

DIPLOMARBEIT Master Thesis

Zusammenhang zwischen Abrasivität und Werkzeugverschleiß am Beispiel einer maschinellen Rohrpressung

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn.
Dietmar Adam

und als verantwortlich mitwirkenden Assistenten

Univ. Ass. Dipl.-Ing.
Petra Drucker

Institut für Geotechnik

Forschungsbereich für Grundbau, Boden- und Felsmechanik
E220

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Max Havranek

0325637

Wien, am 11.03.2014

.....
(Max Havranek)

Danksagung

Danke an alle!

An Alle, die mir bei der Entstehung und Erstellung dieser Arbeit geholfen haben, sowohl geistig als natürlich auch inhaltlich.

Vorweg möchte ich mich bei Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dietmar Adam für die Unterstützung und die Möglichkeit an seinem Institut meine Diplomarbeit zu verwirklichen bedanken.

Natürlich und vorallem gilt der Dank meiner Diplomarbeitsbetreuerin DI Petra Drucker für die hilfreiche Unterstützung und ihre Geduld.

Danke.

Weiters danke ich natürlich meinen Eltern, die mich all die Jahre tatkräftig unterstützt haben und ohne die es mir nicht möglich gewesen wäre, dieses Studium zu führen.

Danke Mama und Papa!

Weiterer Dank gilt all meinen Freunden und Wegbegleitern, die mich all die Jahre mit aufmunternden Worten und tatkräftiger Unterstützung durch das Studium begleitet haben.

Es sind zu viele, um sie hier alle namentlich zu erwähnen, doch der Dank gilt ganz Euch. Euch allen, die ihr mich in den dunklen Stunden der Verzweiflung zu neuen Taten motiviert, die ihr mit mir die Stunden der Freude geteilt, die in den Zeiten der Mittelmäßigkeit bei mir standen, jene, die die Zeiten des Müßigganges wie auch die Zeiten der Anstrengung mit mir verbracht habt.

Der Dank gilt Euch.

Und eines, meine Freunde, vergesst niemals: „Kapitän ist man im Herzen.“

Kurzfassung

Der Verschleiß an Tiefbauwerkzeugen und deren Trägergeräten durch Lockergestein spielt in der Kalkulation wie auch im Baufortschritt eine wesentliche Rolle. Mit derzeitigen Prüfmaschinen läßt sich der zu erwartende Verschleiß nur mäßig über die Abrasivität des Bodens qualifizieren. Am Institut für Geotechnik der TU Wien, Institut für Grundbau, Boden- und Felsmechanik wurde das TU Wien Abrasimeter entwickelt.

In dieser Arbeit wurden die im Labor mittles LCPC Prüfgerät und TU Wien Abrasimeter ermittelten Werte den tatsächlichen Verschleißwerten von einer maschinellen Rohrpressung gegenübergestellt. Es wurden sowohl standardisierte als auch modifizierte Versuche mit dem TU Wien Abrasimeter und dem LCPC Prüfgerät durchgeführt, um eine Veränderung der Abrasivität des Bodens zu untersuchen.

Diese Versuche haben bestätigt, dass Wasser und auch Bentonitsuspension den Verschleiß am Werkzeug erhöhen. Weiters zeigte sich auch, dass die Korngröße und die Kornhärte einen wesentlichen Einfluss auf den Verschleiß ausübt.

Die Verschleißwerte der Rohrpressung waren aber um ein vielfaches höher als es die Versuche zu erwarten ließen. Somit ist es unmöglich eine Verschleißprognose nur über die Abrasivität des Bodens durchzuführen, da es sich bei Verschleißvorgängen um ein sehr komplexes System handelt, das nicht von nur einem Parameter abhängig sind.

Abstract

The abrasive tool wear represents a big challenge in the calculation and in the construction progress of soilworks. With state of the art testing equipment it is not quite possible to make an exact prediction of the tool wear over the loose rock abrasiveness. Therefore the TU Wien Abrasimeter was created at the Technical University of Vienna.

In this thesis several testing values were created with the LCPC testing machine and the TU Wien Abrasimeter. The collected values got compared with actual tool wear values of a pipe jacking project in Vienna. With the testing machines both standardised and modified test were scored.

The tests have shown an increase of the loose rock abrasiveness and also of the tool wear. They also revealed the fact that the size and mineral hardness of the grain is a crucial factor for tool wear.

The tool wear of the pipe jacking was beyond the expectations based on the testing values. Therefore it is not possible to make a tool wear prediction just on the base of the loose rock abrasiveness. This is because the tool wear process is very complex and not only dependent on one parameter.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung und Fragestellung	1
2 Grundlagen	2
2.1 Abrasivität und Verschleiß	2
2.1.1 Allgemeines	2
2.1.2 Tribologische Grundlagen	3
2.1.3 Abrasivverschleiß	10
2.1.4 Erosion in der Tribologie	12
2.1.5 Grundprinzip der Abrasivitätsbestimmungsverfahren	13
2.1.6 Einflussfaktoren auf die Abrasivität von Lockergestein	13
3 Abrasivitätsuntersuchungen - Stand der Technik	21
3.1 LCPC Abrasivitätsversuch	21
3.2 Cerchar – Abrasivitätstest	22
3.3 TU Wien Abrasimeter	23
4 Bauprojekt Asperner Sammelkanal Entlaster (ASKE)	27
4.1 Projektbeschreibung ASKE	27
4.1.1 Übersicht über Projekt und Geologie	27
4.1.2 Abrasivitätsuntersuchungen	28
4.1.3 Verfahrensbeschreibung Rohrpressung mittels Hydroschild	29
4.2 Verschleißdokumentation ASKE Haltung 1	34
4.2.1 Verschleiß am Schneidradwerkzeug	34
4.2.2 Verschleiß Kaliberdiske	35
4.2.3 Schälmesser	36
4.2.4 Räumer	36
4.2.5 Brecherleisten und Brecherraum	37
4.2.6 Schneidrad	38
4.3 Auswertung der Vortriebsdaten	39
5 Versuche zur Untersuchung der Abrasivität	41
5.1 Probenmaterial	41
5.1.1 Herkunft	41

5.1.2 Korngröße und Kornverteilung.....	43
5.1.3 Mineralogie.....	46
5.1.4 Rundungsgrad.....	46
5.2 Bestimmung der Abrasivität mit dem TU Wien Abrasimeter.....	47
5.2.1 Versuchsdurchführung.....	47
5.2.2 Verbessertes TU Wien Abrasimeter.....	48
5.2.3 Versuchsprogramm und Vorkommnisse.....	51
5.3 LCPC-Versuche.....	58
5.3.1 Versuchsprogramm und Ablauf.....	58
6 Interpretation und Ergebnisse der TU Wien Abrasimeterversuche.....	60
6.1 Zerkleinerung des Probenmaterials.....	60
6.1.1 Mittel-Grobkies (4 – 32 mm).....	60
6.1.2 Sand-Feinkies (0,063 – 4 mm).....	61
6.1.3 Weitgestufte Kornverteilung (0,063 – 32mm).....	62
6.2 Verschleiß am TU Wien Abrasimeter Drehflügel.....	63
6.2.1 Einfluss von Wasser und Bentonitsuspension.....	64
6.2.2 Einfluss der Kornform.....	68
6.3 Vergleich der TU Wien Abrasimeter Versuche mit den LCPC-Versuchen.....	70
6.4 Vergleich der LCPC-Kennwerte.....	72
6.5 Zusammenfassung der Ergebnisse der TU Wien Abrasimeterversuche.....	73
7 Vergleich von Laborwerten und vorhandenem Werkzeugverschleiß der	
Rohrpressung.....	75
7.1 Vergleich der tribologischen Systeme.....	75
7.1.1 Tribologisches System TU Wien Abrasimeter.....	76
7.1.2 Tribologisches System Rohrpressung.....	76
7.1.3 Unterschiede der Systeme.....	76
7.2 Interpretation Abrasivität und Verschleiß.....	77
7.3 Schlussfolgerung.....	79
8 Zusammenfassung und Ausblick.....	80
8.1 Zusammenfassung.....	80

8.2 Ausblick.....	81
9 Literaturverzeichnis.....	82
10 Abbildungsverzeichnis.....	84
11 Tabellenverzeichnis.....	86
12 Anhang.....	88
12.1 Probenahmeprotokolle.....	88
12.2 Laborprotokolle.....	97

1 Einleitung und Fragestellung

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit der Problematik des Verschleißes von Werkzeugen beim maschinellen Rohrvortrieb in Lockergestein und der möglichen Abschätzung des Verschleißes. Die Abrasivitätseigenschaften und deren Veränderung in Folge des Abbauprozesses in Lockergestein sind im Gegensatz zu Festgestein nur wenig bekannt. Gründe dafür sind sowohl die schwierige Quantifizierung der Einflüsse der maßgebenden Bodeneigenschaften auf die Abrasivität (z.B. Korngröße, Inhomogenität des Bodens, unterschiedliche mineralogisch-petrographische Zusammensetzung), als auch die Bestimmung weiterer Einflussfaktoren auf den Werkzeugverschleiß (z.B. Mengendurchsatz, Kontaktdruck). Um die Kosten und Risiken zufolge Verschleiß bei Tiefbauarbeiten im Lockergestein (Bohrpfahlherstellung, Schildvortriebe, usw.) besser abschätzen und reduzieren zu können, wird in letzter Zeit ein größeres Augenmerk auf die Untersuchung dieser Einflussfaktoren gelegt.

Der durch die Abrasivität hervorgerufene Materialverschleiß bedingt teilweise aufwendige Wartungs- und Reparaturarbeiten an Tiefbaumaschinen. Diese wirken sich negativ auf den Baufortschritt aus und können dadurch erhebliche Mehrkosten eines Bauprojektes verursachen.

Der gegenständliche Stand der Technik erweist sich als nicht ausreichend für eine Bestimmung der Abrasivität von Lockergestein. Deshalb wurde im Rahmen dieser Diplomarbeit ein Großteil der Versuche mittels dem an der TU Wien entwickelten Abrasimeter (TU Wien Abrasimeter) durchgeführt. Es wurden auch modifizierte TU Wien Abrasimeter-Versuche mit Wasser- und Suspensionszugabe durchgeführt, um eine etwaige Veränderung der Abrasivität des Lockergesteines feststellen zu können. Hintergrund hierfür ist die Frage, ob der Bodenabbau mittels Schildmaschine das Verschleißpotential (Abrasivität) des Bodens verändert.

Eine weitere große Frage, die im Rahmen dieser Diplomarbeit untersucht werden soll, ist der Zusammenhang zwischen der im Labor ermittelten Abrasivität und dem tatsächlich stattgefundenen Verschleiß. Hierbei ist auch ein besonderes Augenmerk auf die bauverfahrensbedingten Randbedingungen des maschinellen Vortriebes zu legen.

2 Grundlagen

2.1 *Abrasivität und Verschleiß*

„Als Abrasivität wird das Vermögen von Lockergestein bezeichnet, an Abbaugeräten des Tiefbaus Verschleiß zu erzeugen.“ [1]

„Verschleiß ist der fortschreitende Materialverlust aus der Oberfläche eines festen Körpers, hervorgerufen durch mechanische Ursachen, d.h. Kontakt und Relativbewegung eines festen, flüssigen oder gasförmigen Gegenkörpers.“ [2]

„Tribologie ist die Wissenschaft und Technik von aufeinander einwirkenden Oberflächen in Relativbewegung. Sie umfasst das Gesamtgebiet von Reibung und Verschleiß, einschließlich Schmierung, und schließt entsprechende Grenzflächenwechselwirkungen sowohl zwischen Festkörpern als auch zwischen Festkörpern und Flüssigkeiten oder Gasen ein.“ [2]

„Reibung ist eine Wechselwirkung zwischen sich berührenden Stoffbereichen von Körpern. Sie wirkt einer Relativbewegung entgegen.“ [2]

„Das tribologische System (Tribosystem) beinhaltet alle an einer tribologischen Beanspruchung beteiligten stofflichen Komponenten und ihre Eigenschaften mit den sich bei ihnen ergebenden Veränderungen sowie die die für die Beanspruchung charakteristischen Vorgänge und Größen.“ [2]

2.1.1 *Allgemeines*

In der Maschinentechnik, dazu gehören natürlich auch Baumaschinen und deren Werkzeuge, ist Verschleiß unvermeidlich. Übermäßiger Verschleiß ist aber unerwünscht, da er sich wertmindernd auswirkt, beziehungsweise hohe Mehrkosten verursacht.

Um den Verschleiß zu minimieren werden im Maschinenbau Analysen der Reibungsvorgänge durchgeführt, die zur optimalen Formgebung eines Bauteiles oder zur optimalen Schmierung führen.

Verschleiß ist kein stoffbezogener sondern ein systembezogener Kennwert. Das bedeutet, dass alle am Verschleißvorgang beteiligten Größen, seien es Kräfte oder Materialien, berücksichtigt werden müssen. Dadurch ergibt sich ein äußerst komplexes System. [2]

2.1.2 Tribologische Grundlagen

2.1.2.1 Tribologisches System

Beim Verschleißvorgang spielen sich komplexe Prozesse ab. „Diese Prozesse werden von zahlreichen Parametern beeinflusst, so dass das tribologische Verhalten nur als systembedingtes Verhalten zu beschreiben ist und gerade wegen der komplexen Prozesse in vielen Fällen einer ursachlichen Beschreibung nicht zugänglich ist.“ [3]

Um eine Systemanalyse eines Verschleißvorganges durchführen zu können, müssen die Elemente des tribologischen Systems (Tribosystems) erfasst werden. Hierzu gibt [2] folgende Schritte an:

- I. Kennzeichnung der technischen Funktion des Tribosystems
- II. Angabe des Beanspruchungskollektivs
- III. Kennzeichnung der Struktur des Tribosystems durch
 - die am Verschleiß beteiligten Elemente
 - die relevanten Eigenschaften der Elemente
 - die Wechselwirkung der Elemente
- IV. Angabe von Reibungs- und Verschleißkenngrößen

Solch ein Tribosystem ist in vereinfachter Form in Abbildung 2.1 wiedergegeben. Die technische Funktion (I) ist mit bestimmten Vorgaben hinsichtlich der Werkstoffe und der konstruktiven Gestaltung gekoppelt. Diese sind nach [2] zum Beispiel: Bewegungsübertragung, Bewegungshemmung, Kraftübertragung, Materialbearbeitung, usw. Bei dem Beanspruchungskollektiv (II) nehmen die Kinematik und die technisch-physikalischen Parameter einen wichtigen Stellenwert ein. In Abbildung 2.1 wird das Beanspruchungskollektiv durch Belastung (4), Bewegung (5) und Temperatur (6) charakterisiert. Einen auch sehr großen Stellenwert erfahren die Parameter der Struktur

(III), die aus Grundkörper (1), Gegenkörper (2) Zwischenstoff (3a) und Umgebungsmedium (3b) bestehen. Hierbei ist es wirklich wichtig alle Elemente zu erfassen, vor allem Verschleißpartikel. „Auch Verschleißpartikel und besonders deren Größe und Form können bei der Aufklärung von Verschleißvorgängen hilfreich sein.“[3] Die Reibungs- und Verschleißkenngrößen (IV) stellen die Ergebnisgrößen dar.

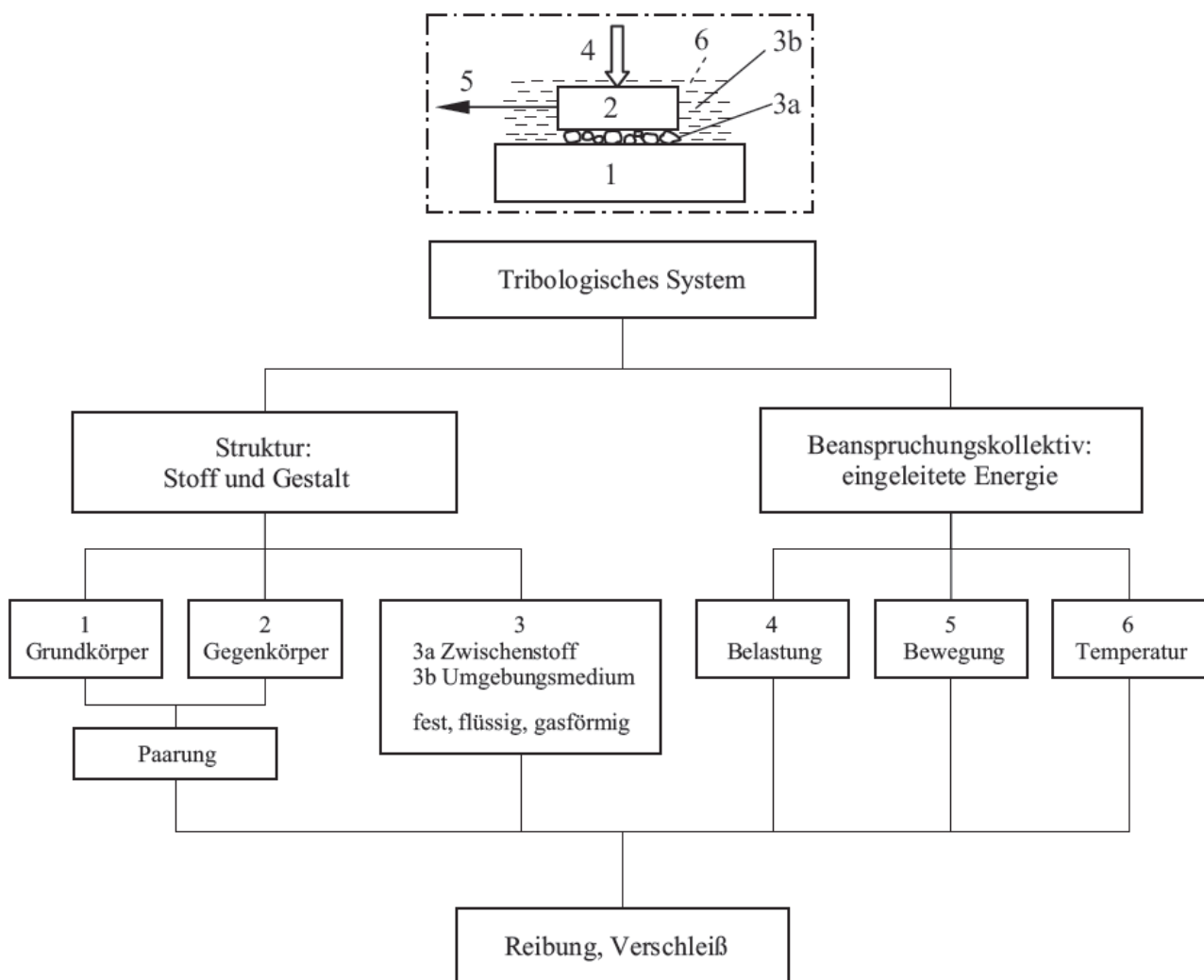


Abbildung 2.1: Tribosystem mit den kennzeichnenden Elementen nach [3]

Beispiele für verschiedene Tribosysteme sind in Abbildung 2.2 aufgezeigt. Die tribologische Kontaktstelle ist mit einer strichpunktierten Linie umzogen. In Abbildung 2.2/A ist ein geschlossenes System zu sehen. Dies bedeutet das hier über die Zeit kein neues Abrasivgut zugeführt wird. Bei den Abbildungen 2.2/B und 2.2/C handelt es sich um offene Tribosysteme, bei denen immer neues, frisches Abrasivgut in das Tribosystem zugeführt

wird. Bei einem offenen System stellt das Abrasivgut den Gegenkörper dar und Wasser bzw. Suspension kann als Zwischenstoff angesehen werden.

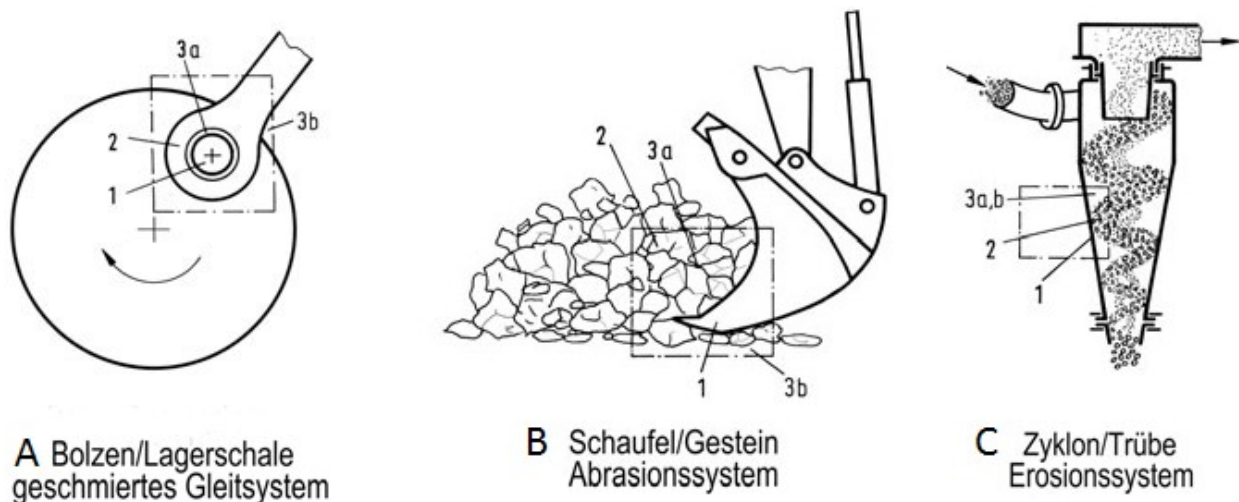


Abbildung 2.2: Beispiele für Tribosysteme nach [3], Systemeinhüllende strichpunktiert, (1) Grundkörper, (2) Gegenkörper, (3a) Zwischenstoff, (3b) Umgebungsmedium

2.1.2.2 Verschleißarten und Verschleißmechanismen

Da in der Praxis sehr viele verschiedene Verschleißmechanismen auftreten, ist ihre Gliederung nach Verschleißgebieten sehr schwierig. In Tabelle 2.1 wurde eine Gliederung der Verschleißgebiete nach den Verschleißarten, die vor allem von der Kinematik abhängig sind, vorgenommen. Diese Verschleißarten unterliegen bestimmten Verschleißmechanismen.

Bei offenen Systemen zählt der Abrasivverschleiß, der Dreikörper-Abrasivverschleiß und die Erosion zu den vorherrschenden Verschleißarten. Erosion und Abrasivverschleiß können bei diesen Systemen oft nicht scharf getrennt werden, vor allem wenn Wasser als Zwischenstoff beteiligt ist. Weiteres Augenmerk beim Auftreten von Wasser ist auch auf einen etwaigen Korrosionsverschleiß zu legen [3].

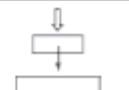
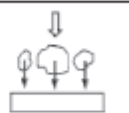
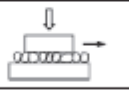
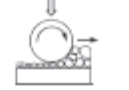
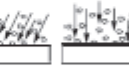
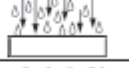
Elemente der Systemstruktur	Tribologische Beanspruchung	Verschleißart	Beispiele	Wirkende Mechanismen ● vorherrschend ○ untergeordnet				
				Adhäsion	Abrasion	Oberflächenzerüttung	Tribochemische Reaktionen	
Grundkörper 1 Zwischenstoff 3 (Flüssigkeit) Gegenkörper 2	Gleiten Rollen Wälzen		Gleitverschleiß, Wälzverschleiß	Gleitlager, Wälzlager, Zahnräder, Nockenwellen	(○)	(○)	●	○
Grundkörper 1 Zwischenstoff 3 (Verschleißpartikel, Flüssigkeitsreste, Gase oder Vakuum) Gegenkörper 2	Gleiten		Gleitverschleiß	Führungsbahnen, Zylinderbüchsen	●	○	○	●
	Rollen Wälzen		Rollverschleiß, Wälzverschleiß	Wälzlager, Zahnräder, Nockenwellen, Rad/Schiene	○	○	●	●
	Oszillieren		Schwingungsverschleiß	Passflächen, Lagersitze	●	●	●	●
	Stoßen		Stoßverschleiß	Ventilnadeln	○	○	●	●
Grundkörper 1 Gegenkörper 2 (Festgestein, Stückgut, Schüttgut)	Stoßen		Zweikörper-Abrasiveverschleiß	Prallplatten, Schlagmühlen	○	●	●	○
	Gleiten			Baggerschaufeln, Schurren, Gesteinsbohrer	○	●	○	(○)
Grundkörper 1 Zwischenstoff 3 (Stückgut, Partikel) Gegenkörper 2	Gleiten		Dreikörper-Abrasiveverschleiß	Verunreinigung in Lagern und Führungen	○	●	●	○
	Wälzen			Wälzmühlen	○	●	●	○
	Stoßen			Backenbrecher	○	●	●	(○)
Grundkörper 1 Gegenkörper 2 (Flüssigkeit mit Partikeln)	Strömen		Hydroerosiv- (hydroabrasiv) verschleiß	Pumpen, Transportleitungen	(○)	●	●	○
Grundkörper 1 Gegenkörper 2 (Gas mit Partikeln)	Strömen		Gleitstrahlverschleiß	pneumatische Förderanlagen	○	●	●	○
	Gleiten Stoßen		Schrägstrahl-, Prallstrahlverschleiß		○	●	●	○
Grundkörper 1 Gegenkörper 2 (Flüssigkeit)	Strömen Schwingen		Kavitationserosion	Pumpen, Ventile, Wasserturbinen			●	○
	Stoßen Gleiten		Tropfenschlagerosion	Rotorblätter, Dampfturbinen			●	○
	Strömen		Flüssigkeitserosion	Pumpen, Ventile, Rohrleitungen		(○)	○	●
Grundkörper 1 Gegenkörper 2 (Gas)	Strömen		Gaserosion	Gasturbinen, Hitzeschilde				●

Tabelle 2.1: Gliederung des Verschleißgebietes in Anlehnung an GFT-Arbeitsblatt 7 nach [3]

Die Verschleißmechanismen zeigen sich nach [2] in vier Formen:

- **Adhäsion** - Da technische Oberflächen nie ideal glatt sind, erfolgt eine Haftverbindung lokal an einzelnen Kontaktstellen. Durch eine nachträgliche Trennung außerhalb dieser Kontaktstellen findet Verschleiß am weichen Material statt (Materialübertrag).
- **Abrasion** - Harte Festkörper oder harte Abrasivstoffe dringen unter Last in weichere Festkörper ein und gleiten über deren Oberfläche.
- **Oberflächenzerrüttung** - Durch zyklische Beanspruchung der Oberfläche kommt es zu einer Akkumulation von plastischen Verformungsanteilen, die in einem fortschreitenden Oberflächenausbruch resultieren (Ermüdung).
- **Tribochemische- und/oder Physikalische Reaktionen** - Durch tribologische Beanspruchung werden chemische Reaktionen gefördert bzw. aktiviert.

Die vier Mechanismen sind in Abbildung 2.3 dargestellt. Es muss aber angemerkt werden, dass diese oberflächenverändernden Vorgänge selten alleine auftreten, sondern meist in Kombination.

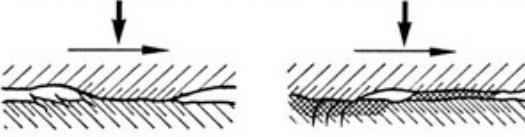
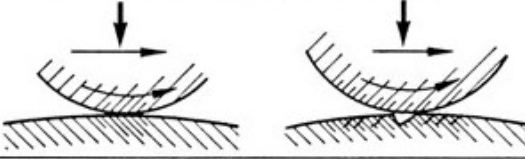
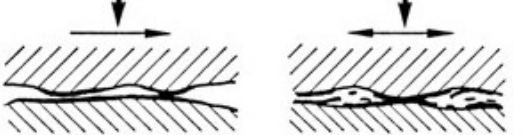
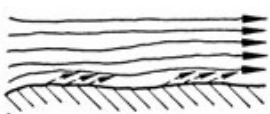
Mechanismus		Kennzeichen	Merkmal
Adhäsion			Vertiefungen, Riefen, Risse, Werkstoffübertrag, Verformung, Gefügeänderung
Abrasion			Riefen, Span, Wall, Mulden, Wellen, Verformung, Gefügeänderung
Oberflächenzerrüttung			Verformung, Risse, Grübchen, Gefügeänderung
Tribos-chemische und/oder tribo-physikalische Reaktionen	Reaktions-schicht-bildung		Schichtbildung, Oxidation
	Ablation		Verdampfen, Ausgasen, Zersetzen

Abbildung 2.3: Verschleißmechanismen [3]

2.1.2.3 Verschleißkenngrößen

Die Verschleißkenngröße ergibt sich für jedes Tribosystem als eine Funktion von Beanspruchungskollektiv und Systemstruktur [2].

Sie gliedern sich in **Verschleißerscheinungsformen** (z.B. Kratzer, Furchen, Wellen,...) und in **Verschleißmessgrößen** (z.B. Volumenverlust, Massenverlust, Flächenänderung usw.).

2.1.2.4 Verschleißmessgrößen

Während der Beanspruchung des Grundkörpers kommt es zu Gestalt- und Massenänderungen am Werkstück. Der Terminus Werkstück bezeichnet den Teil an dem der Verschleiß untersucht werden soll. Im Regelfall ist dies das Abbauwerkzeug bzw. Teile

von diesem. Die Gestalt- und Massenänderungen am Werkstück können über verschiedene Verschleiß-Messgrößen ermittelt werden [2] [4]:

- Längenänderung W_l [m]
- Flächenänderung W_q [m²]
- Volumenänderung W_v [m³]
- Massenänderung W_M [kg]

Es wird grundsätzlich zwischen direkten, indirekten und bezogenen Verschleiß-Messgrößen unterschieden.

Direkte Verschleiß-Messgrößen, die am Grundkörper direkt gemessen werden können, sind für sich alleine stehend oft nicht aussagekräftig, vor allem wenn unterschiedliche Tribosysteme verglichen werden. Aus diesem Grund werden generell bezogene Verschleiß-Messgrößen verwendet. Diese ergeben sich aus dem Verhältnis des Verschleißbetrages zu einer Bezugsgröße z.B. [2]:

Die **Verschleißgeschwindigkeit** v_M ist nach [2] als Verschleißbetrag W_M bezogen auf den Beanspruchungszeit t definiert:

$$v_M = \frac{W_M}{t} \quad [\text{kg/min}]$$

Die **Verschleißintensität** I_M stellt nach [2] den Verschleißbetrag W_M in Relation zum Beanspruchungsweg s dar:

$$I_M = \frac{W_M}{s} \quad [\text{kg/m}]$$

Die indirekten Verschleiß-Messgrößen beruhen auf der Messung der Dauer oder des Durchsatzes, nachdem das Werkstück seine Funktion nicht mehr erfüllen kann. Zu ihnen zählen z.B. [2]:

- Verschleißbedingte Gebrauchsdauer T_w [h]
- Gesamt-Gebrauchsdauer T_G [h]
- Verschleißbedingte Durchsatzmenge [m^3], [kg], [Stk]

2.1.3 Abrasivverschleiß

Der Abrasivverschleiß unterteilt sich in [3]:

- Zweikörper-Abrasivverschleiß (*two body abrasion*)
 - Abrasiv-Gleitverschleiß
 - Erosion
- Dreikörper-Abrasivverschleiß (*three body abrasion*)

In Bezug auf den Bodenabbau spricht man meist von Zweikörper-Abrasionsverschleiß, bei dem tribologisch gesehen das Werkzeug den Grundkörper und das Lockergestein als Abrasivstoff den Gegenkörper darstellt. Die Mineralien sind aufgrund ihrer Härte in der Lage, die Metallteile zu furchen oder ritzen, wobei Adhäsion auch eine Rolle spielt [3].

„Der Zweikörper-Abrasivverschleiß gliedert sich weiter in Abrasiv-Gleitverschleiß und Erosion. Abrasiv-Gleitverschleiß steht für eine Beanspruchung durch Festgestein, stückiges Gut oder Kornschüttungen. In dieser Reihenfolge nimmt die Beanspruchung im Allgemeinen ab, wobei die Kornschüttungen einen fließenden Übergang zur Erosion bilden.“ [3] Die Unterschiede sind in Abbildung 2.4 dargestellt.

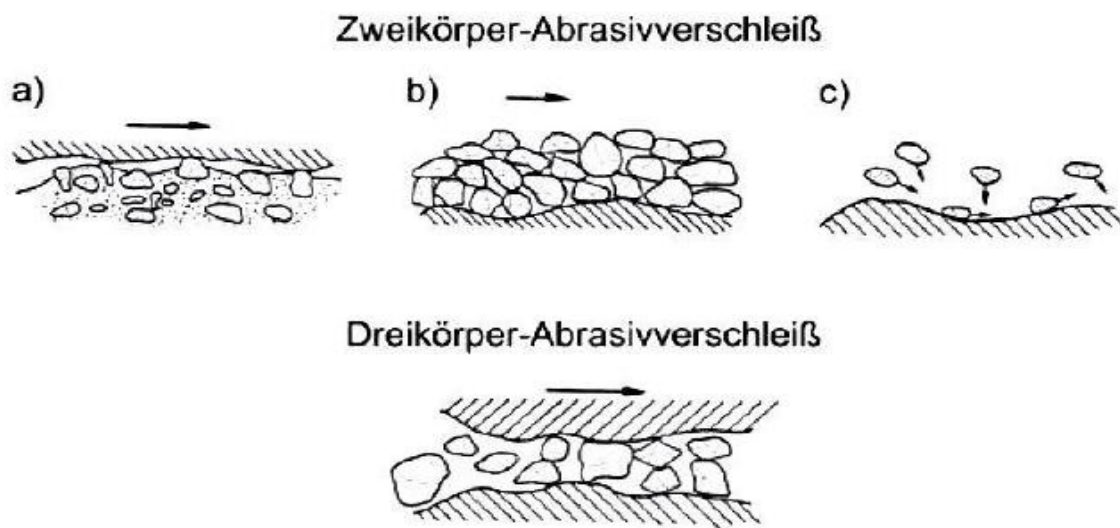


Abbildung 2.4: Einteilung der Beanspruchungsarten bei Anwesenheit von Abrasivstoffen in Zweikörper-Abrasivverschleiß und Dreikörper-Abrasivverschleiß nach [3]

Zum Zweikörper-Abrasivverschleiß:

- a) Abrasiv-Gleitverschleiß (gebundenes Korn)

Die Körner befinden sich in einer festen Bindung und führen eine reine Gleitbewegung aus [3].

- b) Übergang von Abrasiv-Gleitverschleiß zu Erosion

Die Körner gleiten oder rollen an der Oberfläche entlang [3].

- c) Erosion (von einzelnen Körnern)

Die Körner werden mittels eines Mediums oder durch Fliehkräfte transportiert und beanspruchen die Oberfläche des Grundkörpers dynamisch [3].

Zum Dreikörper-Abrasivverschleiß:

Hierbei führen lose Körnungen oder stückiges Gestein eine Relativbewegung in einem Spalt aus, der von Grund und Gegenkörper gebildet wird. Die Körner führen meist eine Gleit- und Rollbewegung aus, und werden dabei im Regelfall weiter zerkleinert [3].

2.1.4 Erosion in der Tribologie

„Abrasivverschleiß und Erosion können nicht in allen Fällen scharf getrennt werden.“[3]

Unter der Verschleisart Erosion wird die tribologische Beanspruchung von Werkstoffoberflächen durch weitgehend frei bewegliche Abrasivstoffe, durch einphasige strömende Fluide (Flüssigkeiten oder Gase) und mehrphasige strömende Fluide (Flüssigkeiten und/oder Gas mit Abrasivstoffen) behandelt. Wenn bei strömenden Flüssigkeiten neben der mechanischen Beanspruchung auf die Oberfläche auch noch Korrosion mitwirkt, so wird dies als Erosionskorrosion bezeichnet. Erosion teilt sich demnach in drei Unterkategorien [3]:

- Erosion mit Abrasivstoffen, vgl. Tabelle 2.1
 - Abrasiv-Gleitverschleiß durch loses Korn (Erosion von einzelnen Körnern)
 - Strahlverschleiß
 - Hydroerosiver (hydroabrasiver) Verschleiß
- Erosion ohne Abrasivstoffe, vgl. Tabelle 2.1
 - Erosion durch Kavitation
 - Erosion durch Tropfenschlag (Flüssigkeitstropfen, Nassdampf)
 - Erosion durch heiße Gase
- Erosionskorrosion ohne und mit Feststoffen

Im weiteren wird nur die Erosion mit Abrasivstoffen genauer betrachtet, da die anderen beiden Erosionsarten mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit bei den im Rahmen dieser Diplomarbeit untersuchten Tribosystemen nicht vorkamen.

Bei der Erosion mit Mitwirkung von Abrasivstoffen haben die Körner meist eine sehr hohe Beweglichkeit und wirken auf den Grundkörper rollend, stoßend und gleitend. Vor allem bei trockenen Mischprozessen oder bewegten Schüttgütern ist Abrasiv-Gleitverschleiß zu beobachten. Strahlverschleiß ist vor allem bei pneumatischen Feststofftransport (Zweiphasengemisch fest/gasförmig) zu beobachten. Der hydroerosive (abrasive) Verschleiß tritt vor allem beim Fördern von feststoffhaltigen Flüssigkeiten auf (Zweiphasengemisch fest/flüssig), z. B. in Pumpen, Rohrleitungen [3].

2.1.5 Grundprinzip der Abrasivitätsbestimmungsverfahren

Die Abrasivität des Bodens ist über den entstandenen Verschleiß am Werkstoff (Grundkörper) messbar. Das Grundprinzip der Bestimmung der Abrasivität zeigen die folgenden zwei Versuche (siehe Abbildung 2.5). Gebundenes Korn wird mit dem Schleifpapierversuch untersucht, Versuche mit losem Abrasivgut werden im Verschleißtopf geprüft [4].

Beim Verschleißtopfversuch wird das lose Abbrasivgut in ein Stahlgefäßgefüllt und ein Werkstück (Probekörper) wird meist rotierend durch das Abrasivgut bewegt. Es lassen sich auch weitere Einflüsse, zum Beispiel Befeuchtung untersuchen [5].

Beim Schleifpapierversuch, wird ein Werkstück (Probe) über die Oberfläche des Schleifpapiers bewegt. Die fest gebundenen Mineralkörner können nicht ausweichen, weshalb der überwiegende Verschleißmechanismus der Abrasivverschleiß ist [5].

