	0,98
8,0	9	0,40
4,0	0	0,40
2,36	0	0,40
2,0	0	0,40
1,7	0	0,39
1,6	0	0,39
1,0	1	1,10
<1,0	19	0,00

Summe	5002 [g]
Massenverlust	0,10 [%]
< 2,36 mm	0,40 [%]
< 1,7 mm	0,39 [%]
< 1,6 mm	0,39 [%]

Kursive Werte wurden linear interpoliert!

Datum:	07.09.2011	
Probe:	1.2	
Einwaage:	5007,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1236	75,30
31,5	3605	3,26
16,0	79	1,68
8,0	23	1,22
4,0	37	1,74
2,36	6	1,62
2,0	2	1,12
1,7	1	1,12
1,6	1	1,11
1,0	1	1,59
<1,0	55	0,00

Summe	5004 [g]
Massenverlust	0,06 [%]
< 2,36 mm	1,12 [%]
< 1,7 mm	1,11 [%]
< 1,6 mm	1,11 [%]

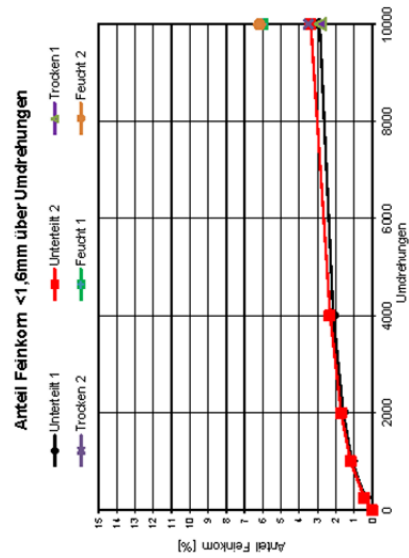
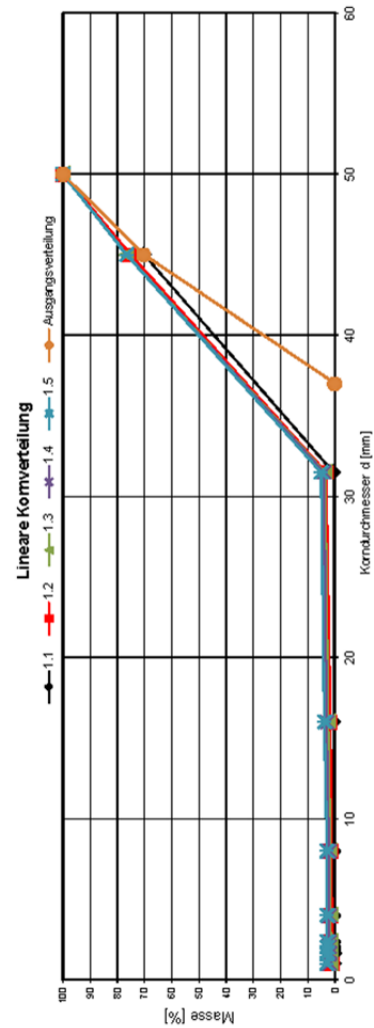
Datum:	08.09.2011	
Probe:	1.3	
Einwaage:	5007,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1168	76,65
31,5	3652	3,64
16,0	58	2,48
8,0	41	2,22
4,0	3	2,16
2,36	1	2,14
2,0	1	2,14
1,7	1	2,13
1,6	1	2,13
1,0	1	2,12
<1,0	79	0,00

Summe	5002 [g]
Massenverlust	0,10 [%]
< 2,36 mm	1,60 [%]
< 1,7 mm	1,59 [%]
< 1,6 mm	1,59 [%]

Datum:	09.09.2011	
Probe:	1.4	
Einwaage:	5007,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1168	76,60
31,5	3623	4,16
16,0	56	3,04
8,0	44	3,00
4,0	5	2,90
2,36	2	2,89
2,0	1	2,88
1,7	1	2,88
1,6	1	2,88
1,0	0	2,88
<1,0	144	0,00

Summe	4999 [g]
Massenverlust	0,16 [%]
< 2,36 mm	2,14 [%]
< 1,7 mm	2,13 [%]
< 1,6 mm	2,13 [%]

Devalwert (ASTM)	13,87
Devalwert (NF P 18-577)	13,86
Attrition Value (BS 812)	2,89



Deval-Versuche nach NF P 18-577 bzw. ASTM D2-33 bzw. BS 812:1951

Diplomarbeit Martin Schöck

Schoofwerk:
Cesteinsart: 7 Diabas

Datum:	06.09.2011	
Probe:	2.1	
Einwaage:	4995,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	2143	57,07
31,5	2788	1,22
16,0	34	0,94
8,0	3	0,48
4,0	1	0,46
2,36	1	0,44
2,0	1	0,44
1,7	1	0,43
1,6	1	0,43
1,0	1	0,42
<1,0	21	0,00

Summe	4992	[g]
Massenverlust	0,06	[%]
< 2,36 mm	0,44	[%]
< 1,7 mm	0,43	[%]
< 1,6 mm	0,43	[%]

Kursive Werte wurden linear interpoliert!

Datum:	07.09.2011	
Probe:	2.2	
Einwaage:	4995,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1783	64,25
31,5	3014	3,81
16,0	121	1,38
8,0	18	1,22
4,0	2	1,18
2,36	0	1,18
2,0	0	1,18
1,7	0	1,18
1,6	0	1,18
1,0	1	1,16
<1,0	58	0,00

Summe	4987	[g]
Massenverlust	0,16	[%]
< 2,36 mm	1,18	[%]
< 1,7 mm	1,18	[%]
< 1,6 mm	1,18	[%]

Datum:	08.09.2011	
Probe:	2.3	
Einwaage:	4995,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1483	70,28
31,5	3228	5,89
16,0	171	2,16
8,0	36	2,41
4,0	5	2,31
2,36	1	2,31
2,0	0	2,31
1,7	0	2,31
1,6	0	2,31
1,0	0	2,31
<1,0	85	0,00

Summe	4990	[g]
Massenverlust	0,10	[%]
< 2,36 mm	1,71	[%]
< 1,7 mm	1,70	[%]
< 1,6 mm	1,70	[%]

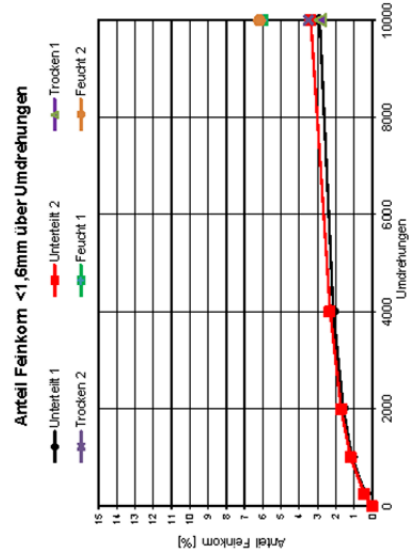
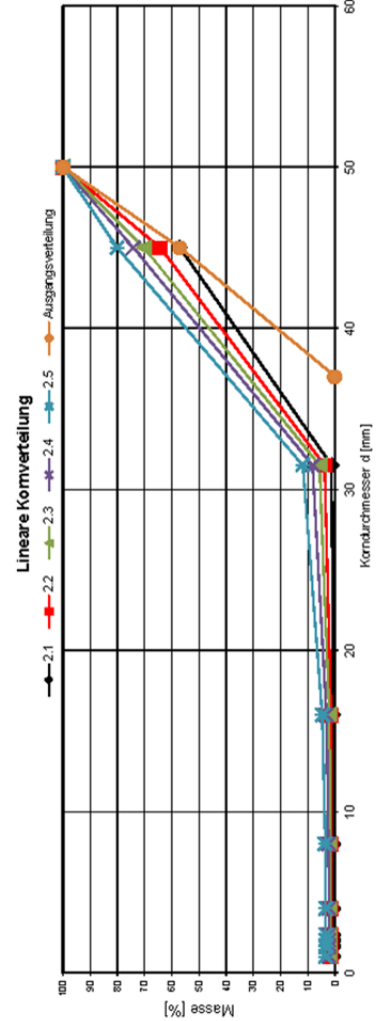
Datum:	09.09.2011	
Probe:	2.4	
Einwaage:	4995,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1287	74,16
31,5	3401	8,15
16,0	290	3,13
8,0	36	2,41
4,0	5	2,31
2,36	1	2,31
2,0	0	2,31
1,7	0	2,31
1,6	0	2,31
1,0	0	2,31
<1,0	115	0,00

Summe	4980	[g]
Massenverlust	0,30	[%]
< 2,36 mm	2,31	[%]
< 1,7 mm	2,31	[%]
< 1,6 mm	2,31	[%]

Datum:	12.09.2011	
Probe:	2.5	
Einwaage:	4995,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	991	80,10
31,5	3401	11,79
16,0	357	4,62
8,0	53	3,55
4,0	7	3,41
2,36	2	3,40
2,0	1	3,39
1,7	2	3,38
1,6	2	3,37
1,0	3	3,33
<1,0	166	0,00

