

# **MASTERARBEIT**

## **BRIKETTIERUNG VON KREISLAUFSTOFFEN DER KUPFERHÜTTE DER MONTANWERKE AG BRIXLEGG MITTELS STEMPELPRESSEN**

### **ZUM ERWERB DES AKADEMISCHEN GRADES EINES MASTER OF SCIENCE DER STUDIENRICHTUNG ROHSTOFFINGENIEURWESEN**

ausgeführt am  
Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredlung  
im Department Mineral Resources and Petroleum Engineering  
der Montanuniversität Leoben

<b>EINGEREICHT VON</b>	<b>BETREUTUNG DURCH</b>
THOMAS MICHAEL TRIPOLT	Ass. Prof. DI Dr.mont. ANDREAS BÖHM

Leoben, am 14. 06. 2016

## **KURZFASSUNG**

Die Montanwerke Brixlegg AG plant den Einsatz einer modifizierten Steinpresse, um hütteneigene Kreislaufstoffe und feine kupferhaltige Sekundärrohstoffe für den Einsatz im Schachtofen vorzubereiten. Damit die gepressten Steine bei der Zuführung in den Ofen aus zwei Meter Höhe nicht zerfallen, muss eine gewisse Mindestfestigkeit (5 MPa) gegeben sein.

Im Rahmen der Masterarbeit werden die einzelnen Einsatzstoffe bestehend aus Stäuben, Schlämmen und Zuschlagstoffen („Rohstoffen“) hinsichtlich brikettier relevanter Eigenschaften (Korngrößenverteilung, Wassergehalt, stofflicher Zusammensetzung, Stoff- und Schüttdichte) beschrieben.

Aus Literaturstudium und durch Beratung mit Zementexperten wird ein geeignetes Bindemittel erarbeitet und in ersten Tastversuchen auf Tauglichkeit überprüft.

Neben Vorversuchen im Pilotmaßstab im Hüttenwerk wird am Lehrstuhl für Aufbereitung eine Druckprüfeinrichtung zur kraftkontrollierten Messung der einaxialen Druckfestigkeit adaptiert und zu einer Laborstempelpresse erweitert. Eine reproduzierbare Prüfmethodik zur physischen Simulation der Arbeitsabläufe Dosieren, Mischen, Pressen, Härten Druckprüfung wird erarbeitet und in systematischen Versuchen mit den einzelnen Einsatzstoffen getestet.

Erste Rezepturen für alle Einsatzstoffe, die die Qualitätsanforderungen erfüllen, konnten gefunden werden.

## **ABSTRACT**

Montanwerke Brixlegg AG plans to implement a brick press to prepare residuals like dusts and sludges as well as secondary raw materials containing fine copper for recycling by means of a shaft furnace. A minimum compressive strength of 5 MPa is needed, that the briquettes withstand the feed process falling from a height of 2 m.

Within the thesis several circulating components comprising dusts, sludges and coarser grained raw materials were characterized for briquetting relevant properties like size distribution, moisture content, materials' density bulk density and elemental composition.

Literature study and consultation of specialists for hydraulic binders provided the base to find an appropriate binder (cement), which was proved feasible in preliminary test series.

In addition to first improvised tests in pilot scale at the smelter site, a laboratory load cell (maximum load 5 kN) used for uniaxial compressive strength testing was adjusted for the use as a briquette press by constructing a spring based stamp for controlled application of press force. A reproducible test method physically simulating the steps of dosing, mixing, pressing, induration as well as quality testing was established. All the raw and circuit materials were tested in systematic parameter variation tests to develop recipes obeying to the quality constraints. First mixtures for all the materials could be found with a compressive strength higher than 5 MPa.

## **EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

I declare in lieu of oath, that I wrote this thesis and performed the associated research myself, using only literature cited in this volume.

Leoben, im Juni 2016

.....  
Thomas Tripolt



## DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen herzlich bedanken, die mich beim Verfassen dieser Arbeit unterstützt haben.

Allen voran gilt mein Dank Ass. Prof. Dr. mont. Andreas Böhm für die Ermöglichung der Durchführung und die Betreuung meiner Diplomarbeit am Institut für Aufbereitung und Veredlung.

Spezieller Dank gilt Dipl.-Ing. Dr. Josef Pesl für die Unterstützung seitens der Firma Montanwerke Brixlegg. Die fachliche Hilfe sowie wertvolle Ideen und Diskussionen haben zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Ebenso möchte ich mich bei den Zementexperte der Firma Leube Dipl.-Ing. Dr. mont. Günther Waldl und Mag. Dr. Thomas Mlekusch bedanken, welche mir zahlreiche Tipps geben konnten.

Weiters bedanke ich mich bei Dipl.-Ing. Paul Gehwolf für die Unterstützung und die zur Verfügungstellung der Prüfpressgeräte.

Ganz herzlich bedanke ich mich bei meiner Familie, die mich immer unterstützt hat. Bei meinem Vater, der die Produktion der Pressvorrichtung ermöglichte und ganz speziell bei meiner Freundin Yvonne, die wirklich eine große Unterstützung in dieser Zeit war.

## INHALTSVERZEICHNIS

1.	Aufgabenstellung .....	1
2.	Zusammenfassung .....	2
3.	Problemstellung .....	5
4.	Theoretischer Hintergrund zur Brikettierung .....	8
4.1.	Bindemittel .....	8
4.1.1.	Einteilung der Bindemittel .....	8
4.1.2.	Zement .....	9
4.1.3.	Kalk .....	13
4.2.	Brikettierverfahren .....	14
4.2.1.	Stempelpresse .....	16
4.2.2.	Walzenpresse .....	18
5.	Charakterisierung .....	21
5.1.	Stäube und Schlämme .....	21
5.1.1.	Handhabungssicherheit .....	21
5.1.2.	Chemische Zusammensetzung .....	22
5.1.3.	Korngrößenanalyse .....	23
5.1.4.	pH-Wert Messung .....	26
5.1.5.	Schüttdichte und Feuchte .....	27
5.2.	Aggregate und Rohstoffe .....	28
5.2.1.	Korngrößenanalyse .....	28
5.2.2.	Schüttdichte und Feuchte .....	34
6.	Systematische Labormischversuche in Leoben .....	36
6.1.	Tastversuche .....	36
6.1.1.	Methodik und Vorgehensweise .....	36
6.1.2.	Probleme .....	39
6.1.3.	Ergebnisse und Empfehlungen .....	41
6.2.	Entwicklung einer Prüfeinrichtung .....	42
6.2.1.	Hintergrund .....	42
6.2.2.	Konstruktion Pressvorrichtung .....	42
6.2.3.	Ein Presszyklus .....	45
6.2.4.	Festigkeits- und Qualitätsprüfung .....	47

6.3.	Mischversuche und Festigkeitsauswertung .....	51
6.3.1.	1. Versuchsreihe .....	53
6.3.2.	2. Versuchsreihe .....	62
6.3.3.	Versuche mit Vorkonditionierung.....	72
7.	Mischversuche in Brixlegg im Pilotmaßstab.....	75
7.1.	Einteilung und Übersicht der Mischversuche.....	75
7.2.	Methodik und Vorgehensweise.....	76
7.3.	Ergebnisse.....	80
7.3.1.	Mix 5.....	80
7.3.2.	MIX 7 .....	80
7.3.3.	MIX 8 und 8M.....	80
8.	Diskussion der Ergebnisse.....	81
8.1.	Tastversuche .....	81
8.2.	Pressvorrichtung und Festigkeitseinflüsse .....	81
8.3.	Parameter der Festigkeitsüberprüfung .....	81
	Literaturverzeichnis .....	83
	Abbildungsverzeichnis.....	84
	Tabellenverzeichnis .....	87
	Anhang Inhaltsverzeichnis .....	88

## 1. AUFGABENSTELLUNG

Die Montanwerke Brixlegg AG prüft, ob interne Kreislaufstoffe und kupferreicher feiner Elektronikschrott durch modifizierte Pressagglomeration mit Hilfe einer Betonsteinpresse in wirtschaftlich kurzer Zeit zu Briketts bzw. Steinen gepresst werden können, um sie im werkseigenen Schachtofen einsetzen zu können.

In der Arbeit, die im Forschungsprogramm K1-Met Projekt 1.4 dust treatment erstellt wird, sollen die einzelnen Kreislaufstoffe und einsetzbaren Zuschlagstoffe hinsichtlich brikettier-relevanter Eigenschaften geprüft werden.

Nach Charakterisierung der Einsatzstoffe sollen aufbauend auf Literaturstudium und Diskussion mit Bindemittelherstellern geeignete Bindemittel für die Brikettierung ausgewählt und hinsichtlich ihrer Tauglichkeit in einem Schnellverfahren geprüft werden.

Aufbauend auf den Voruntersuchungen ist eine Prüfeinrichtung und eine Prüfvorschrift zu entwickeln, die es erlaubt für die unterschiedlichen Eingangsstoffe systematisch eine Rezeptur aus Einsatzstoffen, Bindemittel und Zuschlagstoffen zu erarbeiten, sodass Briketts reproduzierbarer Qualität für alle ausgewählten Einsatzstoffe erzielt werden können. Die Qualität wird durch die einaxiale Druckfestigkeit der Briketts nach 3 Tagen Aushärtedauer festgelegt. Diese darf nicht unter 5 MPa liegen.

Die Entwicklung der Prüfmethodik ist nachvollziehbar zu dokumentieren, die Auswahl der Einflussparameter in der Prozessfolge Dosieren, Mischen, Brikettieren und Aushärten ist zu erörtern.

Die Ergebnisse der Prüfmethodik sind hinsichtlich ihrer Bedeutung für den technischen Prozess zu diskutieren.

## 2. ZUSAMMENFASSUNG

Die Montanwerke Brixlegg AG plant die Anschaffung einer Betonsteinpresse, um Abfallstoffe und feine Kupferrohmaterialien schachtofentauglich zu machen.

Im Rahmen der Masterarbeit war eine Laborprüfeinrichtung aufzubauen, die eine systematische Prüfmethode erlaubt, um eine für die technische Betonsteinherstellung geeignete Rezeptur zu finden.

Da die Steinbriketts im Großmaßstab dem Schachtofen aus zwei Metern Höhe zugeführt werden müssen, müssen diese eine Mindestfestigkeit von 5 MPa aufweisen. Diese 5 MPa entsprechen einem Fall aus zwei Metern Höhe.

Bei den anfallenden Problemstoffen handelt es sich um sechs Stäube und sechs Schlämme, welche aufgrund ihrer Zusammensetzung und Korngrößenverteilung nur unter hohen Kosten sowie betrieblichen Aufwand entsorgt werden können.

Tabelle 1 zeigt die wesentlichen für die Brikettierung relevanten Parameter:

**Tabelle 1: Relevante Parameter für die Brikettierung**

<b>Einflussfaktoren</b>	<b>Bereich</b>	<b>Einheit</b>
$k_{\max}$	< 16	mm
$k_{80}$ -Wert	8	mm
Anteil < 40 $\mu\text{m}$	< 5	%
pH-Wert	> 7	-
Feuchte	10	%
Schüttdichte	1,3	$\text{g}/\text{cm}^3$
Gehalt Zink	< 5	%
Gehalt Chlor	< 1	%

Die vollständige chemische Zusammensetzung ist unter Punkt 5.1.2 aufgelistet.

Bei diesen chemischen Analysen wurde ein hoher Zink- und Chloranteil in den Proben festgestellt. Zink und Chlor haben negativen Einfluss auf die Zementerhärtung.

Aus Literatursuche und Diskussion mit Betonspezialisten der Fa. Leube (Dr. Mlekusch) wurde Zement CEM I 52,5 R als Bindemittel ausgewählt und für alle Versuche beibehalten. Weitere Bindemittel wurden nicht verwendet.

Als Rohstoffe zur Verbesserung der Endfestigkeit kamen Eisenspäne, Cu-Fe Mat fein, SO Shredder und MS-Späne fein zum Einsatz

Die ersten Tastversuche belegten, dass der Wasser/ Zementwert und damit der Feuchtegehalt der Schlämme vor der Mischung entscheidenden Einfluss auf das Festigkeitsverhalten haben und in der Rezepturentwicklung vorrangig zu

berücksichtigen ist. So konnte beim Ent-Cu Schlamm die gewünschte Festigkeit ohne Vortrocknung nicht erreicht werden. Der Feuchtigkeitsgehalt betrug 40 %.

Aufbauend auf den Tastversuchen zum Mischen und Pressen vor Ort mit Eirichmischer, improvisierter Stempelform und Rüttleinrichtung wurde im Labor des Lehrstuhls für Aufbereitung ein Laborprüfverfahren für Kleinstversuche aus folgenden Bestandteilen aufgebaut: Unterplatte, vorgespannte Oberplatte, Wellen, Pressform und Pressstempel (Abbildung 1).

**Abbildung 1: Pressvorrichtung für Laborpresse Midi 10, Fa Messphysik**



Die Laborprüfpresse Midi 10, Fa Messphysik zur kontrollierten Druckfestigkeitsprüfung mit Kraft/ Wegmessung und regelbarer Anpressgeschwindigkeit bildet den Kern der Versuchseinrichtung. Sowohl die Stempelpressversuche, als auch die Druckfestigkeitsprüfung nach Aushärtung können mit der adaptierten Prüfeinrichtung durchgeführt werden. Ein Zylinder von 64 cm<sup>3</sup> Volumen Inhalt und zugehöriger Stempel von 2,95 cm Durchmesser sitzen auf einem Federbeinadapter, der eine kontrollierte, plane Annäherung des Pressstempels an die Kraftmessdose erlaubt. Konstruktion, Dimensionierung und Umsetzung erfolgten durch den Autor Thomas Tripolt.

Für den gesamten Prüfzyklus, bestehend aus Dosieren, Mischen, Verdichten, Pressen, Aushärten wurde eine Arbeitsanweisung verfasst.

Nach dieser Arbeitsvorschrift wurden basierend auf den Ergebnissen der Tastversuche systematische Versuchsreihen im Labor des Lehrstuhls unter Variation von Zementmenge, Wassermenge, Temperatur, Presskraft und Aushärtedauer durchgeführt.

Die anschließende Festigkeitsprüfung erfolgte mit drei unterschiedlichen Prüfpressen. Bei den Pressen handelt es sich um Midi 10 (Maximalbelastung 5 kN), MEGA KS-10 (Maximalbelastung 30 kN) und die Prüfpresse am Lehrstuhl für Subsurface Engineering an der Montanuniversität (Maximalbelastung 1000 kN).

Bei den Festigkeitsergebnissen muss zwischen den Ergebnissen der Stäube und Schlämme unterschieden werden. Es konnte festgestellt werden, dass die Stäube aufgrund ihres starken Reaktionsverhaltens mit Zement ein schlechteres Festigkeitsverhalten als die Schlämme aufweisen.

Bei diesen Pressversuchen hat sich herausgestellt, dass der FO-Staub und Hallenfilterstaub nur in begrenzter Menge (<5 – 10 %) verarbeitet werden können, da das Material sonst zu schnell abbindet und austrocknet. Aus diesem Grund wurde bei diesen Problemstoffen eine Vorkonditionierung mit Soda, Kalk, Wein- oder Zitronensäure durchgeführt. Mit Soda konnten die besten Ergebnisse, vor allem beim FO-Staub erzielt werden. Eine höhere Zugabe von FO-Staub kann so durch die Vorbehandlung mit Soda ermöglicht werden.