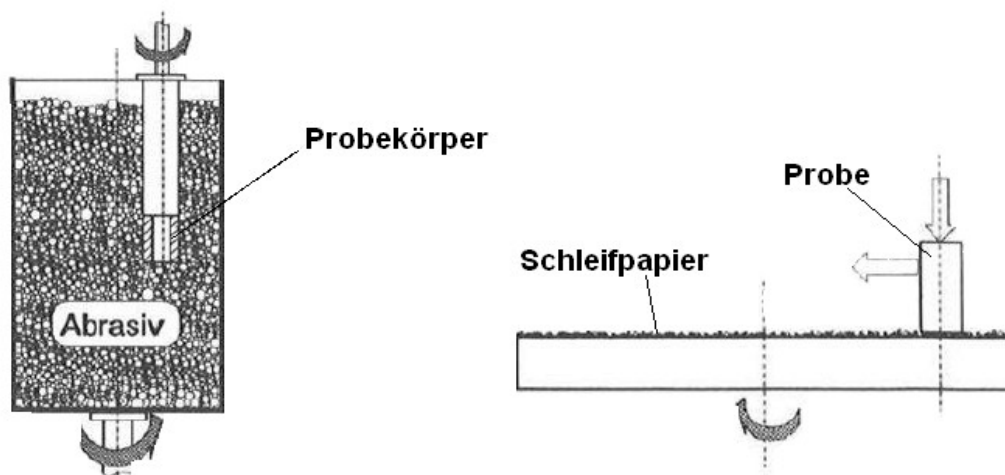


Abbildung 2.5: Schema des Verschleißtopf- und Schleifpapierversuchs [4]

2.1.6 Einflussfaktoren auf die Abrasivität von Lockergestein

Die Abrasivität von Lockergestein unterliegt einer Vielzahl von Einflüssen und ist von den Eigenschaften des konkreten Bodens abhängig [4]:

- Korngröße und Kornverteilung
- Rundungsgrad (gehalt an Bruchkorn)

- Mineralzusammensetzung und Mineralhärte
- Wassergehalt
- Porengehalt
- Kohäsion
- Lagerungsdichte

2.1.6.1 Korngröße und Kornverteilung

Die Korngrößenverteilung hat einen großen Einfluss auf die Abrasivität des Bodens. Sie wird durch die Sieb- und Schlämmanalyse ermittelt und in Form einer Körnungslinie dargestellt. Die Festigkeit des Bodens wird von der Korngröße und Kornverteilung bestimmt und beeinflusst damit auch die zu seiner Gewinnung aufzubringende Kraft [4]. Nach [6] gilt im Korngrößenbereich 0,25 - 1,25 mm für trockenes Abrasivgut eine degressive Zunahme des Verschleißes mit steigender Korngröße. Für Korngrößen von 1,0 - 2,0 mm wurde ein nahezu linearer Anstieg des Verschleißes festgestellt (siehe Abbildung 2.6). Da diese Versuche an sehr eng gestuften Sanden mit verschiedenen Werkstoffmaterialien im Verschleißtopf durchgeführt wurden, sind diese Ergebnisse nach [4] nur bedingt auf natürliche Körnungen übertragbar.

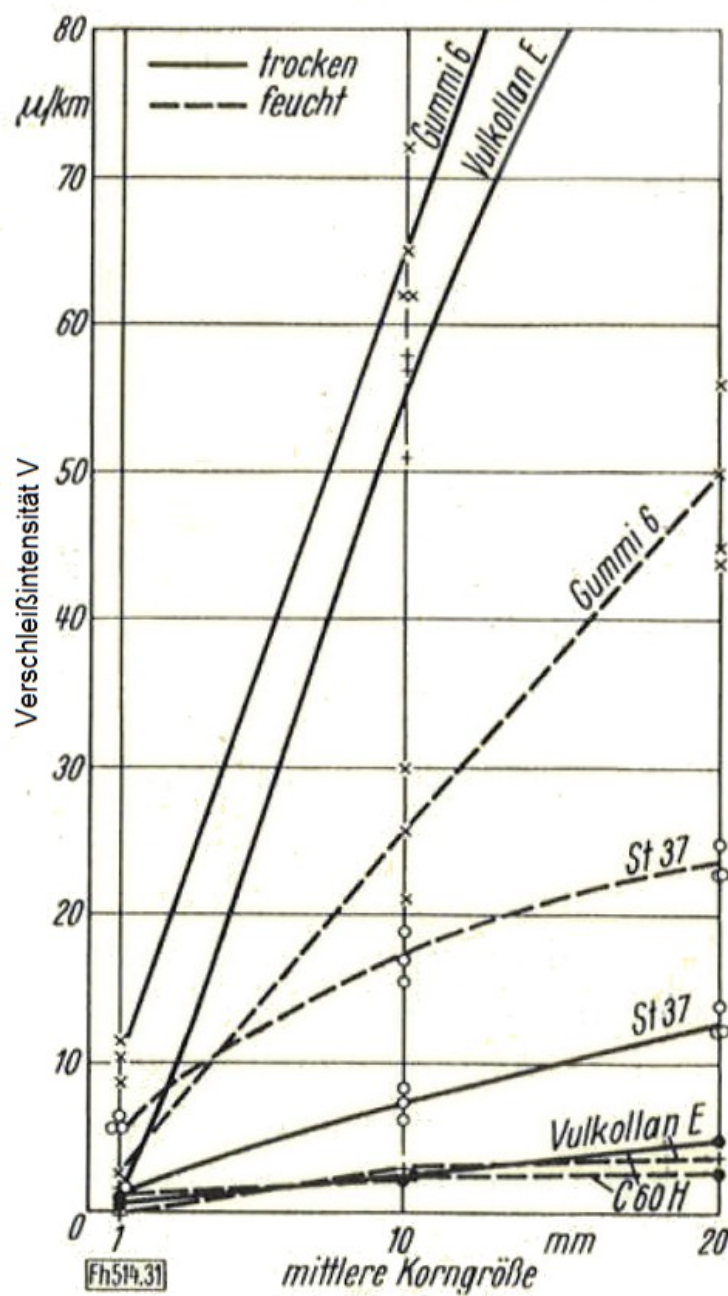


Abbildung 2.6: Einfluss der Korngröße auf das Verschleißverhalten [6]

2.1.6.2 Rundungsgrad

Zur Bestimmung des Rundungsgrades von Gesteinskörnungen 4 - 63 mm (Kies und Mischungen von Gesteinskörnungen mit Kies) ist das Verfahren nach ÖNORM EN 933-5 [7] anwendbar. Bei diesem Verfahren wird die Körnung nach manueller, optischer Beurteilung in zwei Klassen aufgeteilt:

- gebrochene Körner, inklusive vollständig gebrochener Körner
- gerundete Körner, inklusive vollständig gerundeter Körner

Die gebrochene Oberfläche ist definiert als „Fläche eines Kieskornes, die durch Brechen auf Grund natürlicher Kräfte entsteht und von scharfen Kanten begrenzt ist. Wenn die Oberflächen und Kanten eines gebrochenen Kieskornes abgenutzt oder verwittert sind, muss die Oberfläche als gerundet bewertet werden.“ [7]

Die Masse jeder dieser vier Gruppen wird bestimmt und als prozentualer Massenteil in Bezug auf die Gesamtmasse der Probe ausgedrückt. Der Rundungsgrad der Probenkörnung wird nach Tabelle 2.2 bestimmt:

Bezeichnung	Kornoberfläche
vollständig gebrochene Körner	mehr als 90% gebrochene Oberfläche
gebrochene Körner	mehr als 50% gebrochene Oberfläche
gerundete Körner	weniger als 50% gebrochene Oberfläche
vollständig gerundete Körner	mehr als 90% gerundete Oberfläche

Tabelle 2.2: Bezeichnung des Rundungsgrades nach [7]

An Kornfraktionen kleiner als 4 mm wird die Rundung mittels Lupe oder Mikroskop bestimmt.

Die Kornrundung hat einen starken Einfluss auf das Verschleißverhalten. Anhand der Verschleißtopfversuche nach [6] mit rundem Rheinsand und daraus gebrochenen Korn (Korngröße jeweils 7 - 15 mm), wurde bewiesen, dass die scharfkantigen Körner einen deutlich höheren Verschleiß verursachen. Der Unterschied zwischen scharfkantigen und gerundeten Korn ist bei Befeuchtung nicht so markant, wie bei trockener Versuchsdurchführung (Abbildung 2.7).

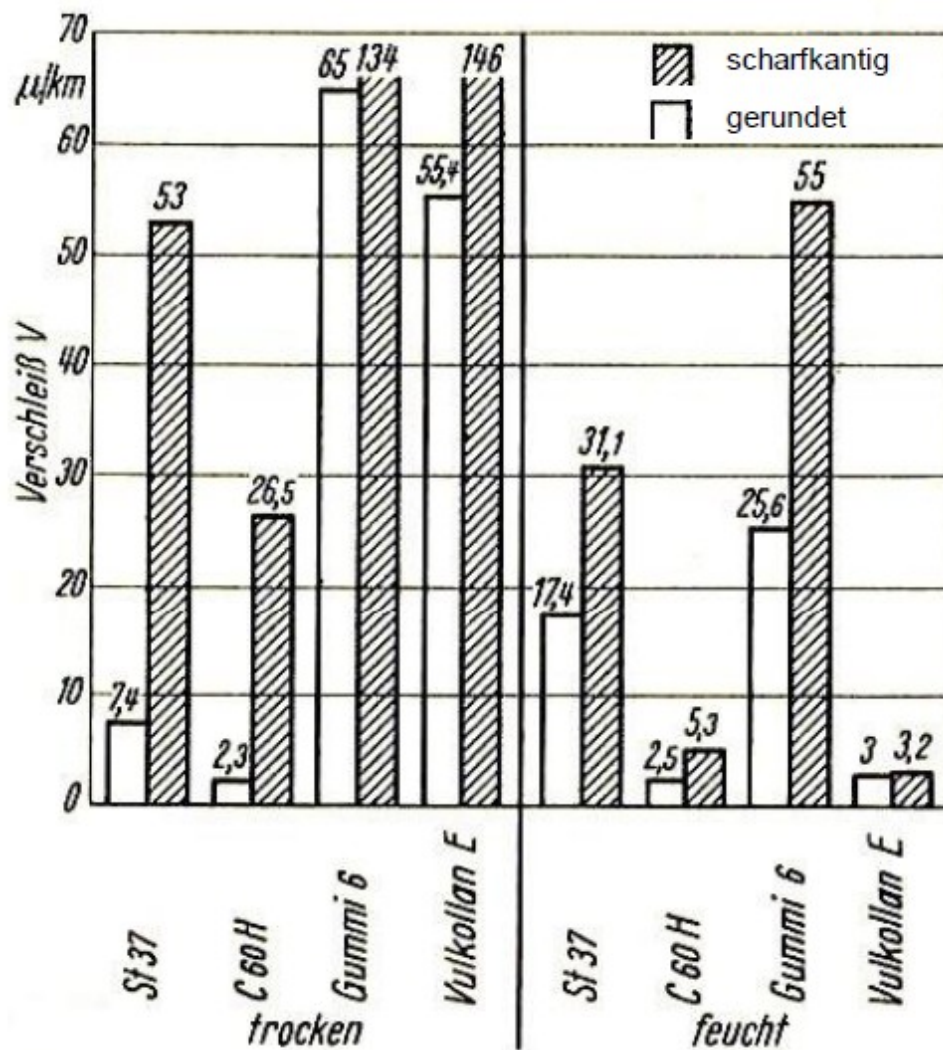


Abbildung 2.7: Einfluss der Kornform auf den Verschleiß[6]

2.1.6.3 Mineralzusammensetzung und Mineralhärte

Die Härte von Lockergestein ist vor allem durch die Härte der einzelnen Körner und deren Mineralzusammensetzung bestimmt, und wird durch den Verschleißvorgang nicht verändert. Die Tieflage/Hochlage-Charakteristik (Abbildung 2.8) ist für den Einfluss der Abrasivkornhärte auf das Verschleißverhalten kennzeichnend [3] [4] [6] [8].

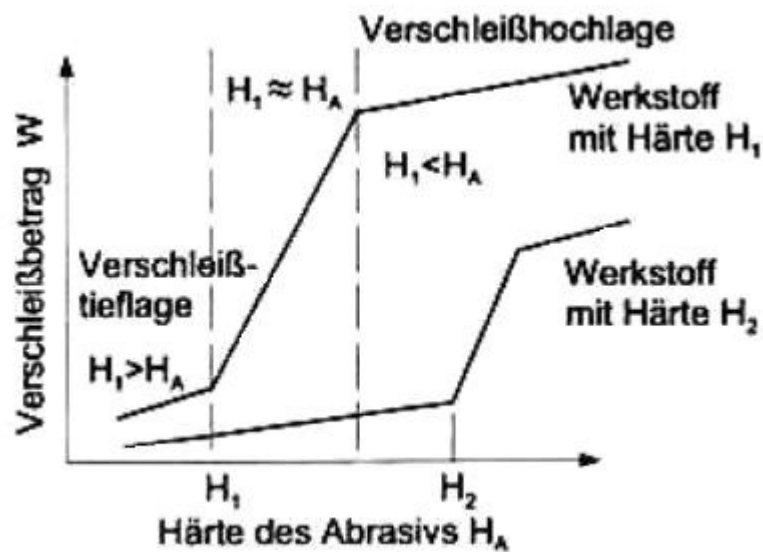


Abbildung 2.8: Typisches Hoch-/Tieflage Verhalten in Abhängigkeit der Härte des Abrasivgutes [8]

Wenn die Grundkörperhärte um einiges größer ist als die Gegenstoffhärte (Abrasive) können die Körner kaum bis gar nicht in die Oberfläche des Grundkörpers eindringen und rufen deshalb kaum Verschleiß hervor. Dieser Sachverhalt wird als Verschleißtieflage bezeichnet. Ein starker Anstieg wird beobachtet, wenn sich die Härten einander angleichen. Anfang und Ende dieses Anstiges liegen nach [4] bei:

$$\frac{H_{\text{Abrasive}}}{H_{\text{Werkstoff}}} = 0,7 \text{ bis } 1,1 - 1,3 \text{ bis } 1,7$$

Nach dem Erreichen der Verschleißhochlage nimmt der Verschleiß kaum mehr zu. Damit sich der Verschleiß im Versuch an metallsichen Werkstoffen gut bestimmen lässt, ist eine Verschleißhochlage anzustreben. Die Härte des Gegenstoffes sollte deutlich höher sein als die des Grundkörpers um ein Eindringen in die Oberfläche zu gewährleisten. Aus diesem Grund kommen bei Abrasivitätsuntersuchungen im Regelfall besonders weiche Stähle zum Einsatz [4].

2.1.6.4 Wassergehalt

Die Poren im teilgesättigten Lockergestein sind mit Wasser teilweise gefüllt. Das Porenwasser kann in folgenden Formen auftreten [4] [9]:

- Sickerwasser
- hygrokopisches Wasser
- Haftwasser
- Kapillarwasser

Die Eigenschaften von feinkörnigen, bindigen Böden (Tonen) sind stark vom Wassergehalt abhängig, deshalb muss auch die Zustandsform neben der Korngrößenverteilung angegeben werden. Die Zustandsform ändert sich mit zunehmenden Wassergehalt sehr stark, im Gegensatz zu grobkörnigen Böden [9].

Für Sande ist die Verschleißintensität in Abhängigkeit vom Wassergehalt nach [6] in Abbildung 2.9 dargestellt. Die Verschleißintensität steigt im Bereich von 0 bis 10% Wassergehalt an, weil „die Bindungskräfte im Boden durch Kapillarität bis zum Kohäsionsmaximum ansteigen“ [4]. Mit zunehmenden Wassergehalt reduziert sich der Verschleiß, da die Reibung durch eine Schmierung mit Wasser reduziert wird.

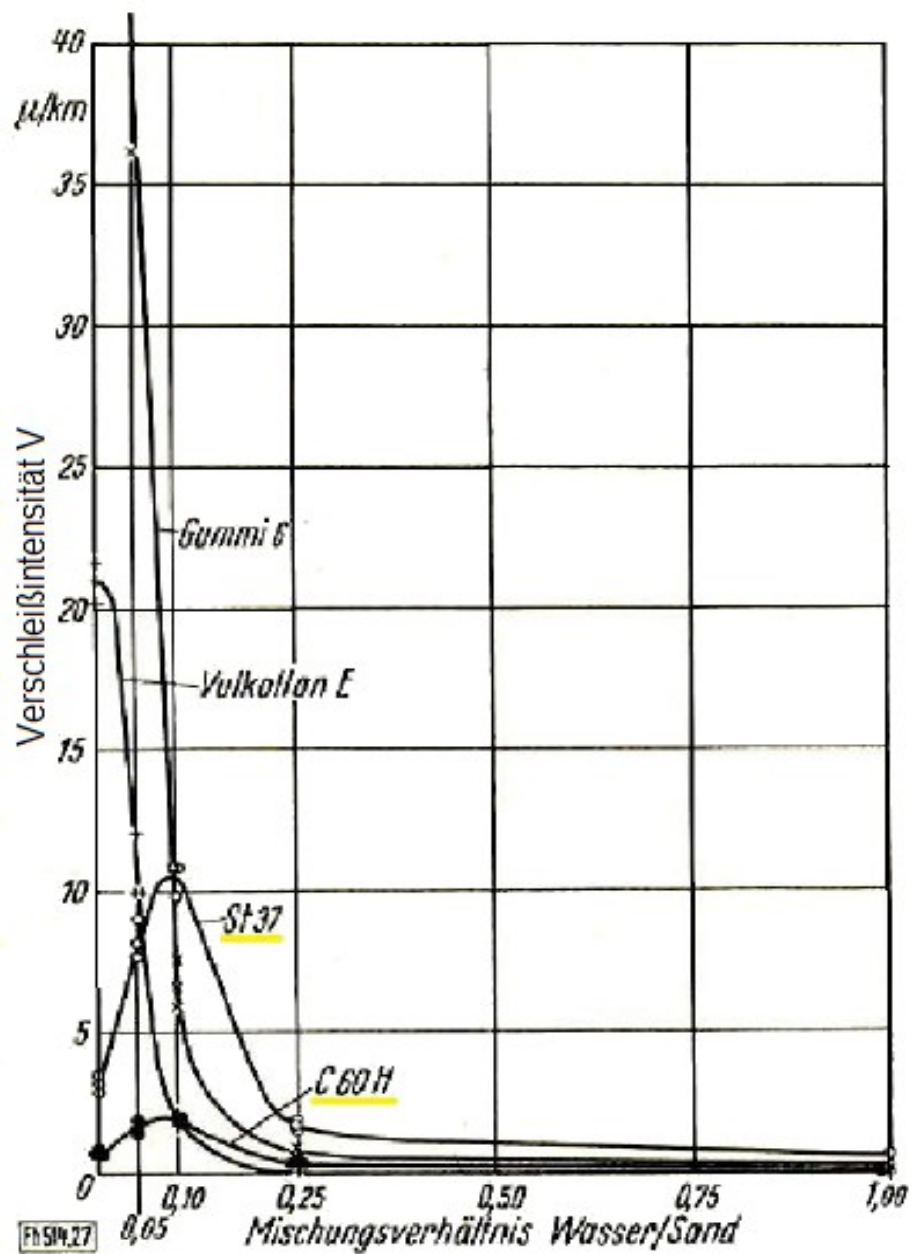


Abbildung 2.9: Einfluss der Befeuchtung auf den Verschleiß durch Sande adaptiert nach [6]

3 Abrasivitätsuntersuchungen - Stand der Technik

3.1 LCPC Abrasivitätsversuch

Der LCPC Abrasivitätsversuch, in weiterer Folge LCPC-Versuch genannt, liefert jeweils einen Wert für die Abrasivität und für die Brechbarkeit von Gestein. Das Verfahren ist in der französischen Norm P18-579 [10] beschrieben. Bei dem Versuch wird eine Probekörnung von 4 bis 6,3 mm durch ein auf einer Welle befestigtes Metallplättchen beansprucht. Die Welle wird mittels eines Elektromotors mit 4500 U/min angetrieben.

Beim LCPC-Versuch wird 500 g getrocknetes Probenmaterial der Körnung 4 bis 6,3 mm in einen zylindrischen Behälter, mit einem Innendurchmesser von 93 mm und einer Höhe von 100 mm, gefüllt. Körnungen größer 6,3 mm müssen auf die Prüfkorngröße gebrochen werden. In diesem Behälter wird die Probe dann von dem Drehflügel, mit der Härte (nach Rockwell B) 60 – 75 HRB, und den Abmessungen von 5 x 25 x 50 mm, mit 4500 U/min 5 Minuten lang beansprucht.

Um die Abrasivitätseigenschaften der Probe in Werte fassen zu können, wird die Masse des Flügels vor und nach dem Versuch ermittelt. Mittels nachstehender Formel nach [10] ergibt sich der Koeffizient A_{Br} (franz.:Abrasive; Abrasivität). Er ist in Gramm pro Tonne angegeben.

$$A_{Br} = \frac{U}{M} \quad [\text{g/t}]$$

U... $U = M_0 - M_5$

M_0 ... Gewicht des Flügels vor dem Versuch [g]

M_5 ... Gewicht des Flügels nach dem Versuch [g]

M... Gewicht der Probe in Tonnen [t]

Weiters kann auch noch ein Kennwert für die Brechbarkeit B_r (franz.: Broyabilité; Brechbarkeit) ermittelt werden. Hierzu muss die Probe nach Versuchsdurchführung durch das 1,6 mm Sieb gesiebt werden. Der Koeffizient B_r berechnet sich nach [10] wie folgt:

$$B_r = \frac{m * 100}{M} \quad [\%]$$

m... Masse der Feinteile < 1,6 mm [g]

M... Masse der Probe [g], im Regelfall 500 g

3.2 Cerchar – Abrasivitätstest

Für die Bestimmung der Abrasivität von Festgestein hat sich in Europa der Cerchar – Abrasivitätstest durchgesetzt. „Er basiert auf einem Prüfstift definierter Eigenschaft und Geometrie, der bei konstanter Auflast (70N) innerhalb von 1 Sekunde über eine bestimmte Strecke eines Prüfkörpers gezogen wird. Der Cerchar-Abrasivitäts-Index (CAI) errechnet sich als Mittelwert über 2 bis 5 Einzelversuche aus der Breite der am Stift entstandenen kegelstumpfförmigen Rille.“ [11]



Abbildung 3.1: Cerchar - Abrasivitätstestgerät (rechts) und Binokular (links) für die Ermittlung des CAI [12]

Die Prüfstrecke ist mit 10 mm definiert, wobei auf dem ersten Millimeter bereits 70% der Abnutzung am Prüfstift stattfinden und auf den restlichen 9 mm keine wesentliche Veränderung des CAI auftritt [11]. Die Bestimmung der Abnutzung des Prüfstiftes erfolgt mittels eines Binokulars (Abbildung 3.1). Es sollten zwei Messungen an einem Gestein senkrecht zueinander erfolgen, da die Abnutzung des Prüfstiftes oft asymmetrisch oder unscharf abgegrenzt ist [11]. In Tabelle 3.1 ist der Vergleich des CAI (0,1mm Abnutzung am Prüfstift entspricht 1 CAI) mit dem LCPC - Abrasivitätsversuch dargestellt [13].

LAK [g/t]	CAI [0,1 mm]	Abrasivitäts- Bezeichnung	Beispiele für Festgesteine und Komponenten in Lockergesteinen
0 – 50	0 – 0,3	nicht abrasiv	Holz, Torf, organische Beimengungen
50 – 100	0,3 – 0,5	kaum abrasiv	Ton-Schluff-Stein, Mergelstein
100 – 250	0,5 – 1,0	schwach abrasiv	Tonschiefer, Sandstein (feinkörnig, schwach tonig gebunden), Kalkstein (rein), Marmor (rein)
250 – 500	1,0 – 2,0	abrasiv	Kalkstein (sandig), Marmor (quarzhaltig) Sandstein (fest, karbonatisch gebunden)
500 – 1250	2,0 – 4,0	stark abrasiv (sehr abrasiv)	Sandstein (kieselig gebunden), Quarzsandstein, Porphyry, Andesit, Basalt, Phyllit, Glimmerschiefer, z.T. Amphibolit
1250 – 2000	4,0 – 6,0	extrem abrasiv	(Gang-)Quarz, Granit, Quarzit, Eklogit, Gneis, z.T. Amphibolit

Tabelle 3.1: Gegenüberstellung des LCPC-Abrasivitätskoeffizienten LAK ($= A_{Br}$) und des Cerchar-Abrasivitäts-Index CAI nach [13]

Da beim Cerchar - Abrasivitätstest nur grobe Einzelkomponenten (Steine, Blöcke) untersucht werden können, kann mit diesem Test keine Aussage über die Abrasivität von Lockergestein getroffen werden [14].

3.3 TU Wien Abrasimeter

Das Verschleißtopfverfahren eignet sich für Abrasivitätsuntersuchungen von Lockergestein sehr gut, da die vorherrschenden Bedingungen beim Abbau des Bodens gut nachgebildet und berücksichtigt werden können [15]. Ein etablierter Vertreter dieser Verfahren ist das

LCPC-Prüfgerät (siehe Kapitel 3.1). Ausgehend von dem LCPC-Prüfgerät, wurde am Institut für Geotechnik der TU Wien das TU Wien Abrasimeter entwickelt [16].

Das Gerät ermöglicht es, Korngemische bis zu einem Größtkorn von 32 mm zu untersuchen. Die Hauptbestandteile sind (siehe Abbildung 3.2 und 3.3):

- Versuchsbehälter
- Drehflügel
- Welle
- Auflastring
- Auflastgewichte
- Einfülltrichter
- Elektromotor

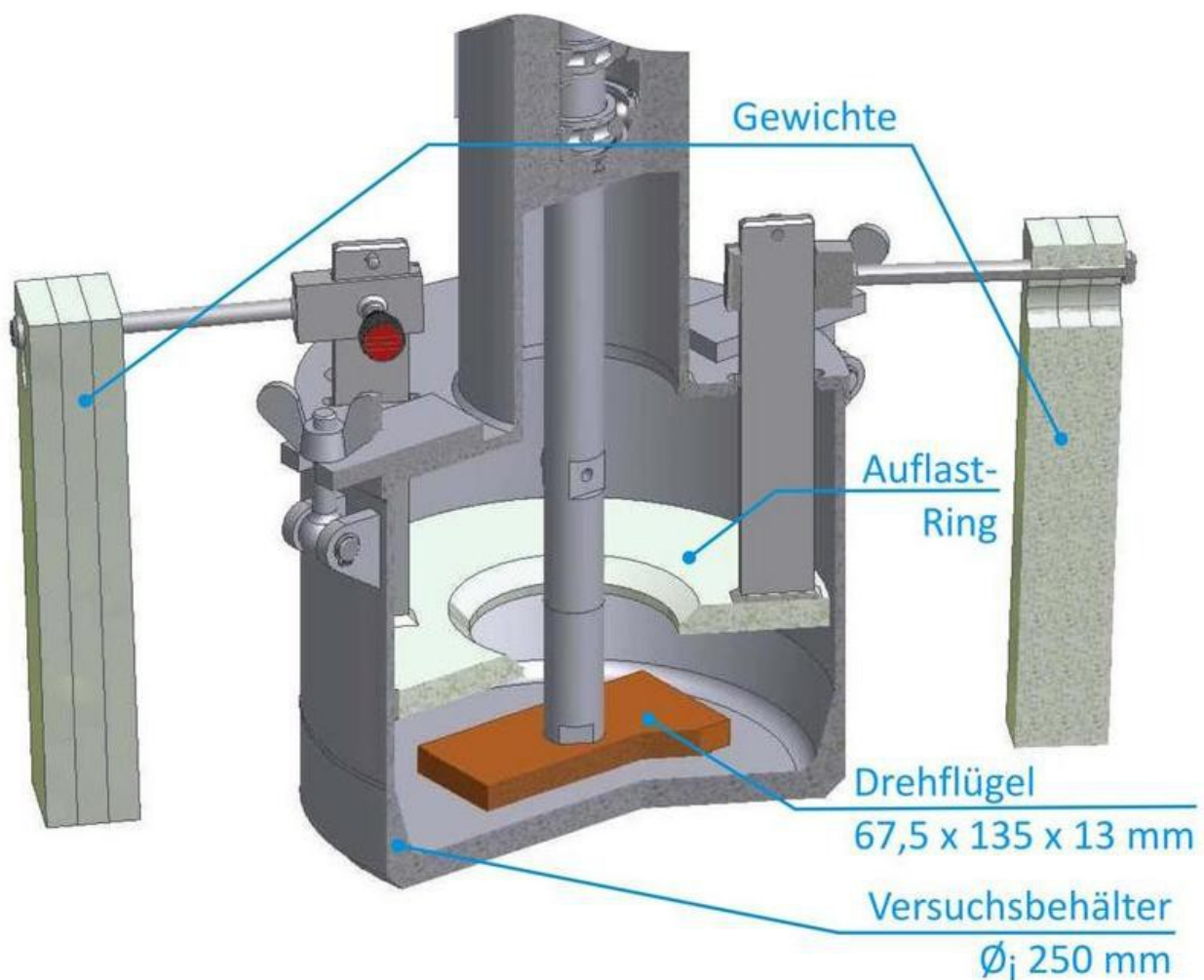


Abbildung 3.2: Aufbau TU Wien Abrasimeter [17]

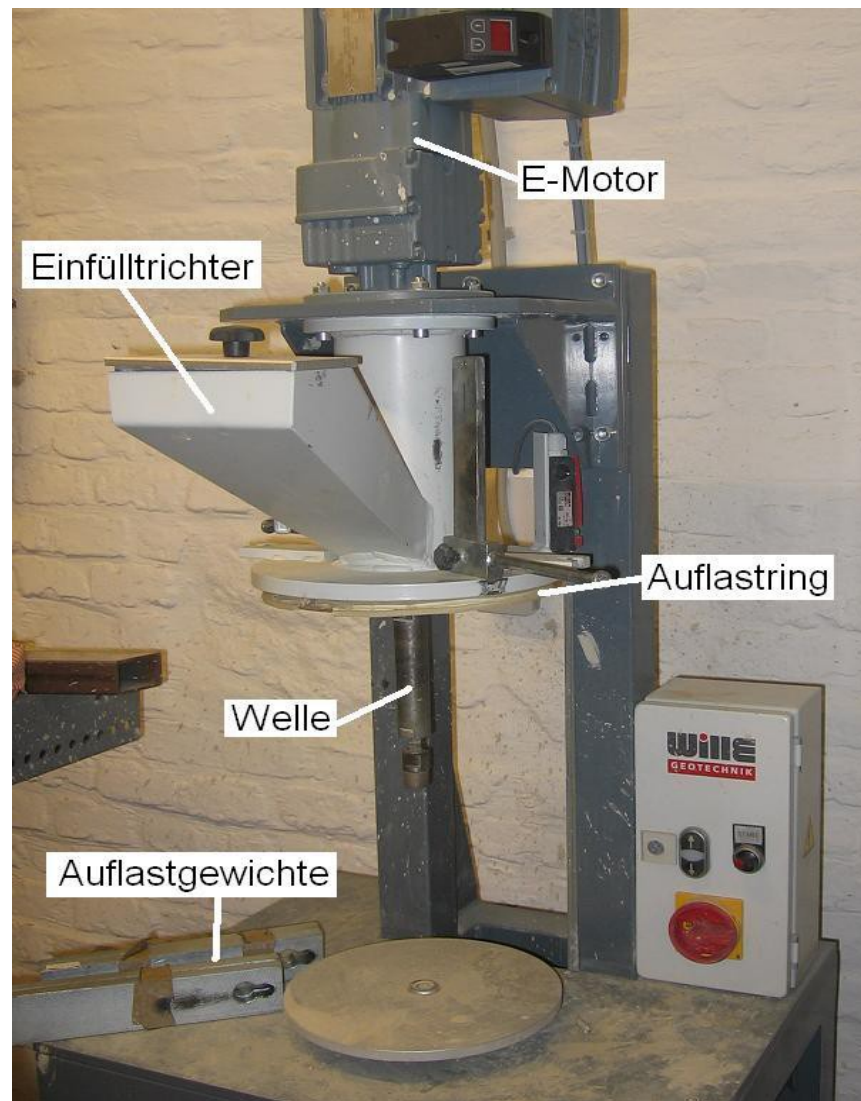


Abbildung 3.3: TU Wien Abrasimeter ohne Drehflügel und Versuchsbehälter

Der zylindrische Versuchsbehälter besitzt einen Innendurchmesser von 250 mm. Die Abmessungen des rechteckigen Drehflügels belaufen sich auf 67,5 x 134 x 13 mm. Er wird an den austauschbaren Passstücken der Drehwelle angeschraubt und mittels einer M12 Kontermutter gesichert. Für den Drehflügel wurde der Stahl 1.1141 (C15 E) mit einer Vickershärte i. M. 126 HV30 (Rockwellhärte HRB 68,9) gewählt. Der Drehflügel ist größtenteils mit einer Walzhaut überzogen. Walzhaut ist eine Oberflächenveränderung bei Stahl, wenn dieser gewalzt wird. Diese Oberfläche besitzt andere Festigkeitseigenschaften als der eigentliche Stahl und ist meist spröde [18]. Die variablen Passstücklängen für die

Welle ergeben sich zu 45; 70 und 85 mm. In [19] wurden folgende Empfehlungen erarbeitet: das lange Passstück (85 mm) soll bei feinkörnigen Probekörnungen (z.B. Feinkies oder Sand), das Kurze (45 mm) bei groben Körnungen verwendet werden. Das mittlere Passstück (70 mm) wird für Körnungen von 4 - 32 mm verwendet.

Der Auflastring und die daran anbringbaren Auflastgewichte verhindern einerseits das Entweichen der Bodenprobe nach oben, andererseits ermöglicht es auch verschiedene Lagerungsdichten zu simulieren [17]. Der Einfülltrichter dient zur Befüllung des Versuchsbehälters mit der Bodenprobe, wenn sich der Behälter und der Drehflügel bereits in der Startposition für die Versuchsdurchführung befinden.

Der Elektromotor treibt die Welle mit maximal 100 U/min an. Die Drehzahl kann stufenlos geregelt werden, um verschiedene Bohrgeschwindigkeiten zu simulieren [17].

Das Gerät bietet grundsätzlich auch die Möglichkeit, die Abrasivität bei Wassersättigung, sowie bei Zugabe von Bentonitsuspension, oder den Einsatz speziell geformter Drehflügel zu erforschen [17].

4 Bauprojekt Asperner Sammelkanal Entlaster (ASKE)

4.1 Projektbeschreibung ASKE

4.1.1 Übersicht über Projekt und Geologie

Das Bauvorhaben befindet sich im 22. Wiener Gemeindebezirk, in der Donauebene bzw. im Wiener Becken. Das geologische Gutachten [20] beschreibt die allgemeine Geologie wie folgt: „Vor ihrer Regulierung durchfloss die Donau mäandrierend ein breites Tal mit zahlreichen verzweigten Armen und Nebenarmen, die heute zu einem geringen Teil als Altarme (Schillerwasser, Mühlwasser, Alte Naufahrt) erhalten sind. Viele Altarme wurden zum Teil mit Anschüttungen, zum Teil mit natürlichem, aber künstlich umgelagertem Donauschotter verfüllt.“ [20]

„Die holozänen (rezenten) Ablagerungen der Donau-Talsole (Aulehme- und -sande sowie Donauschotter) überdecken die miozänen Sedimente des Wiener Beckens. Die Donauschotter sind Träger des oberen freien Grundwassers. Weitere teilweise gespannte Grundwässer treten in den sandigen Lagen der miozänen Ablagerungen auf.“ [20]

Generell ist im Projektgebiet folgende Schichtabfolge zu erwarten (nach [20]):

- Anschüttung/Humus/Mutterboden 0 - 1 m unter GOK
- Ausande – Aulehme Schichtdicke 1 - 3 m
- sandige Kiese (Donauschotter, Holozän) Schichtdicke 9 - 12 m
- sandige Schluffe, schluffige Sande in Wechsellagerung (jungmiozäne Sedimente) ab einer Tiefe von 10 - 17 m unter GOK

Der Asperner Sammelkanal verbindet die bestehenden Sammelkanäle in der Mühlwasserpromenade und Biberhaufenweg nördlich des Mühlwassers mit dem neu errichteten Hebewerk Raffineriestraße. Die Länge des Bauvorhabens beträgt ungefähr 1700 m. Der Kanal ist als Kreisprofil DN 1800 mm in einer Tiefenlage von ca. 3 – 8,5 m (Überdeckung des Rohrscheitels) errichtet worden. [20] Der Vortrieb durchörtert die

Schicht der sandigen Kiese (Donauschotter, Holozän) und erfolgt immer 2,5 bis 3,5 m unter Grundwasser.

Da nur bei der ersten Haltung (Primavesigasse, Startschacht 2 nach Zielschacht 2.2)) vorwiegend ungestörte Bodenverhältnisse anstehen, wurde diese 280 m lange Vortriebsstrecke für die Untersuchungen im Rahmen des Forschungsprojektes, auf dem diese Diplomarbeit beruht, herangezogen. Bei den anderen drei Haltungen wurde der Boden mittels vorlaufender Stabilisierungsinjektionen in Vortriebsrichtung verändert.

4.1.2 Abrasivitätsuntersuchungen

Im Rahmen der Ausschreibungserstellung wurden mit Material aus Kernbohrungen Abrasivitätsuntersuchungen durchgeführt. Es wurden die CAI-Werte und LCPC-Werte ermittelt. Alle Werte deuten nach Tabelle 3.1 auf eine hohe Abrasivität des Bodens hin. In Tabelle 4.1 sind nur die LCPC-Werte aus den Ausschreibungsunterlagen dargestellt. Die CAI- und LCPC-Werte der Ausschreibung sind nicht für einen Vergleich mit den durchgeführten Versuchen der Diplomarbeit geeignet.

Probe	A _{br} [q/t]	B _r [%]
KB 00	1020	37
KB 01	1060	35
KB 02	1260	34
KB 03	1180	37
KB 04	1220	35
KB 05	1320	35
KB 06	1120	37
KB 07	1240	34
KB 08	980	36
KB 49	1000	38
KB 43	860	41
KB 21	1220	40
KB 26	980	39
KB 54a	1000	41
KB 54b	680	43
RKB 03	1400	43
RKB 04	1020	36

Tabelle 4.1: LCPC-Werte adaptiert nach [20]

4.1.3 Verfahrensbeschreibung Rohrpressung mittels Hydroschild

4.1.3.1 Allgemeines

Bei Rohrpressungen bzw. Rohrvortrieben wird ein Hohlraum mittels einer Schildmaschine geschaffen. Der Start erfolgt aus einem Schacht heraus, und die Vortriebsbewegung wird über Hydraulikpressen erreicht, welche im Startschacht angordnet sind. Direkt anschließend an die Schildmaschine werden sogenannte Pressrohre nachgepresst. Diese Rohre übernehmen die Funktion der Stützung des Hohlraumes und sind auch zugleich die fertige Stollenauskleidung. Auf diese Weise werden die einzelnen Elemente zu einem betriebsfertigen Bauwerk zusammen geführt (siehe Abb.4.2).

Zur Reduktion der auftretenden Mantelreibung wird als Schmiermittel laufend Bentonitsuspension an der Außenwandung des Rohrstranges eingepresst. Die Pressung erfolgt in der Regel durch die Hauptpressen im Startschacht. Es kann bei großen Rohrstranglängen notwendig sein, Zwischendehner, welche im Strang mitgeführt werden, anzuordnen. Das wichtigste Kriterium bei einem Rohrvortrieb ist, dass der gesamte Strang solange in Bewegung bleibt, bis das letzte Rohr vollständig in den Boden gepresst ist [21].