Summe	4986	[g]
Massenverlust	0,32	[%]
< 2,36 mm	3,40	[%]
< 1,7 mm	3,38	[%]
< 1,6 mm	3,37	[%]

Devalwert (ASTM) **11,85**
Devalwert (NF P 18-577) **11,88**
Attrition Value (BS 812) **3,40**



Deval-Versuche nach NF P 18-577 bzw. ASTM D2-33 bzw. BS 812:1951

Diplomarbeit Martin Schöck

Schotterwerk:
Gesteinsart: 7 Diabas

Datum:	05.09.2011	
Probe:	3	
Einwaage:	5002,00 [g]	
Stehweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1225	75,47
31,5	3415	7,07
16,0	182	3,42
8,0	26	2,90
4,0	2	2,86
2,36	1	2,85
2,0	1	2,84
1,7	1	2,84
1,6	1	2,84
1,0	0	2,84
<1,0	142	0,00

Summe	4993 [g]
Massenverlust	0,18 [%]
< 2,36 mm	2,85 [%]
< 1,7 mm	2,84 [%]
< 1,6 mm	2,84 [%]

Datum:	05.09.2011	
Probe:	4	
Einwaage:	4995,00 [g]	
Stehweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1112	77,70
31,5	3287	11,77
16,0	382	4,11
8,0	14	3,83
4,0	12	3,59
2,36	5	3,54
2,0	3	3,53
1,7	3	3,52
1,6	3	3,51
1,0	2	3,49
<1,0	174	0,00

Summe	4986 [g]
Massenverlust	0,18 [%]
< 2,36 mm	3,54 [%]
< 1,7 mm	3,52 [%]
< 1,6 mm	3,51 [%]

Datum:	05.09.2011	
Probe:	5	
Einwaage:	5003,00 [g]	
Stehweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1007	79,86
31,5	3558	8,72
16,0	109	6,54
8,0	17	6,20
4,0	7	6,06
2,36	2	6,04
2,0	1	6,04
1,7	1	6,03
1,6	1	6,03
1,0	1	6,02
<1,0	301	0,00

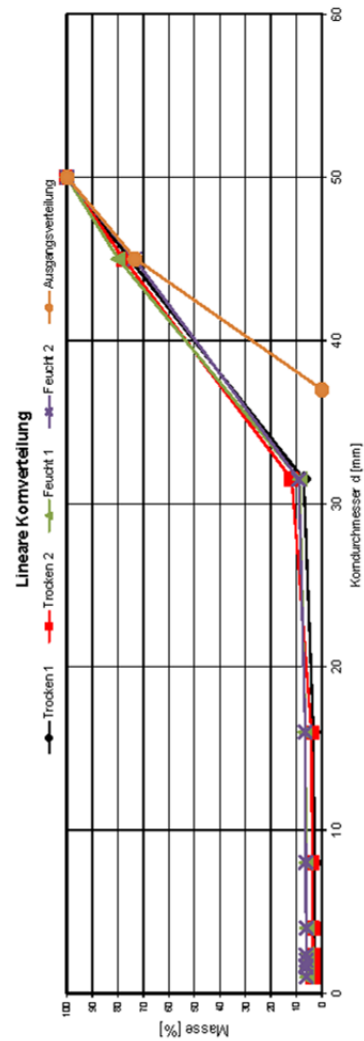
Summe	5001 [g]
Massenverlust	0,04 [%]
< 2,36 mm	6,04 [%]
< 1,7 mm	6,03 [%]
< 1,6 mm	6,03 [%]

Datum:	05.09.2011	
Probe:	6	
Einwaage:	5007,00 [g]	
Stehweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1330	73,44
31,5	3221	9,11
16,0	128	6,56
8,0	12	6,31
4,0	5	6,21
2,36	2	6,19
2,0	1	6,19
1,7	1	6,19
1,6	1	6,18
1,0	1	6,17
<1,0	309	0,00

Summe	5007 [g]
Massenverlust	0,00 [%]
< 2,36 mm	6,19 [%]
< 1,7 mm	6,19 [%]
< 1,6 mm	6,18 [%]

Kursive Werte wurden linear interpoliert!

Devalwert (ASTM):	14,06	11,37	6,63	6,47
Devalwert (NF P 18 577)	14,06	11,39	6,63	6,46
Attrition Value (BS 812)	2,85	3,54	6,04	6,19



TU Graz, Institut für Eisenbahnen und Verkehrswirtschaft
Bearbeiter: Schöck, Martin



Deval-Versuche nach NF P 18-577 bzw. ASTM D2-33 bzw. BS 812:1951

Diplomarbeit Martin Schöck

Schoofwerk: 8
Gesteinsart: Diabas

Datum:	13.09.2011	
Probe:	1.1	
Einwaage:	4993,00	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	543	89,10
31,5	4371	1,36
16,0	47	0,44
8,0	0	0,44
4,0	0	0,44
2,36	0	0,44
2,0	0	0,44
1,7	0	0,44
1,6	0	0,44
1,0	0	0,44
<1,0	22	0,00

Summe	4963
Massenverlust	0,20
< 2,36 mm	0,44
< 1,7 mm	0,44
< 1,6 mm	0,44

Kursive Werte wurden linear interpoliert!

Datum:	14.09.2011	
Probe:	1.2	
Einwaage:	4993,00	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	206	95,87
31,5	4680	2,01
16,0	47	1,06
8,0	0	1,06
4,0	0	1,06
2,36	0	1,06
2,0	0	1,06
1,7	0	1,06
1,6	0	1,06
1,0	0	1,06
<1,0	53	0,00

Summe	4986
Massenverlust	0,14
< 2,36 mm	1,06
< 1,7 mm	1,06
< 1,6 mm	1,06

Datum:	15.09.2011	
Probe:	1.3	
Einwaage:	4993,00	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	206	95,87
31,5	4653	2,47
16,0	43	1,61
8,0	3	1,55
4,0	0	1,55
2,36	0	1,55
2,0	0	1,55
1,7	0	1,55
1,6	0	1,55
1,0	0	1,55
<1,0	77	0,00

Summe	4982
Massenverlust	0,22
< 2,36 mm	1,55
< 1,7 mm	1,55
< 1,6 mm	1,55

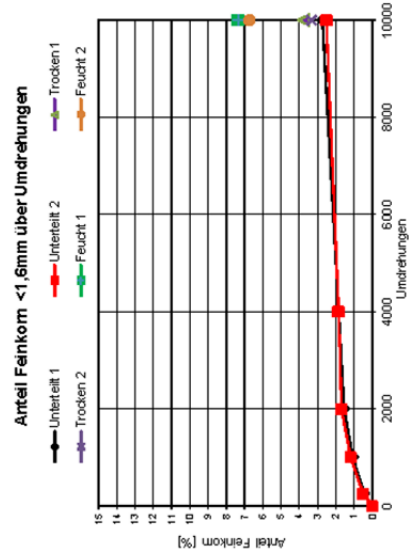
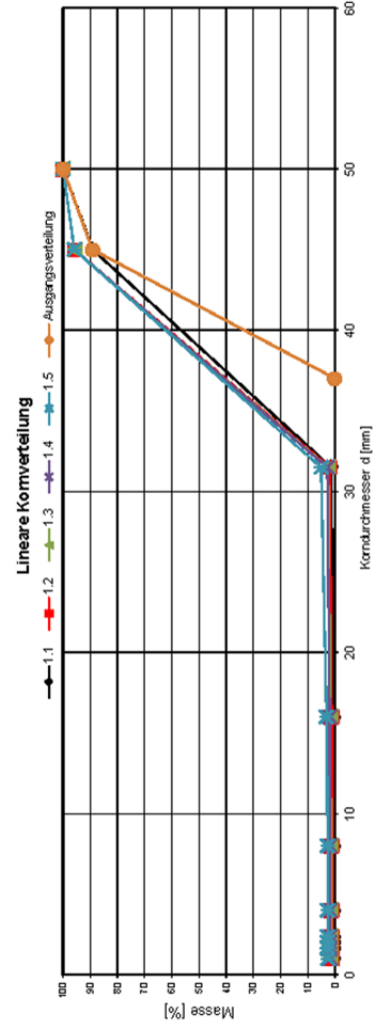
Datum:	17.09.2011	
Probe:	1.4	
Einwaage:	4993,00	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	206	95,87
31,5	4643	2,77
16,0	43	1,90
8,0	2	1,86
4,0	1	1,84
2,36	0	1,84
2,0	0	1,84
1,7	0	1,84
1,6	0	1,84
1,0	0	1,84
<1,0	92	0,00

Summe	4987
Massenverlust	0,12
< 2,36 mm	1,84
< 1,7 mm	1,84
< 1,6 mm	1,84

Datum:	20.09.2011	
Probe:	1.5	
Einwaage:	4993,00	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	204	95,90
31,5	4517	5,12
16,0	99	3,14
8,0	20	2,73
4,0	0	2,73
2,36	0	2,73
2,0	0	2,73
1,7	0	2,73
1,6	0	2,73
1,0	0	2,73
<1,0	136	0,00

Summe	4987
Massenverlust	0,34
< 2,36 mm	2,73
< 1,7 mm	2,73
< 1,6 mm	2,73

Devalwert (ASTM) **14,64**
Devalwert (NF P 18-577) **14,66**
Attrition Value (BS 812) **2,73**



Deval-Versuche nach NF P 18-577 bzw. ASTM D2-33 bzw. BS 812:1951

Diplomarbeit Martin Schöck

Schoofwerk: 8
Gesteinsart: Diabas

Datum:	13.09.2011	
Probe:	2.1	
Einwaage:	4996,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	178	96,43
31,5	4782	1,28
16,0	0	1,28
8,0	4	1,18
4,0	0	1,18
2,36	0	1,18
2,0	0	1,18
1,7	0	1,18
1,6	0	1,18
1,0	1	1,18
<1,0	24	0,00

Summe	4989	[g]
Massenverlust	0,14	[%]
< 2,36 mm	0,50	[%]
< 1,7 mm	0,50	[%]
< 1,6 mm	0,49	[%]

Kursive Werte wurden linear interpoliert!