Bei Versuchen mit Endschlamm 1 und Raff-Oxid wurde festgestellt, dass eine Temperaturveränderung von 20 °C auf 40 °C keinen Einfluss auf die Festigkeitsentwicklung hat. Im Gegensatz zu den restlichen Kreislaufstoffen.

Mit dem angestrebten Zementgehalt von kleiner 15 % in der Mischung konnte die geforderte Mindestfestigkeit von 5 MPa nicht erreicht werden. Die höchste Festigkeitssteigerung wurde bei Endschlamm 2 und Raff-Oxid Stery 2 durch die Erhöhung des Zementgehalts von 15 % auf 30 % erzielt.

Die Mindestfestigkeit von 5 MPa kann nach drei Tagen Aushärtung meist nur knapp erreicht werden. Erst nach sieben Tagen zeigte sich ein deutlicher Festigkeitsanstieg.

Eine Erhöhung der Presskraft von 500 N auf 2000 N bewirkt eine Festigkeitserhöhung. Die höhere Presskraft würde den Bindemittelanteil verringern. Dieser Aspekt sollte aus wirtschaftlicher Sicht in Betracht gezogen werden.

Aufgrund der im Rahmen der Diplomarbeit gewonnenen Erkenntnisse konnte in Zusammenarbeit mit der die Montanwerke Brixlegg AG erste Rezepturen für alle Schlämme und Stäube gefunden werden, sodass die geforderte Mindestfestigkeit von 5 MPa erreicht werden konnte. Für alle Stäube und Schlämme bis auf FO-Staub und Raff-Oxid konnten den Qualitätskriterien entsprechende Rezepturen gefunden werden.

### 3. PROBLEMSTELLUNG

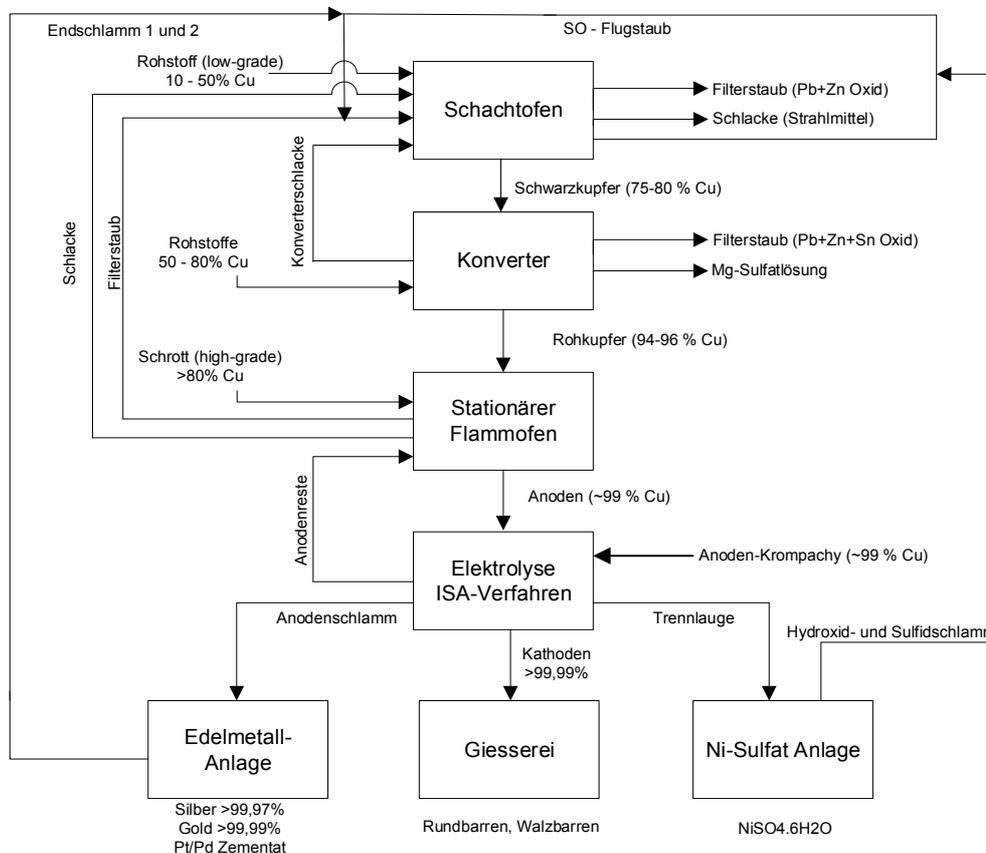
Die Montanwerke Brixlegg AG ist ein Unternehmen mit langer Tradition. Kupfer- und Silbererze konnten bis ins 20. Jahrhundert in Tirol abgebaut und in der Montanhütte Brixlegg verarbeitet werden. Durch den Mangel an Primärrohstoffen musste die Hütte auf Sekundärrohstoffe zur Metallgewinnung umstellen und ist somit schrittweise zu einem nachhaltigen Recyclingbetrieb geworden. Heute wird in Brixlegg von Autowracks bis Kühlschränke alles recycelt, was Kupfer beinhaltet, um anschließend wieder auf den Markt gebracht zu werden.

Beim Kupferrecycling fallen jedoch zahlreiche Schadstoffe, Stäube und Schlämme an, welche durch geeignete Aufbereitung weiterverarbeitet werden müssen. Um die Wirtschaftlichkeit des Unternehmens zu verbessern, sowie aus Gründen des Umweltschutzes und der Nachhaltigkeit wird versucht, diese Schadstoffe dem Prozess wieder mittels Brikettierung zurückzuführen.

Für die betriebliche Rückführung der Stoffe im großtechnischen Maßstab ist eine Betonsteinpresse bereits geplant und genehmigt. Die Betonsteinpresse zählt zu der Baugruppe der Stempelpressen. Übliche Stempelpressen, wie zum Beispiel Tablettenstempelpressen benötigen einen höheren Anpressdruck, um das Material zu brikettieren. Betonsteinpressen hingegen benötigen geringeren Anpressdruck, da ein Bindemittel (Zement) eingesetzt wird (2 kN pro Betonstein anstatt bis zu 2000 kN bei Stempelpressen). Der geringere Anpressdruck von 2 kN gegenüber 2000 kN bei herkömmlichen Stempelpressen stellt einen verfahrenstechnischen Vorteil da.

Die Wirtschaftlichkeit des Unternehmens kann dadurch verbessert werden, da vor allem feine Sekundärrohstoffe am Markt günstig zu erwerben sind. Des Weiteren fallen sehr hohe Kosten für die Entsorgung der Abfallstoffe an, welche bei Kreislaufführung reduziert werden können. Ein zusätzlicher positiver Aspekt ist, dass die Ausbeute an Kupfer dadurch erhöht wird.

Abbildung 2 gibt Aufschluss über die unterschiedlichen, anfallenden Abfall- und Kreislaufstoffe, die bei der Produktion entstehen. Außerdem zeigt sie, bei welchem Verfahrensschritt die einzelnen Stoffe anfallen. Die aufzubereitenden Stoffe sind mengenmäßig angeführt und grün hervorgehoben. Aufgrund der unterschiedlich anfallenden Mengen, muss mittels geeigneten Mengenmanagement eine Verwertung aller Stoffe gewährleistet werden.

**Abbildung 2: In Brixlegg anfallende Kreislauf- und Abfallstoffe**


Um das Verhalten der Einsatzstoffe beim Brikettieren zu verstehen, muss eine umfassende Charakterisierung jedes einzelnen Stoffes durchgeführt werden. Korngröße, pH-Wert, Schüttdichte und Feuchte sowie die chemischen Eigenschaften spielen dafür eine wichtige Rolle und wurden daher für jeden Stoff analysiert.

Um die Prozessstoffe recyceln zu können, müssen diese mit einem Bindemittel vermengt und anschließend gepresst werden. Da die Brikettierung großtechnisch mittels Betonsteinpresse erfolgen soll, ist der Einsatz von Zement als Bindemittel erforderlich. Die Wahl eines geeigneten Bindemittels, stellt eine Herausforderung dar, da die Schadstoffe unterschiedlich stark auf die Zugabe der Bindemittel reagieren.

Aufgrund der Vielzahl der anfallenden Stoffe, sowie unterschiedlichen Mengen, muss eine geeignete Rezepturenentwicklung erfolgen. Die Prozessbedingungen in Brixlegg erfordern eine Mindestfestigkeit von 5 MPa der gepressten Steine. Diese Mindestfestigkeit entspricht einem Fall eines Steines aus zwei Metern Höhe.

Für die Herstellung von Betonsteinen aus verschiedensten Kreislaufstoffen sind folgende Rahmenpunkte abzuklären:

- Dosierung: Welches Mengenverhältnis der anfallenden Stoffe kann zugeführt werden?
- Mischen: Welche Parameter führen zu einer idealen Mischung?
- Pressen: Welche Druckkraft und welche Mengen an Bindemittel sind erforderlich?
- Aushärten: Wie lange muss der Stein für die benötigte Mindestfestigkeit aushärten?

Zusammenfassend werden im Rahmen der Diplomarbeit folgende Punkte behandelt:

- Charakterisierung der sechs Stäube und sechs Schlämme
- Tastversuche um erste Vorkenntnisse zum Festigkeitsverhalten erhalten zu können und daraus resultierend einen Versuchsplan aufzustellen
- Entwicklung einer Laborprüfpresse (Scale-Down zur Großanlage) um die Reproduzierbarkeit der Festigkeitsergebnisse sicherzustellen
- Systematische Labormischversuche mit den einzelnen Problemstoffen in Leoben
  - Festigkeitsbestimmung mittels Laborprüfpresse
- Unsystematische Pilotmischversuche aus einer Kombination der Einzelstoffe in Brixlegg
- Rezepturempfehlung zu den einzelnen Schlämmen und Stäuben

## 4. THEORETISCHER HINTERGRUND ZUR BRIKETTIERUNG

Steigende Rohstoffpreise, strengere Umweltauflagen sowie Ressourcenschonung führen zu einem Umdenken im Rohstoffsektor. Vor einiger Zeit, war es noch üblich zu feines Material bzw. Abfallstoffe ohne jegliche Aufbereitung zu entsorgen. Heutzutage werden genau diese Materialien durch geeignete Prozessschritte so aufbereitet, dass sie ohne Probleme den Stoffkreislauf wieder rückgeführt werden können.

Ein wichtiges Verfahren zur Aufbereitung feiner Stoffe ist die Brikettierung.

Das Material wird, je nach Verfahren, in spezielle Formmulden oder Formen gepresst und somit agglomeriert. Hierzu muss das Material zunächst durch geeignete Fördersysteme zugeführt werden.

In der Brikettierung ohne Bindemittel kommen unterschiedliche Kräfte zum Tragen. Es werden vorwiegend Stoffe, mit einem Korndurchmesser zwischen 0,1 Mikrometern und einigen Millimetern bei der Brikettierung eingesetzt. Bei diesen Korngrößen weisen die Partikel untereinander nur geringe Anziehungskräfte auf. Es gilt, dass mit sinkender Partikelgröße die kohäsiven Kräfte zwischen den Partikeln zunehmen. Dies ist ein Grund für die Bildung von Agglomeraten.

Einen geringeren Einfluss als die kohärenten Kräfte weisen die Van der Waals-Kräfte auf. Mechanische Kräfte, wie zum Beispiel die der mechanischen Verzahnung und Verschmiedung unterstützen die Festigkeit der gepressten Steine (Dryzymala 1993).

Viele Materialien lassen sich ohne den Einsatz von geeigneten Bindemitteln nicht zu festen Briketts pressen oder weisen in gepresster Form eine zu geringe Festigkeit auf. Aus diesem Grund gibt es zahlreiche Bindemittel, die je nach Rezeptur, den Rohstoffen zugemischt werden, um die Festigkeit signifikant zu erhöhen (Dryzymala 1993). In Kapitel 4.1 werden die wichtigsten Fakten zu den unterschiedlichen Bindemitteln angeführt.

### 4.1. BINDEMittel

Es gibt eine große Auswahl an Bindemitteln zum Brikettieren. Der Hauptzweck des Bindemittels ist es, die Bindung zwischen den einzelnen Partikeln zu erhöhen und somit eine Verfestigung des Materials zu erzielen. Bindemittel werden bevorzugt eingesetzt, wenn die plastischen Eigenschaften des Materials zu gering sind und eine Pressagglomeration nicht durchgeführt werden kann (Schubert 2003).

#### 4.1.1. EINTEILUNG DER BINDEMittel

Es wird zwischen organischen und anorganischen Bindemitteln unterschieden. Typische Beispiele für organische Bindemittel sind Harz, Pech und Stärke. Zu den anorganischen zählen Stäube, Schleifschlämme und Ton (Treptow 1925).

Nach Reichmann können Bindemittel in sieben Gruppen unterteilt werden. Die Gruppen, sowie einige Beispiele sind in Tabelle 2 angeführt.

**Tabelle 2: Bindemittelgruppen (Reichmann 2010)**

<b>Bindergruppen</b>	<b>Binderstoffe</b>
Thermoplastische Binder	Pech, Bitumen, Kunststoffe, Wachse
Mörtelbinder	Kalkmörtel, Gips, Zement
Glucosidische Binder mit Wasser	Stärke, Melasse, Ligninsulfonat
Anorganische Lösungen	Wasserglas, Phosphorsäure
Tonige Binder	Bentonit
Faserige Binder	Zellulose-Fasern, Papiermehl

Je nach Einsatzort und Verwendung eignen sich manche Bindemittel besser als andere zur Brikettierung. Wesentliche Entscheidungshilfen sind die Festigkeit, der Verwendungszweck aber auch die Wirtschaftlichkeit des eingesetzten Bindemittels (Schubert 2003).

In Kapitel 4.1.2 und 4.1.3 wird auf zwei technisch äußerst relevante Bindemittel eingegangen. Bei diesen soll neben den chemischen Eigenschaften zusätzlich die Herstellung erläutert werden.

#### 4.1.2. ZEMENT

Trotz der großen Auswahl an Bindemitteln überzeugt der Zement, neben anderen Bindemitteln, welche vergleichsweise schneller wirken, besonders durch seine hohe Frühfestigkeit. Unter Frühfestigkeit versteht man das schnelle Aushärten der Agglomerate. Dadurch wird eine schnelle Prozessrückführung und somit Kostenreduktion ermöglicht (Verein Deutscher Zementwerke e.V., 2002).

Laut ÖNORM EN 197-1 werden 27 Zementarten anhand ihrer Zuhaltstoffe in fünf Hauptzementarten unterteilt:

- CEM I           Portlandzement
- CEM II         Portlandkompositzement
- CEM III        Hochofenzement
- CEM VI         Puzzolanzement
- CEM V         Kompositzement

Der Zement zählt zu der Gruppe der hydraulischen Bindemittel. Hydraulische Bindemittel sind Stoffe, welche durch Kontakt mit Wasser erhärten, aber auch nach dem Aushärten gegen Wasser beständig sind. Die wichtigsten Beispiele sind der Portlandzement, Tonerdezement sowie der Hüttenzement (Czernin 1977).

Im Gegensatz dazu, härten nicht hydraulische Bindemittel entweder bei Kontakt mit Wasser nicht aus oder verlieren ihre Festigkeit bei Kontakt mit Wasser nach dem Aushärten. Beispiele hierzu wären: Gipsbindemittel und Luftkalk (Czernin 1977).