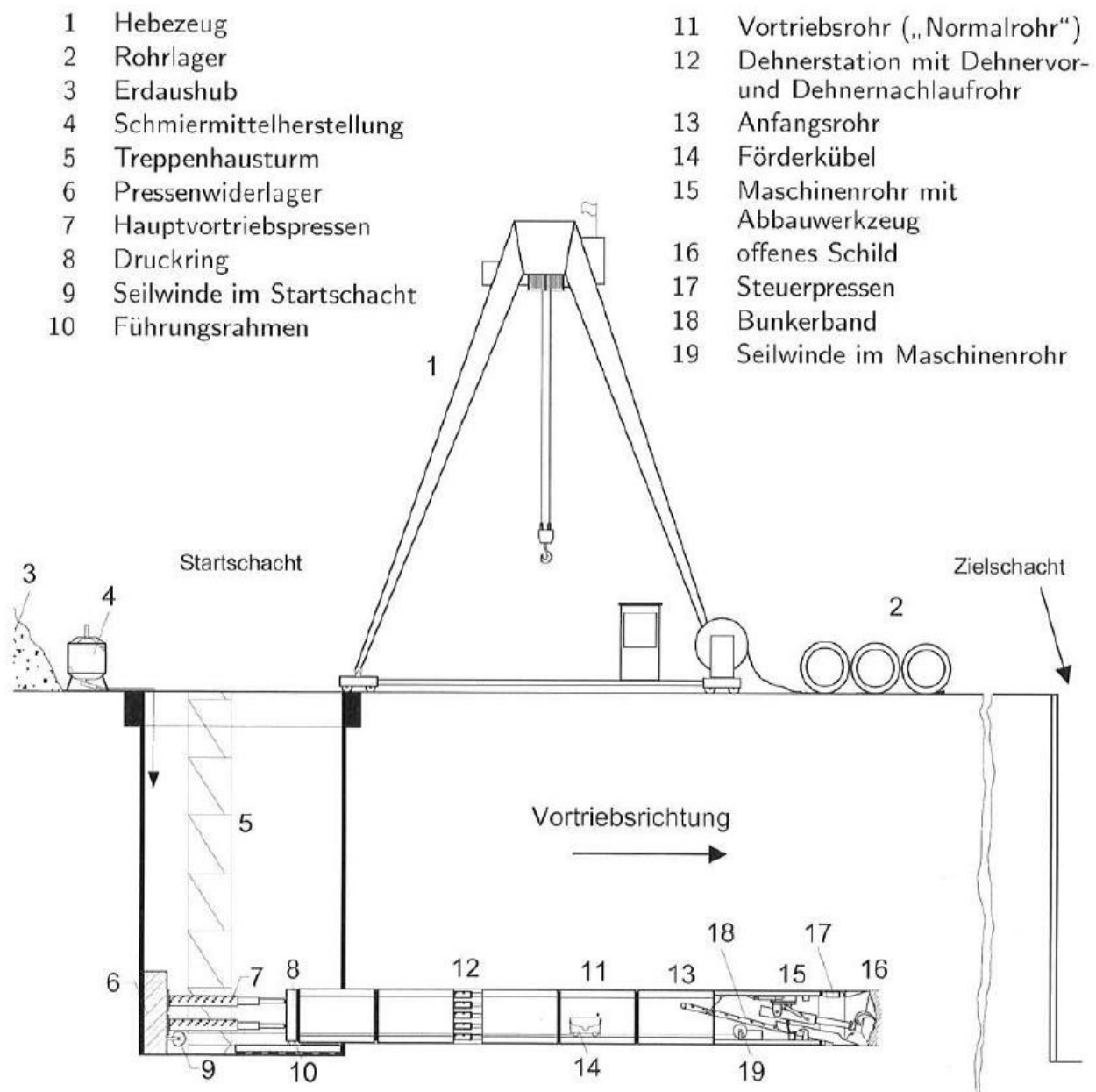


Abbildung 4.1: Prinzipskizze einer Rohrpressung [22]

4.1.3.2 Maschinen- und Baustellentechnik

Im gegenständlichen Projekt wurde die Schildmaschine AVND 1600 der Firma Herrenknecht (Abb 4.2) verwendet. Diese Schildmaschine nutzt ein Hydroschild mit Suspensionsdrucksteuerung durch Druckluftbeaufschlagung. Solche Schildmaschinen werden vor allem in kohäsionlosen oder inhomogenen Böden eingesetzt.



Abbildung 4.2: AVND 1600 im Startschacht Projekt ASKE

Das mit Schälmessern, Rollmeiseln und Räumern bestückte **Schneidrad** baut den Boden an der Ortsbrust vollflächig ab, indem es an diese gedrückt wird und rotiert. Dabei ist das Schneidrad komplett von Bentonitsuspension umgeben. Im Zuge des Abbaues vermischt sich der Ausbruch mit der Bentonitsuspension und wird auch über diese gefördert. Dieses Verfahren nennt sich **Hydro- bzw. Naßförderung**. Da die Rohrleitungen nur einen begrenzten Querschnitt aufweisen, muss der Ausbruch teilweise auf eine kleinere Körnung heruntergebrochen werden. Dies geschieht bei der gegenständlichen Maschine mittels eines **Konusbrechers** hinter dem Schneidrad. Die Bentonitsuspension wird in der **Separieranlage** entkiest und entsandet, und dann wieder dem Suspensionsreislauf beigegeben. Die Separieranlage besteht aus zwei oder mehreren eng- und

grobmaschigen Schwingsieben, und trennt durch Siebung die Sand- und Kiesanteile von der Suspension. Die Stütz- und Fördersuspension wird laufend auf den Sandgehalt und ihre rheologischen Eigenschaften kontrolliert. Falls diese nicht mehr den Grenzwerten entsprechen, wird sie gegen neue aus einem Vorratsbehälter ausgetauscht. Als Baustelleneinrichtung ist ein Mobil- oder Portalkran nötig, mit dem die einzelnen Rohrstücke und Maschinenteile in den Schacht gehoben werden. Ein Rohrlagerplatz ist notwendig, wenn die Arbeiten kontinuierlich durchgeführt werden sollen. Weitere essentielle Baustelleneinrichtung stellen Dickstoffpumpen und Silos dar.

4.1.3.3 Ortsbruststabilisierung mittels Fließigkeitsstützung

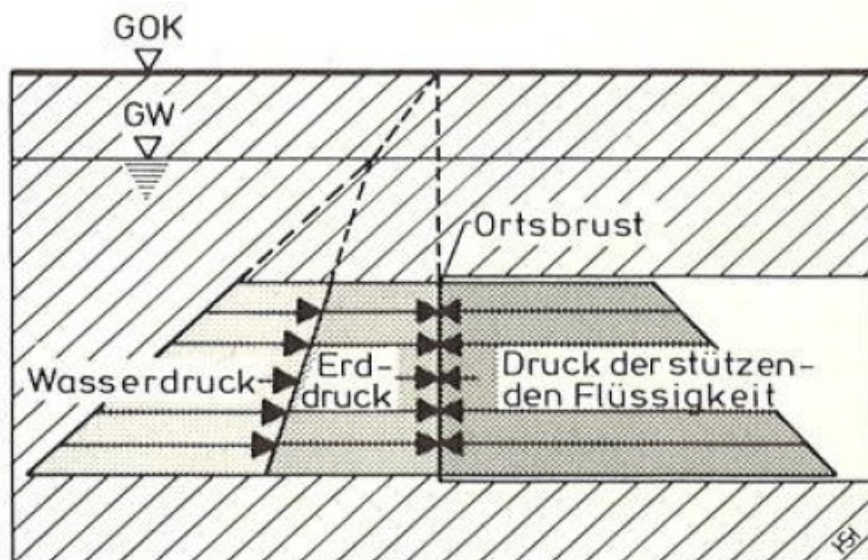


Abbildung 4.3: Prinzip der Fließigkeitsstützung nach [23]

In Abbildung 4.3 ist das Schema der Ortsbruststützung mittels Hydroschild dargestellt. Hydroschild (oder Suspensions-Schild) bedeutet, dass eine mit Druckluft beaufschlagte Suspension die Stützung des Gesteins an der Ortsbrust übernimmt. Die Suspension dringt dabei in den anstehenden Boden ein und versiegelt diesen mit einem Filterkuchen, über den dann der Stützdruck auf das Lockergestein ausgeübt werden kann. Die Steuerung des Druckes erfolgt über den Druckluftpolster.

4.1.3.4 Start-, Ziel- und Zwischenschacht

Ein Kernelement des Rohrvortriebes stellen die erforderlichen Start-, Ziel- und Zwischenschächte dar. Diese werden meist mittels Bohrpfahl- oder Schlitzwänden umschlossen, und danach ausgehoben. Eine bevorzugte Schachtform ist ringförmig beziehungsweise elliptisch, da diese Formen aufgrund ihrer räumlichen Tragwirkung ohne zusätzliche Aussteifungen auskommen können.

Aus dem **Startschacht** heraus beginnt der Vortrieb. In ihm erfolgen z.B.:

- Installation der Presswand und der Hauptpressen
- Positionierung der Vortriebsmaschine
- Einbau der Rohrstücke
- Abförderung des gelösten Gesteins

Aufgrund der oben gennaten Punkte ist der Startschacht meist der größte. Weiters befindet sich auch die essentielle Baustelleneinrichtung (z.B. Rohrlager, Separieranlage, Suspensionsmischanlage, Portalkran, usw) in unmittelbarer Nähe zum Startschacht.

Um den Vortrieb abschließen zu können ist in **Zielschacht** notwendig. Dieser dient hauptsächlich für die Bergung der Vortriebsmaschine.

Im Gegensatz zu Start- und Zielschacht müssen **Zwischenschächte** nicht zwingend vorhanden sein. Bei manchen Bauvorhaben mit sehr langen Pressstrecken werden sie notwendig, da in ihnen die verschlissenen Werkzeuge getauscht werden können. Im Regelfall werden die Zwischenschächte von der Vortriebsmaschine durchfahren. Ein Beispiel für einen nicht planmäßigen Zwischenschacht wäre zum Beispiel ein Bergungsschacht, weil sich beim Vortrieb ein gravierender technischer Defekt an der Vortriebsmaschine oder dessen Schneidrad eingestellt hat.

4.2 Verschleißdokumentation ASKE Haltung 1

4.2.1 Verschleiß am Schneidradwerkzeug

Das Schneidrad wurde als Mischbohrkopf ausgeführt, das bedeutet, dass sowohl Schälmesser für das Lösen von Lockergestein, als auch Disken für das Lösen von Festgestein angeordnet wurden.

Nach Auffahren der 280 m langen Vorriebsstrecke zeigte sich am Schneidrad der Maschine teilweise deutlicher Verschleiß, besonders an den Räumern und Schälmessern. Aus Gründen des Firmengeheimnisses konnten nicht alle Details der Werkzeuge zugänglich gemacht werden, aber die Ausgangsabmessungen und Massen wurden übermittelt. Keine Angaben wurden über den verwendeten Werkzeugstahl gemacht. Die Massen der Werkzeuge wurden mittels einer gewöhnlichen Personenwaage (Soehnle Gala) ermittelt. Die Verschleißerscheinungen sind in der Abbildung 4.4 ersichtlich [24].



Abbildung 4.4: Schneidrad vor und nach erster Haltung [24]

Die verschlissenen Werkzeuge konnten auf der Baustelle nochmals mit der selben Waage wie im Herstellerwerk gewogen werden. Bei dieser Personenwaage beträgt die Messgenauigkeit 100g. Die Absolutmassenverluste sind in Tabelle 4.2 dargestellt. [24].

Werkzeug	Position	Massenverlust	
		des Ausgangsgewichts [%]	absolut [kg]
Schneidrolle	Kaliber	7,1	4,4
Schälmesser	H	7,4	1,0
	J	0,7	0,1
Σ Schälmesser		3,7	5,0
Räumer	R1	9,4	1,2
	R2	14,2	1,8
	R3	11,1	1,4
	R4	13,5	1,7
	R5	7,9	1,0
	R6	13,5	1,7
	R7	7,1	0,9
	R8	12,7	1,6
Σ Räumer		11,2	11,3

Tabelle 4.2: Massenverluste der Werkzeuge[24]

4.2.2 Verschleiß Kaliberdiske

Der Massenverlust an der Kaliberdiske betrug 4,4 kg bzw. 7% der Ausgangsmasse. Dies bedeutet eine Reduzierung des Durchmessers der Kaliberdiske von 0,02 m und damit eine Reduzierung der Schniedhöhe. Weiters trat sehr starker Verschleiß an den Stahlprismen (links und rechts der Kaliberdiske), die zum Schutz der Kaliberdiske gedacht sind, auf (siehe Abbildung 4.5) [24].



Abbildung 4.5: Verschleiß an Kaliberdiske und Stahlprisma [24]

4.2.3 Schälmesser

An den zehn Schälmessern trat insgesamt ein Verschleiß von 5 kg auf. Aufgrund der fehlenden Bezeichnung am Schneidrad konnten nur 2 davon genau identifiziert werden, nämlich J und H. Schälmesser H weist einen Massenverlust von 7,4% auf, hingegen J nur 0,7%, was sich gut anhand der Position der Messer am Schneidrad erklären lässt. Messer H liegt nämlich am Rand des Rades und J weiter Innen und hat dadurch einen geringeren Weg zurückgelegt (siehe Abb. 4.6) [24].

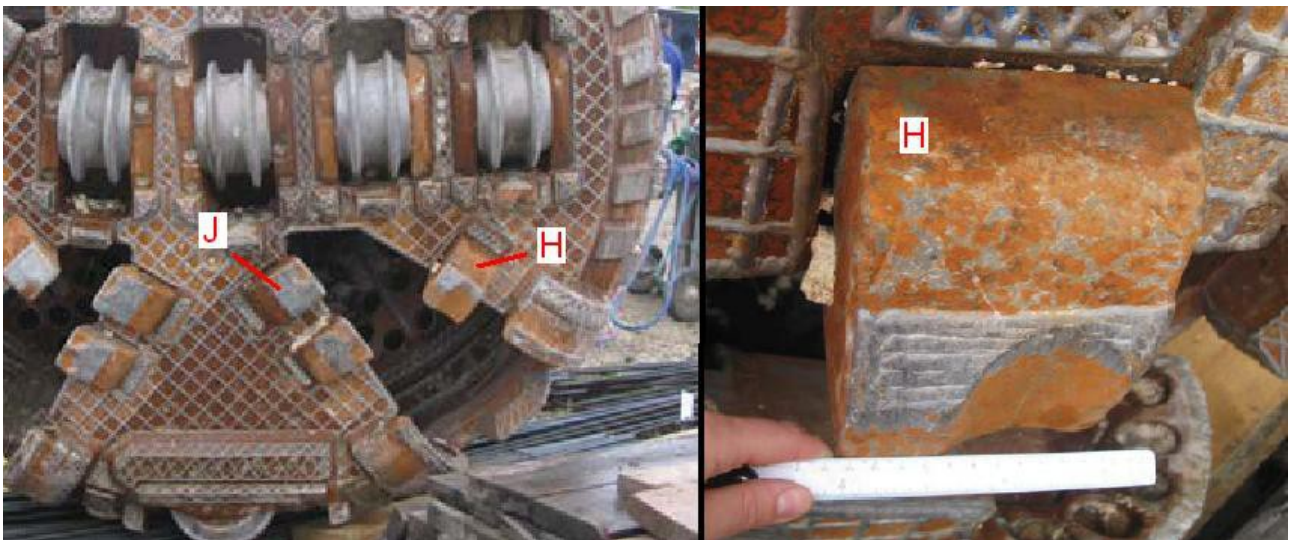


Abbildung 4.6: Verschleiß an den Schälmessern [24]

4.2.4 Räumern

Die Räumern zeigten ein einheitliches Verschleißbild, da sie alle am Rand des Schneidrades positioniert sind. Somit haben alle den selben Verschleißweg zurückgelegt. Der Massenverlust betrug im Mittel 11,2%, wobei die Maximal- und Minimalwerte zwischen 7% und 14% lagen (siehe Tabelle 4.2). Die Räumern mit den hohen Verschleißwerten, haben einzelne Zähne verloren. An der Mantelfläche der Räumern wurden im Werk Hartmetallaufschweißungen und vier Reihen Hartmetallbeschläge aufgebracht. Bei allen Räumern wurde die zweite und vierte Reihe der Beschläge sowie die gesamte Aufschweißung erodiert (siehe Abbildung 4.7) [24].



Abbildung 4.7: Verschleißbild der Räumer [24]

4.2.5 Brecherleisten und Brecherraum

An der Schneidradinnenseite wurde ein Konusbrecher eingebaut um das gelöste Gestein weiter zu zerkleinern. Die Brecherleisten wurden in der Höhe variiert um Spaltweiten von 16 mm, 26 mm und 46 mm zu erzeugen. An der Leiste mit der geringsten Höhe und somit größten Spaltweite, trat der geringste Verschleiß auf (siehe Abb. 4.8) [24].



Abbildung 4.8: Schneidradrückseite mit Brecherleisten (rot umrandet)

Im Brecherraum zeigte sich ein ähnliches Verschleißbild wie an den Brecherleisten am Schneidrad. Im Bereich der 16 Brecherleisten des Brecherraumes und des Rechens konnten leichte Spuren von Primärverschleiß ausgemacht werden (siehe Abb 4.9). Die Brecherleisten wurden verstärkt im Bereich des Randes beansprucht [24].



Abbildung 4.9: Brecherraum; deutlich sind die Brecherleisten als silbrige Streifen zu erkennen. Die Öffnungen im unteren Viertel sind der Rechen des Brecherraumes.

4.2.6 Schneidrad

Aufgrund der in der Ausschreibung angegebenen, hohen Abrasivität des Bodens, wurde das Schneidrad mittels Hartmetallaufschweißungen in Rautenform und Verschleißschutzplatten verstärkt (siehe Abb 4.8). Diese Maßnahmen haben einen übermäßigen Verschleiß erfolgreich verhindert. An einer der vier Materialeintrittsöffnungen an der Seite des Schneirades (siehe Abb 4.10) fand ein doch merklicher Verschleiß statt [24].



Abbildung 4.10: Materialeintrittsöffnung an der Schneiradseite [24]

4.3 Auswertung der Vortriebsdaten

Die ausführende Firma Brochier Spezialtiefbau hat für die Forschungsarbeit an der TU Wien die gesammelten Maschinendaten der ersten Haltung zur Verfügung gestellt. Im Folgenden (Tabelle 4.3) werden die zwei wichtigsten Daten (effektive Vortriebszeit und mittlere Umdrehungszahl) und daraus gewonnene Werte erläutert. Für die mittlere Umdrehungszahl/min des Schneirades wurde das arithmetische Mittel über die vorhandenen Werte gebildet. Die Umdrehungszahl/min lag immer zwischen 4 und 5 U/min, dadurch ergab sich eine mittlere Umdrehungszahl von 4,77 U/min. Für die effektive Vortriebszeit wurden zuerst die täglichen effektiven Vortriebszeiten ermittelt, indem die Summe der aufgezeichneten Zeiten um alle Stillstände, die länger als 10 min dauerten, abgemindert wurde. Die täglichen effektiven Vortriebszeiten wurden nach der Abminderung aufsummiert und ergaben eine effektive Vortriebszeit von 52 h 21 min 54 sek. Nach Multiplikation der mittleren Umdrehungszahl/min mit der

effektiven Vortriebszeit ergibt sich die Gesamtumdrehungszahl des Schneidrades zu 14.988 Umdrehungen.

Der vorhandene Verschleiß der einzelnen Werkzeuge aus Tabelle 4.2 wurde mittels dem zurückgelegtem Weg auf eine Verschleißintensität [g/km] umgerechnet. Der zurückgelegte Weg berechnete sich aus der Gesamtumdrehungsanzahl, multipliziert mit dem Umfang des sich ergebenden Kreises. Eine genauere Betrachtung und Interpretation dieser Werte erfolgt in Kapitel 7.2.

Effektive Vortriebszeit	Mittlere Umdrehungszahl	Umdrehungen gesamt
52:21:54	4,77 [U/min]	14988,6 [U]
Zurückgelegter Weg Kaliberdiske		
Radius	Verschleißweg	Verschleißintensität
1,10 [m]	103,59 [km]	42,47 [g/km]
Zurückgelegter Weg Schälmesser J		
Radius	Verschleißweg	Verschleißintensität
0,43 [m]	40,5 [km]	2,47 [g/km]
Zurückgelegter Weg Schälmesser H		
Radius	Verschleißweg	Verschleißintensität
0,71 [m]	66,87 [km]	14,96 [g/km]
Zurückgelegter Weg Räumer		
Radius	Verschleißweg	Verschleißintensität
1,10 [m]	103,59 [km]	13,63 [g/km]

Tabelle 4.3: Vortriebsdaten und Verschleißwege

In Tabelle 4.3 wurde für die Verschleißintensität der Räumer der arithmetische Mittelwert über die vorhandenen Werte gebildet.

5 Versuche zur Untersuchung der Abrasivität

5.1 Probenmaterial

5.1.1 Herkunft

Es wurden Bentonitsuspensionsproben und zwei unterschiedliche Arten von Bodenproben entnommen. Einmal anstehender (natürlicher) Boden aus dem Zielschacht und 10 Proben während der Vortriebsarbeiten. Die Entnahme repräsentativer Vortriebsproben, dies sind Bodenproben die während der Vortriebsarbeiten entnommen wurden, gestaltete sich aber als sehr schwierig, beziehungsweise als unmöglich. Grund hierfür war die Verfahrenstechnik der Separieranlage: zuerst wird der grobkörnige Anteil des Korngefüges abgegeben, und erst nach einigen Durchläufen das Feinkorn bis zu einer Kleinstkorngröße von ca. 0,4 – 0,6 mm. Es wurden immer zwei Kübel Probenmaterial aus dem Schüttkegel (Abbildung 5.1) entnommen. Einmal aus der oberen Schicht (Feinkorn) und einer aus dem unteren Teil des Kegels (Grobkorn). An der Körnung hafteten immer noch Reste der Suspension. Die entnommen Bodenproben sind als gestörte Proben zu betrachten.

Die Entnahme der Bentonitsuspension erfolgte immer an der selben Stelle im System, an der Pumpstation nach der Separieranlage.



Abbildung 5.1: Schüttkegel der Separieranlage

Im Anhang 12.1 befinden sich die Probennahmeprotokolle der Proben aus der Separieranlage. Tabelle 5.1 gibt eine Übersicht aller entnommenen Proben. Die Probenbezeichnung setzt sich aus der Labornummer 472 und einer laufenden Nummer zusammen. Bei den Proben, die während des Vortriebs genommen wurden, reichen diese von 0 bis 18. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit werden die während des Vortriebs entnommenen Proben als **Vortriebsproben** bezeichnet. Für die Proben aus dem Zielschachtaushub wurde als laufende Nummer vom Labor ZS (A) bis (F) vergeben und werden im weiteren als **Zielschachtproben** bezeichnet. Die Suspensionsproben wurden mit S1 bis S9 bezeichnet.

Probenbezeichnung	Suspension	Rohr #	Vortriebsstand
472/0		Maschinenrohr	Startschacht
472/ 1; 472/ 2	472/ S1	Nachläufer 1	
472/ 3; 472/ 4	472/ S2	9	
472/ 5; 472/ 6	472/ S3	24	
472/ 7; 472/ 8	472/ S4	41	34,70 m
472/ 9; 472/ 10	472/ S5	57	
472/ 11; 472/ 12	472/ S6	66	
472/ 13; 472/ 14	472/ S7	77	
472/ 15; 472/ 16	472/ S8	82	
472/ 17; 472/ 18	472/ S9	87	279,50 m
472/ ZS (A) bis (F)		Natürlicher Boden aus dem Zielschacht in Vortriebshöhe	

Tabelle 5.1: Übersicht der Boden- und Suspensionsproben [24]

5.1.2 Korngröße und Kornverteilung

Diese beiden Eigenschaften einer Körnung sind für die Abrasivität sehr entscheidend, da sie sowohl die Kontaktflächen des Werkzeuges mit dem Boden bestimmen, als auch für die Festigkeit des Bodens von Bedeutung sind.

Das gesamte Probenmaterial wurde für die weiteren Untersuchungen in drei Kategorien unterschieden: **Grobteile**, **Feinteile** (beides Vortriebsproben) und **Zielschacht** (Probenmaterial aus dem Zielschachtaushub). In den folgenden 3 Abbildungen (Abb. 5.2 - 5.4) sind jeweils die Körnungslinien der drei Kategorien dargestellt.

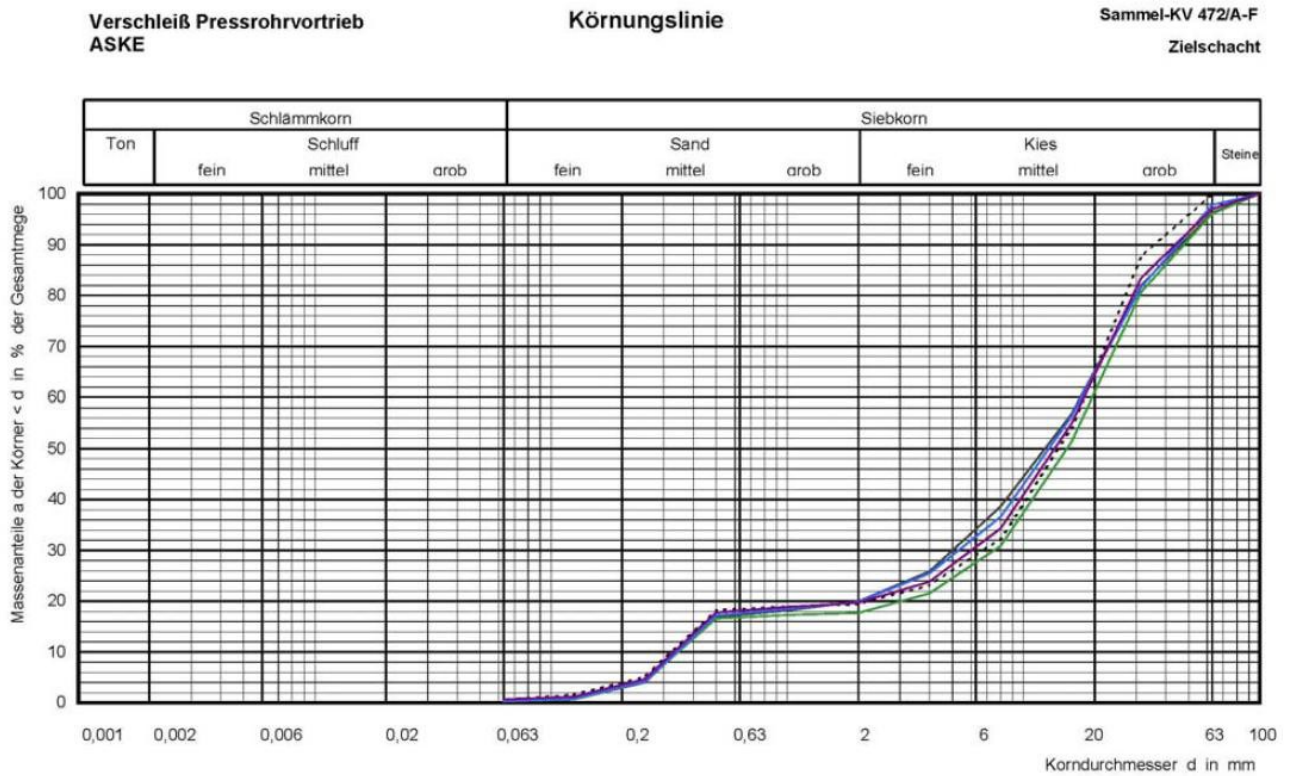


Abbildung 5.2: Körnungslinien der Zielschachtproben 472/ZS (A) bis (F) [24]

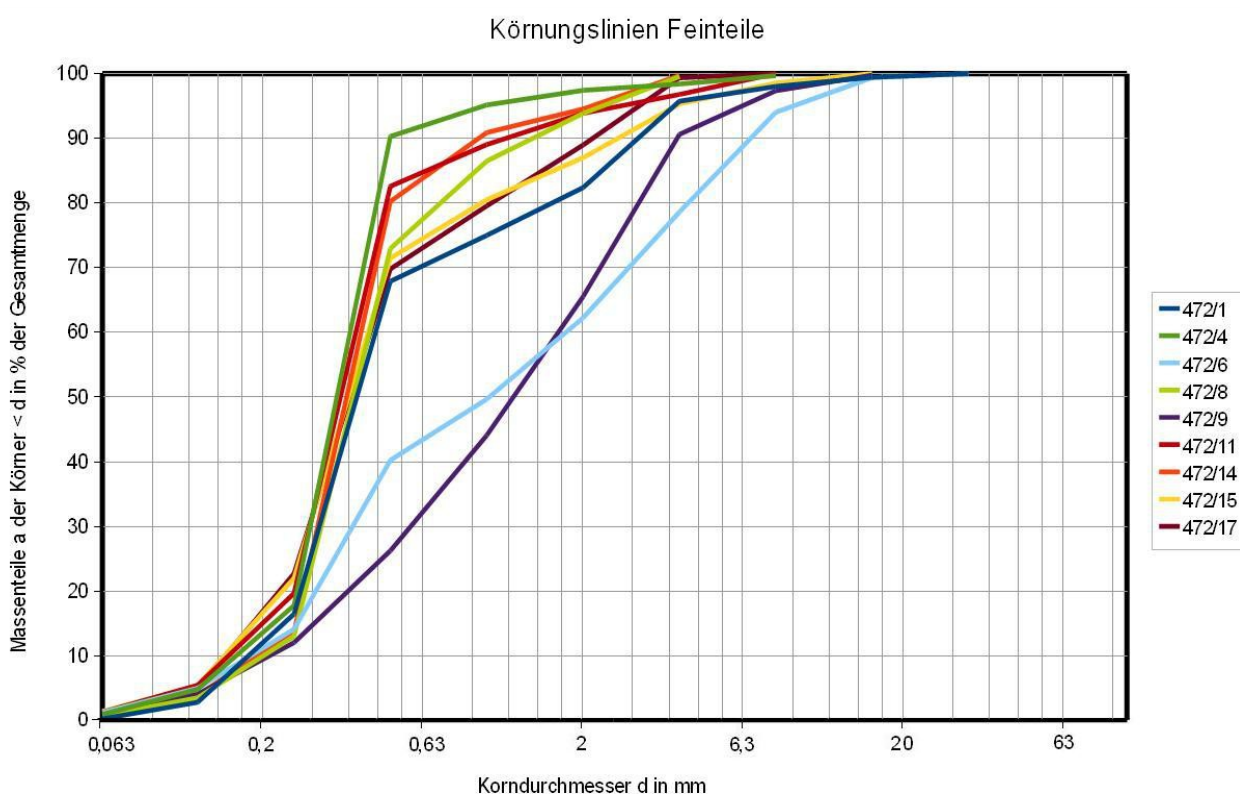


Abbildung 5.3: Körnungslinien Feinteile (nach Separieranlage) Nr. 472/1;4;6;8;9;11;14;15;17

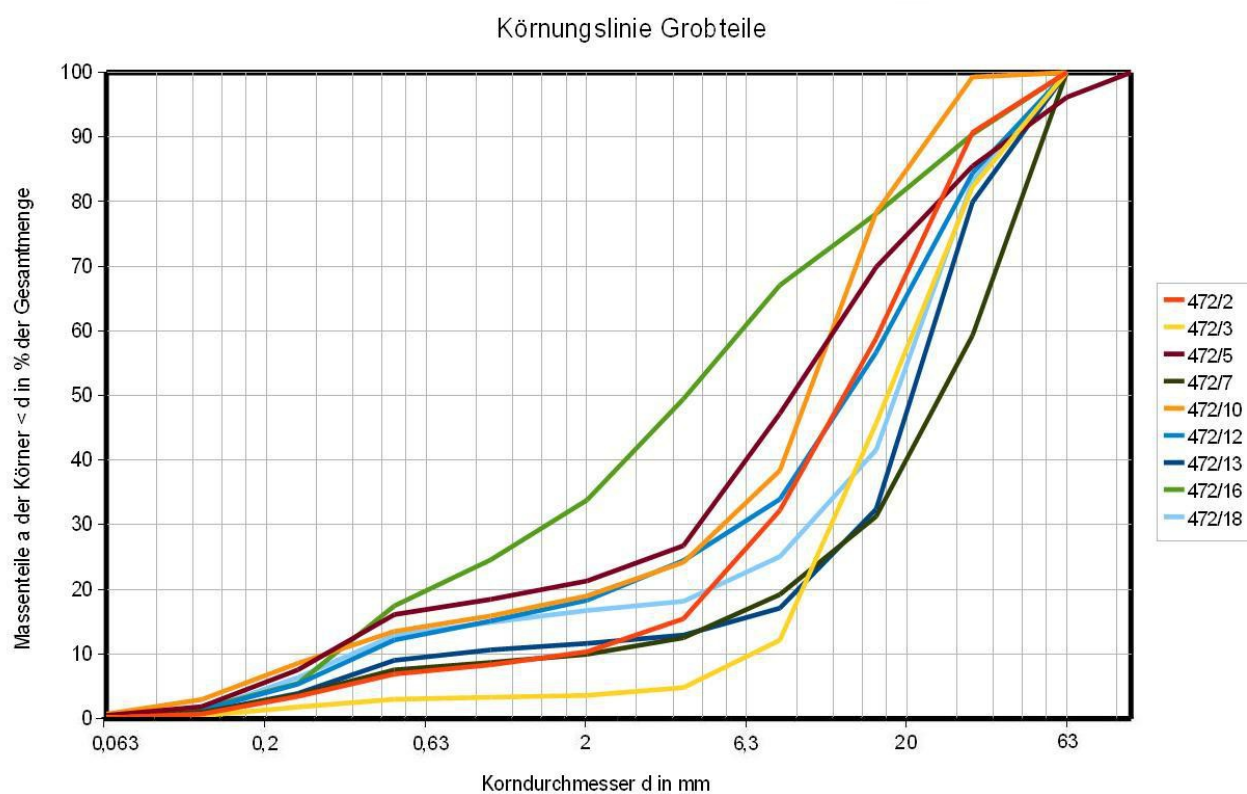


Abbildung 5.4: Körnungslinien Grobteile (nach Separieranlage) Nr. 472/2;3;5;7;10;12;13;16;18

Es zeigt sich bei den Vortriebsproben eine große Dispersion bei den Körnungslinien.

Die Körnungslinien der Zielschachtproben zeigen ein sehr einheitliches Bild, und sind bis auf kleine Schwankungen ident.

5.1.3 Mineralogie

Da der Quarzanteil einen großen Einfluss auf die Abrasivität des Bodens hat, wurde eine Probe aus dem Zielschacht mit dem Röntgendiffraktometer untersucht. Diese Untersuchung wurde im Oktober 2011 an der Universität für Bodenkultur (BOKU) am Institut für Angewandte Geologie durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5.2 dargestellt [25].

Probenmaterial	Mineral [Massenanteil in%]			
	Quarz	Schichtsilikate	Feldspat	Karbonate
Zielschacht 472/ (A)-(F)	61	7	12	20

Tabelle 5.2: Mineralogische Zusammensetzung des Bodens [25]

5.1.4 Rundungsgrad

Der Rundungsgrad aller Körnungen wurde gemäß ÖNORM EN 933-5 [7] bestimmt. Für die Probe 472/ (A) aus dem Zielschacht ergab sich für die Kornfraktionen jeweils ein Anteil von über 90% an gerundeten Körnern. Somit sind die Proben aus dem Zielschacht laut [7] als vollständig gerundet zu bezeichnen.

Für die Probe 472/8 aus dem Vortrieb (grob) ergab sich der Anteil der gerundeten Körner in den einzelnen Kornfraktionen zwischen 18% und 45%, wobei die Kornfraktionen (> 8 mm) einen höheren Bruchkorngelhalt aufwiesen. Somit sind die Proben aus dem Vortrieb als vollständig gebrochen bis gebrochen zu klassifizieren.

Weiters wurde für die Korngröße von 0,5 bis 1 mm und 1 bis 2 mm an beiden Proben eine optische Kornformbeurteilung nach [26] an je 500 Stk. Körnern durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Beurteilung sind in Tabelle 5.3 zu finden.

Kornform	472/8 1 – 2 mm		472/8 0,5 – 1 mm	
	[Stk]	[%]	[Stk]	[%]
Gerundet + stark gerundet	118	23,6	168	33,6
Kantig + rundkantig	302	60,4	275	55,0
Scharfkantig	80	16,0	57	11,4
	472/A 1 – 2 mm		472/A 0,5 – 1 mm	
	[Stk]	[%]	[Stk]	[%]
Gerundet + stark gerundet	213	42,6	196	39,2
Kantig + rundkantig	252	50,4	247	49,4
Scharfkantig	35	7,0	57	11,4

Tabelle 5.3: Kornform gem.[26]

5.2 Bestimmung der Abrasivität mit dem TU Wien Abrasimeter

5.2.1 Versuchsdurchführung

Vor dem eigentlichen Abrasimeter-Versuch wurde der Stahldrehflügel mittels eines Schwingschleifers von Schmutz, Rost und groben Unebenheiten befreit. Anschließend wurde er im Ultraschallbad gereinigt, getrocknet und gewogen. Nach dem Aufschrauben auf die Welle und dem Sichern mittels Kontermutter, wurde der Versuchstopf angebracht und das Probenmaterial durch den Einfülltrichter zugeführt. Das Probenmaterial wurde zuvor bis zur Massenkonstanz getrocknet, die Körnungslinie durch Siebung bestimmt und eingewogen. Es wurde bei jedem Versuch 7000 g +/- 10 g als Versuchsmasse verwendet. Nach Absenken des Auflastringes in den Versuchsbehälter und der Bestückung mit Gewichten (je nach Versuchsprogramm), begann der eigentliche Versuch mit der gleichzeitigen Aktivierung des Elektromotors und einer Stoppuhr für die Zeitnehmung.

Während der Versuche war die Apparatur mehrfach auf ordnungsgemäßen Betrieb zu kontrollieren. Dies bedeutet, die Wirkung der Auflast und das unterbrechungsfreie Laufen der Welle zu kontrollieren. Im Falle eines Steckenbleibens der Welle war die Stoppuhr zu pausieren und der Motor abzustellen. Durch rütteln und klopfen auf den Versuchstopf wurde dann versucht, die Hemmung zu beheben. Wenn dies keinen Erfolg zeigte, war der Versuchstopf zu öffnen und ein Neueinbau des Probenmaterials notwendig. Sobald die Maschine wieder einsatzbereit war, wurde der Versuch und die Zeitnehmung wieder aufgenommen.

Um die eventuelle Veränderung der Verschleißgeschwindigkeit zu erfassen wurde in bestimmten Zeitintervallen während des Versuches der Drehflügel und das Probenmaterial ausgebaut. Der Flügel wurde im Ultraschallbad gereinigt und gewogen. Anschließend folgte der Wiedereinbau in das Gerät (wie vorher beschrieben) und der Versuch wurde weitergeführt.

Nach Beendigung des Versuches wurde die Probe bis zur Massenkonzanz bei 105° C getrocknet und danach wieder die Sieblinie des Probenmaterials erstellt. Weiters wurde der Drehflügel direkt nach Versuchsende gereinigt und gewogen.

Es wurden auch Versuche mit Wasser (nasse Versuche) durchgeführt. Hierbei wurde nach dem Einfüllen des Probenmaterials der vom Versuchsprogramm bestimmte Wassergehalt eingestellt. Bei nassen Versuchen war der geforderte Wassergehalt während der Zwischenmessschritte gegebenenfalls durch Zugabe von Leitungswasser anzupassen.