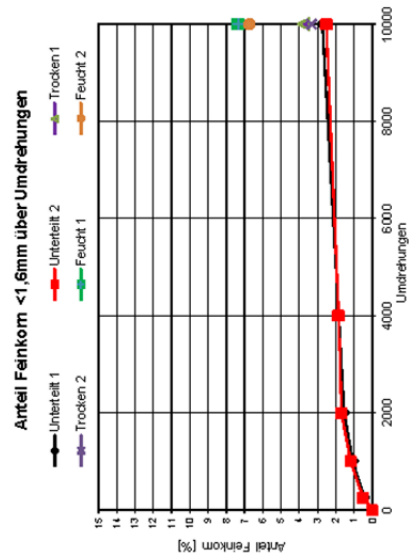
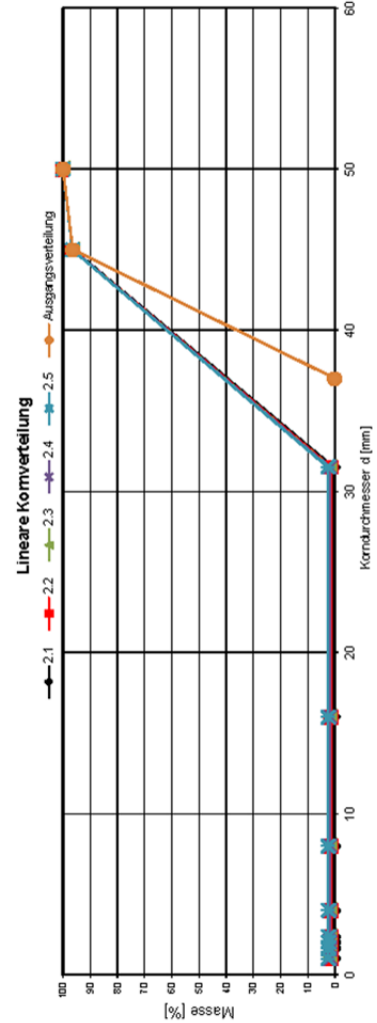
14.09.2011	15.09.2011	17.09.2011	20.09.2011
Masse [g]	Masse [g]	Masse [g]	Masse [g]
Summenlinie [%]	Summenlinie [%]	Summenlinie [%]	Summenlinie [%]
0	0	0	0
178	175	175	173
4749	4723	4714	4680
0	0	0	0
5	5	4	2
1,18	1,18	1,84	2
0	0	0	0
0	0	1,84	0
0	0	1,84	0
0	0	1,84	0
0	0	1,84	0
59	84	92	125
0,00	0,00	0,00	0,00

4991	4988	4987
0,10	0,16	0,18
1,18	1,68	1,84
1,18	1,68	1,84

17.09.2011	20.09.2011
Masse [g]	Masse [g]
Summenlinie [%]	Summenlinie [%]
0	0
175	173
4714	4680
0	0
4	2
1,88	2
2	2
1,84	2,51
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
92	125
0,00	0,00

4987	4987
0,18	0,28
1,84	2,51
1,84	2,51

Devalwert (ASTM)	15,94
Devalwert (NF P 18-577)	15,96
Attrition Value (BS 812)	2,51



Deval-Versuche nach NF P 18-577 bzw. ASTM D2-33 bzw. BS 812:1951

Diplomarbeit Martin Schöck

Schotterwerk:
Gesteinsart: 8 Diabas

Datum:	24.08.2011	
Probe:	3	
Einwaage:	4996,00 [g]	
Siebweite (mm)	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	888	82,21
31,5	3815	5,77
16,0	64	4,49
8,0	26	3,97
4,0	4	3,89
2,36	2	3,85
2,0	2	3,85
1,7	5	3,77
1,6	6	3,75
1,0	12	3,61
<1,0	180	0,00

Summe	4991	[g]
Massenverlust	0,10	[%]
≤ 2,36 mm	3,85	[%]
≤ 1,7 mm	3,77	[%]
≤ 1,6 mm	3,75	[%]

Datum:	24.08.2011	
Probe:	4	
Einwaage:	5010,00 [g]	
Siebweite (mm)	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	695	86,09
31,5	4057	4,86
16,0	53	3,80
8,0	18	3,44
4,0	3	3,36
2,36	1	3,37
2,0	1	3,36
1,7	2	3,33
1,6	3	3,32
1,0	5	3,26
<1,0	163	0,00

Summe	4995	[g]
Massenverlust	0,30	[%]
≤ 2,36 mm	3,37	[%]
≤ 1,7 mm	3,33	[%]
≤ 1,6 mm	3,32	[%]

Datum:	26.08.2011	
Probe:	5	
Einwaage:	5008,00 [g]	
Siebweite (mm)	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	671	86,59
31,5	3830	10,03
16,0	125	7,54
8,0	9	7,36
4,0	0	7,36
2,36	0	7,36
2,0	0	7,36
1,7	0	7,36
1,6	0	7,36
1,0	0	7,36
<1,0	368	0,00

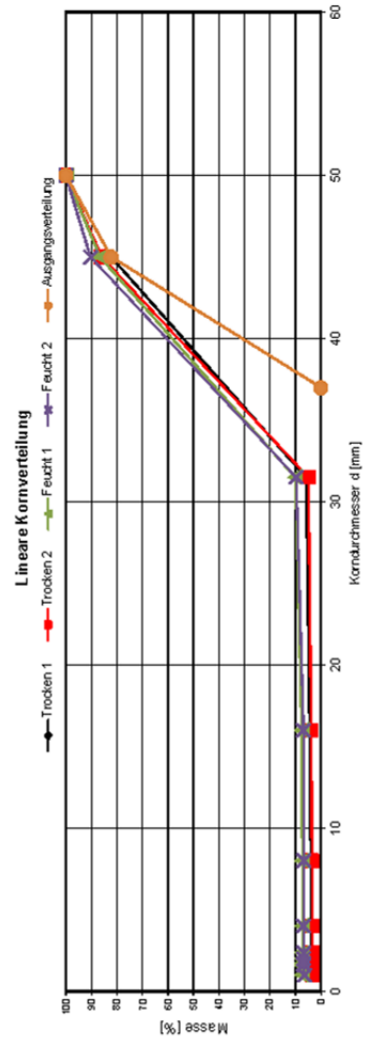
Summe	5003	[g]
Massenverlust	0,10	[%]
≤ 2,36 mm	7,36	[%]
≤ 1,7 mm	7,36	[%]
≤ 1,6 mm	7,36	[%]

Datum:	29.08.2011	
Probe:	6	
Einwaage:	5008,00 [g]	
Siebweite (mm)	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	482	90,37
31,5	4038	9,69
16,0	142	6,85
8,0	2	6,81
4,0	1	6,79
2,36	1	6,78
2,0	1	6,77
1,7	2	6,74
1,6	3	6,73
1,0	5	6,67
<1,0	334	0,00

Summe	5005	[g]
Massenverlust	0,06	[%]
≤ 2,36 mm	6,78	[%]
≤ 1,7 mm	6,74	[%]
≤ 1,6 mm	6,73	[%]

Kursive Werte wurden linear interpoliert!

Devalwert (ASTM)	10,60	12,00	5,44	5,93
Devalwert (NF P 18 577)	10,67	12,01	5,43	5,93
Attrition Value (BS 812)	3,86	3,37	7,36	6,78



TU Graz Institut für Eisenbahnen und Verkehrswirtschaft
Bearbeiter: Schöck Martin



Deval-Versuche nach NF P 18-577 bzw. ASTM D2-33 bzw. BS 812:1951

Diplomarbeit Martin Schöck

Schotterwerk: 9
Gesteinsart: Granit

Datum:	06.09.2011	
Probe:	1.1	
Einwaage:	4996,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	2560	48,34
31,5	2398	0,32
16,0	0	0,32
8,0	0	0,32
4,0	0	0,32
2,36	0	0,32
2,0	0	0,32
1,7	0	0,32
1,6	0	0,32
1,0	0	0,32
<1,0	16	0,00

Summe	4994	[g]
Massenverlust	0,04	[%]
< 2,36 mm	0,32	[%]
< 1,7 mm	0,32	[%]
< 1,6 mm	0,32	[%]

Kursive Werte wurden linear interpoliert!