## **Chemische Zusammensetzung und Charakteristik**

Zement besteht vorwiegend aus Kalk, Kieselsäure, Tonerde und Eisenoxid. Kalk und Ton sollten in einem Verhältnis von 3:1 gemischt sein. Die Zementeigenschaften variieren je nach Art der Zusammensetzung. Um diese miteinander vergleichbar zu machen, wurden Verhältniszahlen, sogenannte „Module“ eingeführt. Der wichtigste Modul ist der Hydraulermodul. Dieser beschreibt das Verhältnis zwischen Calciumoxid und den Tonbestandteilen. Dieser Faktor liegt im Normalfall bei 2,2. Weitere Module sind der Silikatmodul und der Tonerdemodul (Reul 1991).

## **Herstellung**

Zement besteht wie bereits erwähnt aus den drei Hauptbestandteilen Kalkstein, Ton und Kalksteinmergel. Diese Ausgangsmaterialien werden in den meisten Fällen durch Sprengung in Steinbrüchen gewonnen und zu einer Korngröße von max. 30 mm gebrochen. Um eine gleichmäßige Verteilung der Bestandteile in der weiteren Verarbeitung gewährleisten zu können, muss das Material mittels Kugel- oder Walzenschüsselmühlen gemahlen werden (Reul 1991; Czernin 1977).

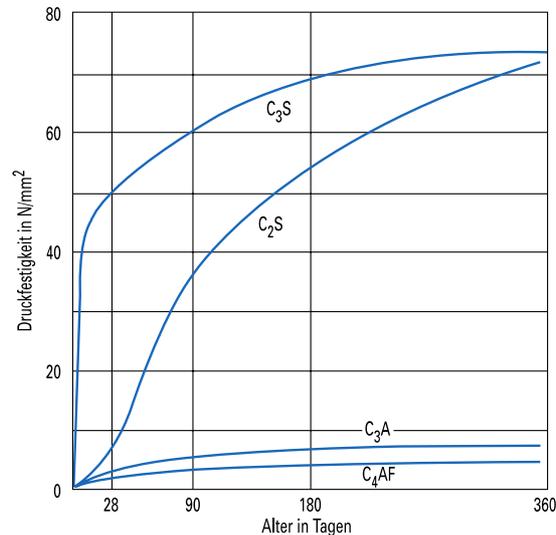
Im nächsten Schritt wird das Ausgangsmaterial in Drehöfen in drei bis fünf Stunden auf 1400 bis 1450 °C erhitzt (Sintereremperatur). Bei diesen hohen Temperaturen verschwindet nicht nur die Feuchtigkeit, sondern auch das chemisch gebundene Wasser. Der Ton verliert seine Feuchtigkeit bereits bei ca. 500 °C. Zwischen 797 und 997 °C gas die Kohlensäure aus dem Kalkstein aus. Steigen die Temperaturen weiter, so reagieren der Ton und gebrannte Kalk miteinander zu Dicalciumsilicat und weiter zu Tricalciumsilicat. Nach einer 10 bis 20-minütigen Verweilzeit im Ofen wird das Rohstoffgemisch abgekühlt (Reul 1991).

Für die Eignung als Bindemittel muss der im Drehofen entstandene Zementklinker fein aufgemahlen werden. Meist wird dem Zement noch Gips, in manchen Fällen Kalk oder Flugasche zugegeben (Reul 1991).

## **Hydratation des Zements**

Der Portlandzement, der wichtigste unter den Zementarten - da er durch seine Festigkeit andere Zemente bei weitem übertrifft - besteht aus den Klinkerphasen Tricalciumsilicat ( $C_3S$ ), Dicalciumsilicat ( $C_2S$ ), Tricalciumaluminat ( $C_3A$ ) und Calciumaluminatferriten ( $C_2(A,F)$ ). Diese Klinkerphasen entstehen durch das Brennen der Ausgangsstoffe und haben einen unterschiedlich starken Einfluss auf die Festigkeit sowie Reaktionsgeschwindigkeit. Tricalciumaluminat und Tricalciumsilicat hydratisieren wesentlich schneller als die anderen beiden Klinkerphasen. Den höchsten Einfluss auf die Frühfestigkeit hat das Tricalciumsilicat. Dicalciumsilicat liefert seinen Beitrag zur Festigkeitsentwicklung vorwiegend im höheren Alter. Abbildung 3 zeigt den Verlauf der Druckfestigkeiten der einzelnen Klinkerphasen über die Zeit.

**Abbildung 3: Druckfestigkeiten der reinen Klinkerphasen bis zum Alter von 360 Tagen (Lerch & Boque 1934)**



Bei Zugabe von Wasser zu Zement bilden sich sogenannte Calciumsilicathydrate (CSH), welche einen wesentlichen Beitrag zur Festigkeit leisten. Ausgangsmaterial sind die silicatischen Klinkerphasen  $C_3S$  und  $C_2S$ . Je nach dosierter Wassermenge bilden sich unterschiedliche Hydrate aus. Richtwert ist hierbei der W/Z-Wert, der Wasserzementwert. Der Wasserzementwert gibt das Verhältnis von zugesetzter Wasser- zur Zementmenge an. Neben der Bildung von Calciumsilicathydrate entsteht auch das Calciumhydroxid (CH).

Welche Hydratphasen sich bilden hängt zusätzlich vom Sulfatangebot ab. Je nach An- oder Abwesenheit bildet sich entweder Calciumaluminatsulfathydrat oder Tetracalciumaluminathydrat. Bei sulfatreichen Lösungen bildet sich Ettringit, ein prismatisch nadelförmiges Trisulfat und bei sulfatarmen Lösungen das hexagonal dünntafelige Monosulfat (Verein Deutscher Zementwerke e.V 2002).

### Hydratationsablauf

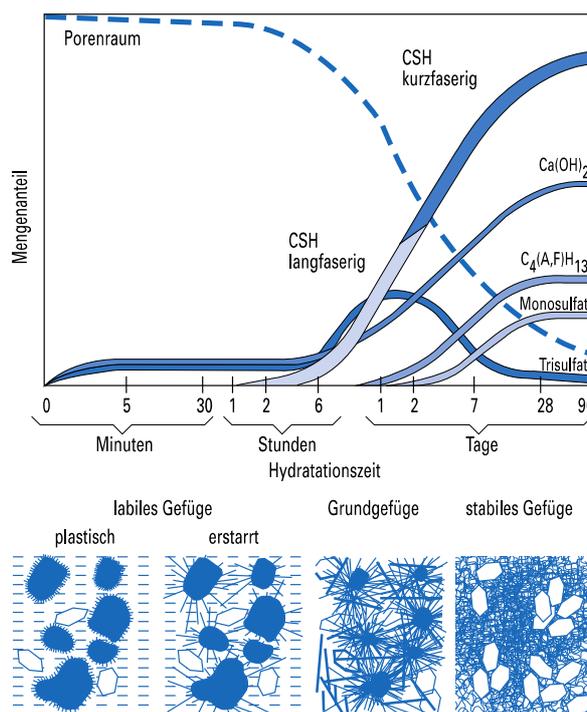
Der Zementleim ist ein Gemisch aus Wasser und Zement. Durch die Zugabe von Wasser starten die Hydratationsreaktionen. Zu Beginn weist der Zementleim ein plastisches Verhalten auf, welches durch Wasserzugabe abnimmt. Nach DIN EN 196- 3 geht diese Steifigkeitszunahme ab einem gewissen Grad in das Erstarren und anschließend in das Erhärten über. Somit lässt sich der gesamte Ablauf der Hydratation in vier Hydratationsstadien unterteilen.

Abbildung 4 zeigt den zeitlichen Ablauf der Hydratphasenbildung sowie die Gefügeentwicklung. Zunächst bilden sich auf den Oberflächen der Klinkerpartikel kurze, hexagonal säulenförmige Ettringitkristalle aus der Reaktion von Calcium- und Sulfationen mit Tricalciumaluminat. Erste Calciumsilicathydrate bilden sich nebenbei in kolloidaler Form. Nach dieser Startperiode folgt eine Ruhephase, während der keine

Hydratation von statten geht. Die Steifigkeit des Zements hat bis jetzt nur gering zugenommen.

Nach ein bis drei Stunden folgt die Festigkeitszunahme des Zementleims, da sich erste Calciumsilicathydratkristalle auf den Klinkerpartikeln bilden. Diese weisen eine spitznadelige Form auf. Es folgt wiederum eine Ruheperiode, nach der eine erneute Hydratation der Klinkerpartikel eintritt. Diese Phase nennt man auch Beschleunigungsphase. Sie startet nach vier Stunden. Es bildet sich ein Grundgefüge aus CSH-Faserbündeln bzw. CSH-Blattstrukturen, plattigen Calciumhydroxid und in die Länge wachsende Ettringitkristalle. Nun können Leerräume zwischen den Zementpartikeln überbrückt werden und das damit verbundene Erhärten des Gefüges tritt ein. Die Verfestigung nimmt kontinuierlich zu bis es zu einem Erstarren des Gefüges kommt (Vgl. Locher et al. 1976; Odler 1998; zit. nach Verein Deutscher Zementwerke e.V 2002)

**Abbildung 4: Bildung der Hydratphasen und Gefügeentwicklung (Verein Deutscher Zementwerke e.V 2002)**



### Störeinflüsse auf die Zementerhärtung

Dem Aushärten von Zement können manche Einflüsse entgegenwirken. Prinzipiell kann man nach Czernin zwischen drei Arten von Störeinflüssen unterscheiden:

- Lösungsvorgänge
- Chemische Umsetzungen
- Aggressive Stoffe in den Betonkomponenten

Lösungsvorgänge: Obwohl Wasser grundsätzlich für die Anmachmischung von Zement verwendet wird, hat es bei Dauerbeanspruchung auf die Festigkeit eine negative Auswirkung. Der Grund dafür ist, dass Zement vorwiegend aus Kalk besteht, welcher wiederum aus dem wasserlöslichen Kalkhydrat aufgebaut ist. Es sind hauptsächlich weiche (kalkarme) Wässer schädlich. Außerdem haben die meisten Säuren, wie zum Beispiel Salzsäure, Schwefelsäure und Salpetersäure eine schädigende Wirkung.

Bei der chemischen Umsetzung reagiert der bereits ausgehärtete Zement mit dem Schadstoff zu schwerlöslichen Produkten. Diese Reaktionsprodukte benötigen aufgrund ihres größeren Volumens mehr Platz und führen somit zur Zerstörung des Betons. Ein Beispiel hierfür wäre ein Angriff des Betons durch Sulfate.

Aggressive Stoffe in der Betonkomponente: Im Gegensatz zu den ersten beiden angeführten Punkten, erweisen sich Stoffe, welche sich bereits im Anmachwasser befunden haben, als weniger schädlich für den Beton. Gips, welcher zum Beispiel bei dauernder Einwirkung extrem schädlich ist, hat im Anmachwasser keine Auswirkung. Kohlensäure Wässer haben ebenso keinen allzu großen Einfluss. Organische Verunreinigungen (Humusstoffe, Zucker) können das Aushärtevermögen des Betons stark beeinflussen.

Chloride und Nitrate sollten nicht mehr als ein Prozent des Zementgehaltes betragen (Czernin 1977).

Für den möglichen Einfluss der Stoffe bezogen auf das Anmachwasser beim Erhärten des Zements, wurde in Brixlegg eine Filtratversuch durchgeführt. Ergebnisse dazu befinden sich im Anhang unter Eluatmessung.

#### 4.1.3. KALK

Neben Zement ist Kalk eines der am meist verbreitetsten Bindemittel. Nach Lehm, zählt er zu den ersten verwendeten Bindern. Kalk wird in Kalkstein, Branntkalk und Kalkhydrat unterteilt. Wobei Weißkalke aus reinem Kalkstein, Dolomitzalke aus Dolomit oder dolomithaltigem Kalkstein hergestellt werden. Hydraulische Kalke bestehen aus Mergel (tonhaltiger Kalkstein) (Zilch et al. 2012).

### Herstellung

Der industriell eingesetzte Weißkalk wird durch drei aufeinanderfolgende Reaktionsschritte hergestellt. Zunächst wird der Kalkstein ( $\text{CaCO}_3$ ) bei ca. 1000 °C in Branntkalk ( $\text{CaO}$ ) und Kohlensäure ( $\text{CO}_2$ ) umgewandelt. Der Branntkalk ist nun um einiges poröser als das Ausgangsmaterial.

Bei Hinzugabe von Wasser wird diese Porosität ausgenutzt, denn die feinen Poren saugen das Wasser nahezu auf. Dieser Vorgang wird auch als Löschen und das Produkt als Löschkalk oder Kalkhydrat bezeichnet. Der Löschkalk ist nun ein feines, weißes Pulver. Dieses feine Pulver weist schon eine gewisse Bindekraft auf. Der letzte Schritt ist die Reaktion mit der zuvor ausgetriebenen Luftkohlensäure. Diese dringt nun wieder in die Poren ein und führt zu einer Härtung des Materials. Das Endprodukt nennt man Calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) welches durch die sogenannte Carbonatisierung gebildet wird (Czernin 1977; Reul 1991).

Der Dolomitkalk wird durch zwei Brennvorgänge hergestellt, bei 600 °C und bei 900 °C. Die Löschreaktion gleicht jener der Herstellung von Weißkalk.

Hydraulische Kalke werden aus Mergel bei 1000 °C bis 1200 °C gebrannt. Beim Löschen von hydraulischen Kalken mit Wasser, muss auf die maximale Wasserzufuhr geachtet werden. Es darf nur so viel Wasser hinzugefügt werden, dass das reaktive Calciumoxid gelöscht wird. Bei hydraulischen Kalken, tritt neben der Carbonaterhärtung auch eine hydraulische Erhärtung ein. Dadurch können, ähnlich wie beim Zement, höhere Festigkeiten als beim Luftkalk erzielt werden (Zilch et al. 2012).

Der Branntkalk wird in der Lebensmittel-, Papier- aber auch in der Stahlindustrie eingesetzt. Er wird neben der Verwendung als Bindemittel zusätzlich zur Bodenstabilisierung, als Düngemittel und in Kläranlagen zur Abwasseraufbereitung verwendet.

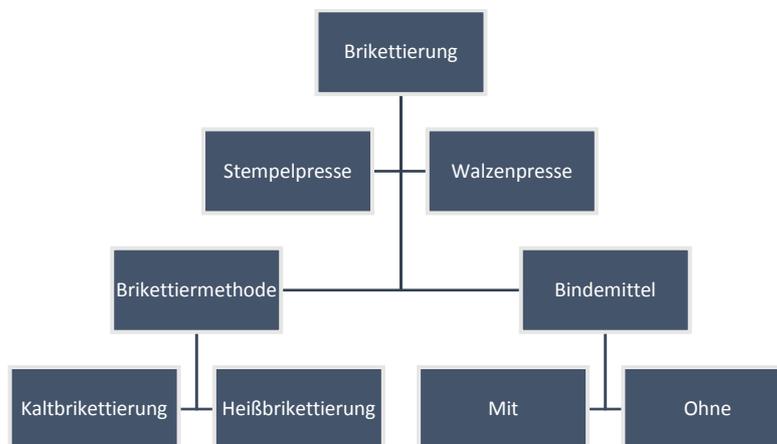
Der Löschkalk findet seinen Einsatz als Mörtel im Bauwesen, dient als Füllstoff für Asphalt oder kann zur Herstellung von Kalkmilch verwendet werden. Ein Vorteil liegt in der direkten Verwendung des Löschkalks ohne Vorbehandlung (Czernin 1977).