5.2.2 Verbessertes TU Wien Abrasimeter

Im Zuge der Benutzung zeigten sich kleinere Schwachstellen der Prüfmaschine. Diese wurden kontinuierlich ausgebessert. Die zwei größten Schwachstellen waren der Auflastring und die freidrehende Welle.

Beim Auflastring verklemmten sich im Ringspalt zwischen Ring und Versuchtopf immer wieder Teile der Versuchskörnung, was sich in einer nicht mehr vollständig wirkenden Auflast äußerte. Diese reduzierte Auflast machte sich in einem geringeren Verschleiß des Drehflügels bemerkbar [19]. Um dieses zu verhindern wurde um den Rand des Ringes eine Gummidichtung geklebt (siehe Abb. 5.5), welche nach 2 bis 3 Versuchen wegen der starken Abnutzung erneuert werden musste. Diese simple Verbesserung zeigte eine große positive Wirkung auf den Versuchsablauf und dessen Resultate, da kaum mehr Körner in den Spalt eindringen konnten und somit die Auflast reduzierten.



Abbildung 5.5: Gummidichtung am Auflastring

Durch die teilweise sehr großen Torsions- und Horizontalkräfte, die auf die Welle während der Versuche wirkten, kam es zu einer leichten Schiefstellung der Wellenachse. Bei der Reparatur im Herstellerwerk wurde das TU Wien Abrasimeter verbessert um eine weitere Schiefstellung in Zukunft zu verhindern. Die normale M12 Mutter wurde durch einen Endschraubbolzen ersetzt (siehe Abb. 5.6). Für diesen Endschraubbolzen wurde im Boden des Versuchtopfes eine Nut geschaffen, in der die Welle nun gelagert ist. In diese Nut wurde ein Kunststoffgleitlager eingebaut (siehe Abb. 5.7), der ebenfalls nach 2 bis 3 Versuchen, oder bei Bedarf zu tauschen war. Beim Wiedereinbau des Probenmaterials war auf eine besonders gründliche Reinigung des Kunststofflagers mittels Wasser, Bürste und Druckluft zu achten, um den Versuchsbehälter einwandfrei schließen zu können.

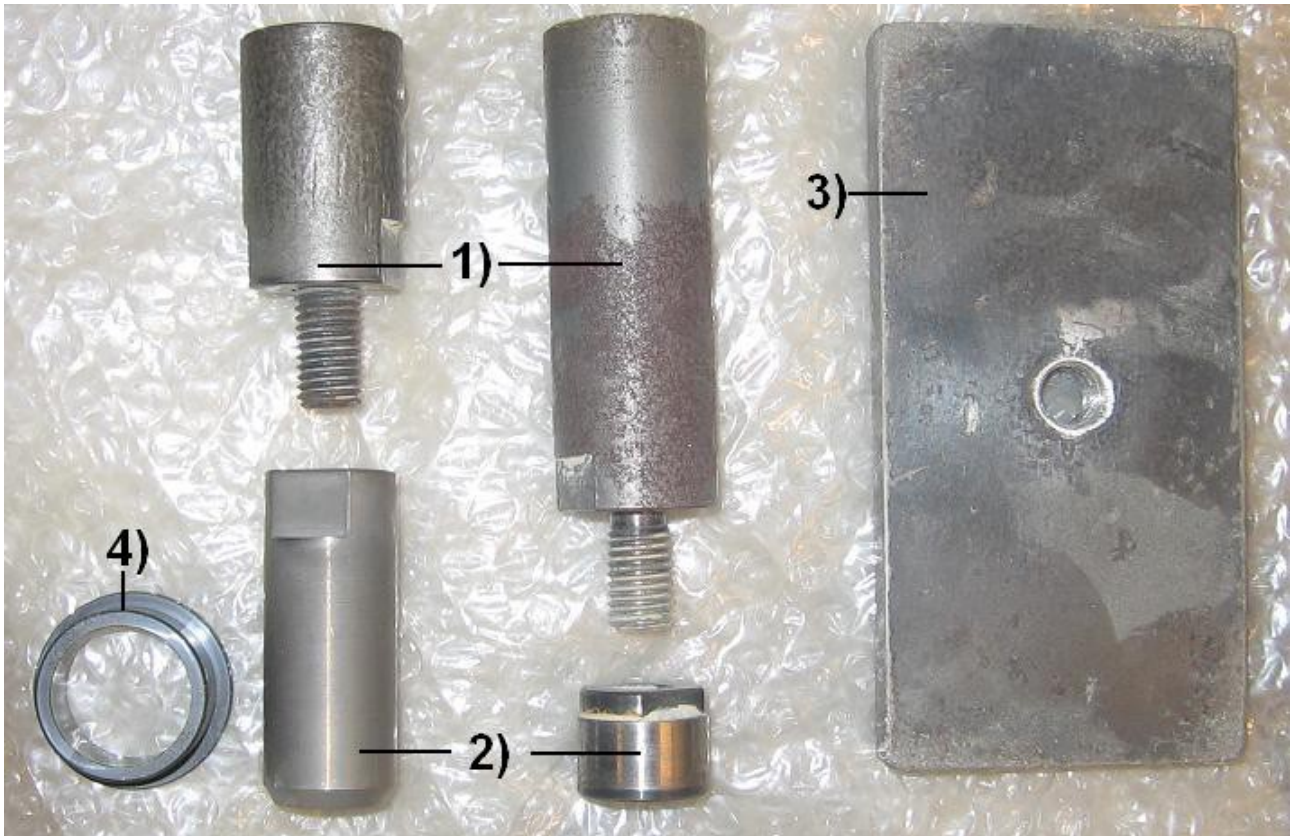


Abbildung 5.6: Verschiedene Passtücke 1) der Welle mit Endschraubbolzen 2), Drehflügel 3) und Kunststoffgleitlager 4)



Abbildung 5.7: Nut und Gleitlagerring am Boden des Versuchtopfes

In Tabelle 5.4 ist eine chronologische Auflistung der Veränderungen am TU Wien Abrasimeter während der Bearbeitung des gegenständlichen Forschungsprojektes aufgelistet.

Datum	Änderungen an der Maschine
04.08.11	Bruch der 70mm Welle
08.08.11	Verwendung der Gummidichtung am Auflastring; Bruch der 45mm Welle
10.11	Einschicken zur Reparatur
01.12	Abschluss der Reparatur
05.01.12	Verwendung des Gleitlagers
bis	
26.01.12	

Tabelle 5.4: Veränderungen am TU Wien Abrasimeter

5.2.3 Versuchsprogramm und Vorkommnisse

In Tabelle 5.5 ist das im Rahmen der Diplomarbeit durchgeführte Versuchsprogramm angeführt. Alle Versuche wurden mit einer Auflast von 11,5 kg, bestehend aus der Masse des Auflagerringes von 5,5 kg und vier Zusatzgewichten mit einer Gesamtmasse von 6 kg, und mit einer Probenmasse von 7000 g $\pm$ 10 g durchgeführt. Der Wassergehalt zu Beginn der Versuchsdurchführung wird durch w [%] Beginn angegeben.

Nr.	Proben	Körnung	Wellenlänge	w [%] Beginn	Anmerkungen	Versuchszeit [min]
1	Zielschacht 472/ (A) – (F)	0,063 – 32 mm	45 mm	-	-	360
2			70 mm	10	-	240
3		0,063 – 4 mm	85 mm	20	-	360
4		4 – 32 mm	70 mm	-	-	240
5				10	-	240
6	SW-Abbruch	0,063 – 32 mm		10	-	240
7	Vortrieb 472 / 1 – 18	0,063 – 4 mm	85 mm	20	gewaschen	360
8				20	ungewaschen	360
9		4 -32 mm	70 mm	-	gewaschen	240
10				10	gewaschen	240
11				-	ungewaschen	240
12				10	ungewaschen	240
13		0,063 – 4 mm	85 mm	25	Bau-Suspension	360
14		4 – 32 mm	70 mm	20	Bau-Suspension	240
15				25	Frisch-Suspension	240

Tabelle 5.5: Im Rahmen der Diplomarbeit durchgeführtes Versuchsprogramm mit dem TU Wien Abrasimeter

Das Versuchsprogramm teilte sich in zwei Gruppen, Versuche mit ungestörtem Boden (Nr.1 bis 5; Zielschacht) und in Versuche mit Vortriebsproben (Nr.6 bis 15). Die Überlegung hierfür war die Untersuchung ob sich die Abrasivität des Bodens durch den Vortrieb (erhöhter Bruchkorngelalt) verändert hat.

Versuch Nr. 6 wurde mit Schlitzwandabbruchmaterial (SW-Abbruch) durchgeführt, um einen Vergleich mit der Abrasivität des natürlichen Bodens festzustellen. Das Material wurde nach der Separieranlage entnommen, direkt nach dem die Schildmaschine die Schlitzwand des Startschachtes durchörtert hat.

Im Rahmen der Diplomarbeit sollte unter anderem der Einfluß von Wasser und Bentonitsuspension auf die Abrasivität genauer untersucht werden. Hierzu wurden fünf Versuche (siehe Tabelle 5.5) mit einem Wassergehalt um 10% und sechs Versuche mit einem höheren Wassergehalt durchgeführt. Bei den Versuchen mit feinkörnigem Probenmaterial (siehe Tabelle 5.5, Versuch Nr. 3,7,8,13) wurde ein Wassergehalt von 20% angestrebt (siehe Kap. 5.2.3.2). Die Überlegung dahinter war die Bedingungen während des Vortriebes in der Abbaukammer möglichst genau abzubilden. Der Vortrieb erfolgte nämlich unter Grundwasser und daher stellen die „nassen“ Versuche ein realistischeres Bild der Verschleißgegebenheiten dar. In weiterer Folge werden Versuche, die mit einer

Wasser- oder Bentonitsuspensionszugabe durchgeführt werden, als „**nasse**“ **Versuche** , und Versuche, welche mit trockenem Probenmaterial durchgeführt werden, als „**trockene**“ **Versuche** bezeichnet.

Da auch der Einfluß von Bentonitsuspension auf die Abrasivität erforscht werden sollte, wurden drei Versuche mit Bentonitsuspension anstatt Leitungswasser durchgeführt. Einmal wurde frisch angerührte Bentonitsuspension (Versuch Nr. 15) verwendet, und Versuche Nr. 13 und Nr. 14 wurden mit Suspensionsproben von der Baustelle durchgeführt. Hierbei sollte untersucht werden in wie weit die sich mit Sand aufgeladene Baustellensuspension auf den Verschleiß auswirkt im Vergleich zu einer frischen Bentonitsuspension.

Weiters wurde an den Votriebsproben ein Teil der Körnungen gewaschen, um sie von Bentonitresten zu befreien, und die anderen so belassen, wie sie entnommen wurden. Bei dem zuletzt durchgeführten Versuch Nr. 14 wurde ein geringerer Wassergehalt gewählt, weil nicht mehr genug verwendbare Suspension von der Baustelle vorhanden war, da sich die rheologischen Eigenschaften der Suspensionsproben über die Zeit zu sehr verändert hatten.

Die Versuchszeit wurde zu Beginn der Versuchsreihen mit 360 min festgelegt, mit Messungen des Drehflügelverschleißes nach 60, 120, 180, 240 und 360 min. Nach Durchführung der Versuche mit feinkörnigem Material zeigte sich, dass eine Versuchsdauer von 240 min, mit Messungen alle 60 min ausreichend ist.

5.2.3.1 Vorkommnisse bei Versuchen Nr. 1 und Nr. 2

Während des ersten Versuches (Nr. 1) kam es zu einem maschinellen Defekt (Bruch der Fixierschraube des 70 mm Passstückes), woraufhin das Versuchsprogramm auf die Verwendung des 85 mm und 45 mm Passstückes geändert wurde. Bei Versuch Nr. 2 kam es 45 min nach Beginn zu einem weiteren Defekt. Die Gummidichtung des Auflastringes hatte sich während des Versuches gelöst und sich um die Antriebswelle und den Drehflügel gewickelt. Aufgrund der zu starken Belastungen im Versuchstopf kam es zum Bruch der Fixierschraube des 45 mm Passstückes siehe (Abb.5.8). Daher wurde beschlossen, die Versuche mit feinkörnigem Material (85 mm Passstück) vorzuziehen und auf die Lieferung der neuen Passstücke zu warten.



Abbildung 5.8: Links: Bruchbild der Fixierschraube des 70 mm Passstückes; Mitte: Umwicklung der Welle mit Gummidichtung; Rechts: Bruchbild der Fixierschraube des 45 mm Passstückes

5.2.3.2 Vorkommnisse bei Versuchen Nr. 3 / 7 / 8 / 13

Diese Versuche wurden alle mit der 85 mm Welle durchgeführt. Bei Versuch Nr. 3 war zuerst ein geringerer Wassergehalt von 10 bis 15% geplant. Nach 120 min stellte sich, durch den vorherrschenden Wassergehalt, eine hohe scheinbare Kohäsion im Sand ein (siehe Abb.5.10), die dazu führte, dass der Flügel durch seine Rotation den Sand verdrängte und sich einen Hohlraum schuf. In diesem bestand kein ausreichender Kontakt mehr zum Abrasivgut, und somit trat auch kein Verschleiß am Drehflügel auf. Der Versuch wurde abgebrochen und mit einem höheren Wassergehalt (20%) nach Tabelle 5.5 wiederholt. Zuvor wurde eine Sieblinie des Probenmaterials erstellt um die Veränderung der Körnungslinie zufolge des Versuches festzustellen. Es konnte keine nennenswerte Veränderung in der Kornverteilung festgestellt werden (siehe Abb.5.9), somit wurde das selbe Versuchsmaterial noch einmal verwendet.

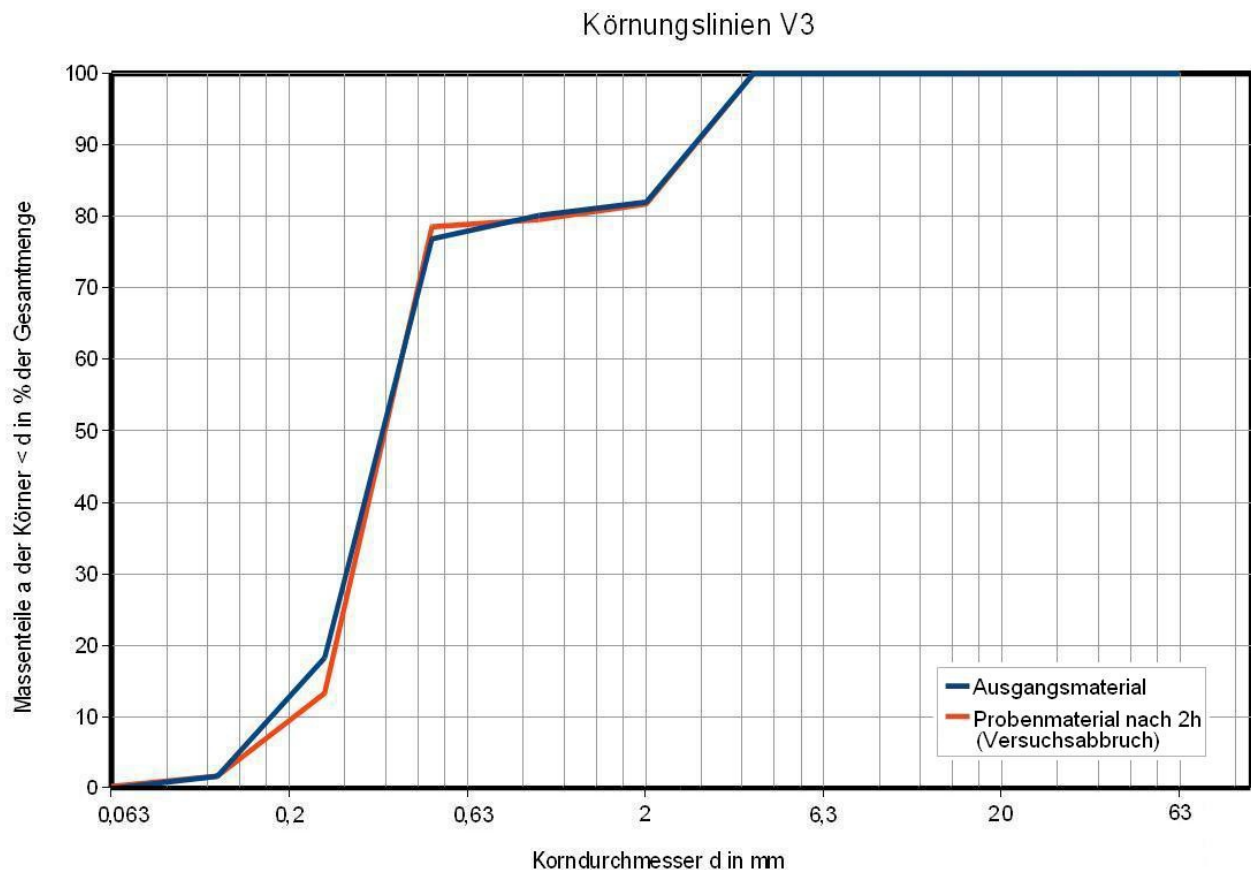


Abbildung 5.9: Körnungslinie Versuch Nr.3 vor Beginn und nach Abbruch des Abrasimeter-Versuches

Während des Versuches Nr. 3 wurde auch eine leichte Schiefstellung der Welle erkannt, die sich in einer Auf- und Abbewegung des Flügels während seiner Rotation bemerkbar machte. Darauf hin wurde beschlossen, die Prüfmaschine nach Beendigung der Versuche mit feinkörnigem Material einer Reparatur im Herstellerwerk zu unterziehen. Da diese Schiefstellung bei den kommenden Versuchen unverändert blieb, können die Versuchsergebnisse jedoch trotzdem untereinander verglichen werden. Bei den folgenden Versuchen (Nr. 7 / 8 / 13) kam es zu keinen weiteren Vorkommnissen.



Abbildung 5.10: Hohe scheinbare Kohäsion des Feinkieses bei Versuch Nr.3

5.2.3.3 Vorkommnisse bei den Versuchen Nr. 4 / 5 / 6 / 9 - 13

Nach einer dreimonatigen Reperatur des Abrasimeters im Herstellerwerk, wurden die restlichen Versuche mit einer verbesserten Apparatur ausgeführt. Bei dieser war nun die Welle im Boden des Topfes mittels eines Gleitlagers aufgelagert. Dadurch wurde eine Horizontalverschiebung der Welle verhindert. Nach 120 min Versuchszeit von Versuch 4 zeigte sich ein asymmetrischer Verschleiß des Gleitlagerringes (siehe Abb.5.11), der auf eine neuerliche Schrägstellung der Achse hindeutete. In den letzten 60 min der Versuche mit der verbesserten Apparatur kam es zu vermehrten Steckenbleiben der Welle. Diese "Klemmer" bedingten einen mehrfachen Aus- und wieder Einbau des Probenmaterials. Nach Vergleich mit vorherigen Versuchsdaten hatten diese Steckenbleiber der Welle auf den Verschleiß am Drehflügel keinen Einfluss gezeigt. Somit wurden alle Versuchsergebnisse dieser Reihe als vergleichbar beurteilt.

Aufgrund des starken Verschleißes des Gleitlagerrings, war es notwendig bei jedem Versuch einen neuen zu verwenden. Bei diesen Bauteil musste beim Wiedereinbau des Probenmaterials besonderes Augenmerk auf die Sauberkeit des Lagers gelegt werden (Abbildung 5.7 und 5.11).



Abbildung 5.11: Verschlossener Gleitlagerring

5.3 LCPC-Versuche

5.3.1 Versuchsprogramm und Ablauf

In Tabelle 5.6 ist das durchgeführte Versuchsprogramm ersichtlich.

Nr.	Proben	Ausgangskörnung	Beschreibung
1	Zielschacht 472/ (A) – (F)	4 – 63 mm	gebrochen auf 4 – 6,3 mm und anteilig rückgemischt, trocken
2		4 – 32 mm	rückgemischt, trocken
3		4 – 6,3 mm	natürliche Körnung, trocken
4	Vortrieb 472 / 1 – 18	4 – 63 mm	gewaschen u. getrocknet; trocken
5			ungewaschen u. getrocknet; trocken
6			ungewaschen; Wasserzugabe $w=15\%$
7	SW-Abbruch	4 – 32 mm	ungewaschen u. getrocknet; trocken

Tabelle 5.6: Durchgeführtes Versuchsprogramm der LCPC Versuche

Die Versuche unterteilten sich auch wieder in zwei Gruppen, nämlich Versuche mit unverändertem Probenmaterial (Zielschacht) und Versuche mit verändertem Probenmaterial (Vortrieb). Ein Versuch wurde, wie schon in Kapitel 5.2.3 erläutert, mit dem Probenmaterial aus dem Schlitzwandabbruch (SW-Abbruch) durchgeführt.

Mit den Zielschachtproben wurden drei Versuche, mit verschiedenen Ausgangskörnungen durchgeführt, wie in Tab. 5.6 ersichtlich ist. Diese Körnungen mussten vorab auf die Prüfkorngröße des LCPC-Versuches von 4 - 6,3 mm gebrochen werden. Hier wurde wie folgt vorgegangen:

1. Aussieben der einzelnen Teilfraktionen (4/8 mm, 8/16 mm, 16/32 mm, 32/64 mm, >64 mm) im Siebturm und Massenermittlung dieser.
2. Brechen und sieben der einzelnen Teilfraktionen auf 4 - 6,3 mm.
3. Berechnung der Massenprozente der einzelnen Teilfraktionen in Bezug auf die Gesamtmasse der Kornfraktion von 4 - >64 mm.
4. Anteilige Rückmischung der gebrochenen Teilfraktionen auf eine Gesamtprobenmasse von 500 g.

Mit den Vortriebsproben wurden drei Versuche durchgeführt, zwei trockene Versuche und ein nasser Versuch. Bei den trockenen Versuchen wurde eine Probe gewaschen, um sie von den anhaftenden Bentonitsuspensionsresten zu säubern, um den Einfluss der Bentonitsuspensionsreste auf die Abrasivität zu ergründen. Der andere Versuch mit Probenmaterial aus dem Vortrieb wurde bis Massenkonstanz getrocknet, aber nicht gewaschen. Der nasse Versuch wurde mit einem Wassergehalt von 15% durchgeführt.

Der letzte LCPC-Versuch wurde mit Schlitzwandabbruch durchgeführt, um einen Vergleichswert zur Abrasivität des Bodens zu erhalten. Dieser Versuch wurde trocken durchgeführt. Da zum Zeitpunkt der Erstellung des Versuchsprogrammes noch nicht bekannt war, ob genug Material in der Prüfkorngröße vorhanden ist, wurde ein Brechen und Rückmischen in Betracht gezogen. Dies war nicht nötig, da sich die Probenmasse in Prüfkorngröße problemlos aus der Probennahme entnehmen ließ.

6 Interpretation und Ergebnisse der TU Wien

Abrasimeterversuche

6.1 Zerkleinerung des Probenmaterials

Die Körnungslinien des Probenmaterials vor und nach dem Versuch wurden in ein Diagramm gezeichnet, um die Zerkleinerung bzw. die Verfeinerung des Probenmaterials analysieren zu können. Eine Verschiebung nach links bzw. oben bedeutet eine Zerkleinerung des Materials.

6.1.1 Mittel-Grobkies (4 – 32 mm)

Die Versuchsergebnisse mit Probenmaterial der Mittel-Grobkies Fraktion werden exemplarisch an Versuch V9 und V10 erläutert. Beim Versuch V9 handelte es sich um einen „trockenen“ und bei V10 um einen „nassen“ Versuch.

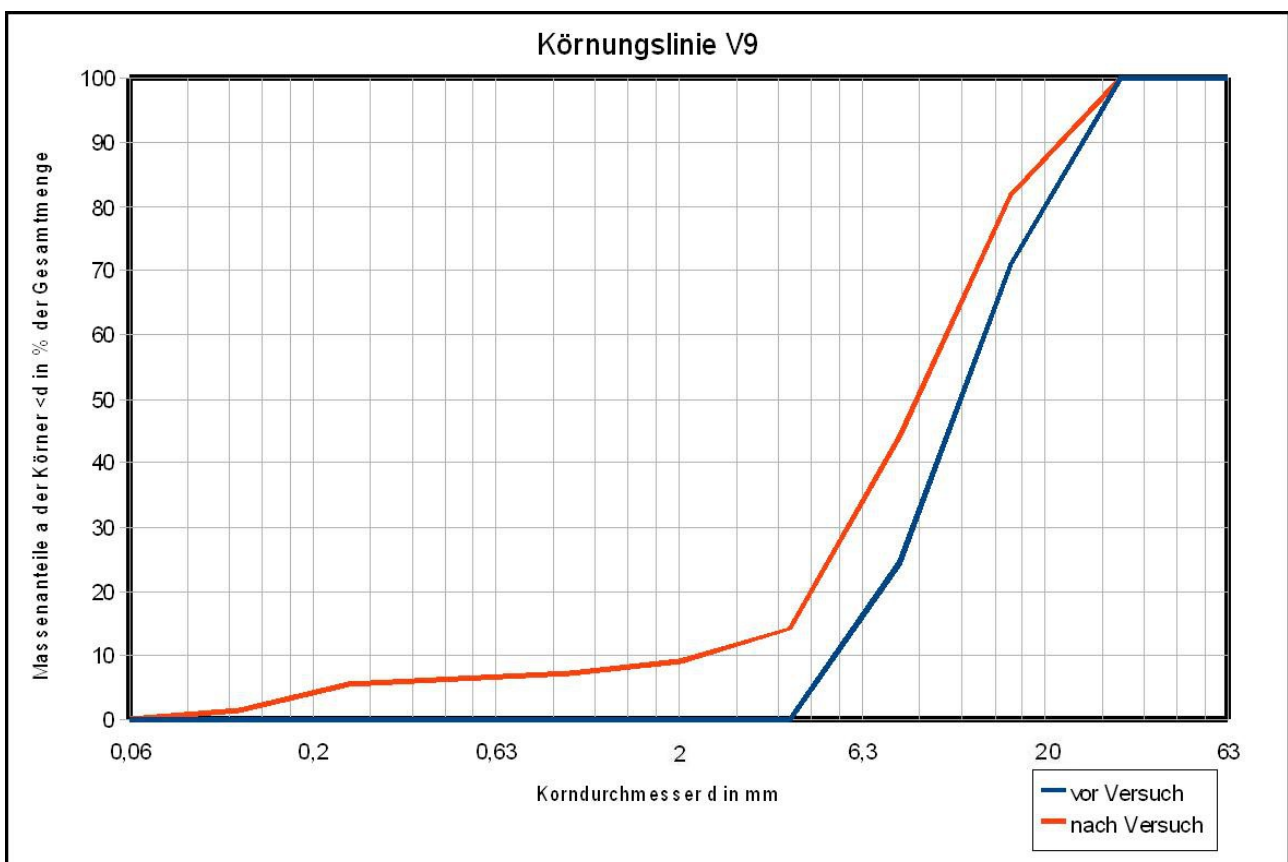


Abbildung 6.1: Körnungslinie V9 („trocken“)

Deutlich ist in Abbildung 6.1 eine Verschiebung der Sieblinie nach links, und somit eine Verfeinerung der Körnung zu erkennen. Im Vergleich zum Versuchsbeginn, bei dem die Korngröße von 4 mm das Minimum darstellte, lagen bei Versuchsende 15% der Massenteile unter 4 mm. Ähnliche Körnungslinien zeigten sich auch bei den anderen trockenen Versuchen (siehe Anhang 12.2).

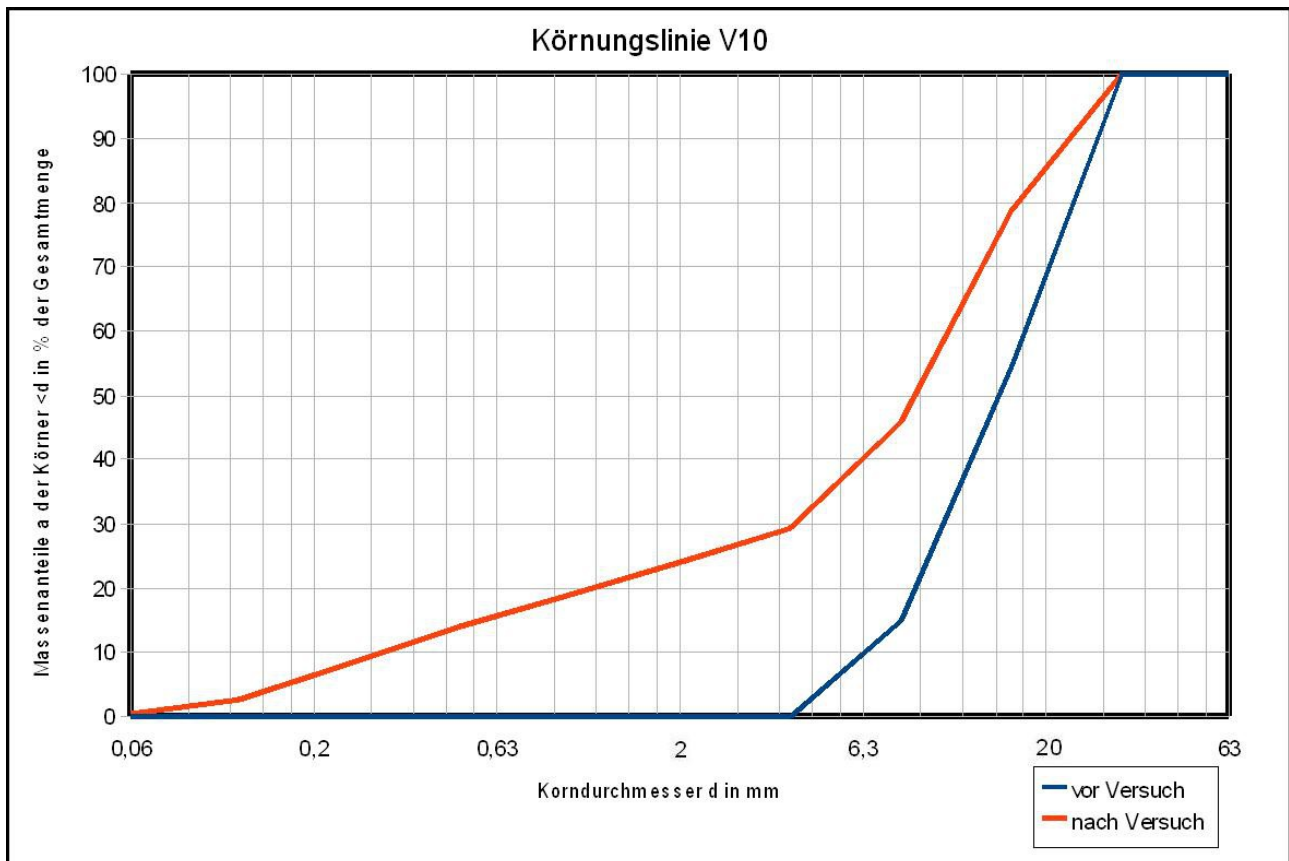


Abbildung 6.2: Körnungslinie V10 („nass“)

Bei dem „nassen“ Versuch V10 zeigt sich in Abbildung 6.2 eine deutliche Verschiebung der Sieblinie nach links. Im Vergleich zum „trockenen“ Versuch V9 lagen hier fast 30% der Massenteile unter 4 mm.

6.1.2 Sand-Feinkies (0,063 – 4 mm)

Für die Darstellung der Kornverfeinerung dieser Kornfraktion wurde Versuch V7 gewählt. Die anderen Versuchsergebnisse dieser Kornfraktion verhielten sich sehr ähnlich.

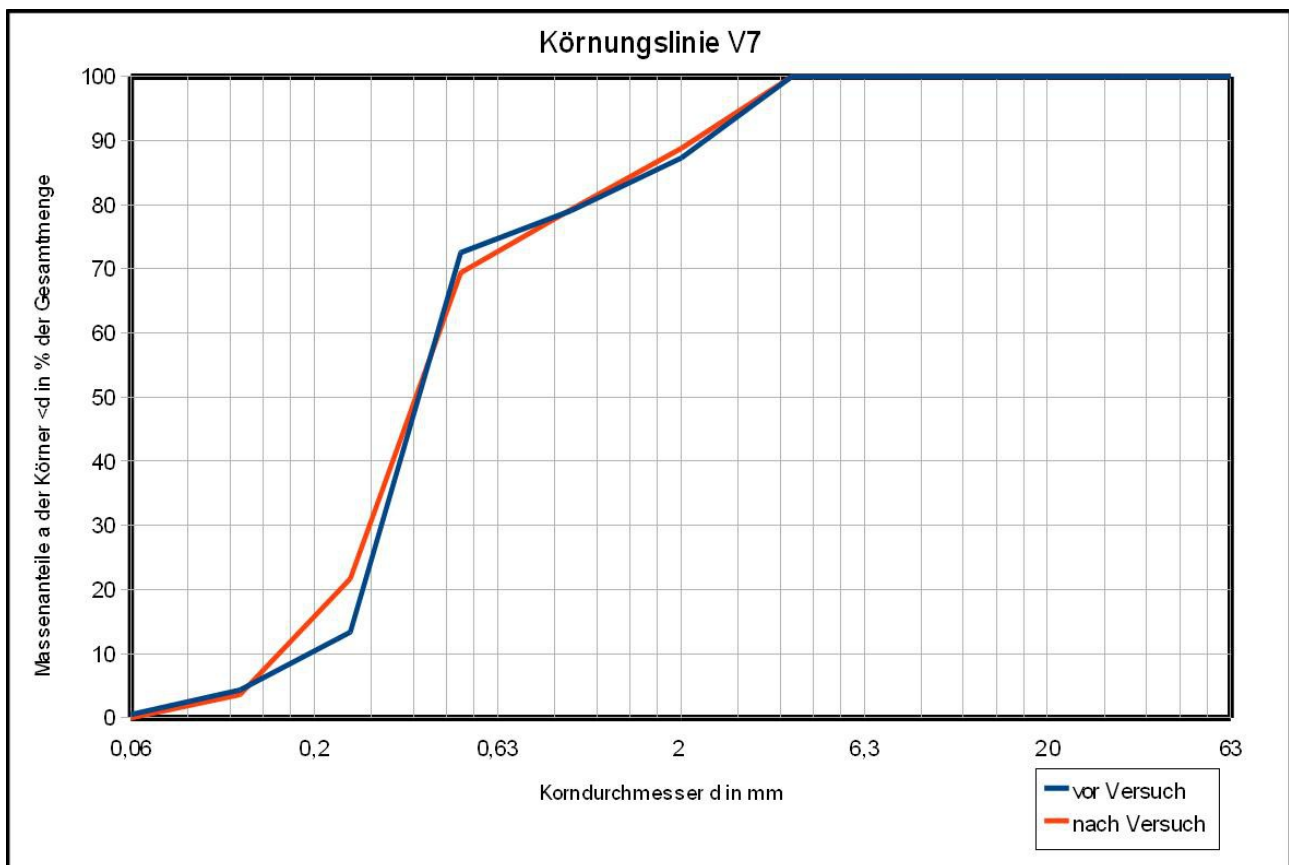


Abbildung 6.3: Körnungslinie V7 (gewaschen, „nass“)

Bei diesen Versuchen hat keine nennenswerte Zerkleinerung des Probenmaterials stattgefunden. Die leichte Verschiebung in Abbildung 6.3 rührt vermutlich von der Siebungenauigkeit her und nicht von einer Zerkleinerung, da nach einer optischen Untersuchung kaum mehr gebrochene Körner als im Ausgangsmaterial zu erkennen waren.

6.1.3 Weitgestufte Kornverteilung (0,063 – 32mm)

Für die Darstellung der Kornverfeinerung dieser Kornfraktion wurden die Ergebnisse aus Versuch V2 herangezogen. In Abbildung 6.4 ist die in etwa gleichmäßige Verfeinerung und somit eine deutliche Zerkleinerung des Probenmaterials zu erkennen.

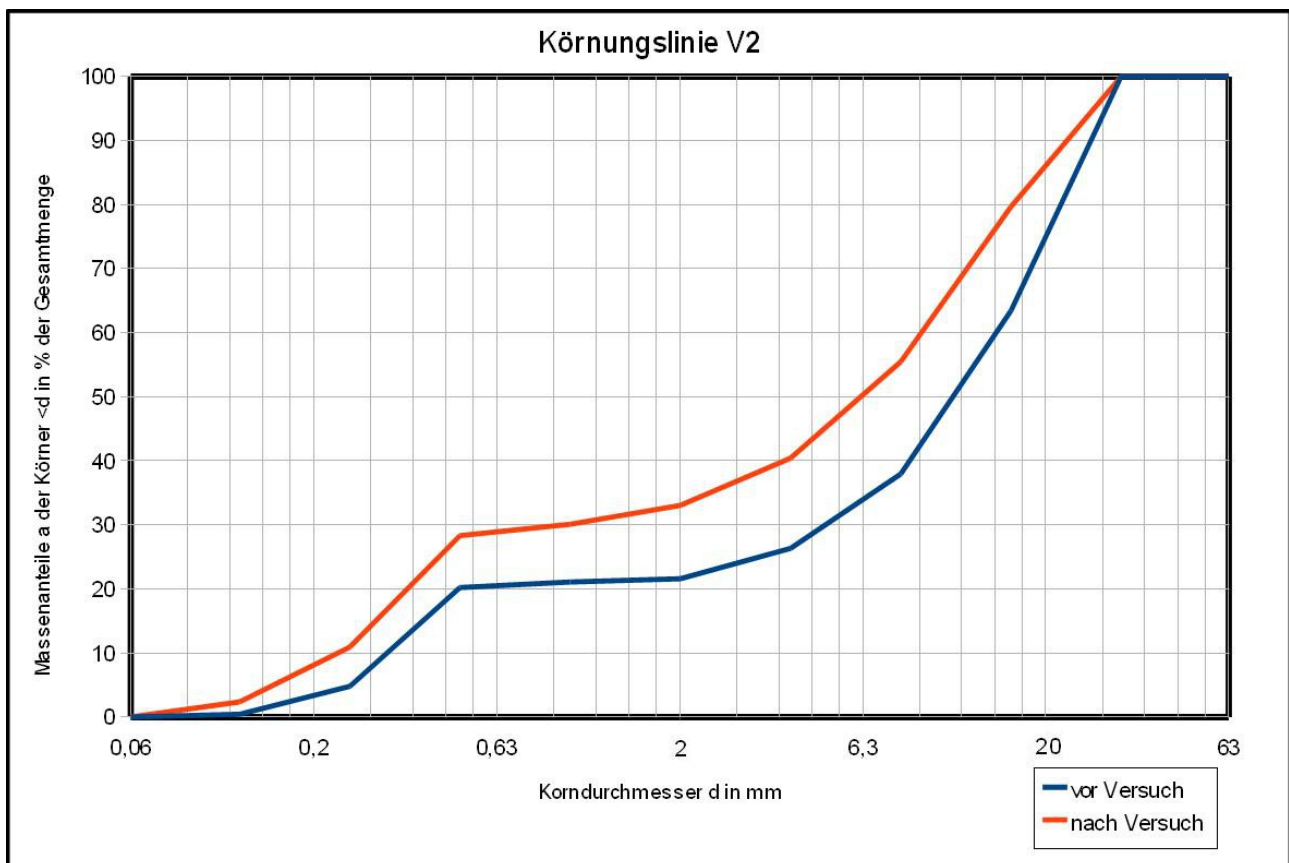


Abbildung 6.4: Körnungslinie V2 („nass“)

6.2 Verschleiß am TU Wien Abrasimeter Drehflügel

In Tabelle 6.1 findet sich die Auflistung der Absolutmassenverluste nach jeweils 240 min Versuchsdauer, die Versuchskörnungen und die Wassergehalte. Vorweg kann gesagt werden, dass das feinkörnige Probenmaterial (0,063 - 4 mm) weniger Verschleiß am Drehflügel hervorgerufen hat, als das grobkörnige. Im Anhang 12.2 befinden sich die vollständigen Messdaten aller Versuche. Weiters ist anzumerken, dass sich in den ersten 60 min immer vergleichsweise hohe Verschleißgeschwindigkeiten eingestellt haben. Dieser Umstand erklärt sich durch eine Walzhautablösung am Drehflügel. Mittels der gewonnen Messdaten des Massenverlustes des Drehflügels wurde die Verschleißgeschwindigkeit und die Verschleißintensität ermittelt (siehe Kap. 2.1.2.4). Anhand dieser Verschleißmessgrößen konnte der Verschleiß interpretiert werden.