07.09.2011	1.2
4996,00	[g]
Masse	Summenlinie
[g]	[%]
0	100,00
2566	48,62
2383	0,90
0	0,90
0	0,90
0	0,90
0	0,90
0	0,90
0	0,90
0	0,90
0	0,90
0	0,90
45	0,00

4994	[g]
0,04	[%]
0,90	[%]
1,34	[%]
0,90	[%]
0,90	[%]

09.09.2011	1.3
4996,00	[g]
Masse	Summenlinie
[g]	[%]
0	100,00
2453	50,85
2452	1,72
19	1,34
0	1,34
0	1,34
0	1,34
0	1,34
0	1,34
0	1,34
0	1,34
0	1,34
67	0,00

4991	[g]
0,10	[%]
1,74	[%]
1,34	[%]
1,34	[%]

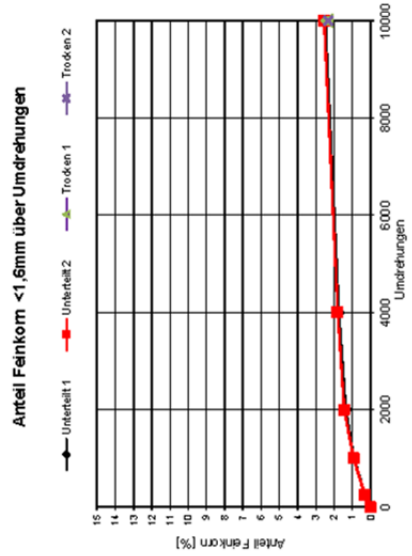
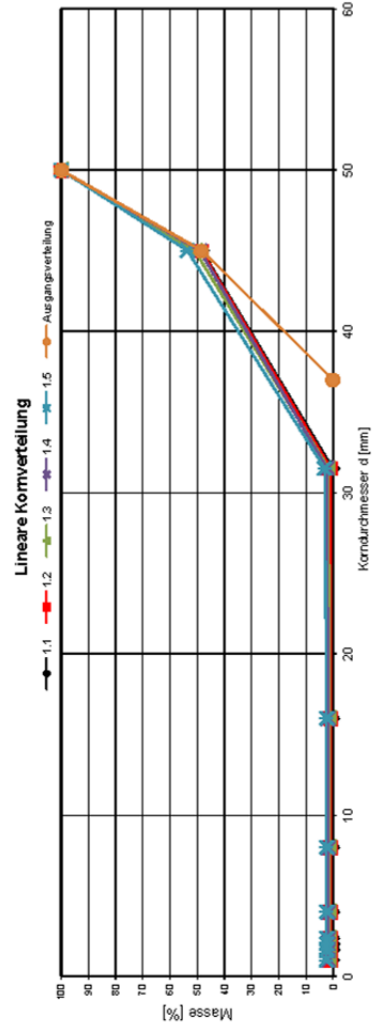
12.09.2011	1.4
4996,00	[g]
Masse	Summenlinie
[g]	[%]
0	100,00
2545	49,01
2337	2,18
19	1,80
3	1,74
0	1,74
0	1,74
0	1,74
0	1,74
0	1,74
0	1,74
87	0,00

4991	[g]
0,10	[%]
1,74	[%]
1,74	[%]
1,74	[%]

14.09.2011	1.5
4996,00	[g]
Masse	Summenlinie
[g]	[%]
0	100,00
2312	53,66
2520	3,15
31	2,53
2	2,49
0	2,49
0	2,49
0	2,49
0	2,49
0	2,49
0	2,49
124	0,00

0,14	[%]
2,49	[%]
2,49	[%]
2,49	[%]

Devalwert (ASTM)	16,09
Devalwert (NF P 18-577)	16,11
Attrition Value (BS 812)	2,49



Deval-Versuche nach NF P 18-577 bzw. ASTM D2-33 bzw. BS 812:1951

Diplomarbeit Martin Schöck

Schotterwerk:
Cesteinsart: 9
Granit

Datum:	06.09.2011	
Probe:	2.1	
Einwaage:	4991,00	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1892	62,05
31,5	3077	0,92
16,0	0	0,92
8,0	0	0,92
4,0	0	0,92
2,36	0	0,92
2,0	0	0,92
1,7	0	0,92
1,6	0	0,92
1,0	0	0,92
<1,0	16	0,00

Summe	4985	[g]
Massenverlust	0,12	[%]
<2,36 mm	0,32	[%]
<1,7 mm	0,32	[%]
<1,6 mm	0,32	[%]

Kursive Werte wurden linear interpoliert!

Datum:	07.09.2011	
Probe:	2.2	
Einwaage:	4991,00	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1736	65,19
31,5	3205	0,92
16,0	0	0,92
8,0	0	0,92
4,0	0	0,92
2,36	0	0,92
2,0	0	0,92
1,7	0	0,92
1,6	0	0,92
1,0	0	0,92
<1,0	46	0,00

Summe	4987	[g]
Massenverlust	0,08	[%]
<2,36 mm	0,92	[%]
<1,7 mm	0,92	[%]
<1,6 mm	0,92	[%]

Datum:	09.09.2011	
Probe:	2.3	
Einwaage:	4991,00	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1725	65,40
31,5	3189	1,44
16,0	0	1,44
8,0	0	1,44
4,0	0	1,44
2,36	0	1,44
2,0	0	1,44
1,7	0	1,44
1,6	0	1,44
1,0	0	1,44
<1,0	72	0,00

Summe	4986	[g]
Massenverlust	0,10	[%]
<2,36 mm	1,44	[%]
<1,7 mm	1,44	[%]
<1,6 mm	1,44	[%]

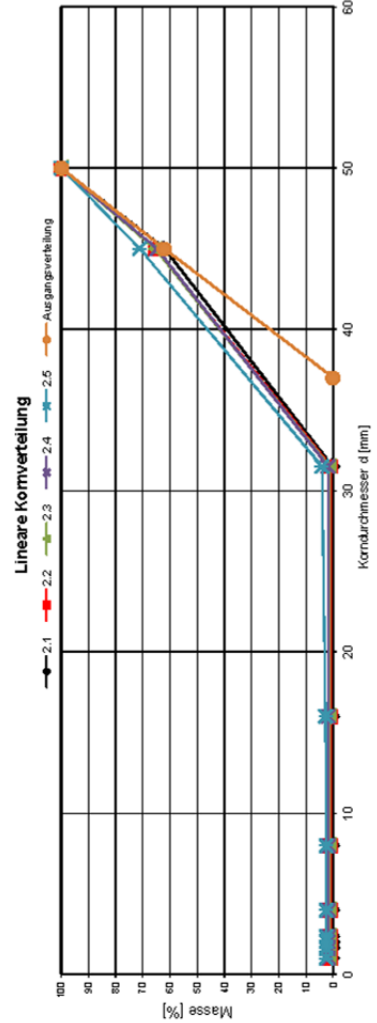
Datum:	12.09.2011	
Probe:	2.4	
Einwaage:	4991,00	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1752	64,83
31,5	3138	1,85
16,0	0	1,85
8,0	2	1,81
4,0	0	1,81
2,36	0	1,81
2,0	0	1,81
1,7	0	1,81
1,6	0	1,81
1,0	0	1,81
<1,0	90	0,00

Summe	4982	[g]
Massenverlust	0,18	[%]
<2,36 mm	1,81	[%]
<1,7 mm	1,81	[%]
<1,6 mm	1,81	[%]

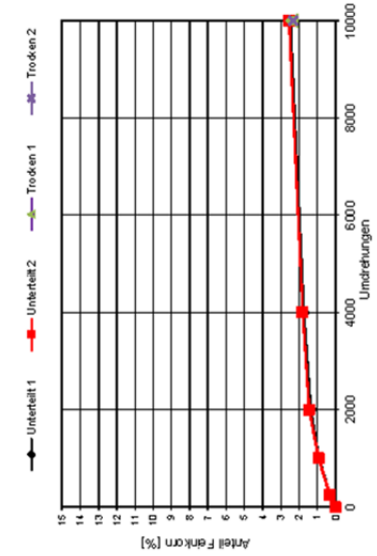
Datum:	14.09.2011	
Probe:	2.5	
Einwaage:	4991,00	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1439	71,12
31,5	3337	4,15
16,0	70	2,75
8,0	9	2,57
4,0	1	2,55
2,36	0	2,55
2,0	0	2,55
1,7	0	2,55
1,6	0	2,55
1,0	0	2,55
<1,0	127	0,00

Summe	4980	[g]
Massenverlust	0,16	[%]
<2,36 mm	2,55	[%]
<1,7 mm	2,55	[%]
<1,6 mm	2,55	[%]

Devalwert (ASTM) **15,69**
Devalwert (NF P 18-577) **15,72**
Attrition Value (BS 812) **2,55**