## 4.2. BRIKETTIERVERFAHREN

Unter Brikettierung versteht man die Agglomeratbildung unter erhöhtem Druck. Der Druck variiert je nach Stoffeigenschaften, Temperatur des Aufgabegutes oder dem eingesetzten Bindemittel. Auf den Einsatz von Bindemitteln kann verzichtet werden, wenn sich das Material beim Pressen plastisch verformen lässt. Die Pressdrücke reichen von ca. 10 MPa bis 1000 MPa (Schubert 2003).

Die grundlegenden Verfahren der Brikettierung sind in Abbildung 5 als Übersicht dargestellt. Prinzipiell wird zwischen Stempel- und Walzenpressen unterschieden, wobei beide Verfahren als Kalt- oder Warmverfahren einsetzbar sind.

**Abbildung 5: Übersicht Brikettierung**

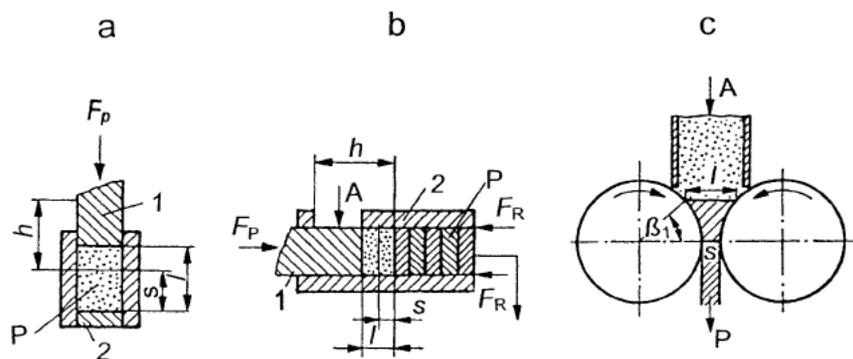


Befindet sich die Temperatur des zu brikettierenden Materials über 100 °C, spricht man von Heißbrikettierung. Es kann nur heiß brikettiert werden, wenn das Aufgabegut

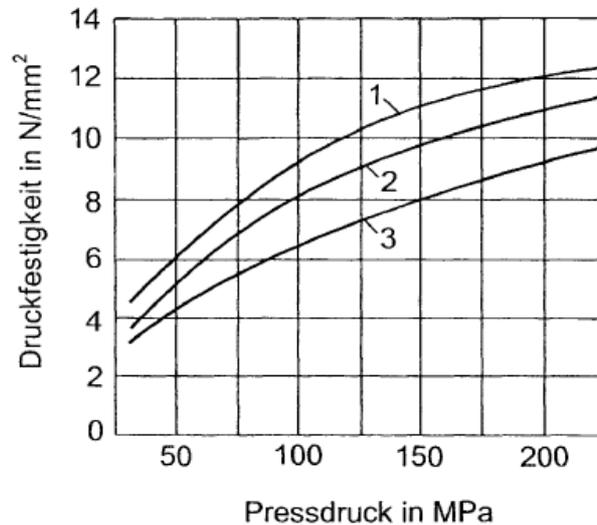
bei hohen Temperaturen entsprechende Bindungseigenschaften entwickelt. Erhitzt wird das Aufgabegut bis zum plastischen Temperaturbereich vor der eigentlichen Brikettierung. Außerdem kann bei der Heißbrikettierung oft auf den Einsatz von Bindemitteln verzichtet werden.

Weiters spielt die verwendete Pressgeometrie beim Brikettieren eine große Rolle. Diese kann entweder eine geschlossene oder offene Form aufweisen. Ebenso ist die Verdichtung, welche geometrisch begrenzt oder kraftbegrenzt verwendet wird, relevant. Abbildung 6 zeigt die verschiedenen Prinzipien der Pressagglomeration. Punkt a stellt eine Stempelpresse in geschlossener Form mit geometrischer begrenzter Verdichtung dar. Punkt b stellt ebenfalls eine Stempelpresse mit offenem Formkanal und kraftbegrenzter Verdichtung dar. Punkt c zeigt die Pressagglomeration mittels Walzenpressen.

**Abbildung 6: Prinzipien der Pressagglomeration (Schubert 2003)**



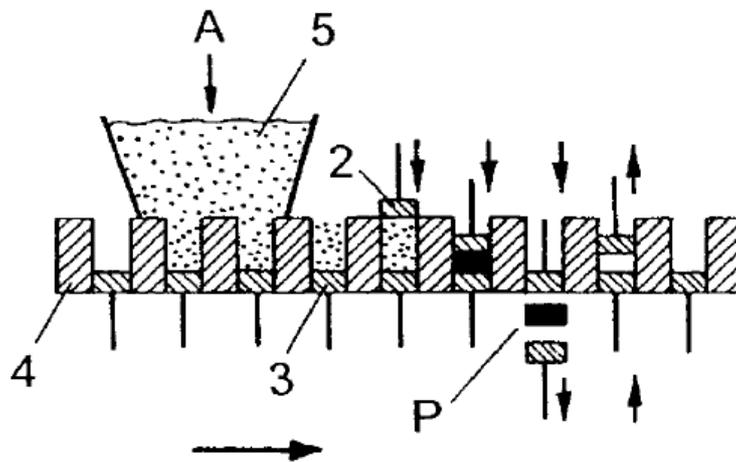
Die Festigkeit verschiedener Materialien ist abhängig vom Pressdruck (Abbildung 7). Der größte Festigkeitszuwachs erfolgt zu Beginn der Belastung. Bis zur maximal möglichen Belastung nimmt daher die Festigkeitszunahme kontinuierlich ab (Schubert 2003).

**Abbildung 7: Abhängigkeit der Festigkeit vom Pressdruck (Schubert 2003)**


#### 4.2.1. STEMPELPRESSE

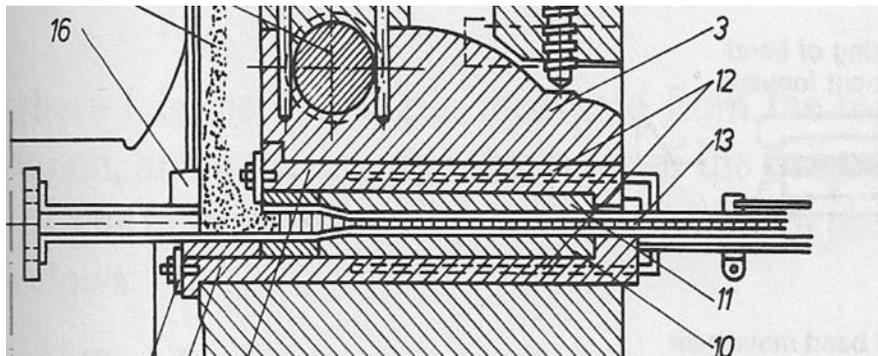
Wie bereits in der Übersicht erwähnt, spricht man bei einer diskontinuierlichen Pressung zwischen zwei Pressstempeln in einer geschlossenen Form, von einer Stempelpresse. Meist ist nur einer dieser Stempel bewegt ausgeführt. Das Material wird mittels Aufgabetrichter daher einseitig der Form zugeführt. Nach erfolgter Pressung werden die Presslinge entweder in dieselbe oder entgegengesetzte Richtung wieder ausgepresst.

Für hohe Stückzahlen werden, wie zum Beispiel in der Tablettenerzeugung gefordert, spezielle Hochleistungspressen mit bis zu 10.000 Tabletten pro Minute (Abbildung 8) eingesetzt. Realisiert wird dies mittels einem drehbaren Tisch, mit dem das Material mehrstufig gleichzeitig befüllt werden kann. Der Auswurf der Presslinge bei diesen speziellen Pressen erfolgt meist durch die nach unten fahrenden Unterstempel. Kann der Pressling nicht selbstständig die Form verlassen bzw. lässt sich dieser nur schwer aus der Form lösen, werden dem Material spezielle Bindemittel oder auch Gleitmittel zugegeben (Schubert 2003).

**Abbildung 8: Rundlauf Tablettenpresse (Schubert 2003)**


### Formkanalpressen-Stempelpresse

In Formkanalpressen erfolgt die Pressung kontinuierlich. Das Material wird durch einen Kanal gepresst, sodass ein gepresster Strang entsteht. Es werden Pressdrücke von bis zu 140 MPa erreicht. Der geforderte Mindestpressdruck könnte aber ohne eine entsprechende Verjüngung der Form (Abbildung 9) aufgrund von zu geringer Reibung der Form und des zu geringen Strangwiderstandes, nicht aufgebracht werden.

**Abbildung 9: Pressform einer Formkanalpresse (Dryzymbala 1993)**


In Abhängigkeit der Fließeigenschaften des Materials und seines Verhaltens beim Füllen der Formen wird das Ausgangsmaterial entweder über einen Schneckenzuteiler oder einen Schwerkraftzuteiler der Stempelpresse zugeführt. Durch spezielle Vorrichtungen (Abbildung 10), kann die Dosierung ständig exakt konfiguriert werden, um den geforderten Durchsatz zu erreichen.

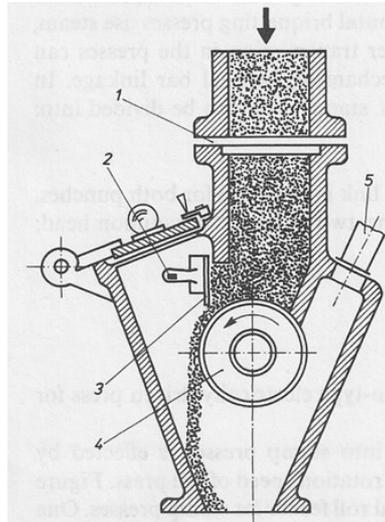
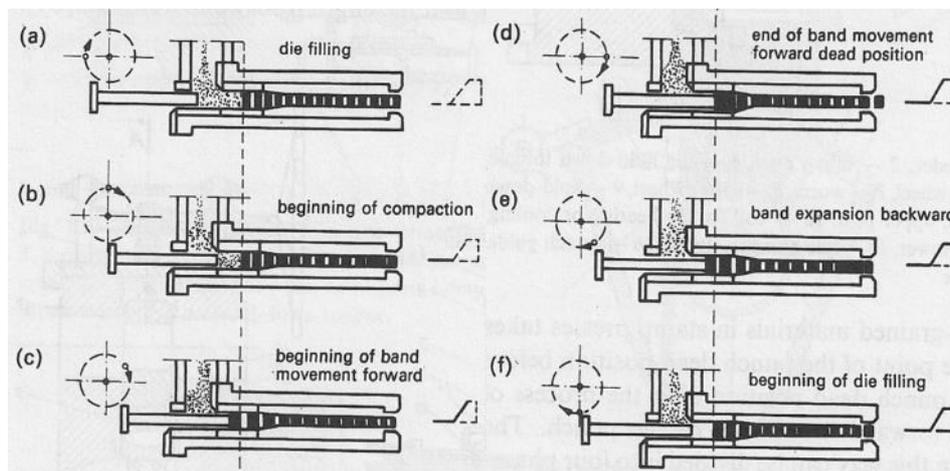
**Abbildung 10: Stempelpresse Materialzufuhr kontinuierlich (Dryzymala 1993)**


Abbildung 11 zeigt einen Presszyklus, welcher je nach Material ca. 0,5 Sekunden dauert. Das Material wird über Zuführungen dosiert. Anschließend startet der Stempel mit dem Aufbringen der Kraft. Nach Erreichen einer gewissen Presskraft, beginnt sich der gepresste Strang nach vorne zu schieben. Ein Zyklus ist abgeschlossen, wenn der Stempel mittels Exzentrerscheibe wieder zurückfährt und der Pressling nach vorne ausgestoßen wird.

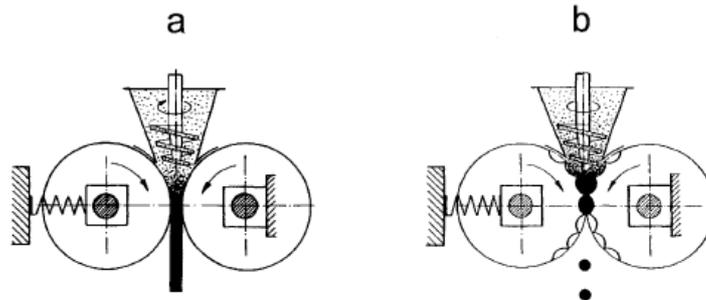
**Abbildung 11: Presszyklus Formkanalpresse (Dryzymala 1993)**


#### 4.2.2. WALZENPRESSE

Das Prinzip der Walzenpresse beruht auf der Materialverdichtung durch Druckkräfte, welche zwischen einem Spalt von zwei gegenläufig rotierenden Walzen hervorgerufen wird. Beim Durchlaufen des Walzenspalts wird das Material zu Briketts einheitlicher Größe und Form verdichtet.

Im Allgemeinen kann, wie in Abbildung 12 dargestellt, zwischen einer Walzenpresse mit glatten Walzenoberflächen (Punkt a) oder einer Walzenpresse mit Formmulden (Punkt b), unterschieden werden.

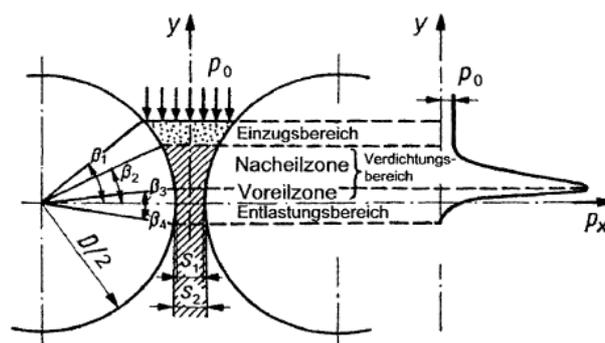
**Abbildung 12: Walzenpressenarten (Schubert 2003)**



Die feststehende Walze wird direkt im Pressrahmen abgestützt, während sich die sogenannte Loswalze gegen eine hydropneumatische Feder abstützt. Der Abstand zwischen den Walzen ergibt sich aus dem Verhältnis der Presskraft des hydraulischen Systems zu den verarbeitenden Material ausgehenden Reaktionskräften und dem voreingestellten "Null-Spalt".

Die Verdichtung ist beim Walzenpressen essenziell. Sie wird, wie in Abbildung 13 dargestellt, in drei wesentliche Bereiche, den Einzugsbereich, den Verdichtungs- und den Entlastungsbereich, eingeteilt.

**Abbildung 13: Teilprozesse der Verdichtung bei der Walzenpresse (Schubert 2003)**



Im Einzugsbereich werden die Partikel umgeordnet und in Richtung des Verdichtungs- und Entlastungsbereichs transportiert. Im Verdichtungs- und Entlastungsbereich werden die Relativbewegungen immer geringer und es überwiegt die elastische und plastische Verformung. Im Entlastungsbereich werden, je nach Material, entweder plastische Verformungen oder auch Brüche beobachtet. Beim Grenzwinkel  $\beta_3$  tritt der Maximaldruck auf.