Versuch	Körnung [mm]	Wassergehalt zu Versuchsende[%]	Absolutmassenverlust [g]
V1	0,063 – 32	-	3,21
V2		12	6,86
V3		22	0,23
V4	4 – 32	-	3,09
V5		14	6,71
V6		15	7,65
V7	0,063 – 4	27	0,29
V8		25	0,28
V9	4 – 32	-	1,81
V10		13	7,02
V11		-	3,52
V12		13	8,16
V13	0,063 – 4	27	0,88
V14	4 – 32	21	7,65
V15		21	5,6

	Versuch mit Wasser
	Versuch mit Bentonitsuspension

Tabelle 6.1: Absolutmassenverluste der Drehflügel nach 240 min

6.2.1 Einfluss von Wasser und Bentonitsuspension

In Diagramm 6.5 sind die Ergebnisse der Versuche mit grobkörnigem Material (4 - 32 mm) dargestellt. Deutlich ist der geringere Absolutmassenverlust der Drehflügel bei den „trockenen“ Versuchen ersichtlich. Bei der Verschleißgeschwindigkeit war bei den „trockenen“ Versuchen desweiteren gegen Versuchsende eine deutliche Dämpfung zu erkennen, hingegen bei den „nassen“ Versuchen verlief die Verschleißgeschwindigkeit nahezu konstant bzw. nur gering gedämpft. Dämpfung bezeichnet eine Verminderung der Verschleißgeschwindigkeit.

Somit kann anhand der vorliegenden Daten die Vermutung nach [6], dass ein mit Wasser oder Bentonitsuspension versetzter Boden einen höheren Verschleiß verursacht als Trockener, bestätigt werden.

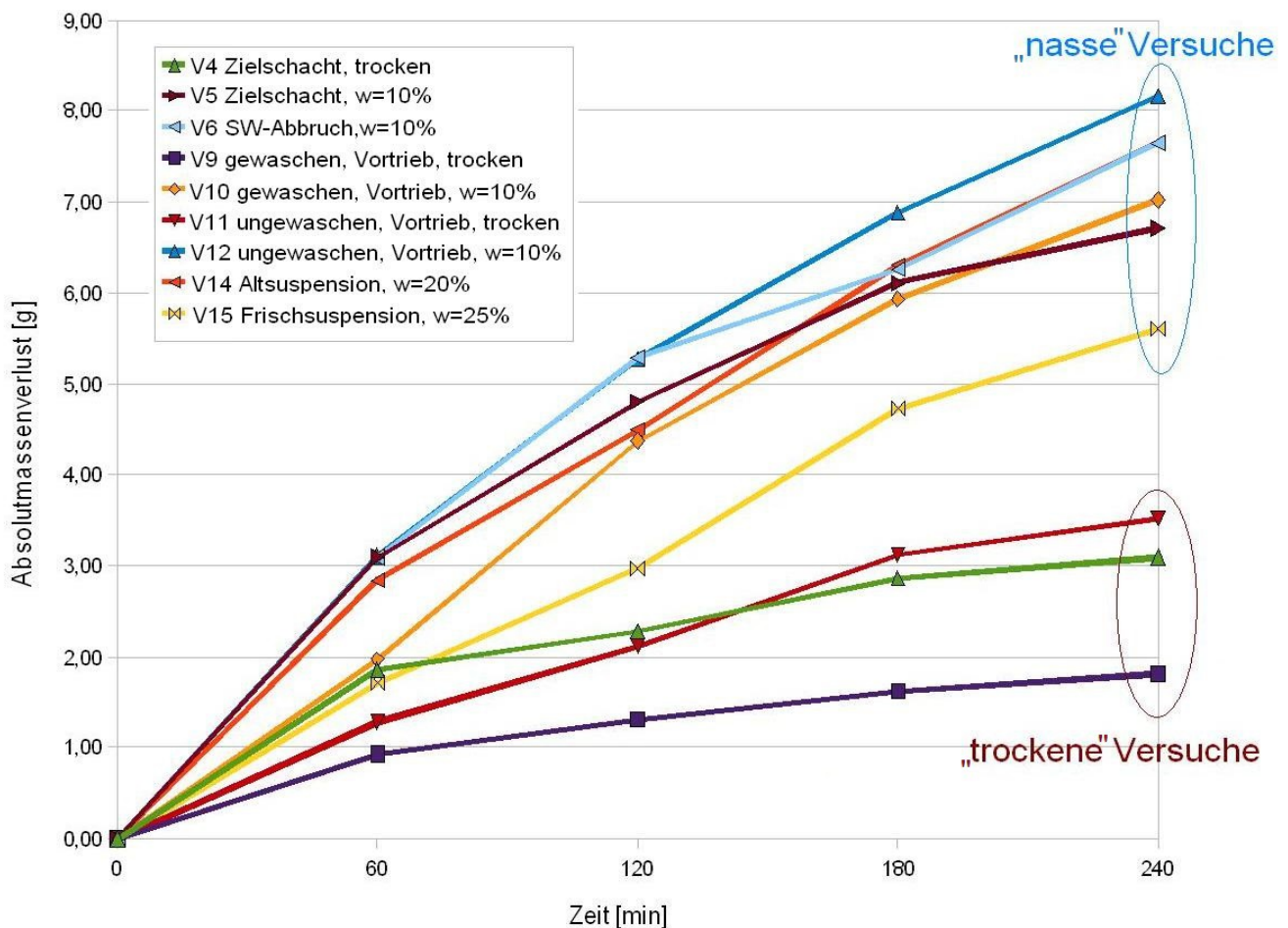


Abbildung 6.5: Verschleißgeschwindigkeiten der Körnungen 4 - 32 mm

Bei den Versuchen V14 und V15, die mit Bentonitsuspension anstatt Leitungswasser durchgeführt wurden, sind markante Unterschiede ersichtlich (siehe Diagramm 6.5). Versuch V14 hat sich trotz der Verwendung von Bentonitsuspension von der Baustelle wie ein Versuch mit Wasser verhalten, und die Verschleißgeschwindigkeit war auch sehr hoch. Versuch V15 zeigte auch eine nahezu konstante Verschleißgeschwindigkeit ohne Enddämpfung, aber der Absolutmassenverlust war um rund 2 g geringer als bei Versuch V14, aber immer noch deutlich höher als bei den „trockenen“ Versuchen. Dieser Sachverhalt lässt sich auf die Verwendung von Frischsuspension, welche nicht mit scharfkantigen Bruchstücken aufgeladen wurde, zurückführen.

Besonders deutlich zeigte sich der Einfluss der Bentonitsuspension bei den Versuchen mit feinkörnigen Material (siehe Diagramm 6.7). Der in Versuch V13 verwendete Drehflügel

hat einen dreifach höheren Absolutmassenverlust erfahren, als die Drehflügel bei den anderen Versuche mit feinkörnigen Material.

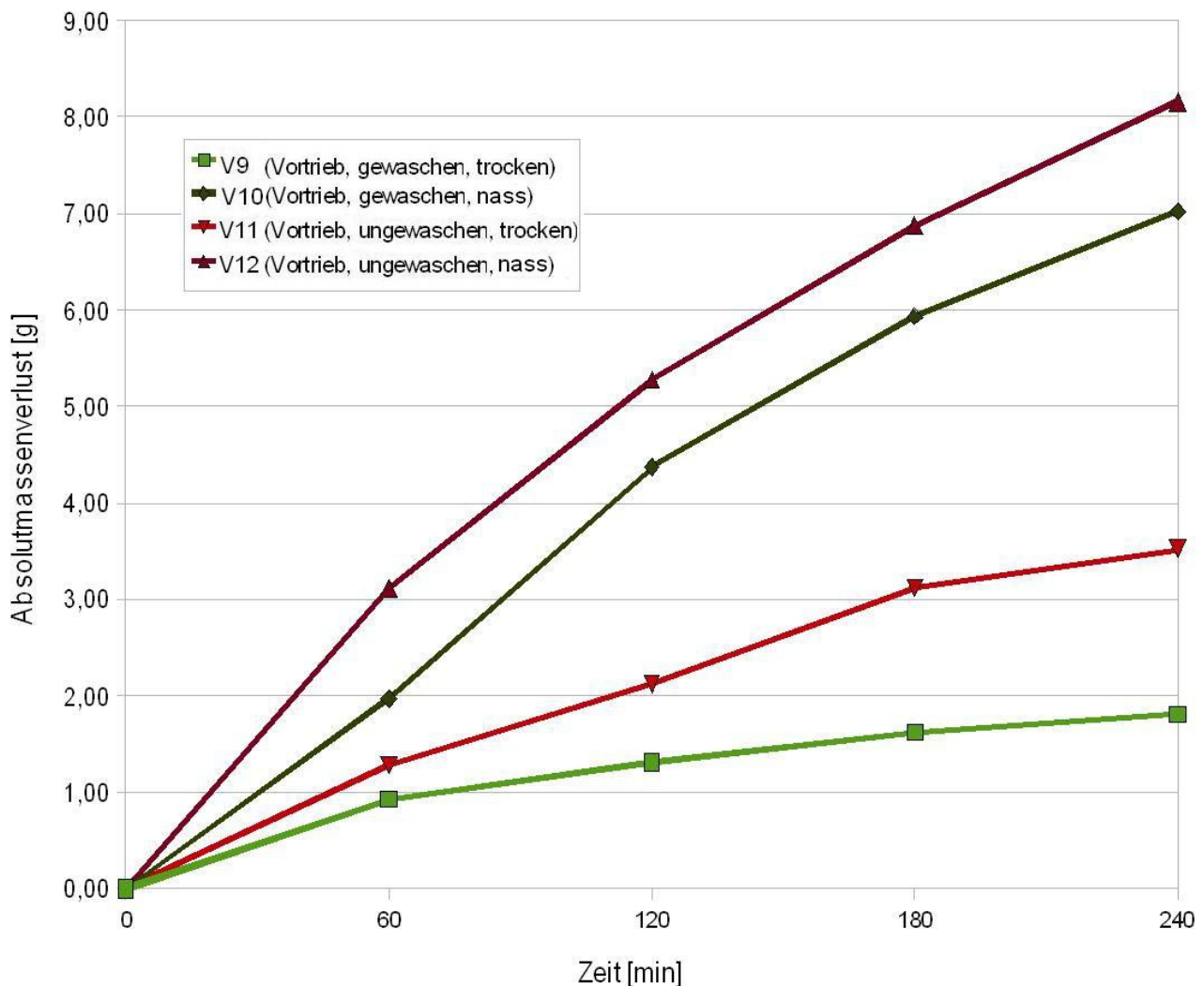


Abbildung 6.6: Verschleißgeschwindigkeiten der Versuche mit gewaschenem (grün) und ungewaschenem (rot) Probenmaterial, 4 – 32 mm („nass“ und „trocken“)

In Abbildung 6.6 sind jeweils die Ergebnisse der Versuche mit gewaschenem Probenmaterial (grün) und ungewaschenem Probenmaterial (rot), sowohl „nass“ als auch „trocken“, gegenübergestellt. Deutlich ist eine erhöhte Verschleißgeschwindigkeit bei den ungewaschenen Proben zu erkennen, wobei dieser Unterschied bei den „trockenen“ Versuchen stärker ausfällt.

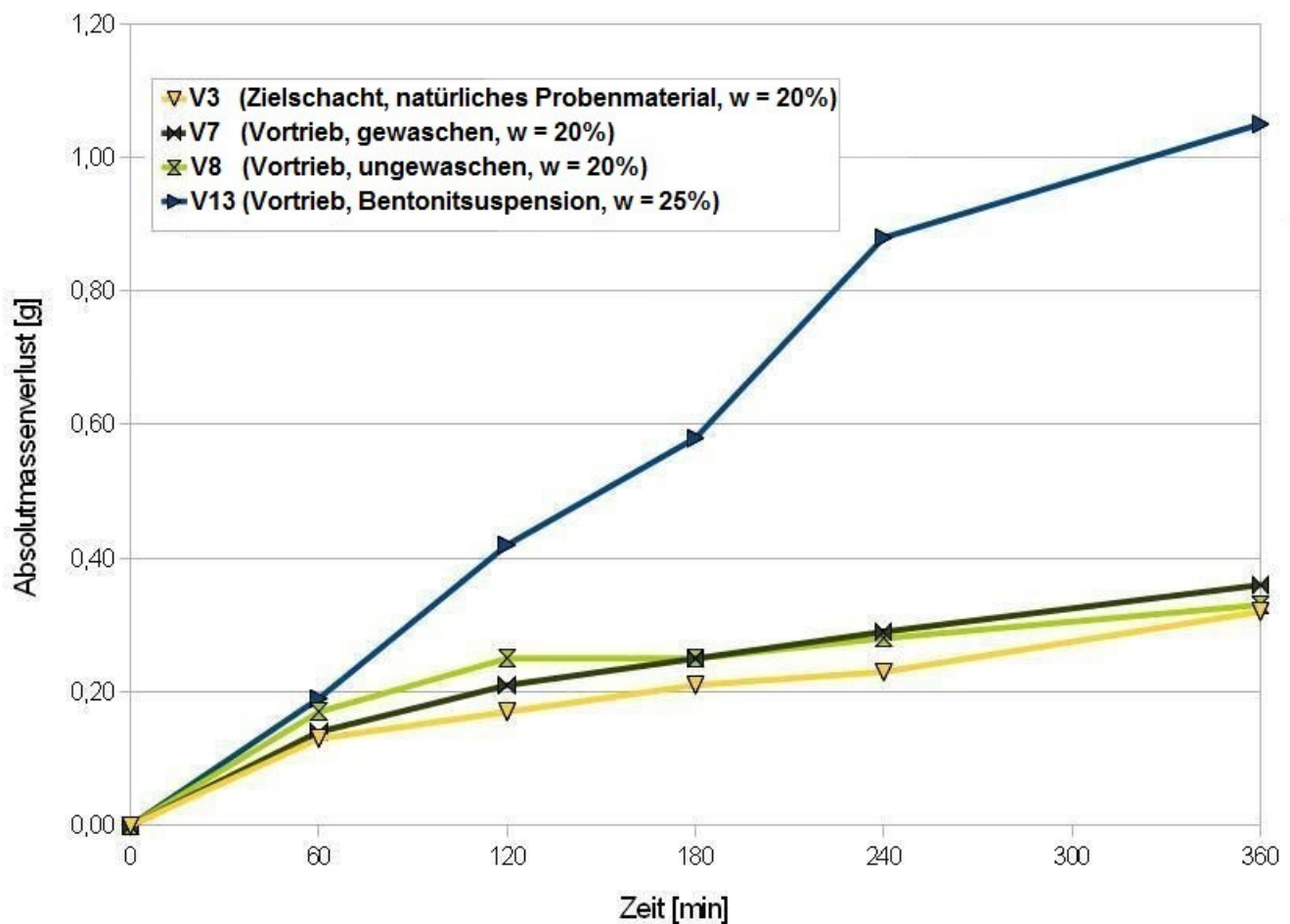


Abbildung 6.7: Verschleißgeschwindigkeit der Versuche mit feinkörnigen Material 0,063 - 4 mm

In Abbildung 6.7 sind nur die Verschleißgeschwindigkeiten der feinkörnigen, „nassen“ (Wassergehalt von ~25%) Versuche dargestellt. Versuch V13 wurde mit Bentonitsuspension vom Vortrieb anstatt mit Leitungswasser durchgeführt. Überraschend ist der deutlich höhere Absolutmassenverlust nach 360 min Versuchszeit. Dies könnte auf einen scharfkantigen Sand- und Bruchkornanteil in der Bentonitsuspension zurückgeführt werden. Zwischen dem Versuch V7 mit gewaschenem Probenmaterial und dem Versuch V8 mit ungewaschenem Probenmaterial zeigten sich keine markanten Unterschiede, wie bei den Mittel- und Grobkiesen (Abb. 6.6). Die Verschleißgeschwindigkeiten der Versuche mit Probenmaterial aus dem Vortrieb (V7, V8, V13) liegen immer leicht über der des Versuches (V3) mit natürlichem Probenmaterial.

Mit den vorliegenden Daten konnte bei Mittel- und Grobkiesen bewiesen werden, dass eine Bentonitsuspension- bzw. eine Wasserzugabe einen höheren Verschleiß am

Drehflügel verursacht, als bei trockenen Versuchen. Bei Sanden und Feinkiesen ist eine markante Abrasivitätssteigerung durch die Zugabe von Bentonitsuspension anstatt von Wasser eindeutig nachweisbar. Weiters ist auch eine Erhöhung der Abrasivität nach dem Abbau mittels Hydro-Schildvortrieb von Sanden und Feinkiesen nachweisbar.

6.2.2 Einfluss der Kornform

Weitere Einflussfaktoren für den Verschleiß sind die Kornverteilung und Kornform. Es wurden die Ergebnisse der Versuche der Kiesfraktion (4 - 32 mm) untereinander verglichen.

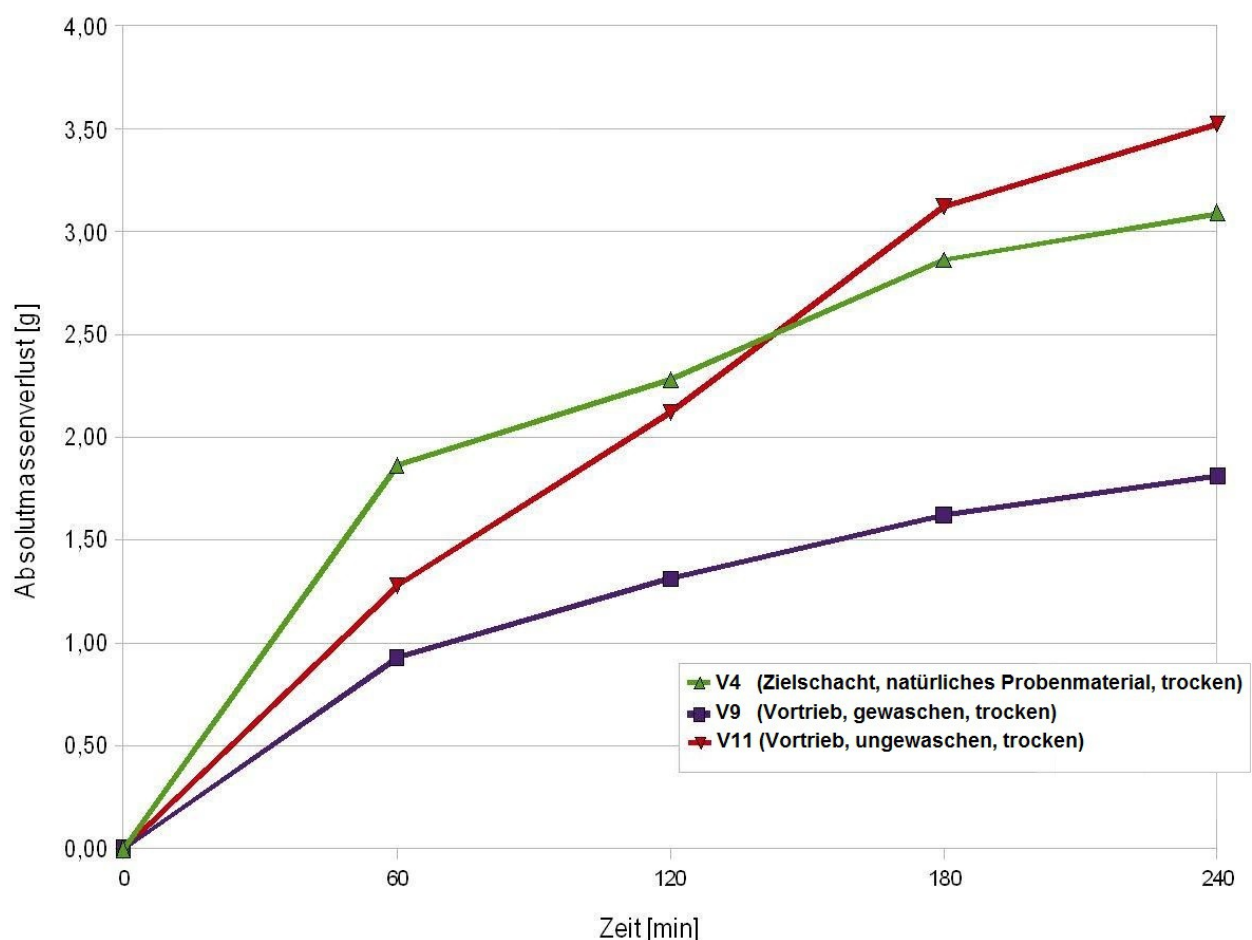


Abbildung 6.8: Gegenüberstellung der „trockenen“ Versuchsergebnisse der Vortriebs- und Zielschachtproben mit Korngröße 4 - 32 mm

In Abbildung 6.8 ist der Versuch V4, die Probe aus dem Zielschacht, den beiden Versuchen mit Material aus dem Vortrieb gegenübergestellt. Obwohl die Vortriebsproben

einen höheren Bruchkorngehalt aufwiesen, zeigten sie in den ersten zwei Stunden des TU Wien Abrasimeterversuches eine geringere Verschleißgeschwindigkeit auf als der Versuch mit der Zielschachtprobe. Danach fällt der Absolutmassenverlust von Versuch V4 geringer als Versuch V11, aber größer als bei Versuch V9 aus. Die Differenz der Absolutmassenverluste von Versuch V4 und V9 beträgt nach 60 min immer um 1 g.

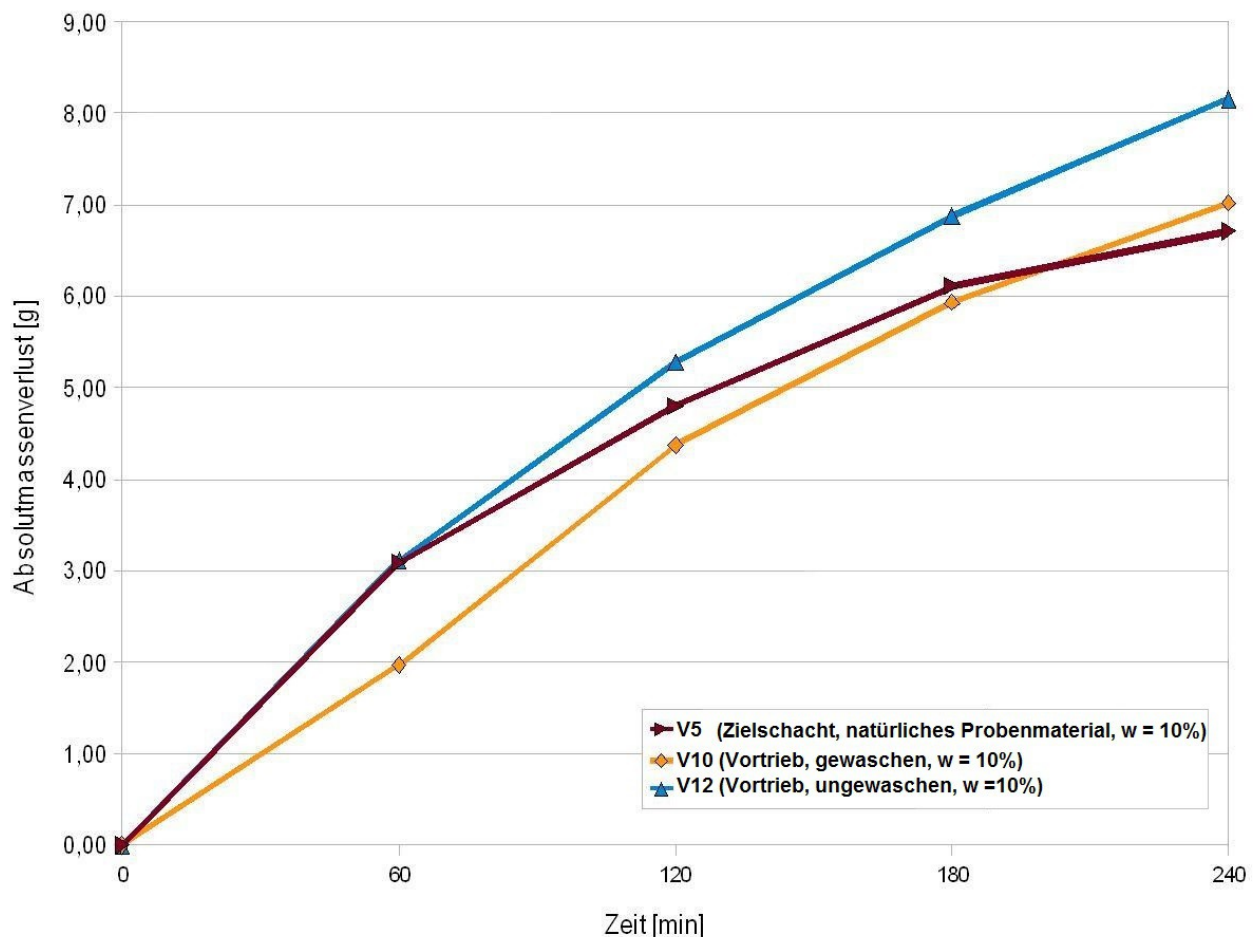


Abbildung 6.9: Gegenüberstellung der „nassen“ Versuchsergebnisse der Vortriebs- und Zielschachtproben mit Korngröße 4 - 32 mm

Der Vergleich der Versuchsergebnisse (siehe Abb. 6.9) zwischen natürlicher, gerundeter Körnung aus dem Zielschacht (V5) und des Materials, das während dem Vortrieb entnommen wurde, zeigte ein sehr interessantes Bild. Der gemessene Drehflügelverschleiß bei dem Versuch mit Zielschachtmaterial (V5) lag zwischen den Werten von ungewaschenem (V12) und gewaschenem (V10) Vortriebsmaterial. Bei allen drei Versuchen lag der Wassergehalt um die 14%.

Die Theorie nach [6], dass Bruchkorn einen höheren Verschleiß als Rundkorn bedingt, kann anhand der Daten aus den durchgeführten Versuchen mit Kies (4 - 32 mm) nicht bestätigt werden. Es hat sich in den durchgeführten Versuchen gezeigt, dass ungewaschene Proben mit anhaftenden Bentonitsuspensionsresten, einen höheren Verschleiß am Drehflügel verursachen, als gewaschene Probekörnungen.

6.3 Vergleich der TU Wien Abrasimeter Versuche mit den LCPC-Versuchen

Um die Verschleißdaten der Drehflügel von TU Wien Abrasimeter und LCPC-Versuch miteinander vergleichen zu können, wurde der Absolutmassenverlust des Drehflügels auf den Verschleißweg bezogen (Verschleißintensität). Tabelle 6.2 stellt die Ergebnisse der LCPC-Versuche, sowohl als A_{Br} -Wert als auch als Verschleißintensität in [g/km], dar. Der durchschnittliche Verschleißweg des äußersten Punktes des Drehflügels nach 5 min beträgt 3,53 km. Dieser Wert ermittelt sich aus der Versuchsdauer von 5 min, multipliziert mit der Umdrehungszahl von 4500 U/min, multipliziert mit dem Umfang des Kreises, den der äußerste Punkt des Drehflügels beschreibt.

	A_{Br} [g/t]	g/km
LCPC1	515	0,07
LCPC2	1072	0,15
LCPC3	1073	0,15
LCPC4	778	0,11
LCPC5	799	0,11
LCPC6	1539	0,22
LCPC7	600	0,09

Tabelle 6.2: A_{Br} -Werte und Verschleißintensität der LCPC-Versuche

Der Versuch LCPC6 wurde mit einem Wassergehalt von 15% durchgeführt und zeigte einen deutlich höheren Verschleiß am Drehflügel im Vergleich zu den trockenen Versuchen. Dies bestätigt wiederum die Erkenntnis nach [6], dass Wasser einen höheren Verschleiß bedingt. Der Versuch LCPC4 wurde ohne anhaftende Suspensionenreste und LCPC5 wurde mit anhaftenden Suspensionenresten durchgeführt (siehe Tabelle 5.6). In diesem Fall konnte keine nennenswerte Veränderung der Abrasivität festgestellt werden, wobei Versuch LCPC4, der mit gewaschenem Material durchgeführt wurde, einen etwas

geringen A_{Br} -Wert zeigte. Der um die Hälfte kleinere A_{Br} -Wert von LCPC1 im Vergleich zu LCPC2 und 3, legt den Schluß nahe, dass die Kornfraktionen größer 32 mm aus einem weicheren Mineral bestanden bzw. einen geringeren Quarzgehalt aufgewiesen hat. Bei dem Versuch LCPC7 wurde Material aus dem Schlitzwandabbruch untersucht. Der A_{Br} -Wert von LCPC7 fiel fast genauso gering aus, wie der A_{Br} -Wert von LCPC1, was auf einen geringen Quarzgehalt schließen läßt.

In Abbildung 6.10 sind die im TU Wien Abrasimeter gemessenen Verschleißintensitäten nach 60 min und die Werte der LCPC-Versuche dargestellt. Für das TU Wien Abrasimeter berechnete sich der mittlere Verschleißweg nach 60 min zu 2,54 km. Es wurde der Messzeitpunkt von 60 min gewählt, da der Verschleißweg von 2,54 km am nächsten bei dem des LCPC-Versuches (3,53 km) lag.

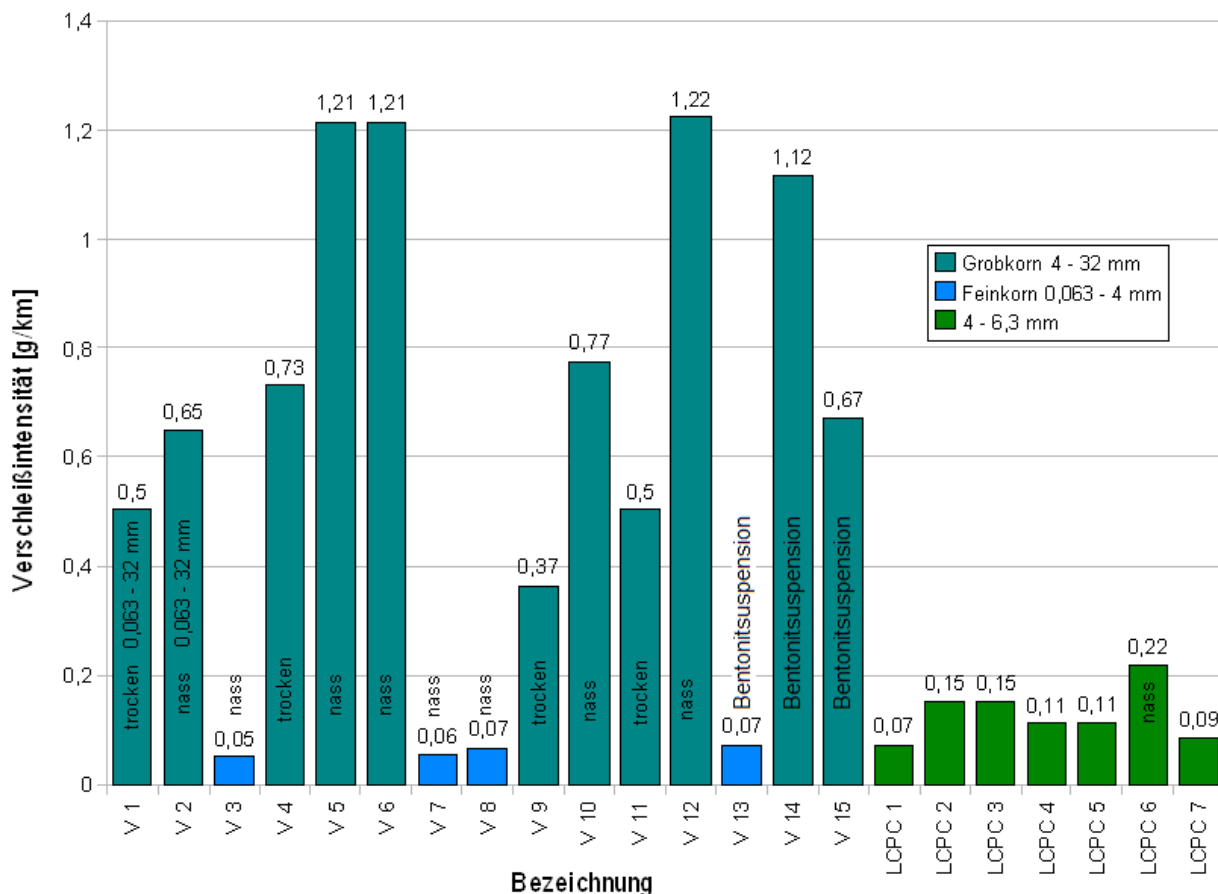


Abbildung 6.10: Gegenüberstellung der Verschleißintensitäten des TU Wien Abrasimeters nach 60 min mit den Verschleißintensitäten des LCPC-Versuches

Aus den in Abbildung 6.10 dargestellten Werten lässt sich ableiten, dass die Verschleißintensität bei den Versuchen mit dem TU Wien Abrasimeter im Mittel wesentlich höher war als die der LCPC-Versuche. Lediglich die Versuche mit feinkörnigem Material (Versuch V3; V7; V8 und V13; maximale Korngröße <4 mm) zeigten ähnlich geringe Verschleißintensitäten, doch diese wurden mit einem Wassergehalt um 20% durchgeführt. Die höheren Verschleißintensitäten bei Versuchen mit Wasserzugabe („nass“) sind sehr gut sowohl bei den TU Wien Abrasimeter als auch bei den LCPC-Versuchen zu erkennen. Aus dem Vergleich der Daten von LCPC-Versuchen mit den TU Wien Abrasimeter Versuchen bestätigt sich die Vermutung nach [6], dass vor allem die Korngröße einen großen Einfluß auf die Abrasivität hat. Somit lässt sich sagen, dass die Ergebnisse der beiden Versuchsaapparaturen nicht direkt miteinander verglichen werden können.

6.4 Vergleich der LCPC-Kennwerte

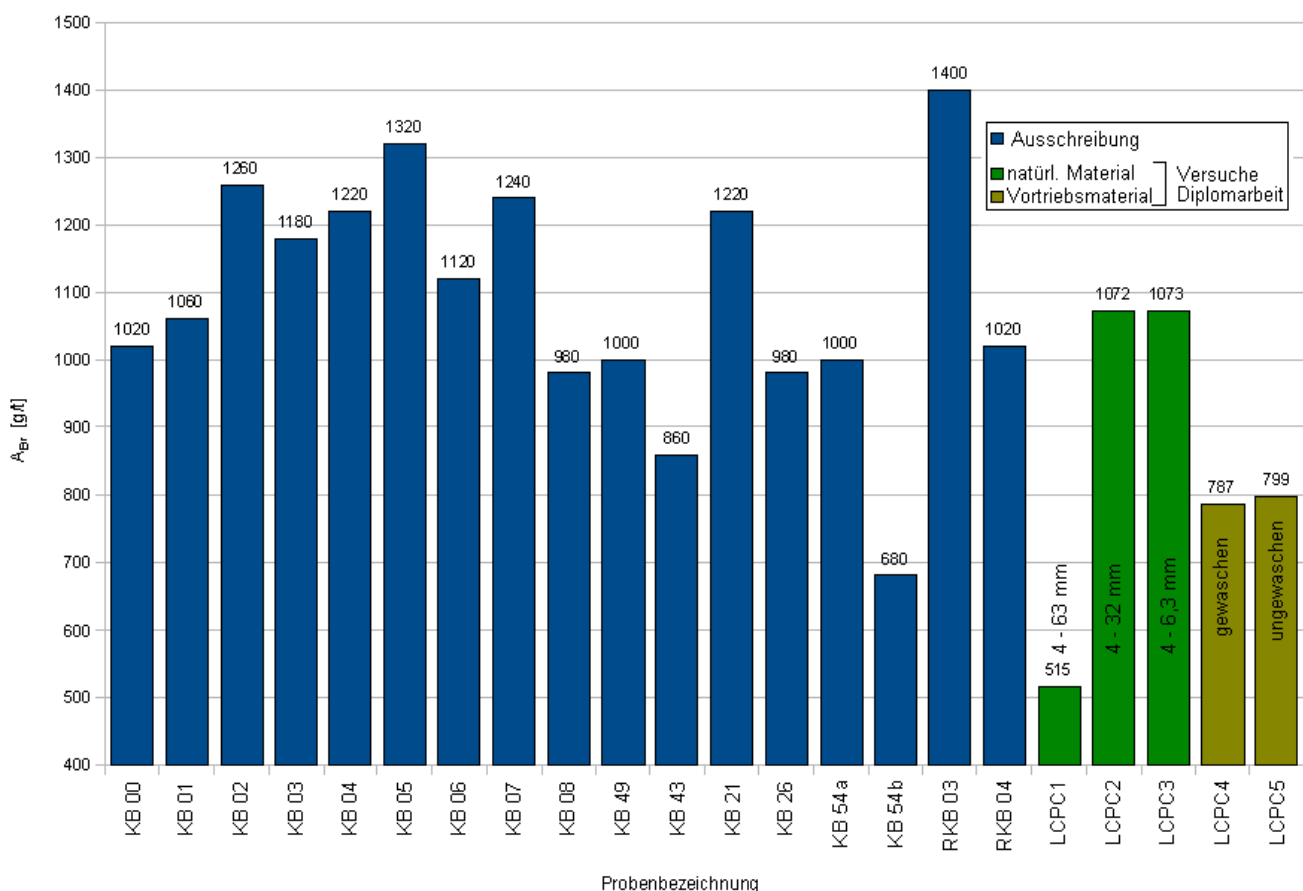


Abbildung 6.11: Gegenüberstellung der LCPC-Kennwerte aus der Ausschreibung mit den im Rahmen dieser Diplomarbeit erstellten LCPC-Kennwerten

In Abbildung 6.11 sind die LCPC-Kennwerte der Ausschreibung und die im Rahmen dieser Diplomarbeit erstellten LCPC-Kennwerte einander gegenübergestellt. Hier wurde auf die Werte der Versuche LCPC6 und 7 verzichtet, da es sich bei LCPC7 um einen Versuch mit nicht natürlichem Bodenmaterial, und bei LCPC6 um einen Versuch mit Wasserzugabe handelt. Die LCPC-Koeffizienten der Proben aus dem Zielschacht lagen in der Bandbreite der LCPC-Koeffizienten der Ausschreibung. Sowohl die Werte aus der Ausschreibung als auch die im Rahmen dieser Diplomarbeit ermittelten Werte zeigen, dass mit einer hohen, bis sehr hohen Abrasivität des Bodens nach [13] zu rechnen war. Die A_{Br} -Werte der Proben aus dem Vortrieb (LCPC4, 5) lagen zwischen den A_{Br} -Werten der Proben aus dem Zielschacht (LCPC1-3) und fielen, bis auf eine Ausnahme (KB54b), kleiner aus, als die Werte aus der Ausschreibung. Im Mittel liegen die A_{Br} -Werte mit Probenmaterial aus dem Vortrieb unter denen mit natürlichem Probenmaterial. Somit lässt sich eine Reduzierung der Abrasivität des Bodens nach dem Abbau feststellen, wenn der Versuch ohne Wasserzugabe durchgeführt wird.