Anteil Feinkorn <1,6mm über Umdrehungen



Deval-Versuche nach NF P 18-577 bzw. ASTM D2-33 bzw. BS 812:1951

Diplomarbeit Martin Schöck

Schotterwerk: 9
Gesteinsart: Granit

Datum:	02.09.2011	
Probe:	3	
Einwaage:	5009,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1307	73,90
31,5	3568	2,64
16,0	13	2,38
8,0	0	2,38
4,0	0	2,38
2,36	0	2,38
2,0	0	2,38
1,7	0	2,38
1,6	0	2,38
1,0	0	2,38
<1,0	119	0,00

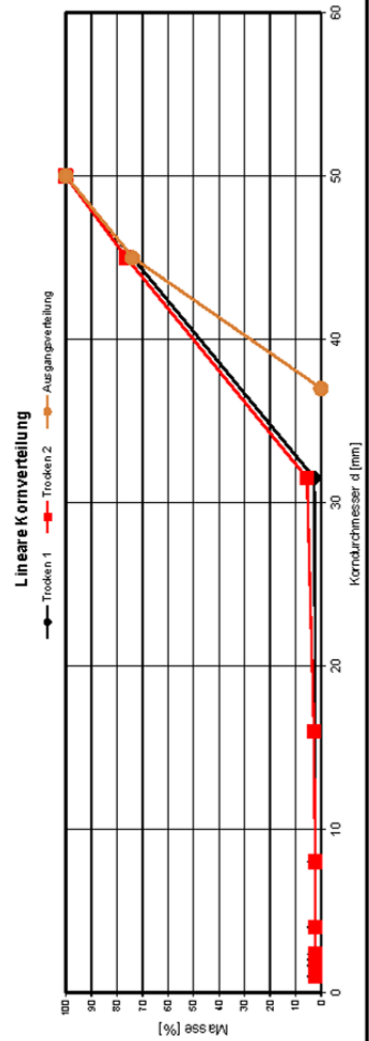
Summe	5007	[g]
Massenverlust	0,04	[%]
< 2,36 mm	2,38	[%]
< 1,7 mm	2,38	[%]
< 1,6 mm	2,38	[%]

Kursive Werte wurden linear interpoliert

Devalwert (ASTM)	15,83	17,40
Devalwert (NF P 18 577)	16,80	17,37
Attrition Value (BS 812)	2,38	2,30

Datum:	05.09.2011	
Probe:	4	
Einwaage:	5007,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1183	76,35
31,5	3545	5,48
16,0	138	2,72
8,0	21	2,30
4,0	0	2,30
2,36	0	2,30
2,0	0	2,30
1,7	0	2,30
1,6	0	2,30
1,0	0	2,30
<1,0	115	0,00

Summe	5002	[g]
Massenverlust	0,10	[%]
< 2,36 mm	2,30	[%]
< 1,7 mm	2,30	[%]
< 1,6 mm	2,30	[%]



TU Graz - Institut für Eisenbahnen und Verkehrswirtschaft
Bearbeiter: Schöck Martin



Deval-Versuche nach NF P 18-577 bzw. ASTM D2-33 bzw. BS 812:1951

Diplomarbeit Martin Schöck

Schoofwerk:
Cesteinsart: 10
Granit

Datum:	13.09.2011	
Probe:	1.1	
Einwaage:	4994,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1175	76,47
31,5	3786	1,10
16,0	15	0,80
8,0	1	0,78
4,0	0	0,32
2,36	0	0,32
2,0	0	0,32
1,7	0	0,37
1,6	0	0,37
1,0	1	0,30
<1,0	15	0,00

Summe	4993	[g]
Massenverlust	0,02	[%]
< 2,36 mm	0,32	[%]
< 1,7 mm	0,31	[%]
< 1,6 mm	0,31	[%]

Kursive Werte wurden linear interpoliert!

Datum:	14.09.2011	
Probe:	1.2	
Einwaage:	4994,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1169	76,58
31,5	3768	1,10
16,0	15	0,80
8,0	1	0,78
4,0	0	0,32
2,36	1	0,76
2,0	0	0,98
1,7	1	0,76
1,6	1	0,76
1,0	0	0,98
<1,0	38	0,00

Summe	4992	[g]
Massenverlust	0,04	[%]
< 2,36 mm	0,76	[%]
< 1,7 mm	0,76	[%]
< 1,6 mm	0,76	[%]

Datum:	15.09.2011	
Probe:	1.3	
Einwaage:	4994,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1159	76,77
31,5	3759	1,42
16,0	14	1,14
8,0	7	0,98
4,0	0	1,26
2,36	0	0,98
2,0	0	0,98
1,7	0	0,98
1,6	0	0,98
1,0	0	0,98
<1,0	49	0,00

Summe	4989	[g]
Massenverlust	0,10	[%]
< 2,36 mm	0,98	[%]
< 1,7 mm	0,98	[%]
< 1,6 mm	0,98	[%]

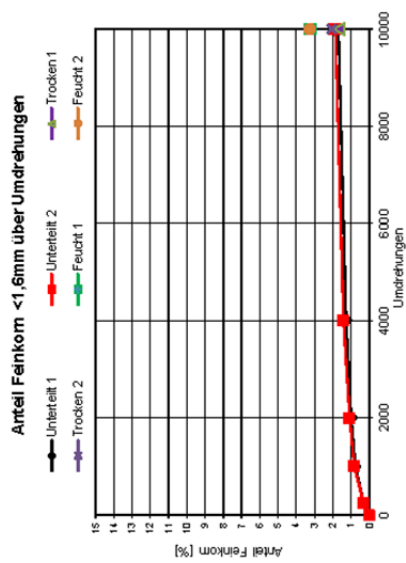
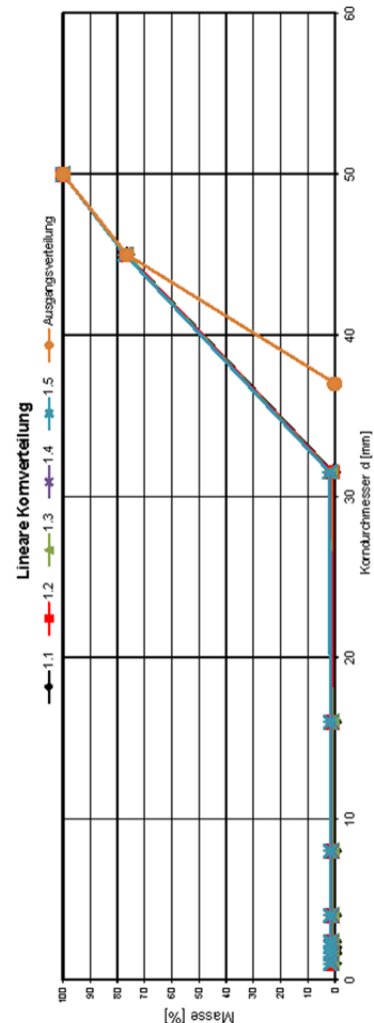
Datum:	16.09.2011	
Probe:	1.4	
Einwaage:	4994,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1148	76,99
31,5	3768	1,68
16,0	14	1,40
8,0	7	1,26
4,0	0	1,26
2,36	0	1,26
2,0	0	1,26
1,7	0	1,26
1,6	0	1,26
1,0	0	1,26
<1,0	63	0,00

Summe	4990	[g]
Massenverlust	0,08	[%]
< 2,36 mm	1,26	[%]
< 1,7 mm	1,26	[%]
< 1,6 mm	1,26	[%]

Datum:	20.09.2011	
Probe:	1.5	
Einwaage:	4994,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1132	77,30
31,5	3750	2,09
16,0	14	1,81
8,0	6	1,68
4,0	0	1,68
2,36	0	1,68
2,0	0	1,68
1,7	0	1,68
1,6	0	1,68
1,0	0	1,68
<1,0	84	0,00

Summe	4990	[g]
Massenverlust	0,16	[%]
< 2,36 mm	1,68	[%]
< 1,7 mm	1,68	[%]
< 1,6 mm	1,68	[%]

Devalwert (ASTM) **23,74**
Devalwert (NF P 18-577) **23,77**
Attrition Value (BS 812) **1,68**



Deval-Versuche nach NF P 18-577 bzw. ASTM D2-33 bzw. BS 812:1951

Diplomarbeit Martin Schöck

Schoofwerk:
Cesteinsart: 10
Granit

Datum:	13.09.2011	
Probe:	2.1	
Einwaage:	5004,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1424	71,53
31,5	3561	0,34
16,0	0	0,34
8,0	0	0,34
4,0	1	0,32
2,36	0	0,32
2,0	0	0,32
1,7	0	0,32
1,6	0	0,32
1,0	0	0,32
<1,0	16	0,00

Summe	5002	[g]
Massenverlust	0,04	[%]
< 2,36 mm	0,32	[%]
< 1,7 mm	0,32	[%]
< 1,6 mm	0,32	[%]

Kursive Werte wurden linear interpoliert!