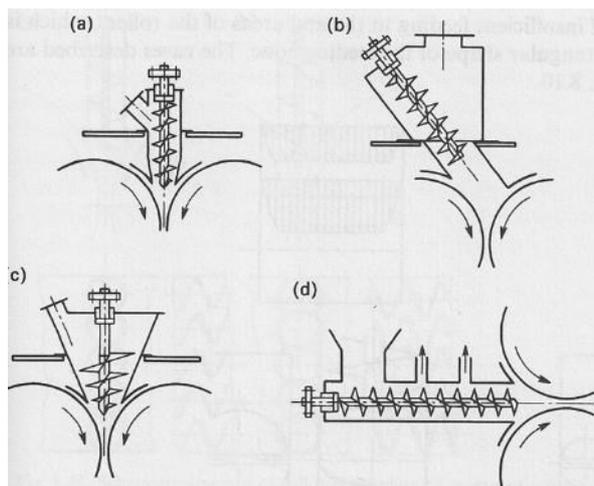
Der Erfolg der Pressergebnisse ist abhängig von den Materialeigenschaften der Aufgabe, dies gilt sowohl für Walzen- als auch für Stempelpressen. Einflussfaktoren sind zum Beispiel die Härte, das elastisch-plastische Verhalten, die Korngröße bzw. die Korngrößenverteilung, die Schüttdichte, die Feuchte oder auch das Hinzufügen von Bindemitteln. Ebenso wichtig sind die verschiedenen Parameter der Presse wie zum Beispiel die Presskraft, die Walzendrehzahl, die Spaltweite sowie der Walzendurchmesser.

Die Presskräfte liegen im Bereich von 30 bis 200 kN pro Zentimeter Walzenbreite, die Walzendrehzahl bei 5 bis 40 Umdrehungen pro Minute und der Walzendurchmesser bei 300 bis 1400 mm (Schubert 2003).

### Zuführung

Bei einer kontinuierlichen Produktion von Briketts, ist eine gleichmäßige Zufuhr des Aufgabegemisches unumgänglich. Wenn das Material rieselfähige Eigenschaften besitzt, genügt für die Zuführung mittels Schwerkraft ein Fülltrichter mit einer angebauten Vibrationsvorrichtung. Bei feinkörnigem Material reicht diese Art der Zuführung nicht mehr aus. Es erfolgt die Zuführung durch Verdichtungsschnecken (Abbildung 14). Ebenfalls kann der Walzendurchmesser durch entsprechende Vorverdichtung kleiner konzipiert werden. Durch diese Maßnahme kann die Pressengröße reduziert werden, was sich wiederum positiv auf die Wirtschaftlichkeit auswirkt.

**Abbildung 14: Aufgabevorrichtungen (Dryzymala 1993)**



Der Durchsatz dieser Pressen liegt bei etwa 50 bis 100 t/h und kann ohne experimentelle Versuche aufgrund der Abhängigkeit vieler Einflussgrößen nicht bestimmt werden (Schubert 2003).

## 5. CHARAKTERISIERUNG

### 5.1. STÄUBE UND SCHLÄMME

Bevor die in der Kupferhütte anfallenden Stäube und Schlämme dem Brikettierprozess zugeführt werden können, müssen diese hinsichtlich ihrer Eigenschaften untersucht werden.

Im Labormaßstab wurden folgende Eigenschaften untersucht und ausgewertet:

- Handhabungssicherheit
- Chemische Zusammensetzung
- Korngrößenverteilung
  - Nasssiebung
  - Lasergranulometrie
- pH-Wert
- Schüttdichte
- Feuchte

Die Analyse der Stoffe erfolgte, da dadurch vorzeitig auf eventuelle Störeinflüsse rückgeschlossen werden kann. Störeinflüsse wurden bereits in Kapitel 4.1 behandelt.

Die Herkunft der Stoffe ist unterschiedlich. Grundsätzlich sind die Schlämme und Stäube Prozessstoffe, die in einer Kupferhütte bei der Produktion von metallischem Kupfer anfallen. Teilweise werden diese Stoffe aber auch extern zugekauft.

#### 5.1.1. HANDHABUNGSSICHERHEIT

Bevor mit den einzelnen Materialien im Labor gearbeitet werden konnte, mussten diese auf den Chemismus untersucht werden. Spezielle Handhabungshinweise (Abbildung 15) wurden erstellt, um die Geräte sowie die Gesundheit zu schützen. Außerdem ist in Abbildung 15 die Herkunft der einzelnen Prozessstoffe ersichtlich.

Aufgrund der chemischen Vorprozesse weist ein Schlamm (Endschlamm 1) einen erhöhten Ammoniakgehalt auf und ist aufgrund seiner starken Geruchsentwicklung schwer handzuhaben.

**Abbildung 15: Handhabungshinweise zu den einzelnen Materialien**

Proben-Nr.	Probenbezeichnung	SDB	Gefahrstoff	Handhabungshinweis	Entstehung	Chemismus Hauptelemente - Verbindungen (siehe Analysenblätter)
A1	Endschlamm I	x	x	<b>Aufnahme verhindern:</b> Mundschutzmaske + Handschuhe, Hände waschen, nicht essen oder trinken während der Manipulation	Anodenschlammverarbeitung, ammoniakalische Silberfällung	Pb, Sn, Ni
A2	Endschlamm II		x		Anodenschlammverarbeitung, Kalkfällung von Nebenmetallen	Ca, Cu
A3	Ent-Cu Schlamm		x		Elektrolytbehandlung: Entkupferung mittels Gewinnungselektrolyse	Cu, Pb - Sulfat
A4	Hydroxidschlamm		x	<b>Ausbreitung verhindern:</b> Arbeitsplatz sauber halten, Proben verschlossen halten	Reinigung Rohnickelsulfatlösung Fällung mittels Kalkmilch	Ca, Ni, Cu - Sulfat/Hydroxid
A5	Sulfidschlamm		x		Reinigung Rohnickelsulfatlösung Fällung mittels Na-Sulfidlösung	Ca, Ni, Zn - Sulfat/Sulfid/Hydroxid
A6	ARA + Absetzbecken Schlamm		x		Reinigung Abwasser Fällung mittels Na-Sulfid + Kalkmilch	Ca, Ni, Cu, Pb - Sulfat/Hydroxid
A7	Gießereistaub				Filterstaub Gießerei (Bekalkung)	Cu, Kalk - Oxid/Karbonat
A8	Bemusterungstaub		x		Filterstaub Bemusterung (Schmelzen von Rohstoffproben)	Zn, Cu, Cl, Pb, Kalk - Oxid/Karbonat
A13	Hallenfilterstaub		x	Schmelzhütte Hallenentstaubung (Sekundär)	Zn, Cu, Sn, Pb - Oxid	
A14	FO Staub	x	x	Schmelzhütte Filterstaub Flammofen (Primär)	Zn, Cu, Sn, Pb - Oxid	
A15	SO Flugstaub		x	Schmelzhütte Grobstaub Schachtofen Absetzkammer (Primär)	Zn, Cu, Sn, Pb, Schlackenbildner - Oxid	

### 5.1.2. CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG

#### Messmethode

Die chemischen Analysen der einzelnen Stoffe wurden in Brixlegg durchgeführt (Abbildung 16). Die Analyseergebnisse dienen unter anderem zur Einschätzung der Reaktivität mit den Bindemitteln. Die Ergebnisse der einzelnen Elemente wurden später bei Störungen, wie zum Beispiel beim Abbinden, als Hilfe herangezogen.

#### Ergebnisse

Abbildung 16 zeigt die chemische Analyse der einzelnen Stoffe. Wie bereits in Kapitel 4.1.2 beschrieben, kann die Anwesenheit gewisser Störstoffe zum Beispiel Zink und Chlor (in Abbildung 16 rot markiert) beim Abbinden des Betons stören.

Eine exakte Beschreibung zu jedem Material mit Bezug auf die Störstoffe und deren Einfluss befindet sich im Anhang unter Charakterisierung von Schlämmen und Stäuben.

Abbildung 16: Chemische Analyse der Stoffe

Proben Elemente	Anodenschlamm		Schmelzhütte					Giesserei	Bemusterung	Elektrolyse	Ni-Anlage		ARA
	Endschlamm 1	Endschlamm 2	FO-Staub	SO- Flugstaub	SO- Ofenbruch	Hallenfilter- staub	Filterstaub ASARCO	Filterstaub Bemusterung	Entkupferungs- schlamm Zelle 1-5.6-10	Sulfid- schlamm	Hydroxid- schlamm	ARA- Schlamm	
S %				1,61	0,73	2,15	1,88	1,12	6,56	18,81	19,63	8,80	
Sn %	15,99		4,21	1,35	1,45	5,63	< 0,05	0,19	0,34	<0,05	0,50	0,06	
Zn %			15,95	* 16,17	14,09	24,92	0,41	39,35	0,08	9,17	1,78	1,69	
Cd %				0,35	< 0,05	0,11	< 0,05	0,13					
Cl %			6,07	0,20	< 0,05	2,57	2,49	3,15					
Cu %	1,686	5,29	37,05	25,25	23,21	* 18,32	6,41	3,32	55,59	1,25	3,20	14,96	
Pb %	24,94	0,662	6,56	3,49	4,71	* 8,26	0,20	1,63	* 4,64	0,08	0,05	2,85	
Ni %	9,09	0,75	0,73	0,92	0,97	0,23	0,05	0,15	2,48	12,20	* 3,88	* 2,79	
CaO %				4,75	4,89	1,23	51,95	14,98					
SiO <sub>2</sub> %				6,74	10,27	3,01	0,74	1,12					
FeO %				* 13,24	* 18,13	1,85	1,08	1,08					
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %				5,55	4,33	1,35	0,21	1,94					
MgO %				1,69	0,95	0,71	1,94	0,55					
Fe %			0,48						1,48	0,13	1,05	* 1,17	
Sb %	4,16		0,04						0,99	0,15	0,43	< 0,05	
As %	0,603	0,12	0,5						1,16	< 0,05	< 0,05	0,09	
Ca %									< 0,08	16,84	* 25,53	24,54	
Summe %	56,469	6,822	71,59	81,31	83,83	70,34	67,46	68,71	73,40	58,73	56,10	57,00	

### 5.1.3. KORNGRÖßENANALYSE

#### Messmethode

Die Ermittlung der Korngrößenverteilung erwies sich speziell bei den sehr feinen Anodenschlämmen als sehr schwierig. An erster Stelle muss der erhöhte Handhabungsaufwand angeführt werden, da bei der Nasssiebung sämtliche Abwasser gesondert gesammelt und extra entsorgt werden müssen. Probleme bereitete zudem das starke Agglomerationsverhalten der Schlämme. Diese mussten vor der Siebung mittels Rührer (10 min) aufgelöst werden.

Bevor diese Schlämme am Lasergranulometer aufgegeben werden konnten, sind sie bei 100 µm und 40 µm für jeweils zwei Minuten unter ständigen durchdrücken abgesiebt worden. Nach der Absiebung erfolgte die Messung der Proben auf dem Lasergranulometer. Die Proben sind mit Leobner Leitungswasser verdünnt worden. Es wurden jeweils fünf Tropfen der Probe mit einer Feststoffvolumenkonzentration von 30 % dem Laser aufgegeben. Die Rührergeschwindigkeit betrug 730 U/min und die Pumpgeschwindigkeit 1725 U/min. Es wurde mit der Frauenhofer Methode gemessen. Die verwendete Flüssigkeit im Laser war Ortswasser mit einem Brechungsindex von 1,33. Auf den Einsatz von Ultraschall wurde verzichtet.

#### Ergebnisse

Folgende Schlämme wurden mittels Lasergranulometrie analysiert:

- Endschlamm 1
- Endschlamm 2
- Ent-Cu Schlamm
- Hydroxidschlamm

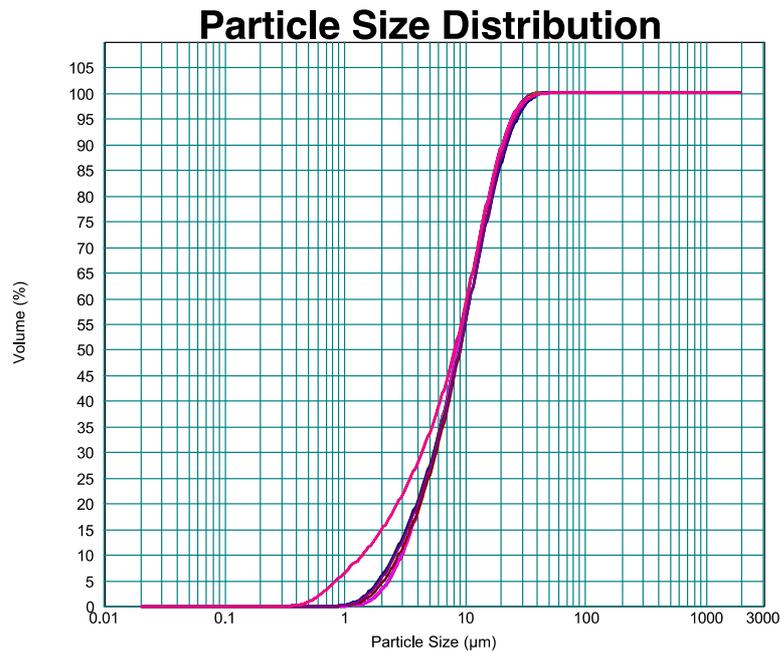
- Sulfidschlamm

Tabelle 3 stellt eine Übersicht dar, wie fein diese Schlämme tatsächlich sind.

**Tabelle 3: Ergebnisse der Siebanalysen der fünf Prozessschlämme**

	Endschlamm 1			Endschlamm 2		
MW	Masse	Durchgang	Rückstand	Masse	Durchgang	Rückstand
[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
100	5,70	94,30	5,70	0,00	100,00	0,00
40	3,03	91,27	8,73	0,00	100,00	0,00
0	91,27	0,00	100,00	100,00	0,00	100,00
	Ent-Cu Schlamm			Hydroxidschlamm		
MW	Masse	Durchgang	Rückstand	Masse	Durchgang	Rückstand
[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
100	31,01	68,99	31,01	1,11	98,89	1,11
40	19,50	49,48	50,52	0,68	98,21	1,79
0	49,48	0,00	100,00	98,21	0,00	100,00
	Sulfidschlamm					
MW	Masse	Durchgang	Rückstand			
[ $\mu\text{m}$ ]	[%]	[%]	[%]			
100	3,77	96,23	3,77			
40	6,63	89,60	10,40			
0	89,60	0,00	100,00			

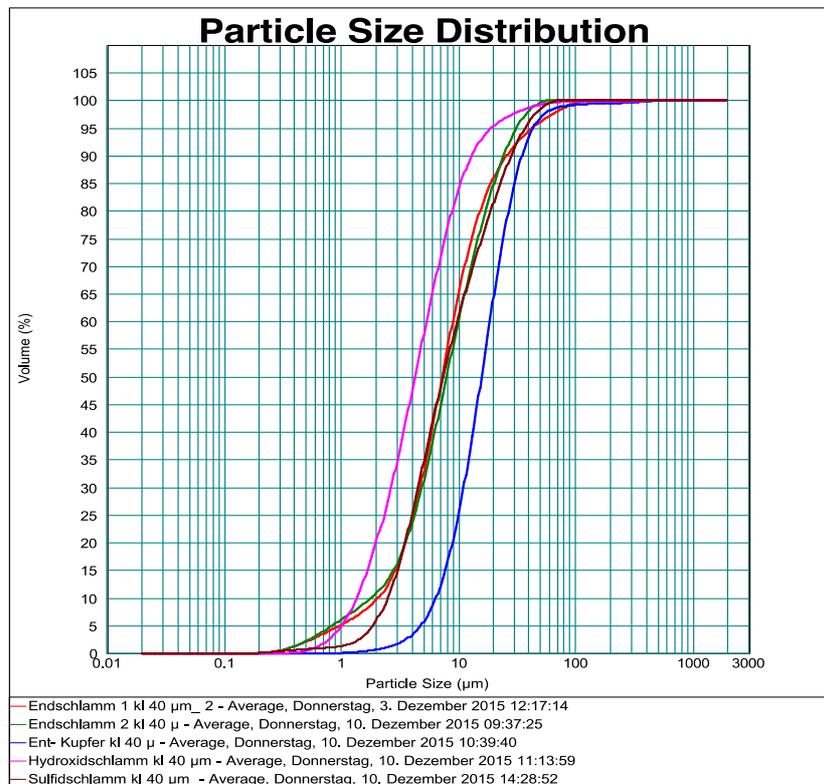
Es zeigt sich, dass die Agglomerate welche bereits bei der Nasssiebung aufgetreten sind, bei der Lasermessung ebenfalls zu Problemen führen. In Abbildung 17 ist dieses Problem ersichtlich. Es handelt sich bei jeder Kornverteilungskurve um dasselbe Ausgangsmaterial, nämlich den Endschlamm 1. Je länger sich das Material verdünnt mit Wasser im Kreislauf befindet, desto feiner wird es dargestellt. Außerdem kommt es nach einer gewissen Zeit zur Belegung der Linse, das wiederum zu Messfehler führen kann.