6.5 Zusammenfassung der Ergebnisse der TU Wien

Abrasimeterversuche

Die durchgeführten TU Wien Abrasimeterversuche und LCPC-Versuche haben zusammenfassend folgende Ergebnisse hinsichtlich der Veränderung der Abrasivität des Bodens nach dem Abbau mittels Hydro-Schildvortriebes gezeigt:

- Der Zusatz von Bentonitsuspension erhöhte die Abrasivität an den gesamten Proben.
- Es konnte durch die „nassen“ Versuche gezeigt werden, dass ein Wassergehalt von 10 - 20% die Abrasivität erhöht, was nach [6] bereits bekannt ist.
- Die durchgeführten Versuche haben eine leichte Erhöhung der Abrasivität der Sand und Feinkies-Fraktion nach dem Abbau gezeigt (siehe Abb. 6.7). Die Versuchsergebnisse bestätigen die Aussage von [27]: „Die Abrasivität der feinkiesigen Sand-Fraktion wird infolge des Boddenabbaus im Vortrieb erhöht, was auf die Zunahme des Anteils an gebrochenen Körnern zurückzuführen ist“ [27].

- Die Abrasivität der Mittel- und Grobkies-Fraktion zeigte nach dem Abbau, trotz des höheren Anteils an Bruchkorn, bei den „nassen“ Versuchen ein interessantes Bild. Bei Versuch V12 wurde die Abrasivität im Vergleich zum natürlichen Probenmaterial aus dem Zielschacht erhöht und bei dem Versuch V10 vermindert (siehe Abb. 6.9). Bei den „trockenen“ Versuchen lag die Verschleißgeschwindigkeit der Versuche mit Probenmaterial aus dem Vortrieb in den ersten zwei Stunden unter der Verschleißgeschwindigkeit des Versuches mit natürlichem Probenmaterial (siehe Abb. 6.8). Danach lag die Verschleißgeschwindigkeit des Versuches mit natürlichem Probenmaterial zwischen den Verschleißgeschwindigkeiten der Versuche mit Probenmaterial aus dem Vortrieb. Diese Versuchsergebnisse bestätigen wiederum die Aussage von [27]: „Die Abrasivität der feinkiesigen Mittel-Grobkies-Fraktion bleibt – trotz Erhöhung des Anteils an gebrochenen Körnern – durch den Vortrieb in etwas unverändert, was eventuell auf die Reduktion des Größtkorns in der Kornmischung zurückzuführen ist“ [27].
- Ein direkter Vergleich der Verschleißintensitäten von LCPC-Versuch und TU Wien Abrasimeterversuch ist nicht möglich.
- Die im LCPC-Versuch ermittelte Abrasivität der Feinkies-Fraktion deutet auf eine Verminderung dieser durch den Abbau hin (siehe Abb. 6.11).

7 Vergleich von Laborwerten und vorhandenem Werkzeugverschleiß der Rohrpressung

Im folgenden Kapitel werden die im Labor ermittelten Verschleißdaten des Drehflügels den bekannten Verschleißdaten des Vortriebes gegenübergestellt und analysiert.

7.1 Vergleich der tribologischen Systeme

Um die Daten besser vergleichen und interpretieren zu können, müssen zuerst die Unterschiede der beiden tribologischen Systeme aufgezeigt werden. In Abbildung 7.1 sind die wichtigsten Parameter für die weitere Unterscheidung der Systeme eingetragen.

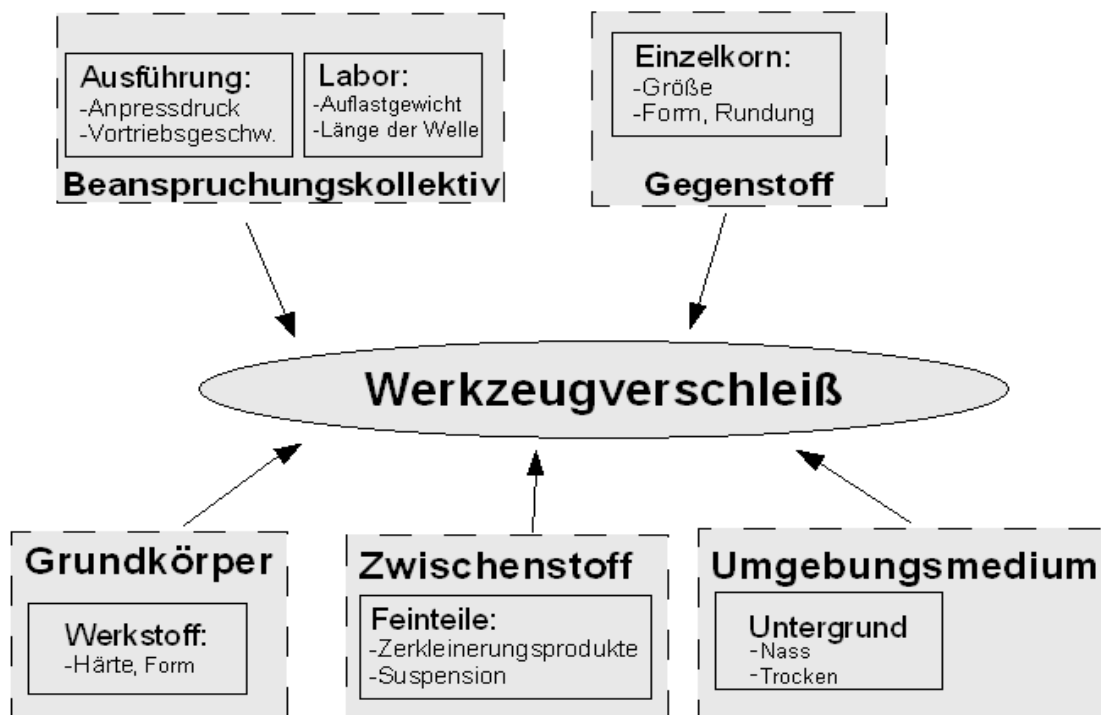


Abbildung 7.1: Tribologisches System des Schneidrades der Vortriebsmaschine und des Drehflügels des TU Wien Abrasimeters für die Analyse adaptiert nach [28]

7.1.1 Tribologisches System TU Wien Abrasimeter

Hierbei handelt es sich um ein **geschlossenes Tribosystem**, also keine frische Körnung wird als Gegenstoff zugeführt. Durch diesen Umstand verändert sich natürlich der Parameter "Gegenstoff" mit fortschreitender Versuchsdauer. Weiters ändern sich auch die Parameter "Zwischenstoff" und "Umgebungsmedium" über die Zeit, da diese an den Parameter "Gegenstoff" gekoppelt sind. Das Beanspruchungskollektiv ist als konstant anzusehen.

7.1.2 Tribologisches System Rohrpressung

Im Gegensatz zum Tribosystems des TU Wien Abrasimeters handelt es sich hier um ein **offenes System**, bei dem immer neues, frisches Abrasivgut zugeführt wird. In diesem System ist der Parameter "Umgebungsmedium" als konstant anzunehmen, hingegen das "Beanspruchungskollektiv" ist als variabel zu sehen.

7.1.3 Unterschiede der Systeme

7.1.3.1 Gegenstoff

Der größte Unterschied der beiden Systeme ist der Umstand, dass das Eine ein offenes und das Andere ein geschlossenes Tribosystem darstellt. Bei einem offenen System ist eine höhere Verschleißintensität zu erwarten, da hier durch den Neueintrag von grobkörnigen Abrasivgut eine Dämpfung der Verschleißgeschwindigkeit durch Feinteile nicht zu erwarten ist. Diese Erwartung wurde durch die gesammelten Daten und deren Gegenüberstellung in Tabelle 7.1 bestätigt, da hier die Verschleißintensitäten des offenen Systems (Vortrieb) weit größer waren als die der geschlossenen Systeme (TU Wien Abrasimeter und LCPC-Versuch)

7.1.3.2 Beanspruchungskollektiv

Beim Beanspruchungskollektiv liegt der Unterschied bei den Belastungen der Werkzeuge. Während diese bei dem TU Wien Abrasimeter über die gesamte Dauer als konstant angesehen werden können, ergeben sich beim Vortrieb große Änderungen. Im

Besonderen sind hier die Vortriebsgeschwindigkeit und der Anpressdruck von großer Bedeutung.

7.1.3.3 Grundkörper

Die Grundkörper unterscheiden sich durch den verwendeten Stahl, die Form und die Größe. Vom Hersteller wurden keine Angaben über den genauen Stahl bekannt gegeben, aber es muss davon ausgegangen werden, dass zumindest Werkzeugstahl verwendet wurde. Dieser Stahl ist auf jedenfall härter, als der in den Versuchen verwendete.

7.1.3.4 Umgebungsmedium und Zwischenstoff

Bei beiden Systemen war Bentonitsuspension bzw. Wasser, als auch Feinteile als Zwischenmedium vorhanden. Bei dem TU Wien Abrasimeter nahmen die Feinteile aber über die Zeit zu, während der Feinteilgehalt beim Vortrieb variierte.

Das Umgebungsmedium war bei beiden Systemen relativ ähnlich, wobei sich beim TU Wien Abrasimeter dieses auch mit der Zeit veränderte. Auf diesen Umstand wurde schon in 7.1.3.1 eingegangen, da beim TU Wien Abrasimeter das Versuchsmaterial sowohl Gegenkörper als auch Umgebungsmedium darstellt. Somit ist eine Trennung dieser beiden Parameter im Versuch schwierig.

7.2 Interpretation Abrasivität und Verschleiß

In Tabelle 7.1 sind die Verschleißintensitäten des Rohrvortriebes mit den gemessenen Verschleißintensitäten im TU Wien Abrasimeter und der LCPC-Versuche gegenübergestellt. In diesem Fall in g/km um einen vergleichbaren Wert zu erhalten. Um eine bessere Vergleichbarkeit zwischen den Werten des TU Wien Abrasimeter und den Werten der Rohrpressung zu erhalten, wurden für die Berechnung der Verschleißbetrag nach 60 min gewählt. Die zurückgelegte Strecke des TU Wien Abrasimeter Drehflügels beträgt 2,54 km. Hintergrund hierfür ist die Überlegung, dass das Schneirad immer mit frischem, großkörnigem Abrasivgut in Kontakt kam, und deshalb die Messwerte nach den ersten 60 min Versuchszeit am ehesten diesen Umstand widerspiegeln, da sich hier bei allen Versuchen die größte Verschleißgeschwindigkeit eingestellt hat. Die Verschleißwerte aus dem Vortrieb und deren Herleitung sei auf Tabelle 4.3 verwiesen.

Versuchsnr.	Verschleißintensität [g/km]			
	TU Wien Abrasimeter	LCPC	Vortrieb	
1	0,5	0,07	42,47	Kaliberdiske
2	0,65	0,15	2,47	J H Schäl- messer
3	0,05	0,15	14,96	
4	0,73	0,11	12,74	Räumer
5	1,21	0,11	19,11	
6	1,21	0,22	14,87	
7	0,06	0,09	18,05	
8	0,07		10,62	
9	0,37		18,05	
10	0,77		9,56	
11	0,5		16,99	
12	1,22			
13	0,07			
14	1,12			
15	0,67			

Tabelle 7.1: Gegenüberstellung der Verschleißintensitäten

Klar sind die markant höheren Verschleißintensitäten bei der Rohrpressung zu erkennen. Obwohl ein härterer Stahl als in den Laborversuchen verwendet wurde, sind die Verschleißintensitäten um mindestens einen Faktor von 10 höher. Im Vergleich zu den LCPC-Werten liegt dieser Faktor teilweise sogar bei über 35. Dies lässt sich mit der Überlegung erklären, dass beim Bodenabbau wesentlich gröbere Körnungen (>63 mm) angetroffen wurden, als das im Labor untersuchte Material. Weiters kommen auch noch die in Kapitel 7.1 dargestellten Unterschiede hinzu. Die ständige Neuzuführung einer Körnung >63 mm und in weiterer Folge die großen, scharfkantigen Bruchstücke dieser, scheinen einen hohen Verschleiß zu begünstigen. Das legt den Schluss nahe, dass die Korngröße wahrscheinlich einer der wichtigsten maßgebenden Punkte bei der Untersuchung von Werkzeugverschleiß ist. Es muss aber darauf hingewiesen werden, dass es sich bei der Verschleißintensität des Vortriebes nur um einen gemittelten Wert handelt, da es nicht möglich ist, den Verschleiß in den einzelnen Abschnitten zu messen. Es wurde nicht nur ungestörter Boden durchörtert, sondern auch zwei Schlitzwände (Start- und Zielschacht) und DSV-Zwischenschächte sowie ein Testfeld der Stabilisierungsinjektionen. Es ist daher schwer zu bestimmen, welcher Abschnitt hier besonderen Einfluss auf den Verschleiß hatte. Wie bei Versuch V6 zu sehen ist, besitzt der Schlitzwandabbruch eine durchaus höhere Abrasivität als der natürliche Boden.

7.3 Schlussfolgerung

Die gewonnenen Messdaten und die Auswertung dieser zeigen eindeutig, dass der Werkzeugverschleiß sehr von der anzutreffenden Korngröße abhängig ist. Die Verschleißbeträge des LCPC-Versuches und des TU Wien Abrasimeters liegen deutlich unter denen der im Vortrieb ermittelten. Bisher wurde der Einfluss von Bentonitsuspension und Wasser als schmierend und dadurch verschleißmindernd angesehen. Mit den durchgeführten Versuchen und der Auswertung der Vortriebsdaten muss diese Meinung aber revidiert werden. Bentonitsuspension und Wasser erhöhen den Verschleiß. Diese Behauptung wird eindeutig durch die Versuchsergebnisse mit dem TU Wien Abrasimeter bestätigt.

Es ist sehr schwierig, wenn nicht sogar unmöglich, bei dem jetzigen Stand der Technik, von der im Labor bestimmten Abrasivität des Bodens auf den zu erwartenden Verschleiß eines Hydroschildes zu schließen, da es sich bei einem Rohrvortrieb um ein sehr komplexes tribologisches System handelt (siehe Abb. 7.1).

8 Zusammenfassung und Ausblick

8.1 Zusammenfassung

Derzeit gibt es keine zuverlässigen Methoden für die Prognose des zu erwartenden Verschleißes bei Vortriebsarbeiten im Lockergestein. Hochabrasive Böden richten bei Abbauwerkzeugen große Schäden an und verursachen teure Reparaturarbeiten und stören den Bauablauf. Daher ist die Quantifizierung der Abrasivität und des zu erwartenden Verschleißes bei der Planung und Kalkulation von Tiefbauprojekten von großer Bedeutung.

Im Rahmen der vorliegenden Diplomarbeit wurde die im Labor ermittelte Abrasivität des rezenten Donauschotters und dessen Veränderung durch Wasser und Suspensionszugabe untersucht. Weiters wurden diese Daten mit dem stattgefundenen Verschleiß an den Abbauwerkzeugen eines Schneirades verglichen, um eine mögliche Korrelation zu finden. Hierfür wurden fünfzehn Versuche mit dem TU Wien Abrasimeter durchgeführt, mit Körnungen im Bereich von 0,063 bis 32 mm, die aus dem Aushub des Pressrohrvortriebes entnommen wurden. Weiters wurden mit diesen Proben auch sieben LCPC-Versuche durchgeführt.

Im Hinblick auf die Veränderung der Abrasivität konnten durch die durchgeführten Versuche folgende Ergebnisse gewonnen werden:

1. Die Zugabe von Bentonitsuspension erhöht im Regelfall die Abrasivität.
2. Ein Wassergehalt von 10 - 20% erhöht Abrasivität, was nach [6] bereits bekannt ist.
3. Die durchgeführten Versuche haben eine leichte Erhöhung der Abrasivität der Sand und Feinkies-Fraktion gezeigt.
4. Die Abrasivität der Mittel- und Grobkies-Fraktion wurde, trotz des höheren Anteils an Bruchkorn, sowohl erhöht als auch vermindert.
5. Mit den LCPC-Versuchen konnte eine Reduzierung der Abrasivität nach dem Abbau bei der Feinkies-Fraktion festgestellt werden. Dies trifft aber nur zu, wenn der Versuch ohne Wasserzugabe durchgeführt wird.

6. Ein direkter Vergleich der Verschleißintensitäten von LCPC-Versuch und TU Wien Abrasimeterversuch ist nicht möglich

Aus dem Vergleich der gewonnen Abrasivitätsdaten mit dem stattgefundenen Werkzeugverschleiß konnten folgende Ergebnisse abgeleitet werden:

1. Die Verschleißintensitäten aus dem Labor (TU Wien Abrasimeter, LCPC-Versuch) liegen weit unter denen des durch den Bodenabbaues verursachten.
2. Eine Aussage über die Abschätzung des zu erwartenden Verschleißes nur über die Abrasivität des Bodens zu treffen ist unmöglich.

8.2 Ausblick

In Zukunft empfiehlt es sich, die Messzeitpunkte für das TU Wien Abrasimeter auf 30, 60 und 90 min zu verkürzen. Für eine genauere Abschätzung des zu erwartenden Verschleißes könnten diese Abrasivitätswerte mit Korrekturwerten, die je nach Bauverfahren ermittelt werden müssten, beaufschlagt werden. Der LCPC-Versuch beschreibt den derzeitigen Stand der Technik, ist aber für eine genaue Verschleißabschätzung ungeeignet.

Für die Ermittlung der oben genannten Korrekturwerte sind aber umfangreichere Messungen und weitere Forschungen notwendig. Zwei große Einflussfaktoren, auf die Augenmerk gelegt werden sollte, sind die Korngröße und der Einfluss von Wasser beziehungsweise von Suspension. Messdaten, die für die Ermittlung der Korrekturwerte dienlich sein können, wären zum Beispiel der Anpressdruck der einzelnen Disken und Schälmesser an die Ortsbrust. Eine genauere Aufzeichnung der Vortriebsdaten, besonders die Umdrehungen des Schneidrades während sich die Maschine im Vortrieb befindet, würde der Ermittlung von Korrekturwerten sehr zu gute kommen.

9 Literaturverzeichnis

- [1] Österreichische Vereinigung für grabenloses Bauen und Instandhalten von Leitungen: ÖGL Regelwerk - Technische Richtlinie: ÖGL TR-101 Rohrvortrieb mit offenem Schild; 2010
- [2] Gesellschaft für Tribologie e.V.: Arbeitsblatt 7: Tribologie, Verschleiß, Reibung (Definitionen, Begriffe, Prüfung) – Aachen, 2002
- [3] Sommer K., Heinz R., Schöfer J.: Verschleiß metallischer Werkstoffe; Wiesbaden, Vieweg+Teubner, 2010
- [4] Heinrich R.: Untersuchungen zur Abrasivität von Böden als verschleißbestimmender Kennwert; Dissertation - Freiberg, 1995
- [5] Uetz H.: Verschleiß durch körnige mineralische Stoffe; Aufbereitungstechnik 3/1969, Seite 130-140
- [6] Wellinger K., Uetz H.: Gleitverschleiß, Spülverschleiß. Strahlverschleiß unter der Wirkung von körnigen Stoffen; VDI-Forschungsheft 449, 1955
- [7] ÖNORM EN 933-5: 2005-04-01 Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 5: Bestimmung des Anteils an gebrochenen Körnern in groben Gesteinskörnungen
- [8] Riehle M., Simmchen E.: Grundlagen der Werkstofftechnik; Stuttgart, Dt. Verlag für Grundstoffindustrie, 2000
- [9] Adam D.: Grundbau und Bodenmechanik I; Vorlesungsskriptum, 2010
- [10] NF P 18-579: 1990-12; Granulats, Essai d'abrasivité et broyabilité
- [11] Plinniger R., Kässling H., Thuro K., Spaun G.: Versuchstechnische und geologische Einflussfaktoren beim CHERCHAR-Abrasivitätstest (CAI); Geotechnik 2/2002, 2002, Seite 110 - 113
- [12]
https://www.shannonsminerals.com/shop/media/catalog/product/cache/4/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/1331307119_19830.jpg; 07.08.2012
- [13] Thuro K., Singer J., Kässling H., Bauer M.: Abrasivitätsuntersuchungen an Lockergesteinen im Hinblick auf die Gebirgslösung; Bremen, 2006
- [14] Drucker P.: Einfluss der Abrasivität von Lockergestein auf den maschinellen Rohrvortrieb; ÖGL-Symposium - Saalfelden, 19. und 20. Oktober 2010, Seite 51-62

- [15] Drucker P.: Abrasivität und Verschleiß - Baugrund vs. Verfahrensrisiko; VÖBU Bauinnung; schriftliche Vertragsfassung - Wien, 19. Oktober 2011
- [16] Österreichische Vereinigung für Beton und Bautechnik: Mitteilungen - Februar 2011, Seite 15
- [17] <http://www.igb.tuwien.ac.at/forschung/aktuelle-projekte/details/news/das-tu-abrasimeter.html>; 25.05.2012
- [18] Gobrecht J.: Werkstofftechnik - Metalle; München, Oldenbourg Verlag, 2006
- [19] Nehybova E.: Orientierungsversuche mit dem TU-Abrasimeter zur Untersuchung von Lockergesteinsabrasivität; Wien, 2011, TU Wien, Diplomarbeit Institut für Geotechnik
- [20] Geologisch – Geotechnisches Gutachten für das Ausschreibungsprojekt ASPERNER SAMMELKANAL- ENTLASTUNGSKANAL UND HEBEWERK in 1220 Wien, Biberhaufenweg, Primavesigasse und Raffineriestraße (Seiten 1-34, inkl. Anlagen 6 und 7)
- [21] Adam D.: 3. Tunnelbau im Festgestein und Lockergestein; Vorlesungsskriptum, 2010
- [22] Schad H., Bräutigam T., Bramm St.: Rohrvortrieb - Durchpressung begehrter Leitungen; Berlin, Verlag Ernst & Sohn, 2008
- [23] Maidl B., Wehrmeyer G.: Taschenbuch für den Tunnelbau Band I; Essen, Verlag Glückauf, 1998
- [24] Drucker P., Adam D.: Zwischenbericht zum Forschungsprojekt Verschleiß an Werkzeugen beim Pressrohrvortrieb; Wien, 29.06.2011
- [25] Babendererde L.: Schwachstellen beim Betreiben von Vortriebsmaschinen mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust: Ursachen, Folgen und Maßnahmen zur Behebung; Düsseldorf, 1999
- [26] Drucker P.: mündliche Information am 03.09.2012; Institut für Geotechnik, TU Wien
- [27] Schultze E., Muhs H.: Bodenuntersuchungen für Ingenieurbauten; Heidelberg, New York, Springer Berlin, 1967
- [28] Drucker P., Adam D.: Abrasivität und Werkzeugverschleiß am Beispiel eines Pressrohrvortriebs in Wien; ÖGL-Symposium - Kitzbühel, 2012
- [29] Drucker P.: Abrasivität von Lockergestein und der Werkzeugverschleiß im Tief- und Tunnelbau; Österr. Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift, 156. Jg., Heft 1-6/2011 und Heft 7-12/2012, 2011, Seite 1-7

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Tribosystem mit den kennzeichnenden Elementen nach [3].....	4
Abbildung 2.2: Beispiele für Tribosysteme nach [3] , Systemeinhüllende strichpunktiert, (1) Grundkörper, (2) Gegenkörper, (3a) Zwischenstoff, (3b) Umgebungsmedium.....	5
Abbildung 2.3: Verschleißmechanismen [3].....	8
Abbildung 2.4: Einteilung der Beanspruchungsarten bei Anwesenheit von Abrasivstoffen in Zweikörper-Abrasivverschleiß und Dreikörper-Abrasivverschleiß nach [3].....	11
Abbildung 2.5: Schema des Verschleißtopf- und Schleifpapierversuchs [4].....	13
Abbildung 2.6: Einfluss der Korngröße auf das Verschleißverhalten [6].....	15
Abbildung 2.7: Einfluss der Kornform auf den Verschleiß[6].....	17
Abbildung 2.8: Typisches Hoch-/Tieflage Verhalten in Abhängigkeit der Härte des Abrasivgutes [8].....	18
Abbildung 2.9: Einfluss der Befeuchtung auf den Verschleiß durch Sande adaptiert nach [6].....	20
Abbildung 3.1: Cerchar - Abrasivitätstestgerät (rechts) und Binokular (links) für die Ermittlung des CAI [12].....	22
Abbildung 3.2: Aufbau TU Wien Abrasimeter [17]	24
Abbildung 3.3: TU Wien Abrasimeter ohne Drehflügel und Versuchsbehälter.....	25
Abbildung 4.1: Prinzipskizze einer Rohrpressung [22].....	30
Abbildung 4.2: AVND 1600 im Startschacht Projekt ASKE.....	31
Abbildung 4.3: Prinzip der Flüssigkeitsstützung nach [23].....	32
Abbildung 4.4: Schneidrad vor und nach erster Haltung [24].....	34

Abbildung 4.5: Verschleiß an Kaliberdiske und Stahlprisma [24].....	35
Abbildung 4.6: Verschleiß an den Schälmessern [24].....	36
Abbildung 4.7: Verschleißbild der Räumern [24].....	37
Abbildung 4.8: Schneidradrückseite mit Brecherleisten (rot umrandet).....	37
Abbildung 4.9: Brecheraum; deutlich sind die Brecherleisten als silbrige Streifen zu erkennen. Die Öffnungen im unteren Viertel sind der Rechen des Brecherraumes.....	38
Abbildung 4.10: Materialeintrittsöffnung an der Schneiradseite [24].....	39
Abbildung 5.1: Schüttkegel der Separieranlage.....	42
Abbildung 5.2: Körnungslinien der Zielschachtproben 472/ZS (A) bis (F) [24].....	44
Abbildung 5.3: Körnungslinien Feinteile (nach Separieranlage) Nr. 472/1;4;6;8;9;11;14;15;17.....	45
Abbildung 5.4: Körnungslinien Grobteile (nach Separieranlage) Nr. 472/2;3;5;7;10;12;13;16;18.....	45
Abbildung 5.5: Gummidichtung am Auflastring.....	49
Abbildung 5.6: Verschiedene Passstücke 1) der Welle mit Endschraubbolzen 2), Drehflügel 3) und Kunststoffgleitlager 4).....	50
Abbildung 5.7: Nut und Gleitlagerring am Boden des Versuchtopfes.....	50
Abbildung 5.8: Links: Bruchbild der Fixierschraube des 70 mm Passstückes; Mitte: Umwicklung der Welle mit Gummidichtung; Rechts: Bruchbild der Fixierschraube des 45 mm Passstückes.....	54
Abbildung 5.9: Körnungslinie Versuch Nr.3 vor Beginn und nach Abbruch des Abrasimeter-Versuches.....	55
Abbildung 5.10: Hohe scheinbare Kohäsion des Feinkieses bei Versuch Nr.3.....	56

Abbildung 5.11: Verschlossener Gleitlagerring.....	57
Abbildung 6.1: Körnungslinie V9 (trocken).....	60
Abbildung 6.2: Körnungslinie V10 (nass).....	61
Abbildung 6.3: Körnungslinie V7 (gewaschen, nass).....	62
Abbildung 6.4: Körnungslinie V2 (nass).....	63
Abbildung 6.5: Verschleißgeschwindigkeiten der Körnungen 4-32 mm.....	65
Abbildung 6.6: Verschleißgeschwindigkeiten der Versuche mit gewaschenem (grün) und ungewaschenem (rot) Probenmaterial, 4 – 32 mm (nass und trocken).....	66
Abbildung 6.7: Verschleißgeschwindigkeit der Versuche mit feinkörnigen Material 0,063 - 4 mm.....	67
Abbildung 6.8: Gegenüberstellung der „trockenen“ Versuchsergebnisse der Vortriebs- und Zielschachtproben mit Korngröße 4 - 32 mm.....	68
Abbildung 6.9: Gegenüberstellung der „nassen“ Versuchsergebnisse der Vortriebs- und Zielschachtproben mit Korngröße 4 - 32 mm.....	69
Abbildung 6.10: Gegenüberstellung der Verschleißintensitäten des TU Wien Abrasimeters nach 60 min mit den Verschleißintensitäten des LCPC-Versuches	71
Abbildung 6.11: Gegenüberstellung der LCPC-Kennwerte aus der Ausschreibung mit den im Rahmen dieser Diplomarbeit erstellten LCPC-Kennwerten.....	72
Abbildung 7.1: Tribologisches System des Schneidrades der Vortriebsmaschine und des Drehflügels des TU Wien Abrasimeters für die Analyse adaptiert nach [28].....	75

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Gliederung des Verschleißgebietes in Anlehnung an GFT-Arbeitsblatt 7 nach [3].....	6
Tabelle 2.2: Bezeichnung des Rundungsgrades nach [7].....	16

Tabelle 3.1: Gegenüberstellung des LCPC-Abrasivitätskoeffizienten LAK (= ABr) und des Cerchar-Abrasivitäts-Index CAI nach [13].....	23
Tabelle 4.1: LCPC-Werte adaptiert nach [20].....	28
Tabelle 4.2: Massenverluste der Werkzeuge[24].....	35
Tabelle 4.3: Vortriebsdaten und Verschleißwege.....	40
Tabelle 5.1: Übersicht der Boden- und Suspensionsproben [24].....	43
Tabelle 5.2: Mineralogische Zusammensetzung des Bodens [25].....	46
Tabelle 5.3: Kornform gem.[26].....	47
Tabelle 5.4: Veränderungen am TU Wien Abrasimeter.....	51
Tabelle 5.5: Im Rahmen der Diplomarbeit durchgeführtes Versuchsprogramm mit dem TU Wien Abrasimeter.....	52
Tabelle 5.6: Durchgeführtes Versuchsprogramm der LCPC Versuche.....	58
Tabelle 6.1: Absolutmassenverluste der Drehflügel nach 240 min.....	64
Tabelle 6.2: ABr-Werte und Verschleißintensität der LCPC-Versuche.....	70
Tabelle 7.1: Gegenüberstellung der Verschleißintensitäten.....	78

12 Anhang

12.1 Probenahmeprotokolle

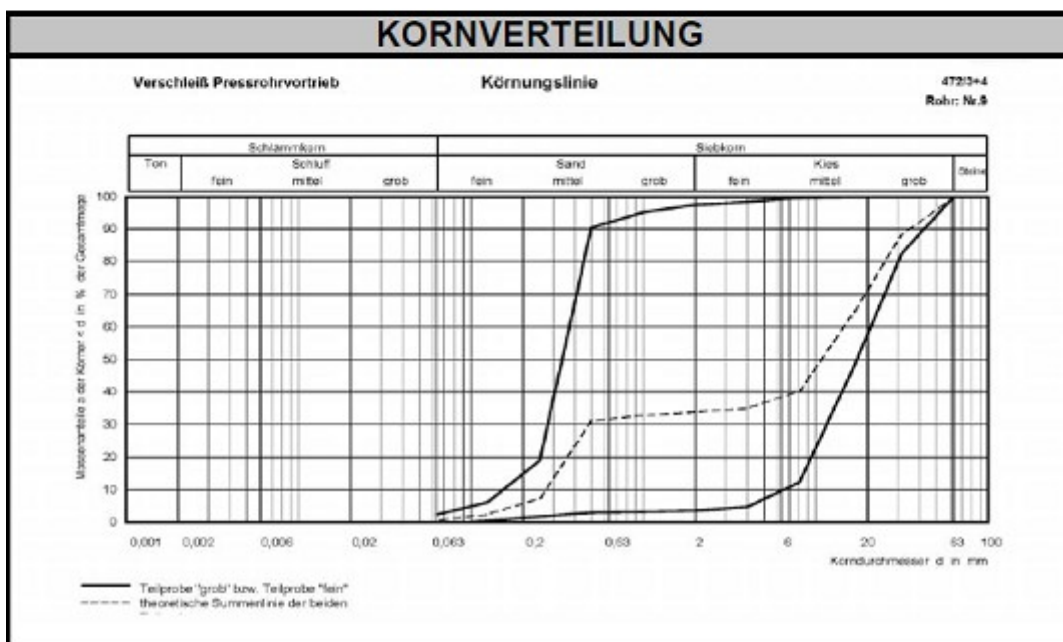
PROBENNAHMEPROTOKOLL			
Baustelle: Asperner Sammelkanal Rohrpressung - Haltung 1		Bearbeiter: MH, PD	Datum: 16.02.2011 Uhrzeit: ca. 14:00
Probenbezeichnung:		Beschreibung:	
472 / 1		nach Separierung, Feinmaterial	
472 / 2		nach Separierung, Grobmaterial	
472 / S1		Fördersuspension nach Vortrieb	
Anmerkungen zu den Proben:			
Anmerkungen zur Probenentnahme:			
Vortriebsstand / Rohrnummer:		NL 1	
Vorkommnisse während Vortrieb:		<i>kein Regelvortrieb</i>	
Maschinendaten während Vortrieb:			
Umdrehungsgeschw.:		4,8 - 5 U/min	
Drehmoment:		-	
Letzte Suspensionsprüfung:		Datum: 16.02.2011	
Suspensionsdichte:		1,03 g/cm³	
Viskosität:		-	
Marshzeit, etc:		576 s (Messfehler?)	
Filtratwasserabg.:		5,4 ml	

SUSPENSIONSPRÜFUNG			
Baustelle: Asperner Sammelkanal Rohrpressung - Haltung 1		Bearbeiter: MH, PD	Probe: 472/ S1 Datum: 17.02.2011
Dichte Suspension:			
$m_s + T = 1291,2$ g		Tara = 263,9 g	
$m = 1027,3$ g		$V_s = 1000$ cm³	
$\rho_s = 1,0273$ g/cm³			
Marsh-Zeit:	245 s	Filtratwasserabgabe:	4,6 g

KORNVERTEILUNG																			
Verschleiß Pressrohrvortrieb		Körnungsline																	
		472/1-2 Rohr: NL1																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="4">Schüßerkorn</th> <th colspan="4">Siebkorn</th> </tr> <tr> <th>Ton</th> <th>fein</th> <th>Schluff mittel</th> <th>grob</th> <th>fein</th> <th>Sand mittel</th> <th>grob</th> <th>Stein</th> </tr> </thead> </table>				Schüßerkorn				Siebkorn				Ton	fein	Schluff mittel	grob	fein	Sand mittel	grob	Stein
Schüßerkorn				Siebkorn															
Ton	fein	Schluff mittel	grob	fein	Sand mittel	grob	Stein												
—— Teilprobe "grob" bzw. Teilprobe "fein" ----- theoretische Summenlinie der beiden Verschleiß Pressrohrvortrieb																			

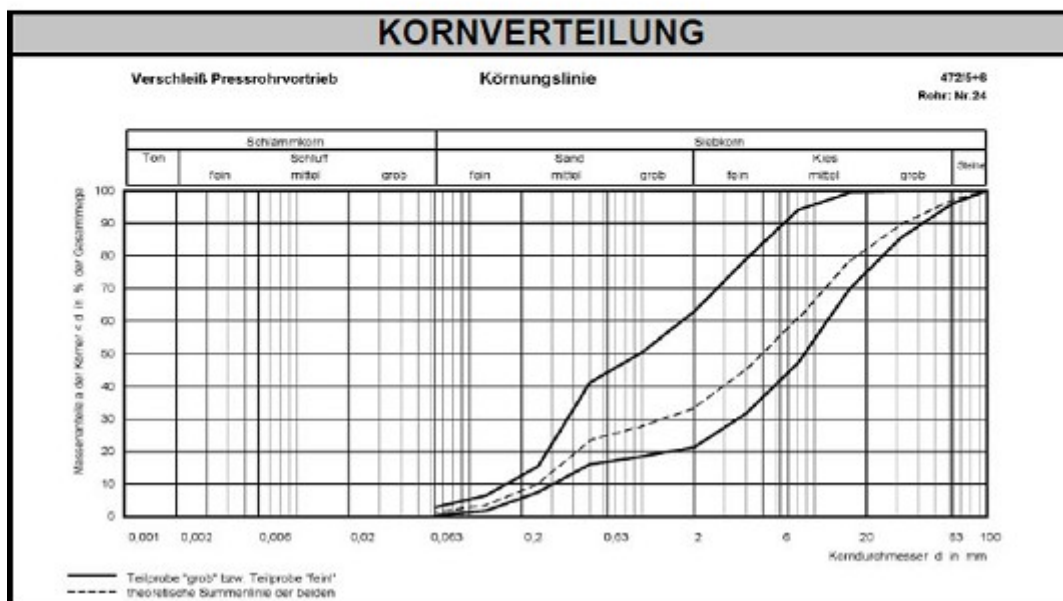
PROBENNAHMEPROTOKOLL		
Baustelle: Asperner Sammelkanal Rohrpressung - Haltung 1	Bearbeiter: MH	Datum: 09.03.2011 Uhrzeit: 14:00
Probenbezeichnung:	Beschreibung:	
472 / 3	nach Separierung, Grobmaterial	
472 / 4	nach Separierung, Feinmaterial	
472 / S2	Fördersuspension nach Vortrieb	
Anmerkungen zu den Proben: Entmischung des Ausbruchsmaterials durch Separierung -> repräsentative Probe ? In der Suspension sind schwarze Kleinteile enthalten: organisch? -> Glühverlust best.		
Anmerkungen zur Probenentnahme: Vortriebsstand / Rohrnummer: Rohr Nr. 9 Vorkommnisse während Vortrieb: Ortsbrustinstabilität? Maschinendaten während Vortrieb: - Umdrehungsgeschw.: - Drehmoment: - Letzte Suspensionsprüfung: Datum: 09.03.2011 Suspensionsdichte: 1,09 g/cm³ Viskosität: 17,6 N/m² Marshzeit, etc: 95 s Filtratwasserabg.: 8 ml		

SUSPENSIONSPRÜFUNG		
Baustelle: Asperner Sammelkanal Rohrpressung - Haltung 1	Bearbeiter: MH	Probe: 472/ S2 Datum: 09.03.2011
Dichte Suspension: $m_s + T = 1061,5 \text{ g}$ Tara = 0 g $m = 1061,5 \text{ g}$ $V_s = 1000 \text{ cm}^3$ $\rho_s = 1,06 \text{ g/cm}^3$		
Marsh-Zeit: 170 s	Filtratwasserabgabe: 4,2 g	