14.09.2011	2.2	5004,00	Masse [g]	Summenlinie [%]
0	100,00			
1136	77,28			
3821	0,86			
0	0,86			
2	0,82			
0	0,82			
0	0,82			
0	0,82			
0	0,82			
0	0,82			
41	0,00			

5000	0,08	0,82	0,82
[g]	[%]	[%]	[%]
0,12	1,08	1,08	1,08

15.09.2011	2.3	5004,00	Masse [g]	Summenlinie [%]
0	100,00			
1158	76,83			
3784	1,12			
0	1,12			
2	1,08			
0	1,08			
0	1,08			
0	1,08			
0	1,08			
54	0,00			

4998	0,12	1,08	1,08
[g]	[%]	[%]	[%]
1,08	1,08	1,08	1,08

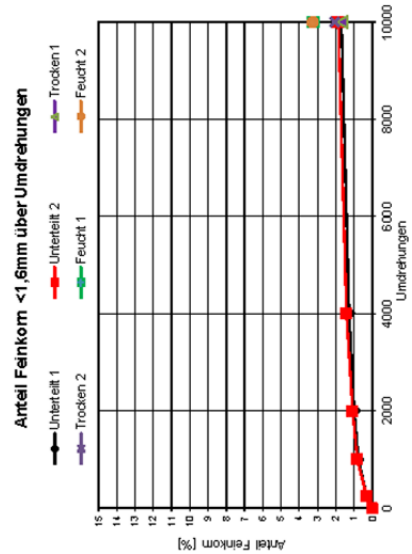
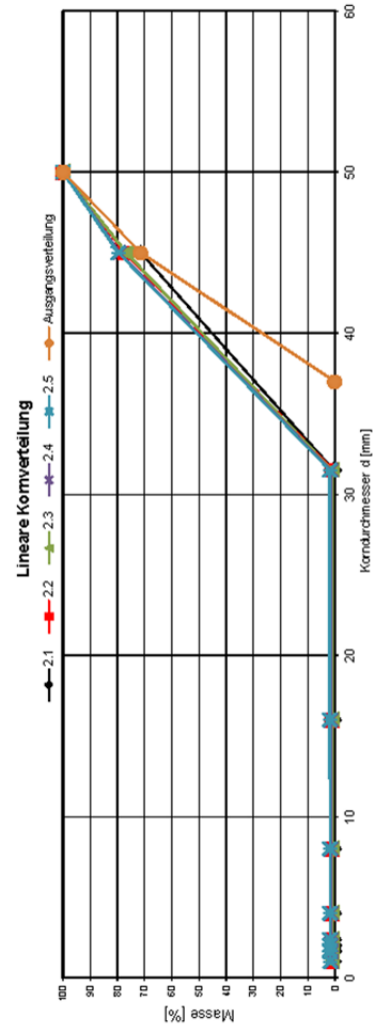
16.09.2011	2.4	5004,00	Masse [g]	Summenlinie [%]
0	100,00			
1037	79,26			
3887	1,50			
0	1,50			
4	1,42			
0	1,42			
0	1,42			
0	1,42			
0	1,42			
71	0,00			

4999	0,10	1,42	1,42
[g]	[%]	[%]	[%]
1,42	1,86	1,86	1,86

20.09.2011	2.5	5004,00	Masse [g]	Summenlinie [%]
0	100,00			
1011	79,76			
3887	1,92			
0	1,92			
3	1,86			
0	1,86			
0	1,86			
0	1,86			
0	1,86			
93	0,00			

0,20	1,86	1,86	1,86
[g]	[%]	[%]	[%]
1,86	1,86	1,86	1,86

Devalwert (ASTM)	21,48
Devalwert (NF P 18-577)	21,46
Attrition Value (BS 812)	1,86



Deval-Versuche nach NF P 18-577 bzw. ASTM D2-33 bzw. BS 812:1951

Diplomarbeit Martin Schöck

Schotterwerk: 10
Gesteinsart: Granit

Datum:	12.08.2011	
Probe:	3	
Einwaage:	4993,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1511	69,73
31,5	3340	2,81
16,0	47	1,86
8,0	7	1,72
4,0	1	1,70
2,36	1	1,69
2,0	1	1,68
1,7	1	1,68
1,6	1	1,68
1,0	1	1,66
<1,0	83	0,00

Summe	4991	[g]
Massenverlust	0,04	[%]
< 2,36 mm	1,69	[%]
< 1,7 mm	1,68	[%]
< 1,6 mm	1,68	[%]

Datum:	12.08.2011	
Probe:	4	
Einwaage:	5006,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	2095	58,13
31,5	2726	3,66
16,0	75	2,16
8,0	4	2,08
4,0	1	2,06
2,36	0	2,06
2,0	0	2,06
1,7	0	2,06
1,6	0	2,06
1,0	0	2,06
<1,0	103	0,00

Summe	5004	[g]
Massenverlust	0,04	[%]
< 2,36 mm	2,06	[%]
< 1,7 mm	2,06	[%]
< 1,6 mm	2,06	[%]

Datum:	16.08.2011	
Probe:	5	
Einwaage:	5002,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1675	66,49
31,5	3150	3,46
16,0	10	3,26
8,0	1	3,26
4,0	1	3,24
2,36	0	3,24
2,0	0	3,24
1,7	0	3,24
1,6	1	3,24
1,0	1	3,22
<1,0	161	0,00

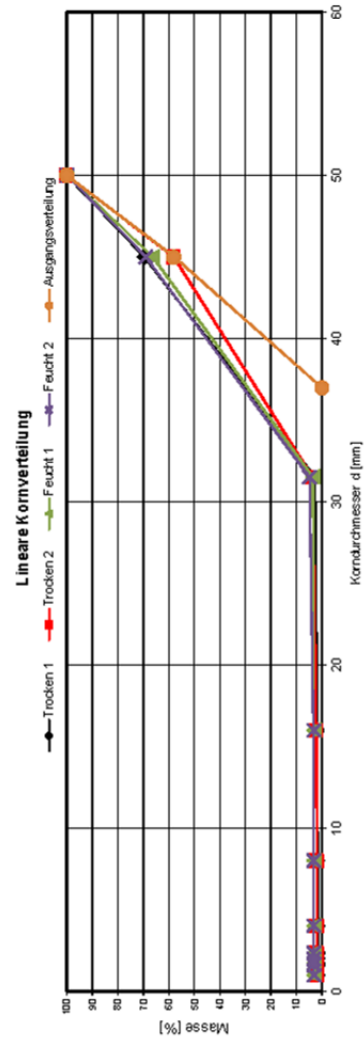
Summe	4998	[g]
Massenverlust	0,08	[%]
< 2,36 mm	3,24	[%]
< 1,7 mm	3,24	[%]
< 1,6 mm	3,23	[%]

Datum:	16.08.2011	
Probe:	6	
Einwaage:	4994,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1537	69,20
31,5	3206	4,93
16,0	80	3,33
8,0	3	3,27
4,0	0	3,27
2,36	0	3,27
2,0	0	3,27
1,7	1	3,25
1,6	1	3,24
1,0	3	3,21
<1,0	160	0,00

Summe	4991	[g]
Massenverlust	0,06	[%]
< 2,36 mm	3,27	[%]
< 1,7 mm	3,25	[%]
< 1,6 mm	3,24	[%]

Kursive Werte wurden linear interpoliert!

Devalwert (ASTM)	23,85	19,43	12,36	12,32
Devalwert (NF P 18.577)	23,91	19,41	12,37	12,35
Attrition Value (BS 812)	1,69	2,06	3,24	3,27



TU Graz Institut für Eisenbahnen und Verkehrswirtschaft
Bearbeiter: Schöck Martin



Deval-Versuche nach NF P 18 577 bzw. ASTM D2-33 bzw. BS 812:1951

Diplomarbeit Martin Schöck

Schotterwerk:
Cesteinsart: 11 Dolomit

Datum:	09.08.2011	
Probe:	1.1	
Einwaage:	5004,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	2808	43,82
4,10	1985	4,10
16,0	48	3,14
8,0	11	2,92
4,0	6	2,80
2,36	2	2,78
2,0	1	2,78
1,7	1	2,77
1,6	1	2,77
1,0	2	2,74
<1,0	137	0,00

Summe	4998 [g]
Massenverlust	0,12 [%]
< 2,36 mm	2,78 [%]
< 1,7 mm	2,77 [%]
< 1,6 mm	2,77 [%]

Kursive Werte wurden linear interpoliert!