**Abbildung 17: Malvern Mastersizer 2000. Lasergranulometrie. Endschlamm 1**


Um für weitere Messungen an den restlichen Schlämmen vergleichbare Messwerte zu erzielen, wurde für alle Schlämme am Rührer die exakt selbe Messdauer eingestellt und die Probe davor gut mit Wasser durchgemischt, um die Agglomerate aufzulösen.

Abbildung 18 zeigt den Vergleich aller gemessenen Stoffe. Der Hydroxidschlamm mit einem  $d(50)$ -Wert von 4 µm ist mit Abstand am feinsten.

**Abbildung 18: Malvern Mastersizer 2000. Lasergranulometrie. Gegenüberstellung der Summenmasseverteilungen für die Schlämme**



#### 5.1.4. PH- MESSUNG

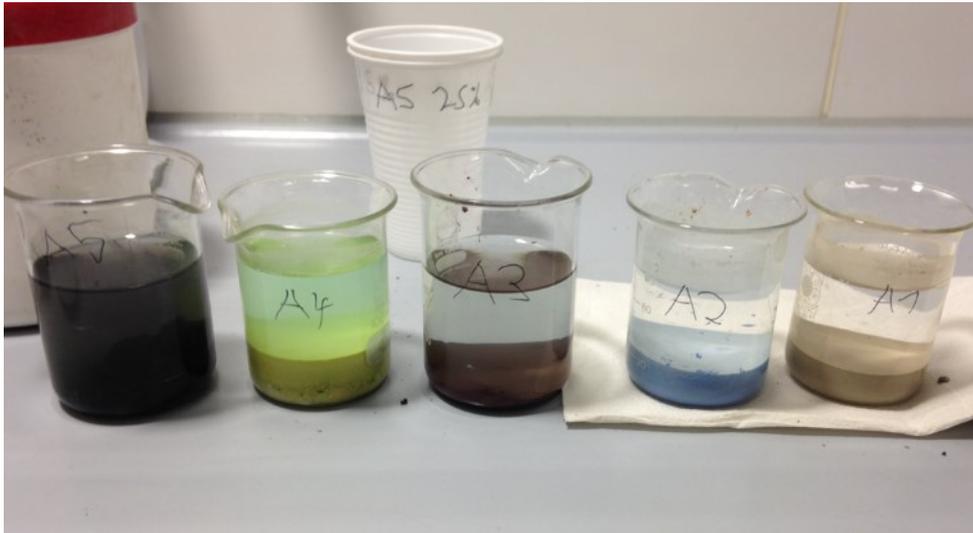
##### Messmethode

Für die pH- Messung wurden die Schlämme mit destilliertem Wasser verdünnt.

Die pH-Messung erfolgte mit einer Glaselektrode mittels Einstab-Messkette. Vor der eigentlichen Messung muss die Elektrode jedoch kalibriert werden. Dies wurde mit der Zweipunktkalibrierung (Pufferlösung pH 7,00 und pH 10,00) aufgrund höherer Genauigkeit durchgeführt.

Die Messtemperatur betrug 22 °C.

Abbildung 19 zeigt die Proben Sulfidschlamm, Hydroxidschlamm, Ent-Cu Schlamm, Endschlamm 2 und Endschlamm 1 (von links nach rechts) vorbereitet für die pH-Messung mit der Glaselektrode.

**Abbildung 19: pH- Messung der Prozessschlämme**


## Ergebnisse

In der Tabelle 4 sind die gemessenen pH-Werte dargestellt.

**Tabelle 4: Ergebnisse der pH- Messung mit der Einstab-Messkette**

Bezeichnung	Material	pH-Wert
A1	Endschlamm 1	8,8
A2	Endschlamm 2	12,4
A3	Ent-Cu Schlamm	5,5
A4	Hydroxidschlamm	7,5
A5	Sulfidschlamm	7

Die Messung zeigt, dass bis auf den Ent-Cu Schlamm alle Schlämme im basischen Bereich liegen. Der Zementleim weist einen hohen pH-Wert ( $> 12$ ) auf, befindet sich daher ausschließlich im basischen Milieu. Aus diesem Grund können diese Schlämme rein aus der Sicht des pH-Wertes nicht beim Abbinden stören.

### 5.1.5. SCHÜTTDICHTEN UND FEUCHTE

#### Messmethode

Die Schüttdichte der einzelnen Stoffe wurde ohne jegliche Verdichtung in einem 1000 ml Aluminiumgefäß bestimmt. Das Material wurde beim Auffüllen des Gefäßes bündig abgezogen.

Für die Feuchtebestimmung betrug die Probenmasse jeweils fünf Gramm. Die Feuchte wurde mit einem Feuchtemessgerät der Firma Mettler Toledo ermittelt.

## Ergebnisse

Weitere wichtige Materialeigenschaften, welche für die Mischversuche wesentlich sind, wurden direkt im Labor der Montanwerke sowie zur Überprüfung in Leoben, im Labor des Lehrstuhls für Aufbereitung bestimmt. In Tabelle 5 sind sämtliche Schlämme und Stäube mit den gemessenen Eigenschaften dargestellt.

**Tabelle 5: Materialeigenschaften Schlämme und Stäube**

<b>Material</b>	<b>Schüttdichte</b>	<b>Feuchte</b>
<i>Schlämme</i>	[g/cm <sup>3</sup> ]	[%]
Endschlamm 1	1,6	16,4
Endschlamm 2	0,7	34-44
Ent-Cu Schlamm	1,3	39,5
Hydroxidschlamm	0,7	30,0
Sulfidschlamm	0,7	45,7
ARA+Absetzbecken Schlamm	0,9	46,1
<i>Stäube</i>		
Gießereistaub	0,4	-
Bemusterungsstaub	0,5	-
Ofenbruch	2,2	1,0
Hallenfilterstaub	0,3	-
Flammofenstaub (FO-Staub)	0,7	-
Schachtofenflugstaub (SO-Staub)	1,7	-

Wie bereits in Kapitel 4.1.2 beschrieben, wurden in Brixlegg Filtratversuche durchgeführt. Es zeigt sich, dass erhöhte Werte wie zum Beispiel von Zink beim FO-Staub und Hallenfilterstaub vorhanden sind, welche die Aushärtung massiv störten. Die Auswertung dazu befindet sich im Anhang unter Eluatmessung.

## 5.2. AGGREGATE UND ROHSTOFFE

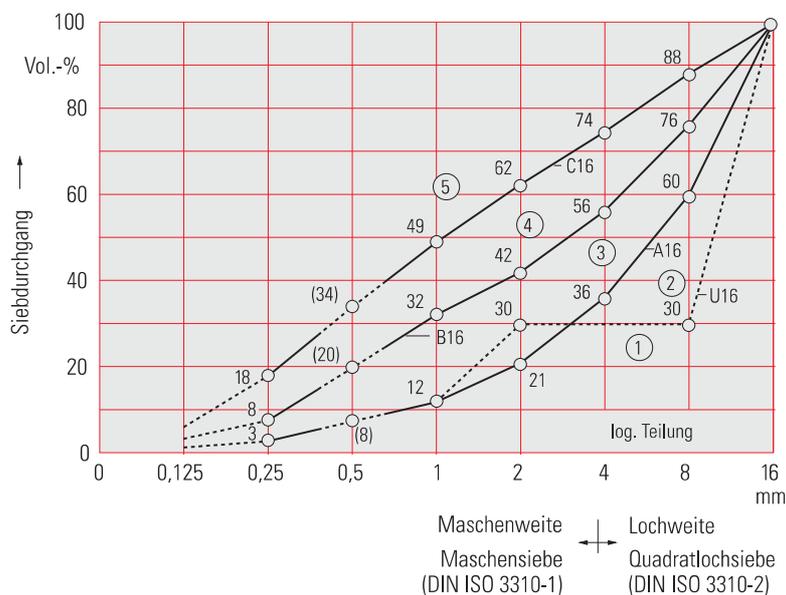
Zur Charakterisierung der Aggregate und Rohstoffe wurde ähnlich wie im Kapitel 5.1 die Korngröße, Feuchte und die Schüttdichte bestimmt.

### 5.2.1. KORNGRÖßENANALYSE

Ziel der Korngrößenanalyse aller Rohstoffe ist die Annäherung zur optimalen Kornverteilung vom Zuschlag mit dem Zement. Unter Zuschlag versteht man, allgemein eine Gesteinskörnung, welche vermischt mit Zement und Wasser zu einem

dispersen Gemisch führt und später als Beton erhärtet. In diesem speziellen Fall zählen sämtliche verwendete Materialien wie Schlämme, Stäube, Aggregate und Rohstoffe zum Zuschlag. Je feiner der Zuschlag, desto höher muss der Zementanteil sein. Der Grund dafür ist, dass der Zementleim um das Korn gelangen muss, um sich perfekt mit den anderen Körnern zu binden. Nur wenn diese Bedingung erfüllt ist, können gute Festigkeitswerte erreicht werden. Es muss daher die Kornverteilung an die groben Rohstoffe angepasst werden, da die Prozessstoffe, Schlämme und Stäube sehr fein sind. Als Vorlage dient die in Abbildung 20 gezeigte Kornverteilungskurve. Diese Kurve gibt es in drei verschiedenen Varianten. Abgestuft je nach Maximalkorngröße von 63; 31,5; 16 und 8mm.

**Abbildung 20: Optimale Kornverteilungsbereiche für Zuschlagsgemische (Schwenk 2008, p.121)**



Es wurde die Kurve mit 16mm aufgrund der durchschnittlichen Maximalkorngrößen der betrachteten Rohstoffe als Vorlage gewählt (Abbildung 20).

Diese ideale Kornverteilung soll die spezifische Oberfläche der Körner in der Mischung senken und somit den Zementgehalt reduzieren.

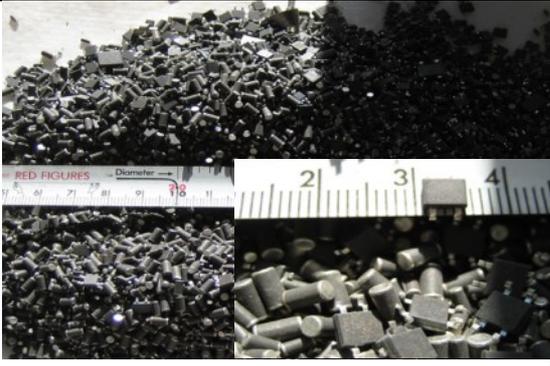
Anbei befinden sich die wichtigsten Materialeigenschaften der Rohstoffe sowie deren Herkunft mit Bildern in Tabelle 6 zusammengefasst. Der Feinkornanteil beinhaltet die Summe aller Körner kleiner 1 mm, der Mittelkornanteil Körner von 1 bis 4 mm und der Grobkornanteil von 4 bis 16 mm in Prozent.

**Tabelle 6: Wichtige Materialeigenschaften der Rohstoffe**

Art	Materialeigenschaften		Bild
R1: Raff - Oxid	Feuchte: 1,02 [%] Schüttdichte: 1,40 [g/cm <sup>3</sup> ] d50-Wert: 0,85 [mm] d80-Wert: 3,56 [mm] Feinkornanteil: 59,1 [%] Mittelkornanteil: 23,6 [%] Grobkornanteil: 17,4 [%]	Herkunft: Schlacke/ Krätze aus NE-Metall-Gießerei	
R2: CuFe - Granulat	Feuchte: 0 [%] Schüttdichte: 3,46 [g/cm <sup>3</sup> ] d50-Wert: 2,60 [mm] d80-Wert: 4,51 [mm] Feinkornanteil: 9,6 [%] Mittelkornanteil: 68,0 [%] Grobkornanteil: 22,4 [%]	Herkunft: Sonderprodukt Primär	
R3: Fe - Brikett fein	Feuchte: 0 [%] Schüttdichte: 1,14 [g/cm <sup>3</sup> ] d50-Wert: 3,34 [mm] d80-Wert: 7,70 [mm] Feinkornanteil: 24,3 [%] Mittelkornanteil: 32,2 [%] Grobkornanteil: 43,5 [%]	Herkunft: Fe-Schlamm aus Schleiferei	

R4: Cu - Fe Mat fein	Feuchte: Schüttdichte: d50-Wert: d80-Wert: Feinkornanteil: Mittelkornanteil: Grobkornanteil: Herkunft:	0 [%] 1,01 [g/cm <sup>3</sup> ] 2,49 [mm] 3,59 [mm] 6,5 [%] 84,8 [%] 8,7 [%] Fraktion aus Metallrecycling	
R5: SO Shredder	Feuchte: Schüttdichte: d50-Wert: d80-Wert: Feinkornanteil: Mittelkornanteil: Grobkornanteil: Herkunft:	0 [%] 1,76 [g/cm <sup>3</sup> ] 3,49 [mm] 7,81 [mm] 23,8 [%] 30,6 [%] 45,7 [%] Fraktion aus Metallrecycling	
R6: Cu - Rückstände mit Kunststoff	Feuchte: Schüttdichte: d50-Wert: d80-Wert: Feinkornanteil: Mittelkornanteil: Grobkornanteil: Herkunft:	0 [%] 0,89 [g/cm <sup>3</sup> ] 0,57 [mm] 0,91 [mm] 88,1 [%] 11,2 [%] 0,8 [%] Fraktion aus Metallrecycling	
R7: Cu - Häcksel mit Kunststoff	Feuchte: Schüttdichte: d50-Wert: d80-Wert: Feinkornanteil: Mittelkornanteil: Grobkornanteil: Herkunft:	0 [%] 0,80 [g/cm <sup>3</sup> ] 0,88 [mm] 1,55 [mm] 57,0 [%] 42,6 [%] 0,4 [%] Fraktion aus Metallrecycling	