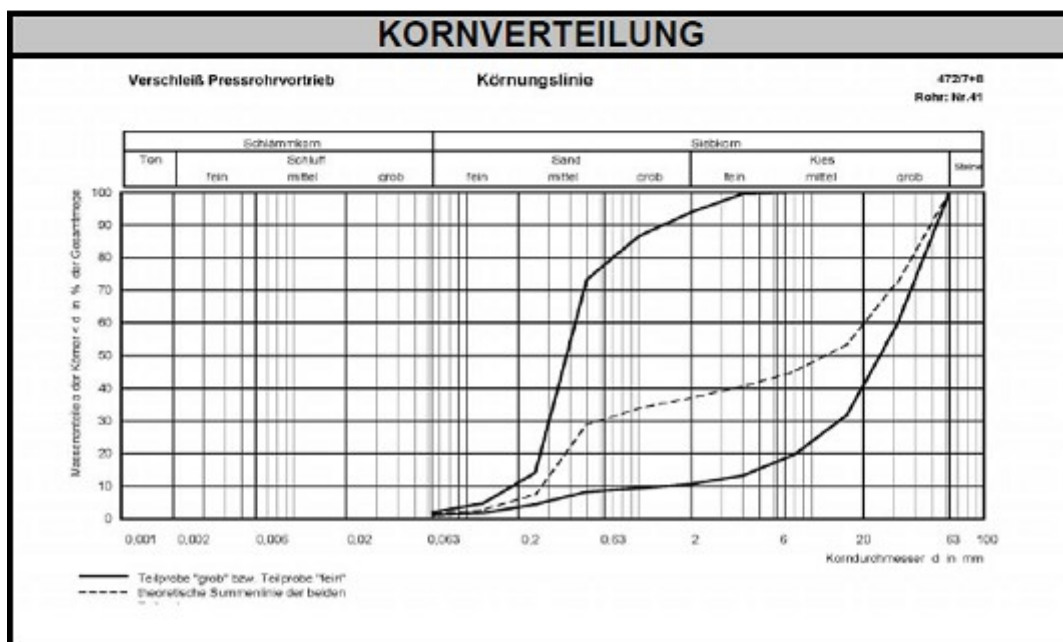
PROBENNAHMEPROTOKOLL		
Baustelle: Asperner Sammelkanal Rohrpressung - Haltung 1	Bearbeiter: MH	Datum: 16.03.2011 Uhrzeit: 09:30
Probenbezeichnung:	Beschreibung:	
472 / 5	nach Separierung, Grobmaterial	
472 / 6	nach Separierung, Feinmaterial	
472 / S3	Fördersuspension nach Vortrieb	
Anmerkungen zu den Proben:		
erschwerte Probenahme da separiert, viele Teile > 2 mm in "Feinteilprobe"; Suspension = kaputt		
Anmerkungen zur Probenentnahme:		
Vortriebsstand / Rohrnummer: Rohr 24 Vorkommnisse während Vortrieb: <i>Injektion macht Spülung kaputt --> neues Bentonit</i> Maschinendaten während Vortrieb: Umdrehungsgeschw.: 4,8 - 5 U/min Drehmoment: 80 - 190 Letzte Suspensionsprüfung: Datum: 16.03.2011 Suspensionsdichte: 1,13 g/cm³ Viskosität: 24,48 N/m² Marshzeit, etc: 180 s (nicht messbar) Filtratwasserabg.: 70 ml		

SUSPENSIONSPRÜFUNG		
Baustelle: Asperner Sammelkanal Rohrpressung - Haltung 1	Bearbeiter: MH, PD	Probe: 472/ S3 Datum: 04.05.2011
Dichte Suspension:		
$m_s + T = 1701,26 \text{ g}$ Tara = $597,84 \text{ g}$ $m = 1103,42 \text{ g}$ $V_s = 1000 \text{ cm}^3$ $\rho_s = 1,10 \text{ g/cm}^3$		
Marsh-Zeit: s Filtratwasserabgabe: g		



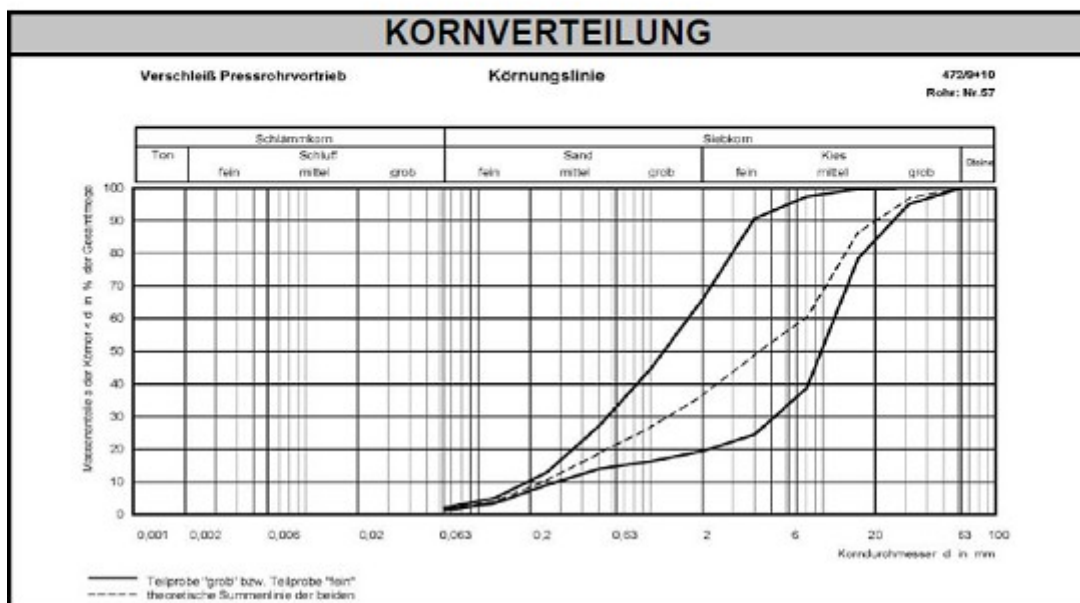
PROBENNAHMEPROTOKOLL		
Baustelle: Asperner Sammelkanal Rohrpressung - Haltung 1	Bearbeiter: MH	Datum: 22.03.2011 Uhrzeit: 14:05
Probenbezeichnung:	Beschreibung:	
	472 / 8	nach Separierung, Feinmaterial
	472 / 7	nach Separierung, Grobmaterial
	472 / S4	Fördersuspension nach Vortrieb
Anmerkungen zu den Proben:		
wie immer - keine aussagekräftige Probe		
Anmerkungen zur Probenentnahme:		
Vortriebsstand / Rohrnummer: Rohr 41 (34,70 m)		
Vorkommnisse während Vortrieb: -		
Maschinendaten während Vortrieb:		
Umdrehungsgeschw.: 4,8 - 5 U/min		
Drehmoment: 80 - 110		
Letzte Suspensionsprüfung: Datum: 22.03.2011		
Suspensionsdichte: 1,11 g/cm³		
Viskosität: 20,64 N/m²		
Marshzeit, etc: 121 s		
Filtratwasserabg.: 4,2 ml		

SUSPENSIONSPRÜFUNG		
Baustelle: Asperner Sammelkanal Rohrpressung - Haltung 1	Bearbeiter: MH	Probe: 472/ S4 Datum: 23.03.2011
Dichte Suspension:		
$m_s + T = 1345,6$ g		Tara = 262,3 g
$m = 1083,3$ g		$V_s = 1000$ cm³
$\rho_s = 1,08$ g/cm³		
Marsh-Zeit: 227 s	Filtratwasserabgabe: 2,57 g	



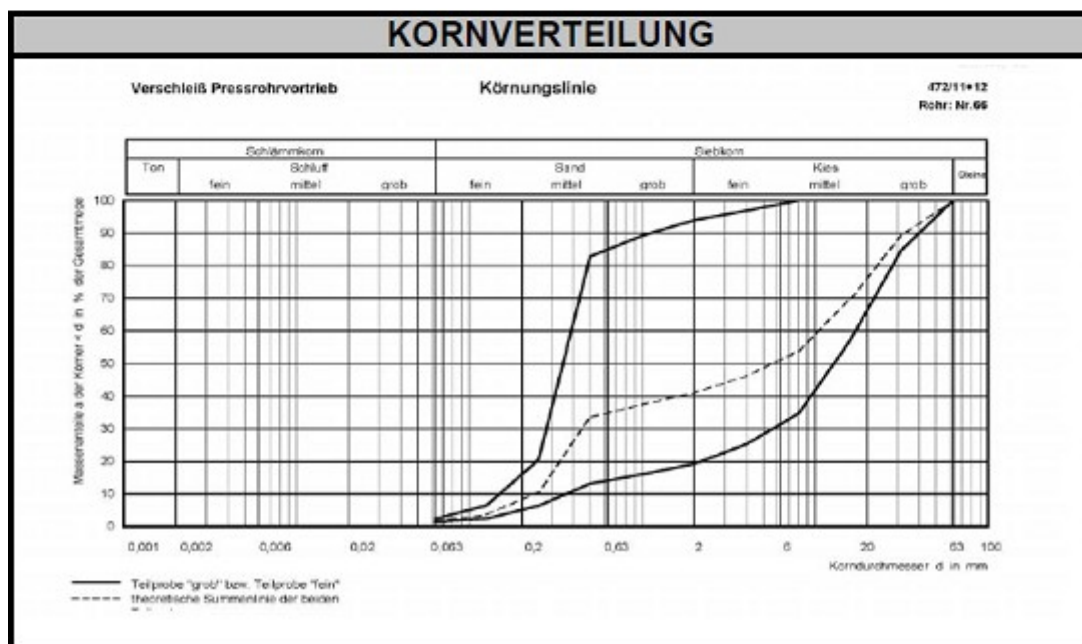
PROBENNAHMEPROTOKOLL		
Baustelle: Asperner Sammelkanal Rohrpressung - Haltung 1	Bearbeiter: MH	Datum: 24.03.2011 Uhrzeit: 15:05
Probenbezeichnung:	Beschreibung:	
472 / 9	nach Separierung, Feinmaterial	
472 / 10	nach Separierung, Grobmaterial	
472 / S5	Fördersuspension nach Vortrieb	
Anmerkungen zu den Proben:		
Anmerkungen zur Probenentnahme:		
Vortriebsstand / Rohrnummer: Rohr 57 Vorkommnisse während Vortrieb: - Maschinendaten während Vortrieb: Umdrehungsgeschw.: 4,8 - 5 U/min Drehmoment: - Letzte Suspensionsprüfung: Datum: 24.03.2011 Suspensionsdichte: 1,15 g/cm³ Viskosität: 8,75 N/m² Marshzeit, etc: 50 s Filtratwasserabg.: 8 ml		

SUSPENSIONSPRÜFUNG		
Baustelle: Asperner Sammelkanal Rohrpressung - Haltung 1	Bearbeiter: MH	Probe: 472/ S5 Datum: 25.03.2011
Dichte Suspension:		
$m_s + T = 1418,32 \text{ g}$ Tara = $262,48 \text{ g}$ $m = 1155,84 \text{ g}$ $V_s = 1000 \text{ cm}^3$ $\rho_s = 1,16 \text{ g/cm}^3$		
Marsh-Zeit: 280 s Filtratwasserabgabe: 7,07 g		



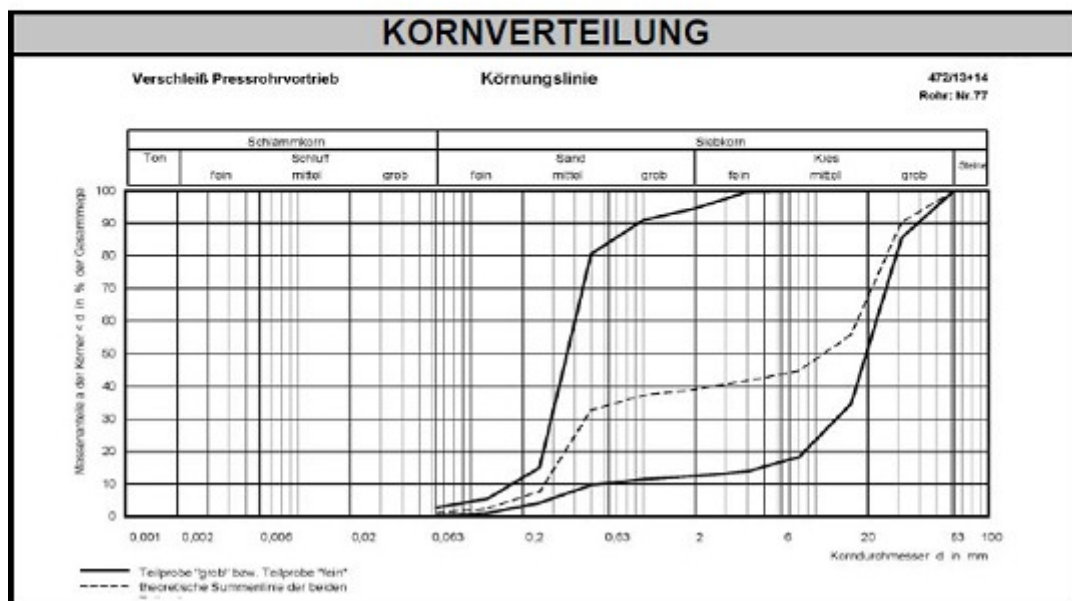
PROBENNAHMEPROTOKOLL		
Baustelle: Asperner Sammelkanal Rohrpressung - Haltung 1	Bearbeiter: MH	Datum: 29.03.2011 Uhrzeit: 14:30
Probenbezeichnung:	Beschreibung:	
472 / 11	nach Separierung, Feinmaterial	
472 / 12	nach Separierung, Grobmaterial	
472 / S6	Fördersuspension nach Vortrieb	
Anmerkungen zu den Proben:		
Jetzt im Grobkies, viel Bruch, schwer zu fahren. Verschleiß erwartet, weil viel Quarz.		
Anmerkungen zur Probenentnahme:		
Vortriebsstand / Rohrnummer: Rohr 66		
Vorkommnisse während Vortrieb: -		
Maschinendaten während Vortrieb:		
Umdrehungsgeschw.: -		
Drehmoment: -		
Letzte Suspensionsprüfung: Datum: -		
Suspensionsdichte: 1,12 g/cm³		
Viskosität: 20,16 N/m²		
Marshzeit, etc: 110 s		
Filtratwasserabg.: 5 ml		

SUSPENSIONSPRÜFUNG		
Baustelle: Asperner Sammelkanal Rohrpressung - Haltung 1	Bearbeiter: MH	Probe: 472/ S6 Datum: -
Dichte Suspension:		
$m_s + T =$ 1767,67 g	$Tara =$ 624,8 g	
$m =$ 1142,87 g	$V_s =$ 1000 cm³	
$\rho_s =$ 1,14 g/cm³		
Marsh-Zeit: 158 s	Filtratwasserabgabe: 4,45 g	



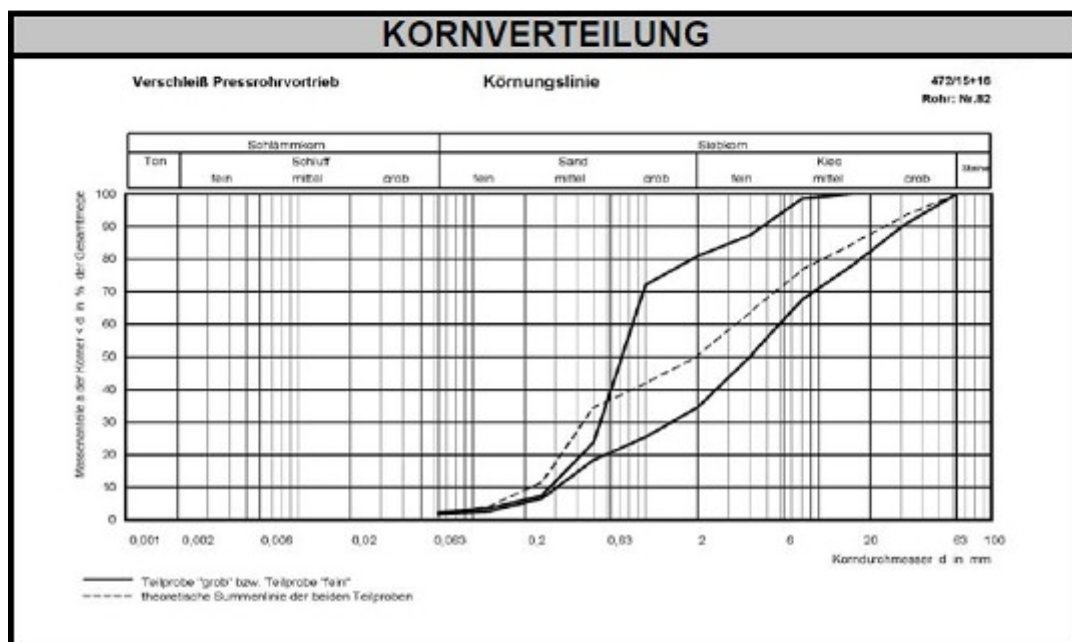
PROBENNAHMEPROTOKOLL		
Baustelle: Asperner Sammelkanal Rohrpressung - Haltung 1	Bearbeiter: MH	Datum: 31.03.2011 Uhrzeit: 15:30
Probenbezeichnung:	Beschreibung:	
472 / 13	nach Separierung, Feinmaterial	
472 / 14	nach Separierung, Grobmaterial	
472 / S7	Fördersuspension nach Vortrieb	
Anmerkungen zu den Proben:		
Anmerkungen zur Probenentnahme:		
Vortriebsstand / Rohrnummer: Rohr 77 Vorkommnisse während Vortrieb: - Maschinendaten während Vortrieb: Umdrehungsgeschw.: 4,8 - 5 U/min Drehmoment: - Letzte Suspensionsprüfung: Datum: 31.03.2011 Suspensionsdichte: 1,14 g/cm³ Viskosität: 24 N/m² Marshzeit, etc.: 160 s Filtratwasserabg.: 3,7 ml		

SUSPENSIONSPRÜFUNG		
Baustelle: Asperner Sammelkanal Rohrpressung - Haltung 1	Bearbeiter: MH	Probe: 472/ S7 Datum: 01.04.2011
Dichte Suspension:		
$m_s + T = 1732,82 \text{ g}$ Tara = $593,64 \text{ g}$ $m = 1139,18 \text{ g}$ $V_s = 1000 \text{ cm}^3$ $\rho_s = 1,14 \text{ g/cm}^3$		
Marsh-Zeit: 307 s Filtratwasserabgabe: 3,05 g		



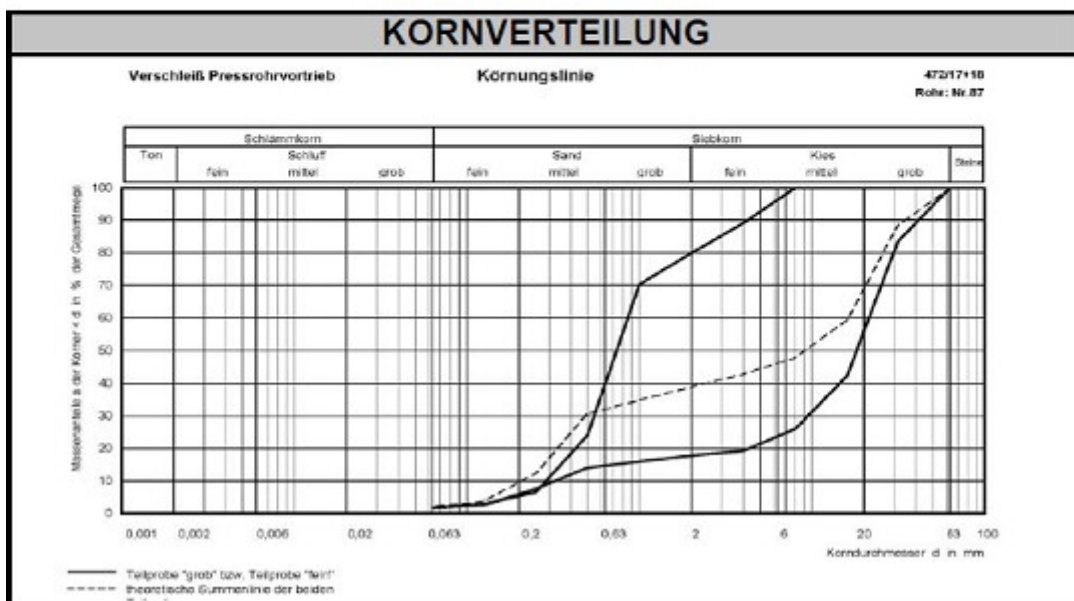
PROBENNABMEPROTOKOLL		
Baustelle: Asperner Sammelkanal Rohrpressung - Haltung 1	Bearbeiter: MH	Datum: 01.04.2011 Uhrzeit: 14:30
Probenbezeichnung:	Beschreibung:	
472 / 15	nach Separierung, Feinmaterial	
472 / 16	nach Separierung, Grobmaterial	
472 / S8	Fördersuspension nach Vortrieb	
Anmerkungen zu den Proben:		
Regen vor Probennahme.		
Anmerkungen zur Probenentnahme:		
Vortriebsstand / Rohrnummer: Rohr 82 Vorkommnisse während Vortrieb: - Maschinendaten während Vortrieb: Umdrehungsgeschw.: - Drehmoment: - Letzte Suspensionsprüfung: Datum: 01.04.2011 Suspensionsdichte: 1,17 g/cm³ Viskosität: 24 N/m² Marshzeit, etc: 227 s Filtratwasserabg.: 3,1 ml		

SUSPENSIONSPRÜFUNG		
Baustelle: Asperner Sammelkanal Rohrpressung - Haltung 1	Bearbeiter: MH	Probe: 472/ S8 Datum: 01.04.2011
Dichte Suspension:		
$m_s + T = 1748,16 \text{ g}$ Tara = $593,69 \text{ g}$ $m = 1154,47 \text{ g}$ $V_s = 1000 \text{ cm}^3$ $\rho_s = 1,15 \text{ g/cm}^3$		
Marsh-Zeit: 235 s	Filtratwasserabgabe: 3,39 g	



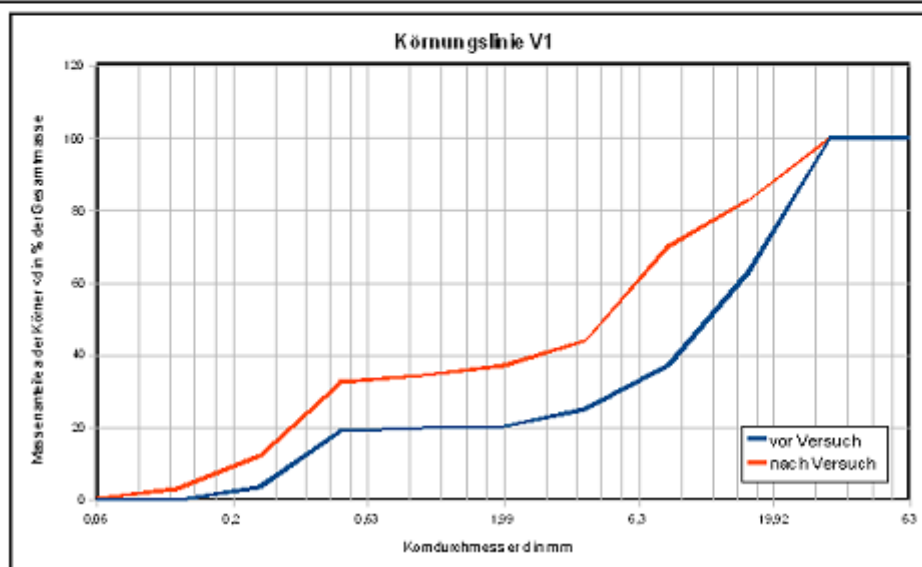
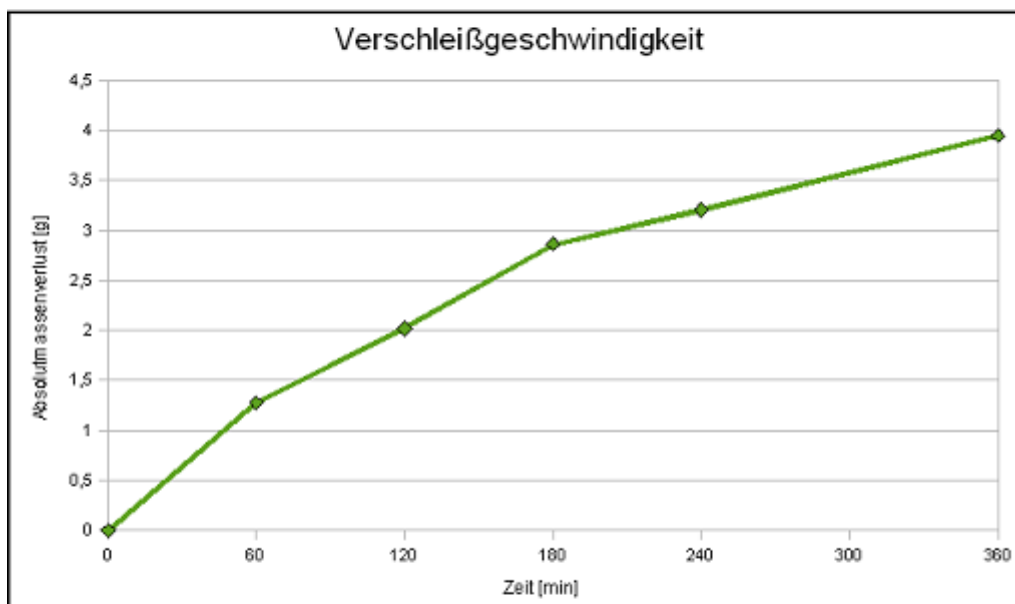
PROBENNAHMEPROTOKOLL		
Baustelle: Asperner Sammelkanal Rohrpressung - Haltung 1	Bearbeiter: MH	Datum: 02.04.2011 Uhrzeit: 14:15
Probenbezeichnung:	Beschreibung:	
472 / 17	nach Separierung, Feinmaterial	
472 / 18	nach Separierung, Grobmaterial	
472 / S9	Fördersuspension nach Vortrieb	
Anmerkungen zu den Proben:		
Anmerkungen zur Probenentnahme:		
Vortriebsstand / Rohrnummer: Rohr 87 (279,50 m) Vorkommnisse während Vortrieb: - Maschinendaten während Vortrieb: Umdrehungsgeschw.: 4,8 - 5 U/min Drehmoment: - Letzte Suspensionsprüfung: Datum: 02.04.2011 Suspensionsdichte: 1,15 g/cm³ Viskosität: 23,4 N/m² Marshzeit, etc: 165 s Filtratwasserabg.: 4 ml		

SUSPENSIONSPRÜFUNG		
Baustelle: Asperner Sammelkanal Rohrpressung - Haltung 1	Bearbeiter: MH	Probe: 472/ S9 Datum: 05.04.2011
Dichte Suspension:		
$m_s + T = 1765,01 \text{ g}$ $m = 1161,99 \text{ g}$ $\rho_s = 1,16 \text{ g/cm}^3$	$Tara = 603,02 \text{ g}$ $V_s = 1000 \text{ cm}^3$	
Marsh-Zeit: 210 s	Filtratwasserabgabe: 3,60 g	



12.2 Laborprotokolle

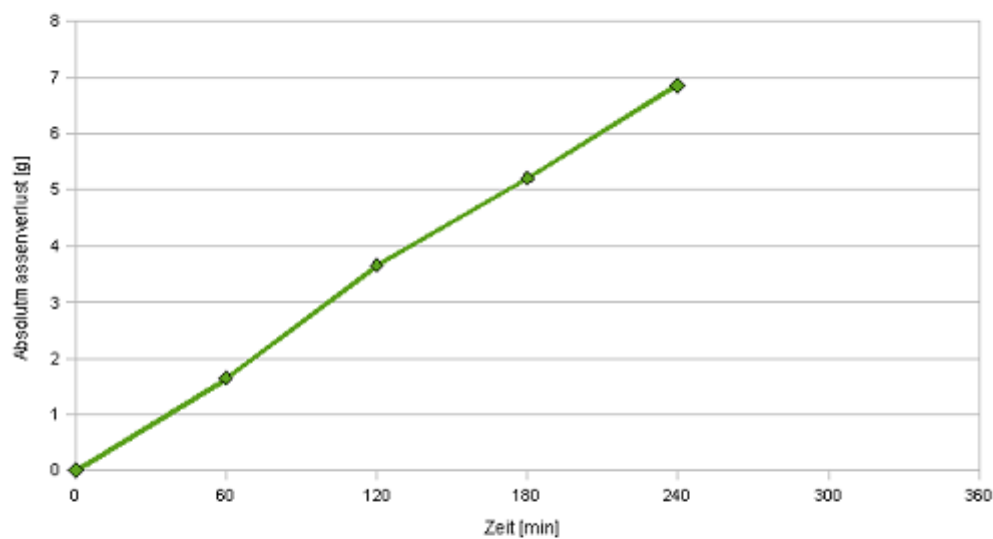
Laborprotokoll			
Versuch	V1	Drehflügelmassen	
	Zeit [min]	Masse [g]	Absolutmassenverlust [g]
	0	839,72	0
	60	838,44	1,28
	120	837,7	2,02
	180	836,85	2,87
	240	836,51	3,21
	360	835,77	3,95
Wassergehalt Beginn [%]:		0	Wassergehalt Ende [%]: 0



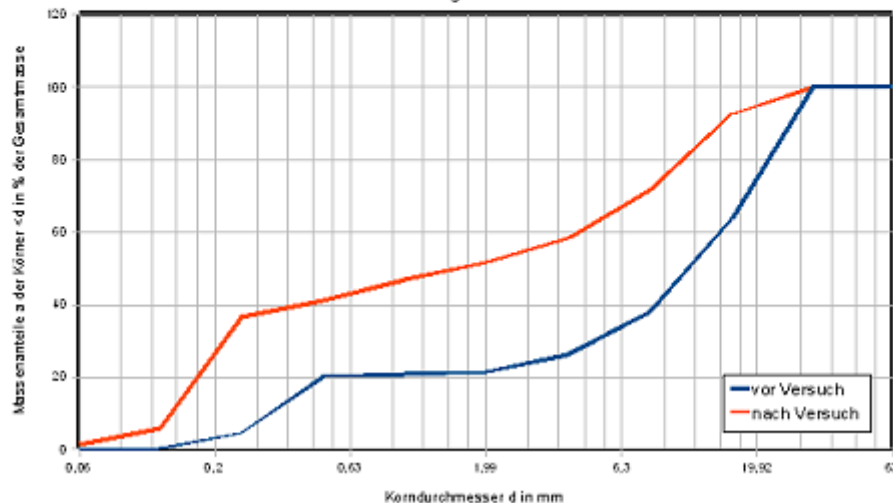
Laborprotokoll

Versuch	V2	Drehflügelmassen	
	Zeit [min]	Masse [g]	Absolutmassenverlust [g]
	0	841,6	0
	60	839,95	1,65
	120	837,95	3,65
	180	836,39	5,21
	240	834,74	6,86
	360		
Wassergehalt Beginn [%]:		10	Wassergehalt Ende [%]: 12

Verschleißgeschwindigkeit



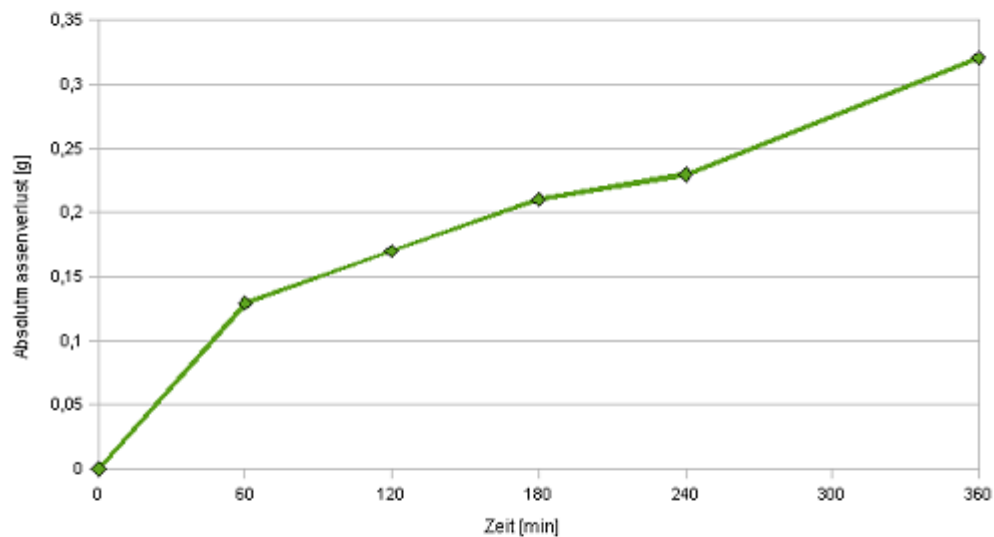
Körnungslinie V2



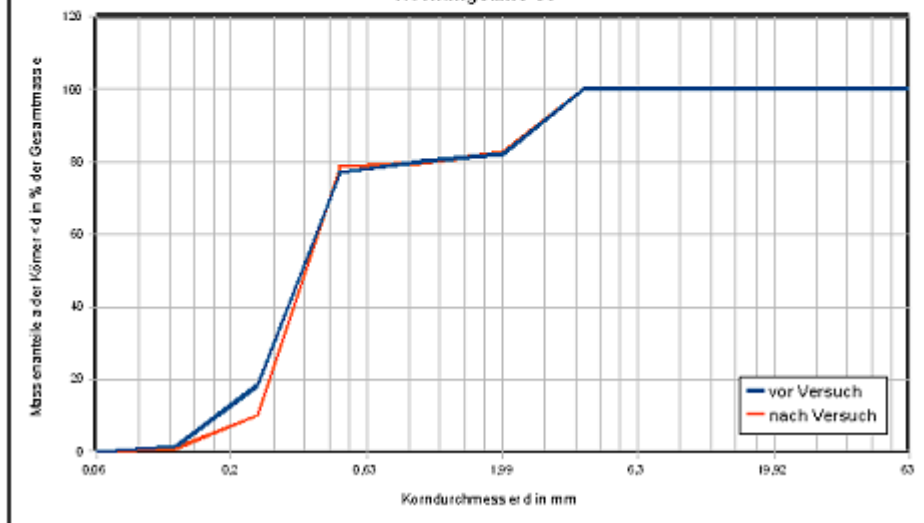
Laborprotokoll

Versuch	V3	Drehflügelmassen	
	Zeit [min]	Masse [g]	Absolutmassenverlust [g]
	0	840,97	0
	60	840,84	0,13
	120	840,8	0,17
	180	840,76	0,21
	240	840,74	0,23
	360	840,65	0,32
Wassergehalt Beginn [%]:		20	Wassergehalt Ende [%]: 22

Verschleißgeschwindigkeit



Körnungslinie V3

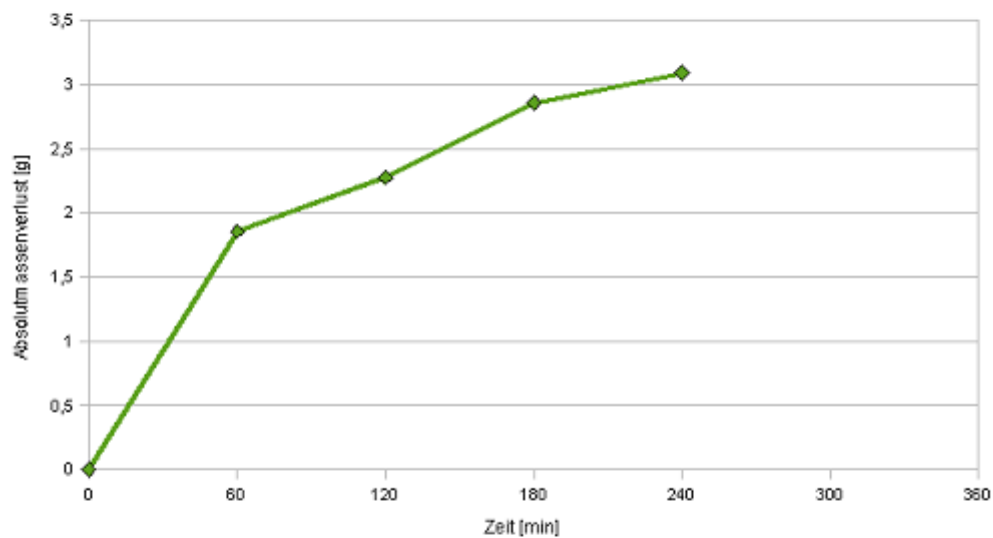


Laborprotokoll

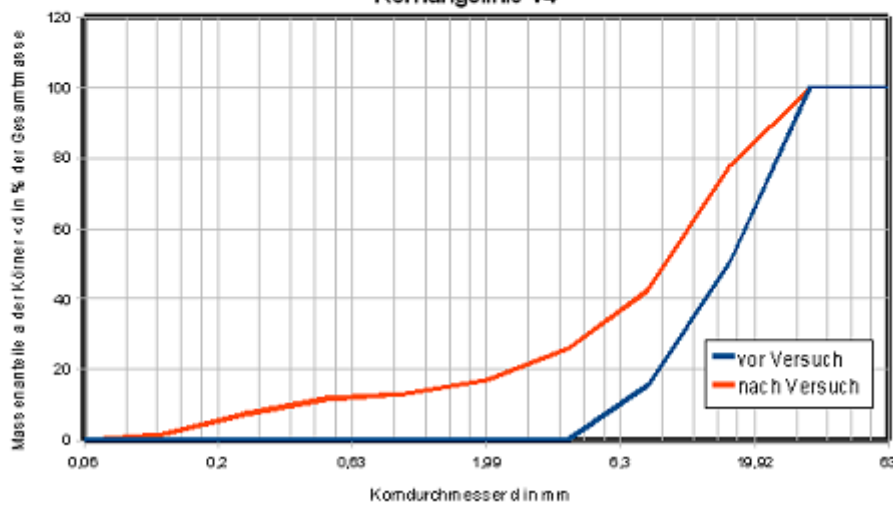
Versuch	V4	Drehflügelmassen	
	Zeit [min]	Masse [g]	Absolutmassenverlust [g]
	0	844,34	0
	60	842,48	1,86
	120	842,06	2,28
	180	841,48	2,86
	240	841,25	3,09
	360		