10.08.2011	1.2	
5004,00	Masse [g]	Summenlinie [%]
0	100,00	
2788	44,26	
1895	6,38	
111	4,16	
13	3,90	
4	3,82	
2	3,79	
2	3,78	
2	3,76	
2	3,75	
3	3,72	
186	0,00	

5002	0,04 [%]
3,79	3,79 [%]
3,76	3,76 [%]
3,75	3,75 [%]

11.08.2011	1.3	
5004,00	Masse [g]	Summenlinie [%]
0	100,00	
2611	47,72	
2026	7,15	
110	4,95	
21	5,13	
3	4,47	
2	4,43	
2	4,43	
5	4,35	
6	4,33	
12	4,19	
209	0,00	

4994	0,20 [%]
4,43	4,43 [%]
4,35	4,35 [%]
4,33	4,33 [%]

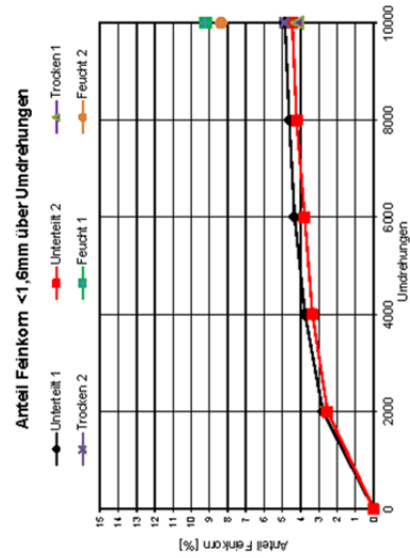
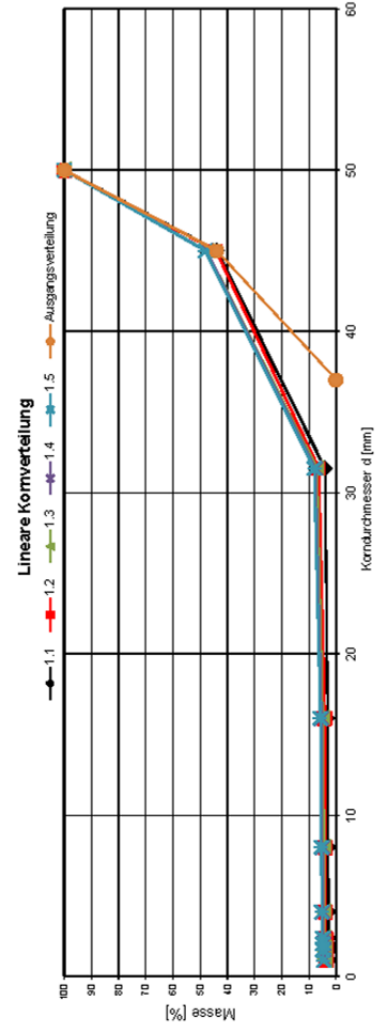
15.08.2011	1.4	
5004,00	Masse [g]	Summenlinie [%]
0	100,00	
2600	47,94	
2014	7,61	
109	5,43	
15	5,13	
6	5,01	
13	4,78	
14	4,73	
14	4,64	
14	4,61	
14	4,45	
222	0,00	

4994	0,20 [%]
4,78	4,78 [%]
4,64	4,64 [%]
4,61	4,61 [%]

17.08.2011	1.5	
5004,00	Masse [g]	Summenlinie [%]
0	100,00	
2591	48,18	
2008	8,02	
109	5,84	
18	5,48	
9	5,30	
14	5,05	
15	5,00	
16	4,89	
16	4,86	
18	4,64	
232	0,00	

0,08	0,08 [%]
5,05	5,05 [%]
4,89	4,89 [%]
4,86	4,86 [%]

Devalwert (ASTM)	8,18
Devalwert (NF P 18 577)	8,23
Attrition Value (BS 812)	5,05



Deval-Versuche nach NF P 18 577 bzw. ASTM D2-33 bzw. BS 812:1951

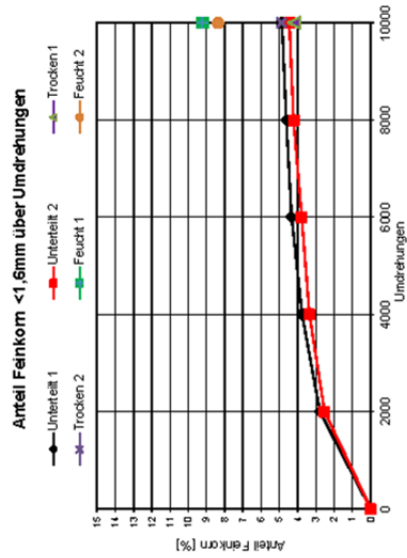
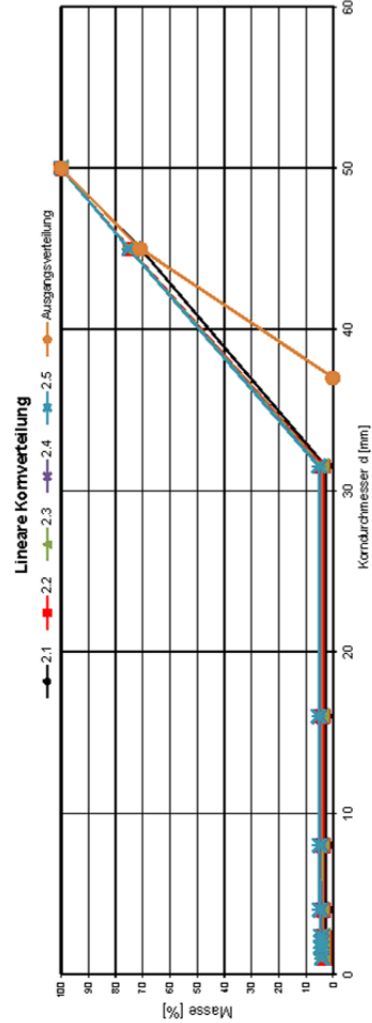
Diplomarbeit Martin Schöck

Schotterwerk: Cesteinsart:		11 Dolomit	
Datum:	09.08.2011		
Probe:	2.1		
Einwaage:	5004,00	[g]	
Siebweite [mm]		Masse	Summenlinie
		[g]	[%]
50,0	0	100,00	
45,0	1455	70,88	
31,5	3405	2,72	
16,0	0	2,72	
8,0	8	2,56	
4,0	1	2,54	
2,36	1	2,53	
2,0	1	2,52	
1,7	1	2,51	
1,6	1	2,51	
1,0	1	2,50	
<1,0	125	0,00	
Summe	4996	[g]	
Massenverlust	0,16	[%]	
< 2,36 mm	2,53	[%]	
< 1,7 mm	2,52	[%]	
< 1,6 mm	2,51	[%]	

Kursive Werte wurden linear interpoliert!

10.08.2011		11.08.2011		15.08.2011		17.08.2011	
5004,00	2,2	5004,00	2,3	5004,00	2,4	5004,00	2,5
Masse	[g]	Masse	[g]	Masse	[g]	Masse	[g]
Summenlinie	[%]	Summenlinie	[%]	Summenlinie	[%]	Summenlinie	[%]
0	100,00	0	100,00	0	100,00	0	100,00
1298	74,81	1250	74,96	1243	75,08	1241	75,12
3557	4,31	3527	4,31	3495	5,01	3484	5,25
0	3,60	0	4,31	0	5,01	0	5,25
8	3,44	6	4,19	11	4,79	4	5,17
1	3,40	11	3,97	11	4,57	11	4,95
2	3,37	7	3,87	13	4,36	18	4,64
2	3,36	6	3,85	13	4,31	19	4,57
2	3,35	7	3,80	13	4,24	18	4,48
2	3,34	7	3,78	13	4,21	18	4,44
3	3,30	8	3,69	12	4,07	16	4,25
165	0,00	184	0,00	203	0,00	212	0,00
4995	[g]	4992	[g]	4988	[g]		[g]
0,18	[%]	0,24	[%]	0,32	[%]	0,34	[%]
3,37	[%]	3,87	[%]	4,36	[%]	4,64	[%]
3,35	[%]	3,80	[%]	4,24	[%]	4,48	[%]
3,34	[%]	3,78	[%]	4,21	[%]	4,44	[%]

Devalwert (ASTM)	
Devalwert	8,94
Devalwert (NF P 18 577)	8,99
Attrition Value (BS 812)	4,64



Deval-Versuche nach NF P 18-577 bzw. ASTM D2-33 bzw. BS 812:1951

Diplomarbeit Martin Schöck

Schotterwerk: 11
Gesteinsart: Dolomit

Datum:	04.08.2011	
Probe:	3	
Einwaage:	4996,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	2568	48,57
31,5	2032	7,87
16,0	110	5,67
8,0	28	5,11
4,0	11	4,89
2,36	9	4,74
2,0	9	4,71
1,7	25	4,33
1,6	30	4,21
1,0	62	3,46
<1,0	173	0,00

Summe	4993	[g]
Massenverlust	0,06	[%]
< 2,36 mm	4,74	[%]
< 1,7 mm	4,33	[%]
< 1,6 mm	4,21	[%]

Datum:	04.08.2011	
Probe:	4	
Einwaage:	4996,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1946	61,02
31,5	2616	8,61
16,0	105	6,51
8,0	24	6,03
4,0	9	5,85
2,36	11	5,66
2,0	12	5,61
1,7	36	5,08
1,6	42	4,90
1,0	88	3,85
<1,0	192	0,00

Summe	4992	[g]
Massenverlust	0,08	[%]
< 2,36 mm	5,08	[%]
< 1,7 mm	5,08	[%]
< 1,6 mm	4,90	[%]

Datum:	06.08.2011	
Probe:	5	
Einwaage:	4996,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	579	88,41
31,5	3667	14,98
16,0	217	10,63
8,0	18	10,27
4,0	12	10,03
2,36	5	9,98
2,0	3	9,97
1,7	30	9,41
1,6	39	9,22
1,0	94	8,09
<1,0	404	0,00