R8: Ms - Späne fein	Feuchte: 0 [%] Schüttdichte: 1,71 [g/cm <sup>3</sup> ] d50-Wert: 1,50 [mm] d80-Wert: 2,58 [mm] Feinkornanteil: 28,1 [%] Mittelkornanteil: 71,5 [%] Grobkornanteil: 0,4 [%] Herkunft: Mechanische Bearbeitung	
R9: Gemischte Späne fein	Feuchte: 0 [%] Schüttdichte: 0,30 [g/cm <sup>3</sup> ] d50-Wert: 2,12 [mm] d80-Wert: 3,41 [mm] Feinkornanteil: 16,7 [%] Mittelkornanteil: 77,2 [%] Grobkornanteil: 6,1 [%] Herkunft: Mechanische Bearbeitung	
R10: Gemischte Späne grob	Feuchte: 0 [%] Schüttdichte: 0,89 [g/cm <sup>3</sup> ] d50-Wert: 3,51 [mm] d80-Wert: 8,18 [mm] Feinkornanteil: 7,6 [%] Mittelkornanteil: 46,7 [%] Grobkornanteil: 45,7 [%] Herkunft: Mechanische Bearbeitung	
R11: Eisenspäne	Feuchte: 0 [%] Schüttdichte: 1,26 [g/cm <sup>3</sup> ] d50-Wert: 2,18 [mm] d80-Wert: 3,59 [mm] Feinkornanteil: 21,2 [%] Mittelkornanteil: 67,6 [%] Grobkornanteil: 11,3 [%] Herkunft: Mechanische Bearbeitung	

R12: Fe - Stanz mit Kunststoff	Feuchte: Schüttdichte: d50-Wert: d80-Wert: Feinkornanteil: Mittelkornanteil: Grobkornanteil: Herkunft:	0 [%] 2,42 [g/cm <sup>3</sup> ] 2,88 [mm] 3,75 [mm] 0,3 [%] 88,1 [%] 11,6 [%] Produktionsabfall	
R13: Katalysator	Feuchte: Schüttdichte: d50-Wert: d80-Wert: Feinkornanteil: Mittelkornanteil: Grobkornanteil: Herkunft:	4,37 [%] 1,43 [g/cm <sup>3</sup> ] 5,13 [mm] 6,86 [mm] 13,4 [%] 17,1 [%] 69,5 [%] Fraktion aus Recycling	
R14: Koks fein	Feuchte: Schüttdichte: d50-Wert: d80-Wert: Feinkornanteil: Mittelkornanteil: Grobkornanteil: Herkunft:	10,71 [%] 0,77 [g/cm <sup>3</sup> ] 1,72 [mm] 3,57 [mm] 25,6 [%] 59,9 [%] 14,6 [%] Abgesiebter Koks	
R15: Feinanteil Schlacken-handling	Feuchte: Schüttdichte: d50-Wert: d80-Wert: Feinkornanteil: Mittelkornanteil: Grobkornanteil: Herkunft:	2,1 [%] 1,85 [g/cm <sup>3</sup> ] 2,68 [mm] 7,38 [mm] 12,5 [%] 59,9 [%] 27,7 [%] Abgesiebte Schlacke	

R16: Granos ÜK	Feuchte: Schüttdichte: d50-Wert: d80-Wert: Feinkornanteil: Mittelkornanteil: Grobkornanteil: Herkunft:	0,3 [%] 1,84 [g/cm <sup>3</sup> ] 2,78 [mm] 3,67 [mm] 1,7 [%] 89,6 [%] 8,7 [%] Abgesiebte Schlacke	
R17: Quarzsand	Feuchte: Schüttdichte: d50-Wert: d80-Wert: Feinkornanteil: Mittelkornanteil: Grobkornanteil: Herkunft:	6,86 [%] 1,26 [g/cm <sup>3</sup> ] 2,04 [mm] 3,25 [mm] 5,9 [%] 92,6 [%] 1,5 [%] Schlackenbildner abgesiebt	

### 5.2.2. SCHÜTTDICHTE UND FEUCHE

Tabelle 7 zeigt die Feuchte und Schüttdichte aller eingesetzten Rohstoffe. Zu den Aggregaten zählen sämtliche Schlacken, wie Granos Überkorn und Feinanteil Schlackenhandlung. Ebenso zählt Koks zu den Aggregaten. Teilweise treten massive Unterschiede bei der Schüttdichte, speziell bei Rohstoffen mit einem hohen Kunststoffanteil auf.

**Tabelle 7: Übersicht der Materialeigenschaften der Aggregate und Rohstoffe**

	<b>Material</b>	<b>Schüttdichte</b>	<b>Feuchtigkeit</b>
		[g/cm <sup>3</sup> ]	[%]
R1	Raff - Oxid	1,40	1,02
R2	CuFe - Granulat	3,46	0,00
R3	Fe - Brikett fein	1,14	0,00
R4	Cu - Fe Mat fein	1,01	0,00
R5	SO Shredder	1,76	0,00
R6	Cu - Rückstände mit Kunststoff	0,89	0,00
R7	Cu - Häcksel mit Kunststoff	0,80	0,00
R8	MS - Späne fein	1,71	0,00
R9	Gemischte Späne fein	0,30	0,00
R10	Gemischte Späne grob	0,89	0,00
R11	Eisenspäne	1,26	0,00
R12	Fe - Stanz mit Kunststoff	2,42	0,00
R13	Katalysator	1,46	4,3
R14	Koks fein	0,77	10,7
R15	Feinanteil Schlackenhandling	1,85	2,1
R16	Granos Überkorn	1,84	0,3
R17	Quarzsand	1,26	6,8

## 6. SYSTEMATISCHE LABORMISCHVERSUCHE IN LEOBEN

Zunächst wurde in Brixlegg versucht, die Schlämme, Stäube, Aggregate und Rohstoffe ohne einen genauen Versuchsplan unsystematisch miteinander zu vermischen (siehe Kapitel 7). Der Grund für diese Vorgehensweise war, dass die mengenmäßig unterschiedlich anfallenden Stoffe miteinander vermischt und vollständig verarbeitet werden sollten. Ein weiterer Grund war, dass die Änderung von einzelnen Parametern (Temperatur, Zementmenge, Wassermenge) einen erheblichen Einfluss auf die erhaltenen Ergebnisse hatte und somit die Qualität der Aussage vermindert wurde.

Durch das gemeinsame Mischen der einzelnen Materialien war eine Fehlereingrenzung durch mögliche Störstoffe, die zum Beispiel zu rascher Austrocknung führten, schwer festzustellen. Aus diesem Grund wurden parallel systematische Tastversuche mit den Materialien in Leoben verfolgt und spezielle Versuchsserien zur Brikettierung mit den einzelnen Materialien ausgearbeitet.

### 6.1. TASTVERSUCHE

Die Verwendung von Zement als Bindemittel für Hüttenabfall- und Kreislaufstoffe stellt einen neuen Anwendungsfall dar. Weder Literaturrecherchen noch die Befragung von Zementspezialisten einschlägiger Hersteller erbrachten sachdienliche Hinweise, welche Elemente oder Ionenkonzentration der Wirkung des Zements abträglich ist. Einzig von Zink (Zn) ist der negative Einfluss auf das Erstarrungsverhalten bekannt.

Nur Versuche in unterschiedlicher Mischung von Art und Menge der Einsatzstoffe können Klarheit schaffen. Folgende Größenordnungen wurden gewählt:

- Laborversuche mit unterschiedlichen Maßstab
- Pilotversuche

Die Laborversuche wurden als Becherversuche im Kleinstmaßstab (Tastversuche) mit jedem einzelnen Material als Vorbereitung zu den Pilotversuchen durchgeführt.

Bei der Versuchsdurchführung soll die zugeführte Zementmenge so gering als möglich gehalten werden, um spätere Prozesskosten minimieren zu können.

Der Tastversuch soll eine erste Auskunft über die Festigkeit und Verarbeitbarkeit der Stoffe geben. Zusätzlich dient der Tastversuch dazu, um etwaige Problemstoffe bereits vorzeitig erkennen zu können.

#### 6.1.1. METHODIK UND VORGEHENSWEISE

Aufgrund von Erfahrungsmangel mussten Tastversuche an sämtlichen Stäuben und Schlämmen einzeln durchgeführt werden.

Es wurden folgende Parameter im Zuge der Versuchsdurchführung variiert:

- Zementgehalt (15, 25, 35 %)
- Wasserzugabe in Abhängigkeit von Feuchtigkeit des Materials und zugegebener Zementmenge

Bei einem Tastversuch wird das Material in geringen Mengen mit Wasser und Zement vermischt und anschließend das Aushärteverhalten beobachtet. Tastversuche sind die einfachste Möglichkeit, um Störungen im Abbindeverhalten des Zementleims schnell zu erkennen.

### **Probenvorbereitung**

Für die Probenvorbereitung mussten zunächst 100 g des Probenmaterials eingewogen werden. Die Proben wurden anschließend mittels Handmixer mit den im Versuchsprotokoll festgelegten Wasser- und Zementmengen vermengt. Es wurden jeweils drei verschiedene Proben mit einem Zementgehalt von 15 %, 25 % und 35 % hergestellt. Ein wichtiger Parameter für die perfekte Konsistenz ist die richtige Wassermenge und der daraus resultierende W/Z-Wert. Das optimale Zement/Wasser-Verhältnis (W/Z-Wert) in der Betontechnik liegt im Bereich zwischen 0,35 bis 0,50 (Bächer 1977). Dieser Wert konnte bei den Tastversuchen erst bei einem Zementanteil von 35 % erreicht werden. Der Grund dafür ist (siehe Abbildung 25), dass gewisse Materialien nach dem Kontakt mit Zement eine chemische Reaktion zeigen. Diese Reaktion entzieht der Mischung die benötigte Feuchtigkeit, welche der Zement aber zum Aushärten benötigt. Risse im Gefüge sind die Folge. Mittels ständiger Feuchtebestimmung (siehe Kapitel 5.1.5) der Mischung wurde der Wassergehalt beobachtet und dementsprechende Änderungen der Rezeptur vorgenommen.

Die errechneten W/Z-Werte wurden anschließend miteinander verglichen und sind im Anhang unter Tastversuche angeführt. Teilweise konnte auf die Zugabe von Wasser verzichtet werden, da viele Schlämme wie zum Beispiel Endschlamm 2 und Ent-Cu Schlamm einen Feuchtegehalt von über 30 % aufweisen. Diese Materialien mussten vorher teilweise getrocknet werden, da eine Weiterverarbeitung bzw. Aushärtung nicht möglich war.

### **Mischen**

Durch den Einsatz eines geeigneten Handmischers (Abbildung 21) konnten die Schlämme maschinell gemixt werden. Die Mixzeit betrug je nach Material zwischen ein und zwei Minuten.

**Abbildung 21: Handmixer**



## Aushärten

Nach erfolgter Homogenisierung kommt die Mischung in ein kleines Gefäß zur Trocknung (Abbildung 22). Dieses Gefäß wird luftdicht mittels Probensack verschlossen. Diese Maßnahme führt dazu, dass die Mischung unter eigener Atmosphäre aushärten kann und somit die Feuchtigkeit, die der Zement zum Abbinden benötigt, zur Verfügung steht.

**Abbildung 22: Darstellung der verwendeten Probenbehälter und Abdeckung während der Trocknung**



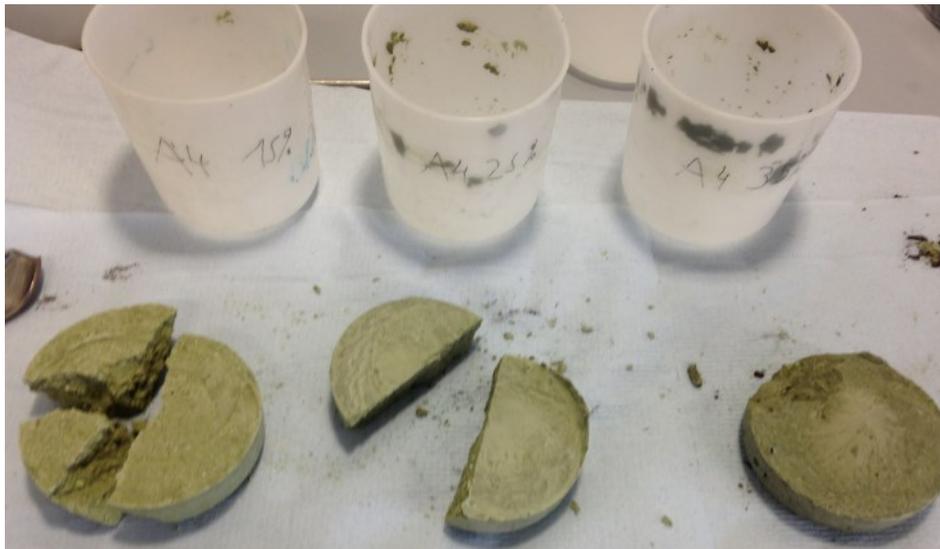
## Festigkeitsprüfung

Nach der Entnahme aus den Probenbehältern wurden die ausgehärteten Probenkörper auf ihre Festigkeit untersucht. Die Bestimmung erfolgte anhand einer einfachen Methode: Es wurde versucht, den Prüfkörper händisch auseinanderzubrechen. Hielt der Prüfkörper der Belastung stand, wurde er zweimal einem Falltest aus zwei Metern Höhe unterzogen. Für genaue Details dieses Tests, siehe Tabelle 8. Aufgrund der großen Schwankungsbereichs der Festigkeit wurden sechs Klassen festgelegt. Mittels Schulnotensystem (1 = sehr gut, 6 = nicht genügend) wurden die Stoffe klassifiziert und Empfehlungen erstellt.

**Tabelle 8: Kennzeichnung der Festigkeit der Prüfkörper nach sieben Tagen**

1	+	Prüfkörper besteht 2x Falltest und zerbricht nicht
2	+*	Prüfkörper besteht 1x Falltest und zerbricht nicht
3	+ -	Prüfkörper zerbricht nicht, aber der Falltest ist negativ
4	-	Prüfkörper zerbricht beim Handtest
5	- -	Prüfkörper zerbröseln ohne Belastung
6	- - -	Prüfkörper feucht breiig, kein Abbinden

Abbildung 23 zeigt den Hydroxidschlamm nach erfolgter Festigkeitsprüfung. Der linke und mittlere Prüfkörper mit jeweils 15 % bzw. 25 % Zementgehalt hielten dem Handtest nicht stand und zerbrachen sofort. Nur der Prüfkörper mit 35 % Zementgehalt hielt der Belastung des Handtests stand und bestand sogar beide Falltests. Dementsprechend die Note „1“ in der Auswertung.

**Abbildung 23: Hydroxidschlamm nach Festigkeitstest**


Da dieser Test aufgrund der schweren Reproduzierbarkeit der einzelnen Festigkeitsprüfungen mittels Handtest nur ein erster Vorversuch war, musste anschließend an eine neue Versuchsmethodik entwickelt werden.

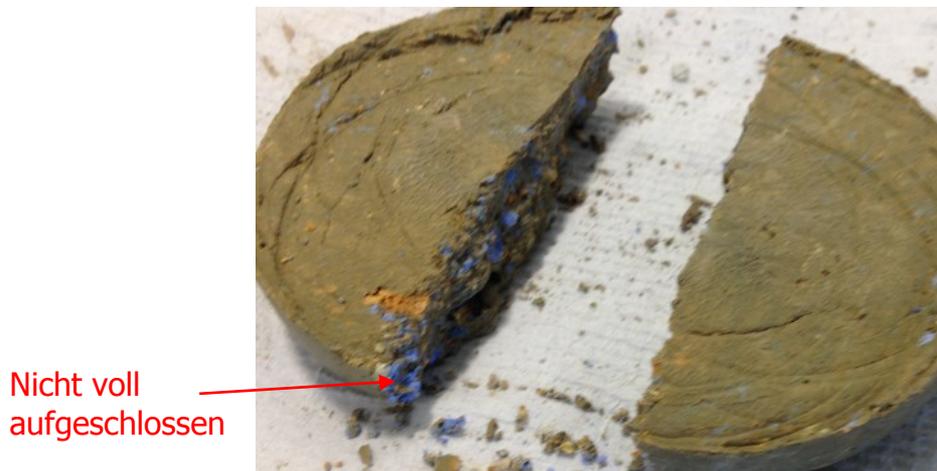
### 6.1.2. PROBLEME

Bei den Tastversuchen traten vorwiegend Probleme beim Anmischen der Proben mit Zement auf.