Wassergehalt Beginn [%]: 0 Wassergehalt Ende [%]: 0

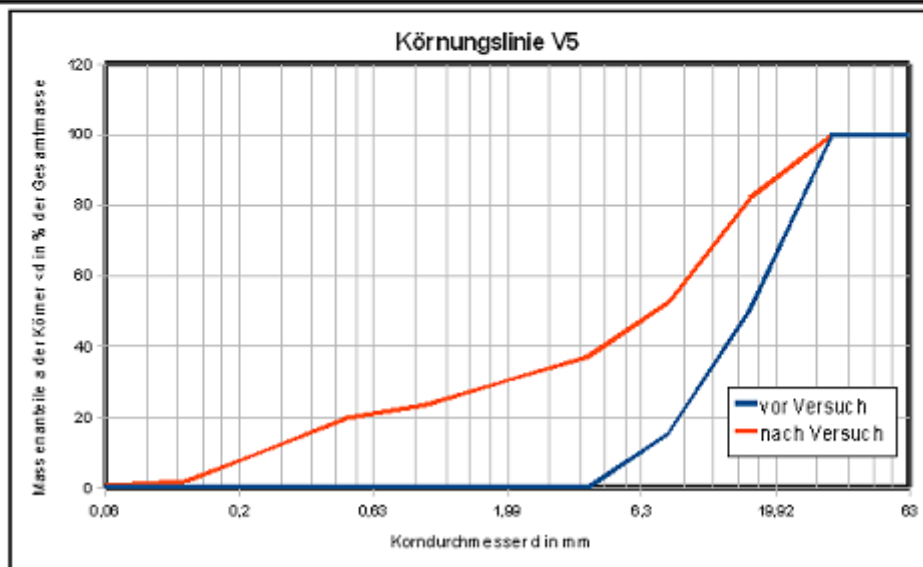
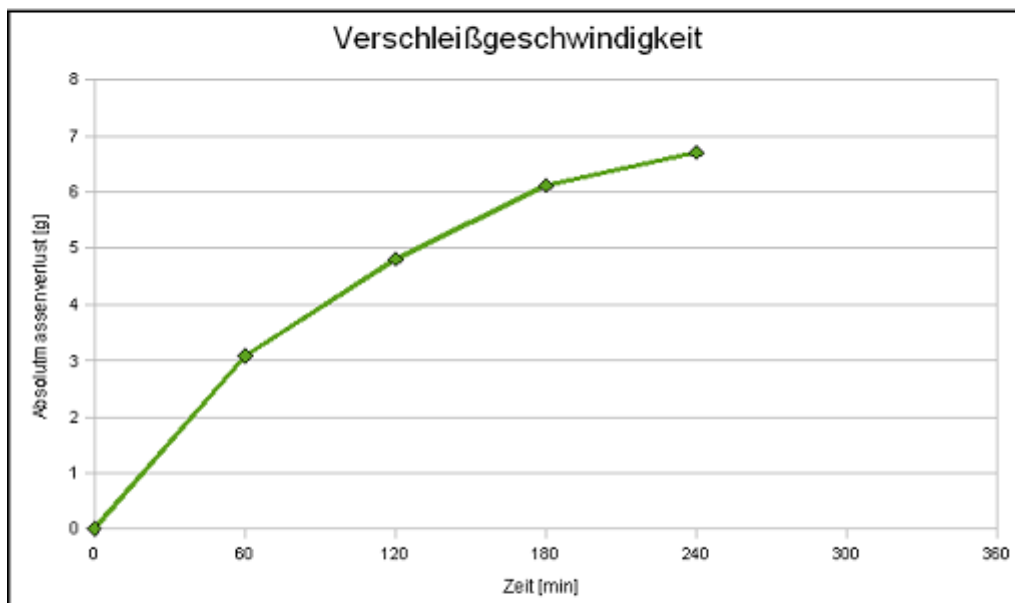
Verschleißgeschwindigkeit



Körnungslinie V4



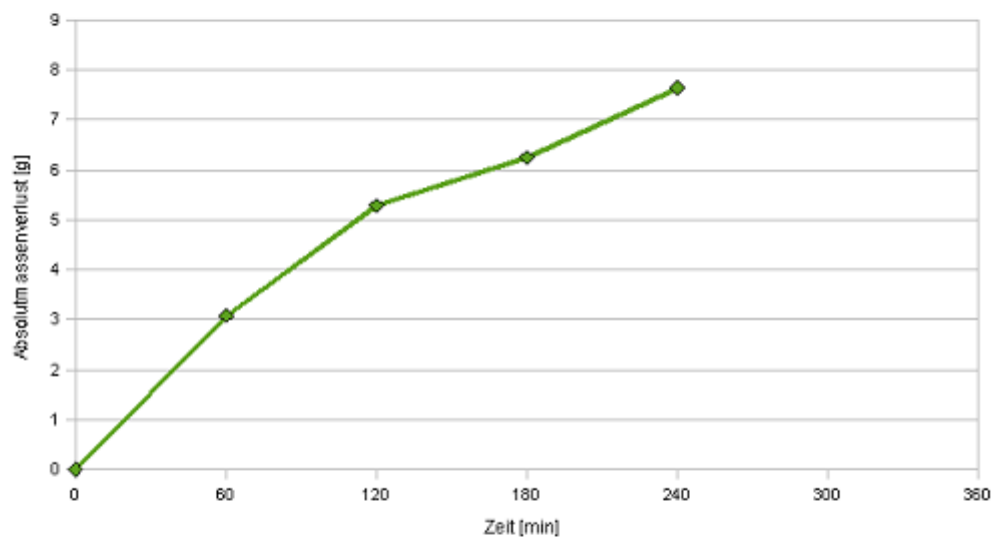
Laborprotokoll			
Versuch	V5	Drehflügelmassen	
	Zeit [min]	Masse [g]	Absolutmassenverlust [g]
	0	844,04	0
	60	840,95	3,09
	120	839,24	4,8
	180	837,93	6,11
	240	837,33	6,71
	360		
Wassergehalt Beginn [%]:		10	Wassergehalt Ende [%]: 14



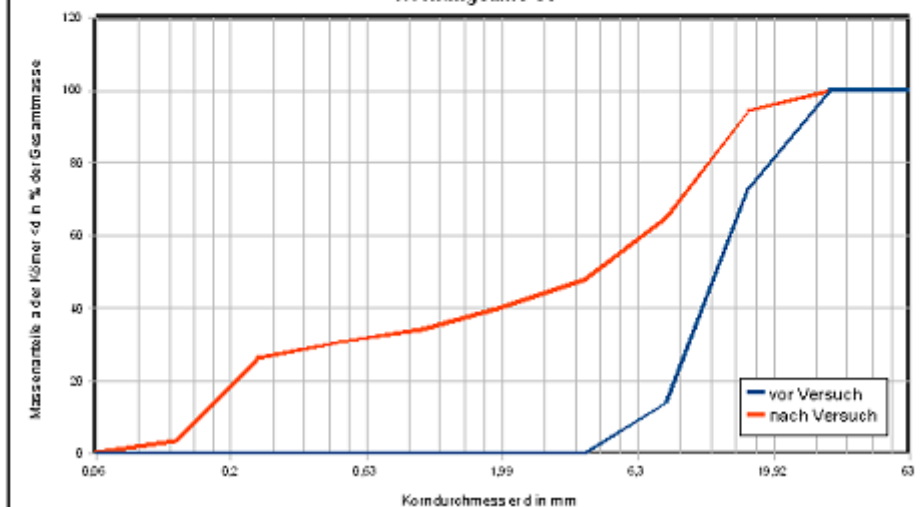
Laborprotokoll

Versuch	V6	Drehflügelmassen	
	Zeit [min]	Masse [g]	Absolutmassenverlust [g]
	0	846,23	0
	60	843,14	3,09
	120	840,94	5,29
	180	839,97	6,26
	240	838,58	7,65
	360		
Wassergehalt Beginn [%]:		10	Wassergehalt Ende [%]: 15

Verschleißgeschwindigkeit



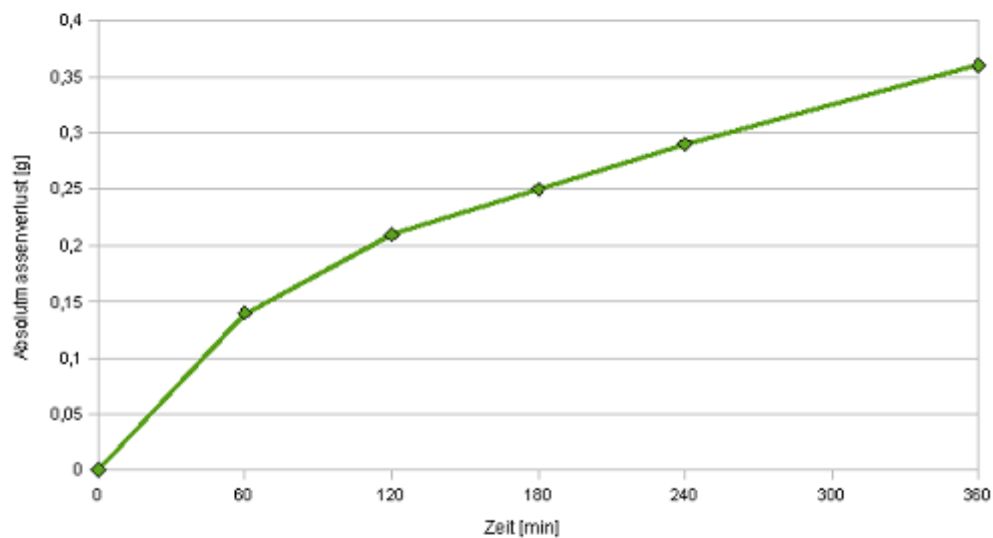
Körnungslinie V6



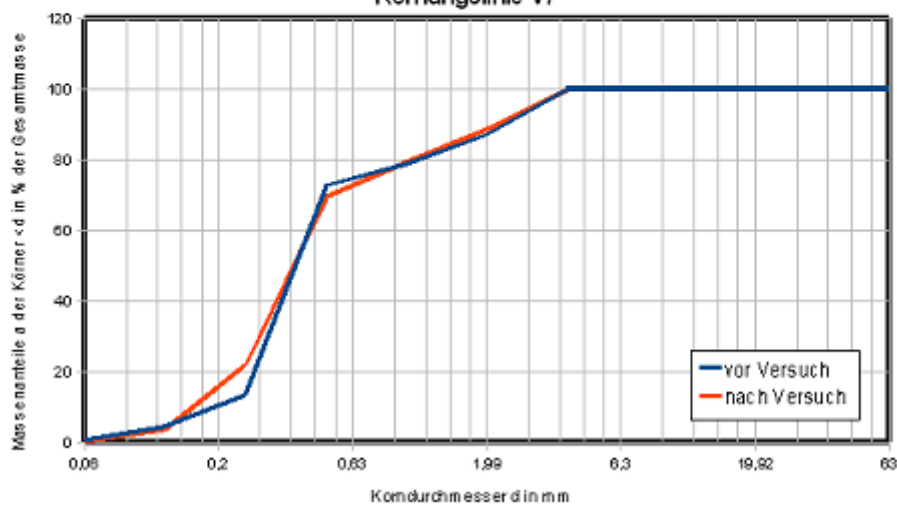
Laborprotokoll

Versuch	V7	Drehflügelmassen	
	Zeit [min]	Masse [g]	Absolutmassenverlust [g]
	0	841,07	0
	60	840,93	0,14
	120	840,86	0,21
	180	840,82	0,25
	240	840,78	0,29
	360	840,71	0,36
Wassergehalt Beginn [%]:		20	Wassergehalt Ende [%]: 27

Verschleißgeschwindigkeit



Körnungslinie V7

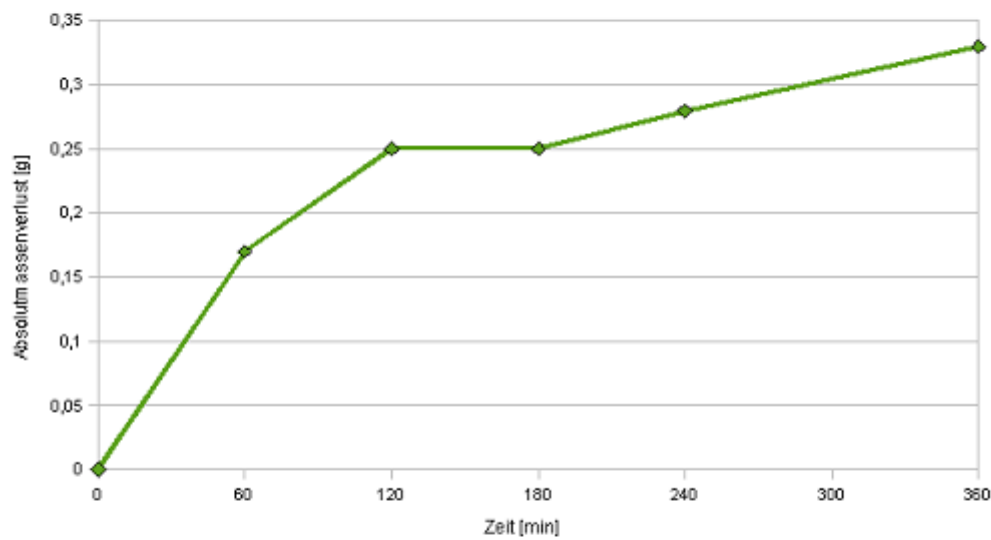


Laborprotokoll

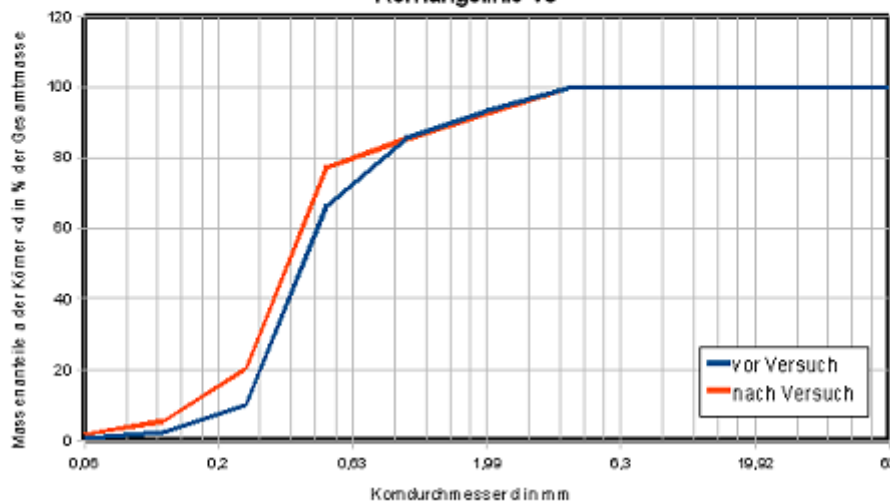
Versuch	V8	Drehflügelmassen	
	Zeit [min]	Masse [g]	Absolutmassenverlust [g]
	0	841,41	0
	60	841,24	0,17
	120	841,16	0,25
	180	841,16	0,25
	240	841,13	0,28
	360	841,08	0,33

Wassergehalt Beginn [%]: 20 Wassergehalt Ende [%]: 25

Verschleißgeschwindigkeit



Körnungslinie V8

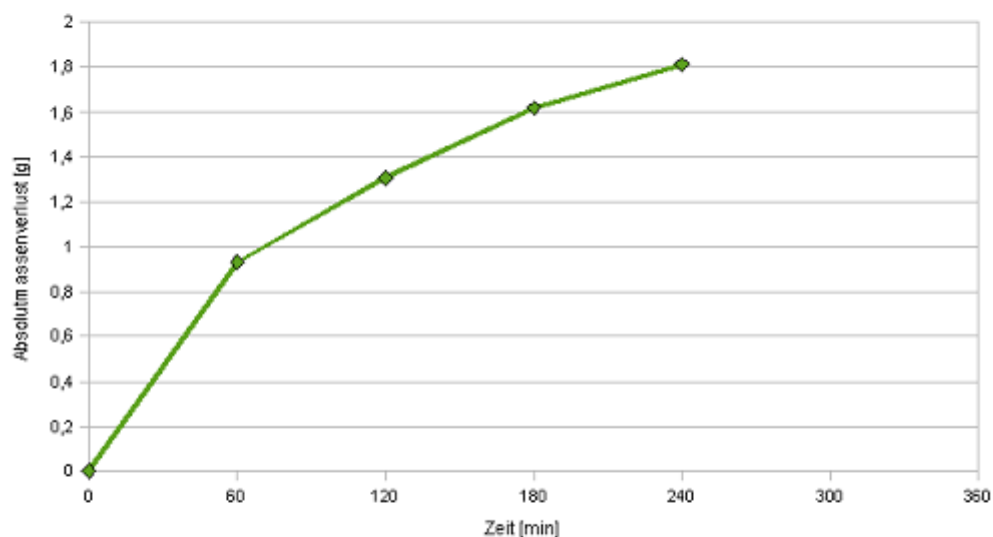


Laborprotokoll

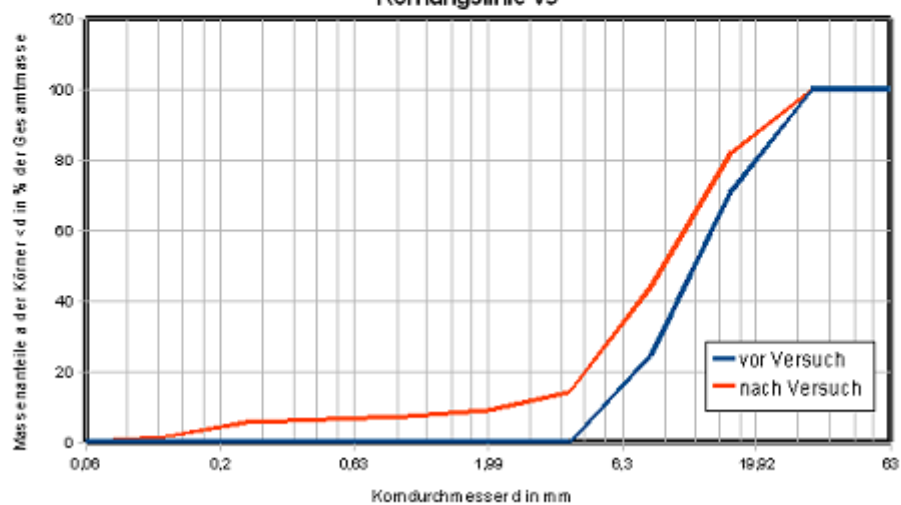
Versuch	V9	Drehflügelmassen	
	Zeit [min]	Masse [g]	Absolutmassenverlust [g]
	0	840,63	0
	60	839,7	0,93
	120	839,32	1,31
	180	839,01	1,62
	240	838,82	1,81
	360		

Wassergehalt Beginn [%]: 0 Wassergehalt Ende [%]: 0

Verschleißgeschwindigkeit



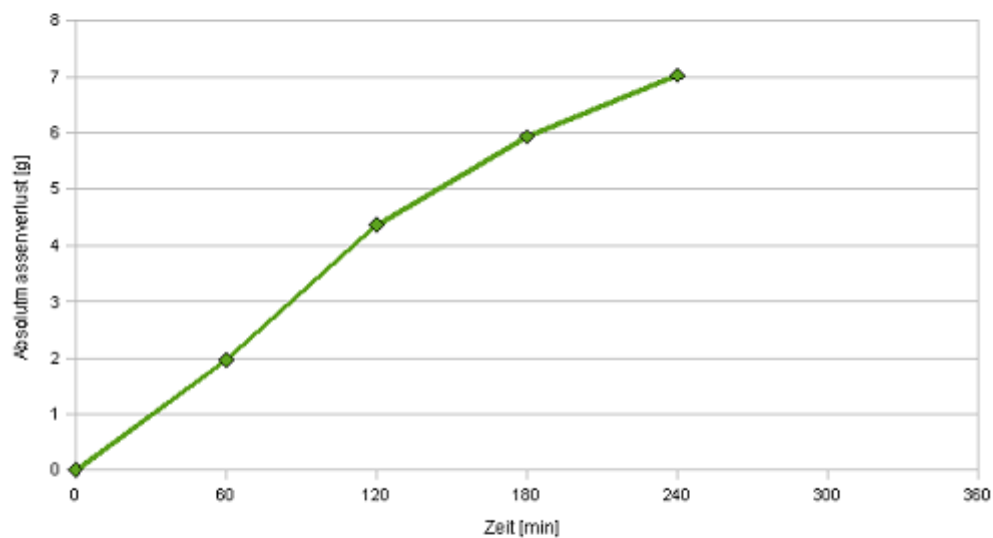
Körnungslinie V9



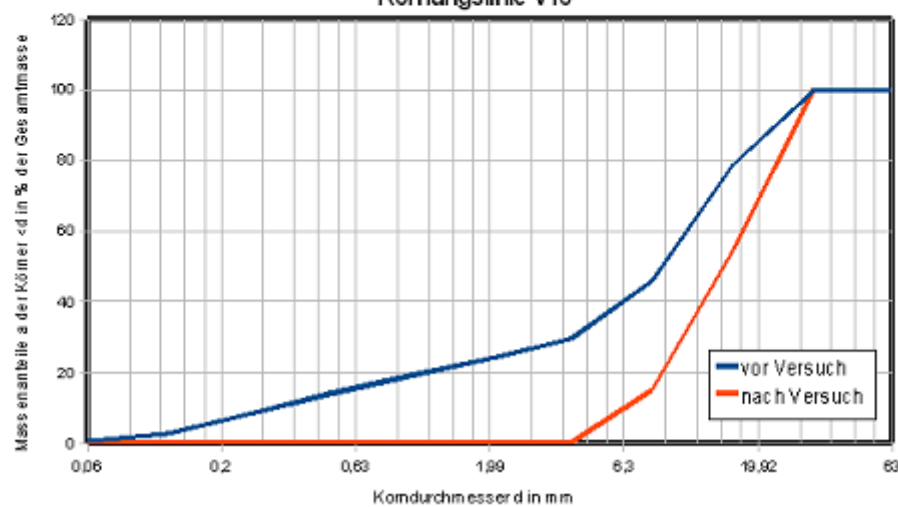
Laborprotokoll

Versuch	V10	Drehflügelmassen	
	Zeit [min]	Masse [g]	Absolutmassenverlust [g]
	0	846,14	0
	60	844,17	1,97
	120	841,77	4,37
	180	840,21	5,93
	240	839,12	7,02
	360		
Wassergehalt Beginn [%]:		10	Wassergehalt Ende [%]: 13

Verschleißgeschwindigkeit



Körnungslinie V10



Laborprotokoll

Versuch

V11

Drehflügelmassen

Zeit [min]

Masse [g]

Absolutmassenverlust [g]

0

845,6

0

60

844,32

1,28

120

843,48

2,12

180

842,48

3,12

240

842,08

3,52

360

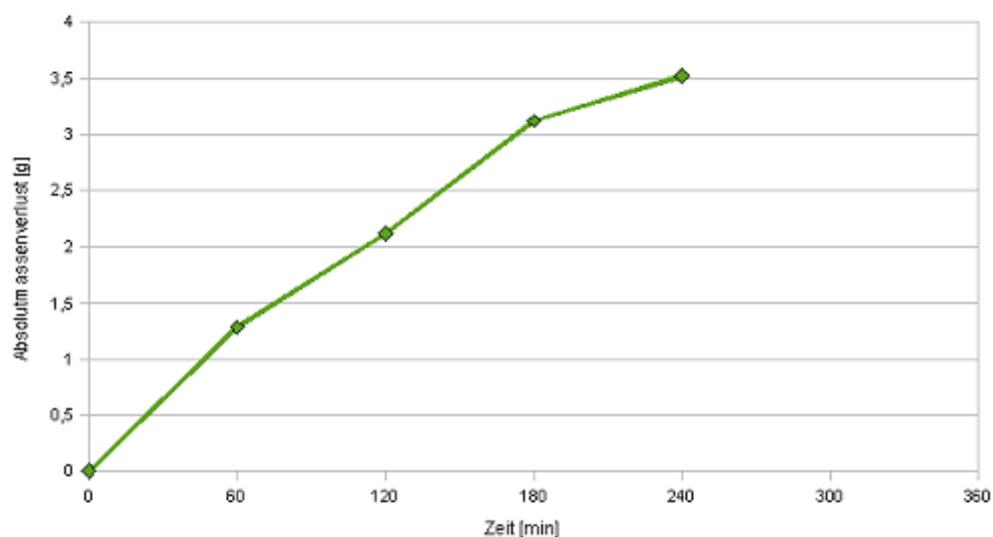
Wassergehalt Beginn [%]:

0

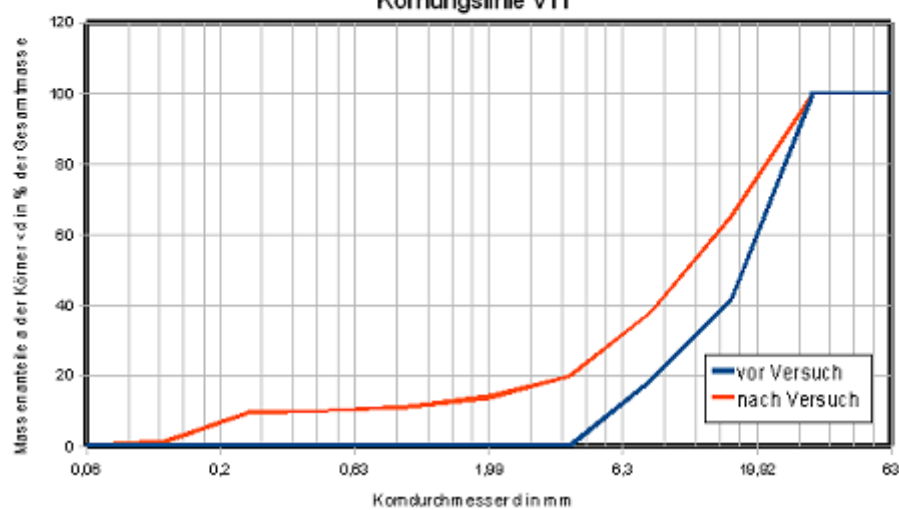
Wassergehalt Ende [%]:

0

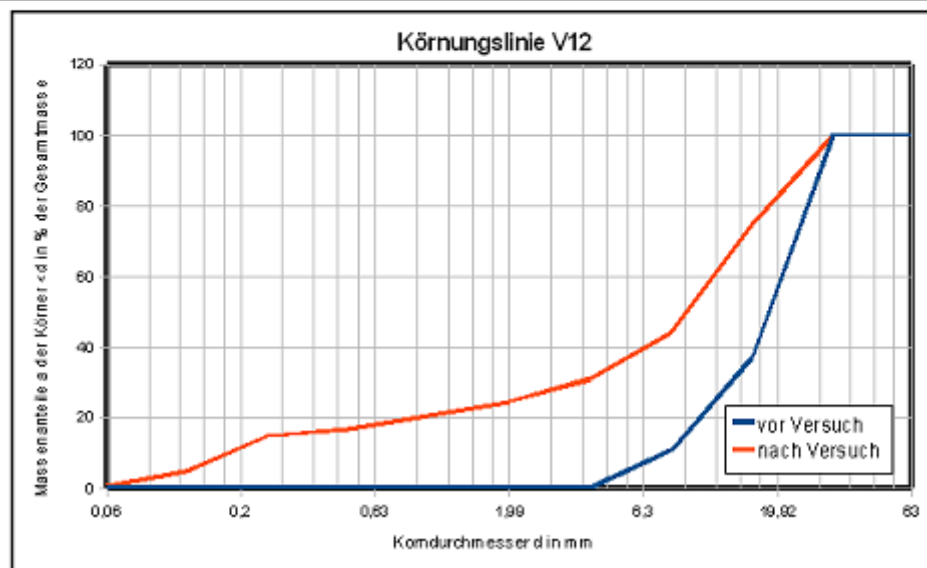
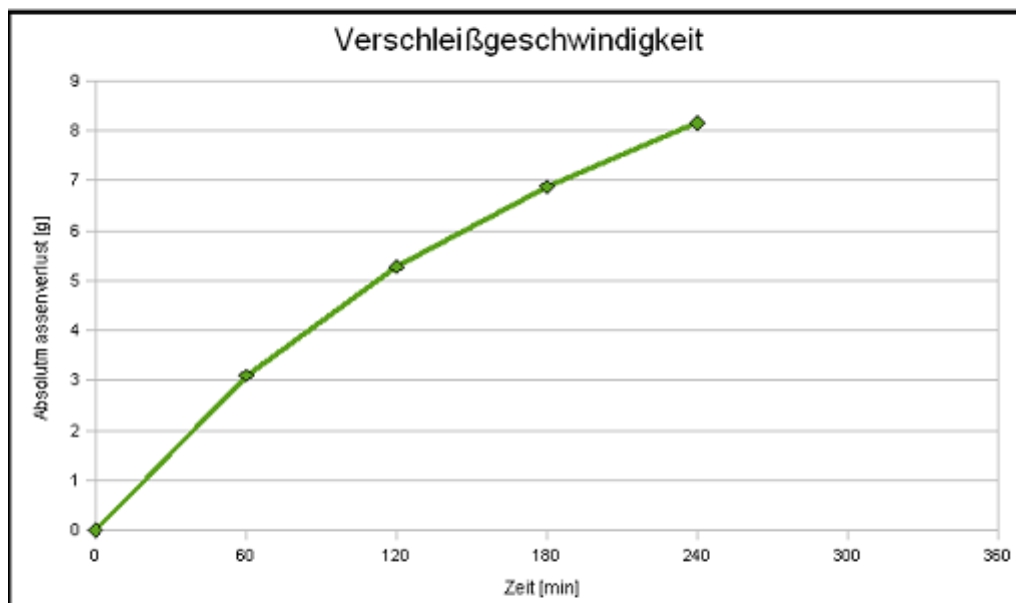
Verschleißgeschwindigkeit



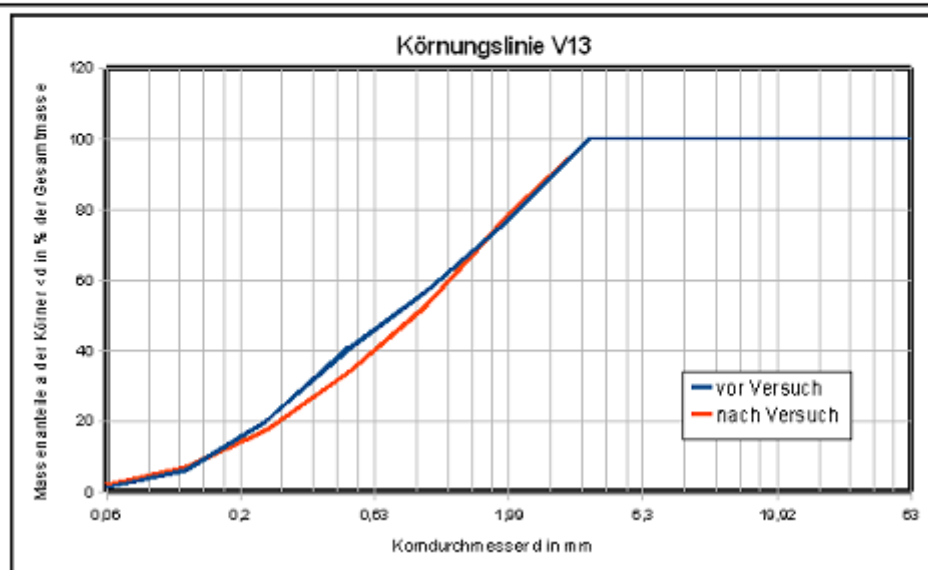
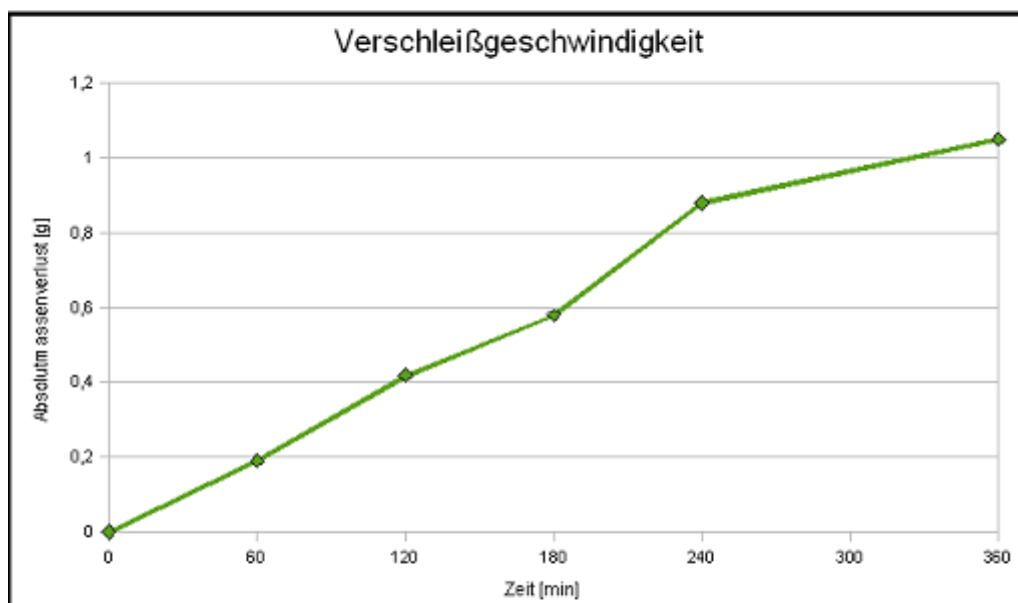
Körnungslinie V11



Laborprotokoll			
Versuch	V12	Drehflügelmassen	
	Zeit [min]	Masse [g]	Absolutmassenverlust [g]
	0	844,46	0
	60	841,35	3,11
	120	839,18	5,28
	180	837,58	6,88
	240	836,3	8,16
	360		
Wassergehalt Beginn [%]:		10	Wassergehalt Ende [%]: 13



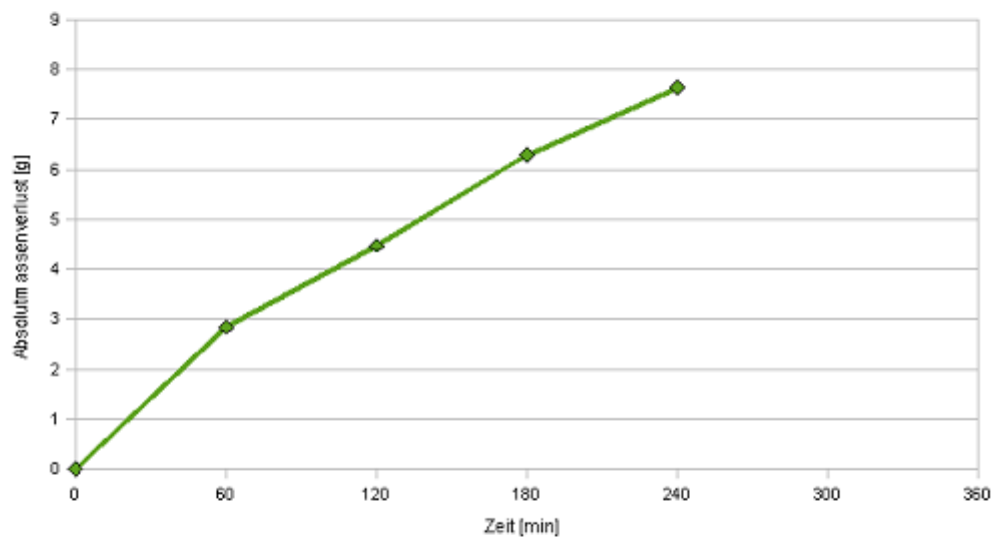
Laborprotokoll			
Versuch	V13	Drehflügelmassen	
	Zeit [min]	Masse [g]	Absolutmassenverlust [g]
	0	841,06	0
	60	840,87	0,19
	120	840,64	0,42
	180	840,48	0,58
	240	840,18	0,88
	360	840,01	1,05
Wassergehalt Beginn [%]:		25	Wassergehalt Ende [%]: 27



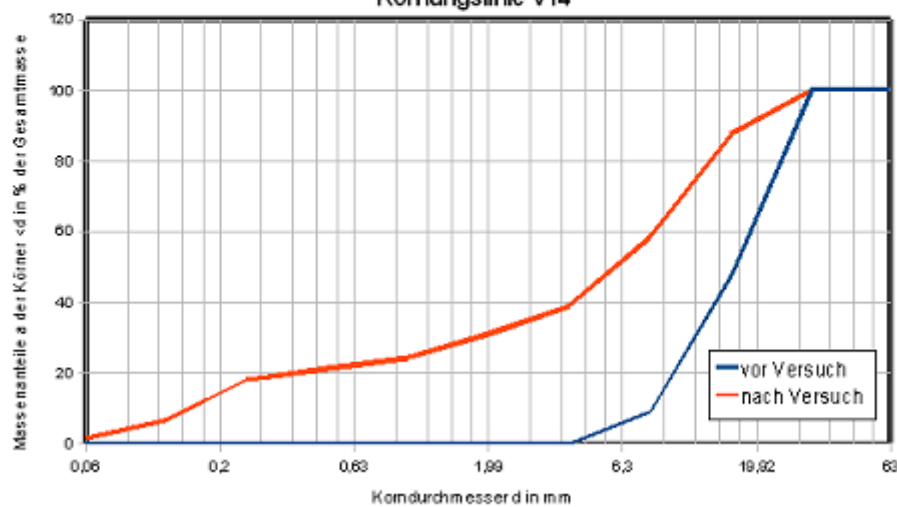
Laborprotokoll

Versuch	V14	Drehflügelmassen	
	Zeit [min]	Masse [g]	Absolutmassenverlust [g]
	0	846,44	0
	60	843,6	2,84
	120	841,95	4,49
	180	840,14	6,3
	240	838,79	7,65
	360		
Wassergehalt Beginn [%]:		20	Wassergehalt Ende [%]: 21

Verschleißgeschwindigkeit



Körnungslinie V14



Laborprotokoll

Versuch

V15

Drehflügelmassen

Zeit [min]

Masse [g]

Absolutmassenverlust [g]

0

847,15

0

60

845,44

1,71

120

844,18

2,97

180

842,42

4,73

240

841,55

5,6

360

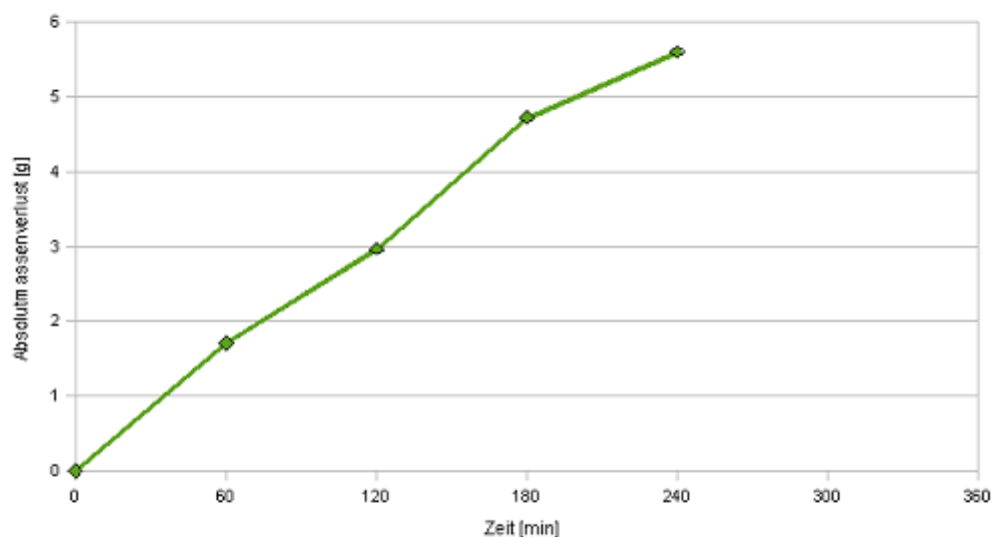
Wassergehalt Beginn [%]:

25

Wassergehalt Ende [%]:

21

Verschleißgeschwindigkeit



Körnungslinie V15