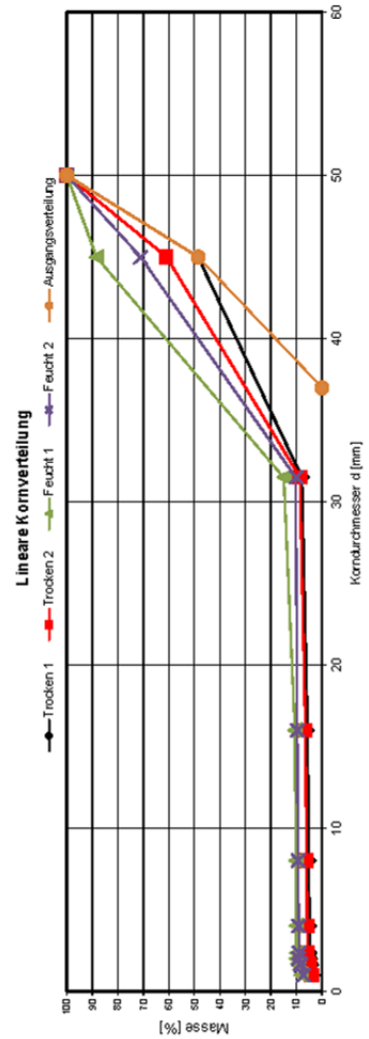
Summe	4994	[g]
Massenverlust	0,04	[%]
< 2,36 mm	9,98	[%]
< 1,7 mm	9,41	[%]
< 1,6 mm	9,22	[%]

Datum:	06.08.2011	
Probe:	6	
Einwaage:	4997,00 [g]	
Siebweite [mm]	Masse [g]	Summenlinie [%]
50,0	0	100,00
45,0	1440	71,17
31,5	3041	10,27
16,0	29	9,69
8,0	17	9,36
4,0	12	9,11
2,36	7	9,04
2,0	6	8,99
1,7	29	8,50
1,6	36	8,34
1,0	81	7,37
<1,0	368	0,00

Summe	4994	[g]
Massenverlust	0,06	[%]
< 2,36 mm	9,01	[%]
< 1,7 mm	8,50	[%]
< 1,6 mm	8,34	[%]

Kursive Werte wurden linear interpoliert!

Devalwert (ASTM)	9,23	7,87	4,25	4,70
Devalwert (NF P 18577)	9,51	8,16	4,34	4,80
Attrition Value (BS 812)	4,74	5,65	9,98	9,01



TU Graz Institut für Eisenbahnen und Verkehrswirtschaft
Bearbeiter: Schöck Martin



B.) Berechnung der Wassermenge im Zylinder:

Diese Berechnung wurde mit Hilfe des eines CAD-Programms durchgeführt, wobei der Zylinder dreidimensional gezeichnet und mit einer horizontalen Ebene geschnitten wurde. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die maximal einfüllbare Wassermenge in Abhängigkeit des Prozentsatzes der Masse des Gesteins, welches über die Wasserspiegellinie gestapelt werden kann.

Berechnung Wassermenge Zylinder

Gesamtvolumen Zylinder	12123	[cm ³]
Volumen oberer Teil	6297	[cm ³]
Volumen unterer Teil	5826	[cm ³]

Masse Gestein	5	[kg]
Dichte Gestein ~	2,85	[kg/dm ³]
Volumen Gestein	1,754	[dm ³]

Teil ausserhalb des Wassers

0 %	1,754	[dm ³]
10 %	1,579	[dm ³]
20 %	1,404	[dm ³]
30 %	1,228	[dm ³]
33 %	1,175	[dm ³]

Max. einfüllbare Wassermenge

Teil ausserhalb des Wassers

0 %	4,072	[dm ³]
10 %	4,247	[dm ³]
20 %	4,422	[dm ³]
30 %	4,598	[dm ³]
33 %	4,651	[dm ³]

C.) Berechnung des Abriebs eines Gesteinsquaders

Diese Berechnung zeigt den absoluten und relativen Verlust an Masse und Volumen bei einem Abrieb von einem Gesteinsquader mit einer Kantenlänge d hin zu einer Kugel mit dem Durchmesser d.

	Durchmesser	Quader	Kugel
Formel		$V=d^3$	$V=1/6*\pi*d^3$
Volumen [cm ³]	5,0	125	65,45
Volumen [cm ³]	3,7	50,65	26,52
Dichte Gestein [g/cm ³]	2,85		
Differenz [cm ³]	5,0	59,55	
Differenz [cm ³]	3,7	24,13	
entspricht Gewicht	5,0	169,7	[g]
	3,7	68,8	[g]
relativer Unterschied	5,0	47,64	[%]
	3,7	47,64	[%]

Es zeigt sich, dass der maximale Abrieb bei 47,64 Prozent des Volumens liegt.

Literaturverzeichnis

- [1] L'Association Française de Normalisation: NF P 18-577, Version April 1979, AFNOR, Saint-Denis
- [2] American Society for Testing and Materials, ASTM D2-33: Abrasion of Rock by use of the Deval Machine, Version 1968, ASTM, Philadelphia
- [3] Ernest T. Selig und Debra L. Boucher: Abrasion Tests for Railroad Ballast, Dezember 1990, Geotechnical Testing Journal, Vol. 13, No. 4, Seiten 301 - 311
- [4] Charles H. McElroy and David A. Lienhart: Rock for Erosion Control, Seite 48
- [5] Jean Berthier: Granulats et liants routiers, Techniques de l'ingénieur, traite Construction
- [6] Dr. Hamouine A.: Matériaux de construction, Contrôle à l'usure des granulats, Centre Universitaire de Bechar, Algerien
- [7] CEN: ÖNORM EN 1097-1:2011, Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 1: Bestimmung des Widerstandes gegen Verschleiß (Micro-Deval), Version 2011-03-01, Austrian Standard Institute, Wien
- [8] CEN: ÖNORM EN 13450:2004, Gesteinskörnungen für Gleisschotter, Version 2004-11-01, Österreichisches Normungsinstitut, Wien
- [9] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute: Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Verfahren zur Bestimmung der Druckfestigkeit von Gleisschotter am Haufwerk, Version 1.2.2008
- [10] Dipl. Geol. Dr. rer. nat. Gerald Anthes: Grundlagenerhebung zu Vorkommen von Granitgestein in Österreich, Version 2.5.2006, Geologische Bundesanstalt, Wien
- [11] Ernest T. Selig und John M. Waters: Track Geotechnology and Substructure Management, Version 2007, London
- [12] August Rosiwal: Neue Untersuchungsergebnisse über die Härte von Mineralien und Gesteinen, 1896, Verhandlungen der k. k. geologischen Reichsanstalt, Wien

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ergebnisse Dry-Attrition-Test unterteilt	17
Abbildung 2: Feinkornanteil über Umdrehungszahl	18
Abbildung 3: Tangentensteigung Unterteilter Test	19
Abbildung 4: Ergebnisse Dry-Attrition-Test	21
Abbildung 5: Vergleich unterteilter Test / Norm-Test	21
Abbildung 6: Wet-Attrition-Test	23
Abbildung 7: Unterschied Dry-Attrition-Test / Wet-Attrition-Test	24
Abbildung 8: Verhältniswert Dry / Wet – Attrition-Value.....	25
Abbildung 9: Modifiziertes Selig-Diagramm [11]	26
Abbildung 10: Korn vor Versuchsdurchführung	29
Abbildung 11: Abgeriebene Kanten nach Versuchsdurchführung.....	30
Abbildung 12: Foto Kornbruch.....	30
Abbildung 13: Vergleich Dry-Attrition-Value / M_{DE}	32
Abbildung 14: Vergleich Wet-Attrition-Value / M_{DE}	33
Abbildung 15: Vergleich Dry-Attrition-Value / LA-Koeffizient	34
Abbildung 16: Vergleich Wet-Attrition-Value / LA-Koeffizient	35
Abbildung 17: Vergleich Dry-Attrition-Value / Schlagzertrümmerungswert	36
Abbildung 18: Vergleich Wet-Attrition-Value / Schlagzertrümmerungswert	36
Abbildung 19: Vergleich Dry-Attrition-Value / Quarzäquivalent.....	38
Abbildung 20: Vergleich Dry-Attrition-Value / Quarzäquivalent; selektive Trendlinie.....	38
Abbildung 21: Vergleich Wet-Attrition-Value / Quarzäquivalent	39
Abbildung 22: Vergleich Wet-Attrition-Value / Quarzäquivalent, selektive Trendlinie.....	39

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Unterschiede der drei Deval-Normen	7
Tabelle 2: Unterschiede EN 1097-1 / EN 13450	11
Tabelle 3: Farbcodes und Gesteinsarten	12
Tabelle 4: Überblick über die Gültigkeit der Tests nach [9]	20



Institut für Eisenbahnwesen
und Verkehrswirtschaft
Technische Universität Graz
Rechbauerstrasse 12/II
8010 Graz
+43 316 873 6216
office.ebw@tugraz.at
▶ www.ebw.tugraz.at