Zunächst konnten manche Stoffe nicht vollständig mit dem Zement homogenisiert werden. Grundsätzlich befinden sich alle Schlämme in einem Körnungsbereich von  $90\% < 40\ \mu\text{m}$ . Sie neigen zur Agglomerationsbildung und können daher händisch

durch Rühren nicht vollständig desagglomeriert werden (siehe Abbildung 24). Erste Festigkeitstests bestätigten diese Erkenntnis.

**Abbildung 24: Agglomerate Tastversuch Endschlamm 2**



Nach sieben Tagen wurden die Prüfkörper händisch aus dem Gefäß gedrückt. Bei manchen Proben konnten deutlich Risse festgestellt werden (Abbildung 25).

Die Theorie besagt, dass aufgrund der Stöchiometrie bei einer idealen Vermischung ein W/Z-Wert von 0,35 benötigt wird (Verein Deutscher Zementwerke e.V, 2002). Das ist jene Menge Wasser, die der Zement mindestens zum vollständigen Aushärten benötigt.

Die Risse sind somit durch das im Material gebundene Wasser entstanden, da dieses der Mischung bzw. dem Zement beim Aushärten nicht vollständig zur Verfügung steht.

**Abbildung 25: Risse bei geringem Wassergehalt**



### 6.1.3. ERGEBNISSE UND EMPFEHLUNGEN

Nach erfolgter Mischung aller Stoffe mittels Tastversuche wurde eine Empfehlung mit den einzelnen Parametern für jedes Material erstellt (siehe Anhang unter Charakterisierung von Schlämmen und Stäuben). Abbildung 26 zeigt das Material mit den hinzuzufügenden Mengen an Zement und Wasser (in %), um ideale Festigkeitswerte zu erzielen. Jene Stoffe, welche sich unproblematisch mischen lassen sowie die geforderte Festigkeit erzielen konnten, sind grün hervorgehoben. Proben, welche bei der Verarbeitung oder Festigkeit aufgrund von zu hoher Feuchtigkeit oder Störstoffen, Probleme aufweisen könnten, sind rot oder nicht markiert.

**Abbildung 26: Empfehlungsliste der Stoffe**

	Material	Zement [%]	Feuchtigkeit [%]	Zugabe Wasser [%]	WZ-Wert	Festigkeit
A1	Endschlamm 1	25%	15%	5%	0,5-0,7	+ <sup>+</sup>
A2	Endschlamm 2	25-35%	22-25%	0%	0,7-1,0	+
A3	Ent-Cu Schlamm	>35%	20-25%	0%	0,6-0,7	+ <sup>+</sup>
A4	Hydroxidschlamm	>35%	30-35%	20%	1	+
A5	Sulfidschlamm	>35%	25%	10%	0,7-0,8	+
A6	ARA Schlamm	>35%	20-25%	0%	0,5-0,7	-
A7	Gießereistaub	25-35%	25%	30%	0,8	+ <sup>+</sup>
A8	Bemusterungsstaub	>35%	20%	25%	0,5	-
A13	Hallenfilterstaub	35%	13%	20%	0,4	+ <sup>+</sup>
A14	FO Staub	15%	20%	25%	0,6	-
A15	SO Flugstaub	25-35%	12%	15%	0,4	+ <sup>+</sup>
S1	Raffinioxid	35%	15%	17,5%	0,4	-
S2	Katalysatoren	15-25%	15%	15-20%	0,5	+
S3	Koks fein	>15%	16%	10%	0,5-0,8	+
S4	Granos UK	15%	14%	10%	0,6-0,8	+

Eine Erkenntnis dieser Versuchsserien war, dass größtenteils die Stäube beim Aushärten bzw. in der Festigkeit Probleme bereiteten. Nachfolgende Versuche bestätigen diese erste Aussage. Unabhängig vom Zementgehalt in der Mischung konnte keine ausreichende Festigkeit erzielt werden.

Um sicherzustellen, dass die verwendete Methodik und Klasseneinteilung bezogen auf die Festigkeit richtig gewählt wurde, sind zusätzlich drei unproblematische Stoffe analysiert worden. Hierbei handelt es sich um Katalysatoren, Koks (fein) und Granos UK. Alle drei Stoffe konnten problemlos gemischt werden und absolvierten die Festigkeitsprüfung zufriedenstellend.

Aufbauend auf den Ergebnissen der Vorversuche (Tastversuche) wurden die gewählten Versuchsparameter zu einem Versuchsfeld eingegrenzt und systematische Versuchspläne zur Parametervariation erstellt.

Um die anschließenden Versuchsreihen reproduzierbar analysieren zu können, musste eine Prüfeinrichtung zum Pressen der Proben entwickelt werden.

## 6.2. ENTWICKLUNG EINER PRÜFEINRICHTUNG

### 6.2.1. HINTERGRUND

Bei der händischen Prüfung der Probenkörper wurde die Notwendigkeit erkannt, ein standardisiertes Verfahren für die Herstellung von Prüfkörpern zur Festigkeitsbestimmung zu finden. Die Reproduzierbarkeit der Tastversuche war insofern eingeschränkt, da es keine aussagekräftige Methode für die Bestimmung der Festigkeit gab.

Es konnte bereits durch erste Versuche in Leoben Erkenntnisse zur Festigkeit gewonnen werden. Für genauere Aussagen zur Festigkeit musste jedoch eine Methode gefunden werden, die Prüfkörper unter gleichen Bedingungen und mit gleichen Maßen herstellen zu können. Da die Festigkeit im linearen Zusammenhang zur Fläche steht, hat die Probenfläche einen enormen Einfluss auf die Festigkeitsentwicklung.

Da es am Lehrstuhl für Aufbereitung schon eine geeignete Prüfpresse von der Firma Messphysik Typ Midi 10 (Maximalbelastung von 5 kN) zur Festigkeitsbestimmung gab, wurde für diese eine spezielle Pressvorrichtung entwickelt.

Diese Prüfeinrichtung soll im Kleinst- bzw. Labormaßstab ein schnelles Pressverfahren unter möglichst reproduzierbaren Bedingungen für jede Pressung gewährleisten. Es sollte eine Pressung mit definierter Presskraft und definiertem Weg möglich sein. Mit der im Labor des Lehrstuhls für Aufbereitung zur Verfügung stehenden Materialprüfpresse konnten diese gleichbleibenden Bedingungen garantiert werden.

### 6.2.2. KONSTRUKTION PRESSVORRICHTUNG

Die Vorrichtung wurde exakt auf Maß gefertigt.

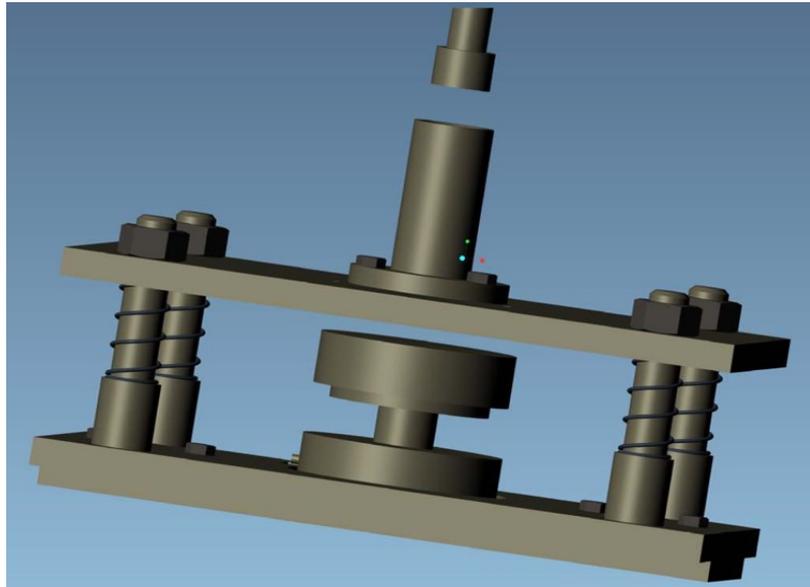
Dazu mussten sämtliche Maße der Materialprüfpresse, zum Beispiel der Kraftmessdose, aufgenommen werden.

Anforderungen an die Konstruktion:

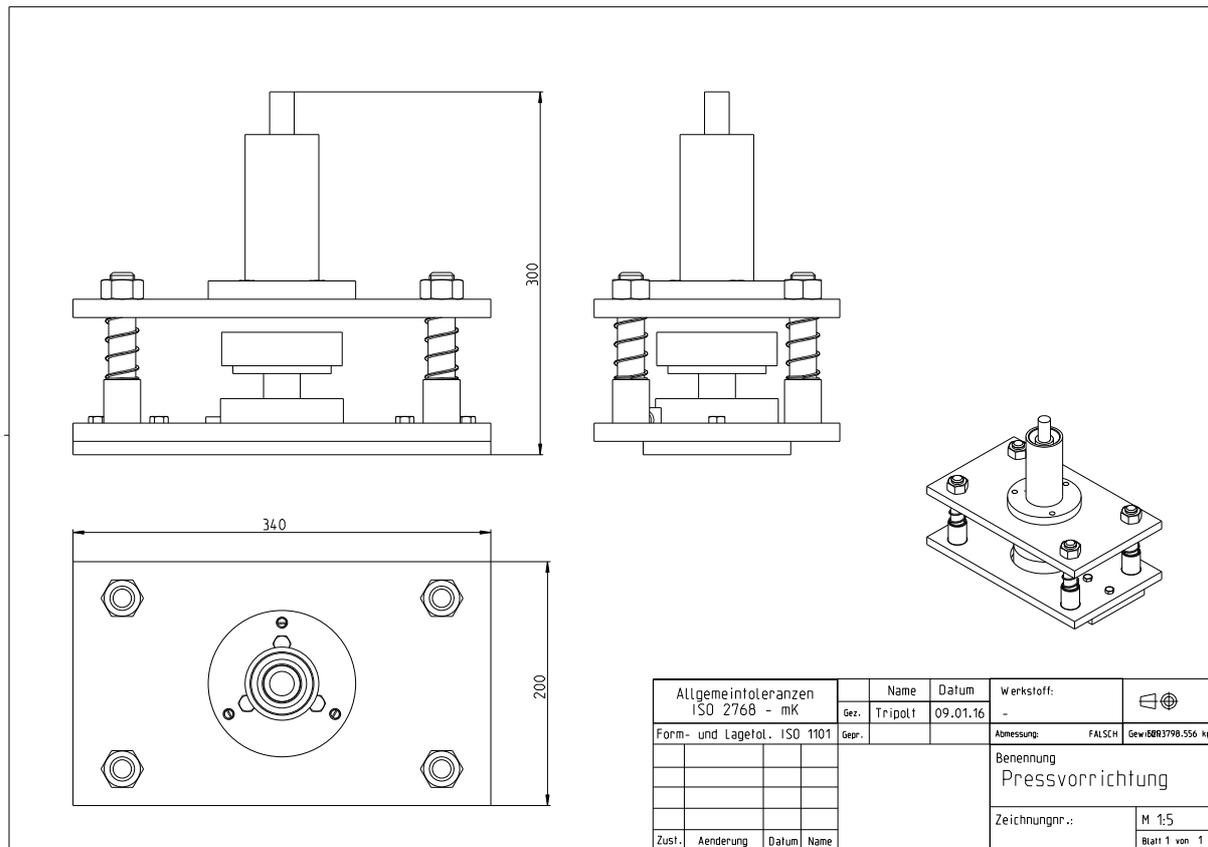
- Schnelles Befüllen und Entleeren
- Gute Verdichtung
- Kein Verkanten
- Reinigungsmöglichkeit
- Einfache Handhabung bzw. geringer Wartungsaufwand

Damit es zur keiner Verkantung des Stempels in der Form kommt, wurde eine Vorspannung von 15 mm mittels Federn vorgesehen. Diese Vorspannung ermöglicht ein zentriertes Pressen des Prüfkörpers. Ebenso wird auch die darunterliegende Kraftmessdose vor Erschütterungen und sonstigen Einflüssen, welche nicht förderlich für eine präzise Messung sind, geschützt (siehe Abbildung 27).

**Abbildung 27: Darstellung der Prüfvorrichtung in 3D Simulation**



Die Konstruktion wurde im CAD Programm Creo gezeichnet. Anschließend wurden die einzelnen Produktionszeichnungen sowie die Zusammenbauzeichnung erstellt (Abbildung 28). Die Konstruktionszeichnungen sind im Anhang unter Konstruktionszeichnungen der Pressvorrichtung beigelegt.

**Abbildung 28: Konstruktionszeichnung Prüfvorrichtung**


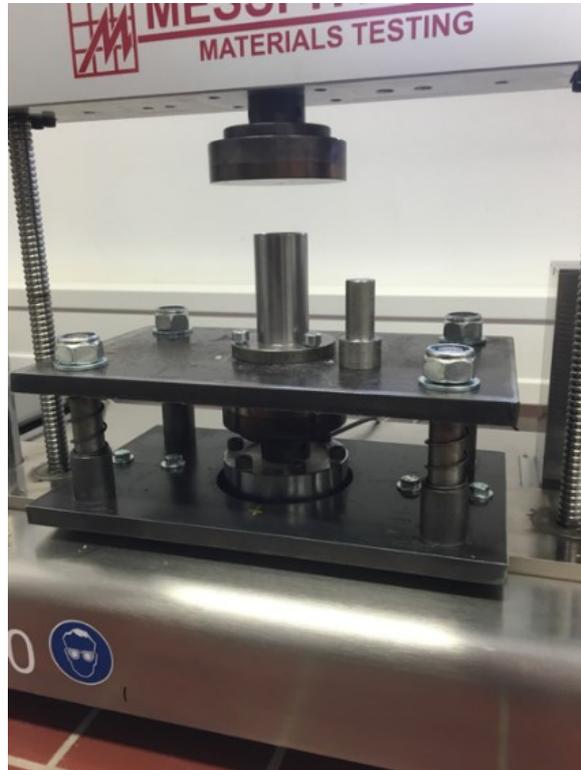
Nach der Produktion der Teile in der höheren technischen Bundeslehranstalt in Wolfsberg wurde die Prüfpresse montiert und in Leoben getestet (Abbildung 29).

Die Pressvorrichtung wurde mit vier M8-Schrauben an die Prüfpresse der Fa. Messphysik montiert. Diese vier Bohrungen in der Prüfpresse von der Fa. Messphysik waren bereits standardmäßig für etwaige Montagen von Hilfsvorrichtungen vorgesehen. Es musste daher die Konstruktion vorab an diese vier Bohrungen mit Gewinde angepasst werden, um eine fixe Verbindung von Pressvorrichtung und Prüfpresse zu gewährleisten.

Die Pressform weist einen Innendurchmesser von 30 mm und eine Länge von 90 mm auf, wobei eine maximale Länge von ca. 60 mm des Presskörpers möglich ist, da der Pressstempel aufgesetzt werden muss. Das entspricht einem L/D-Verhältnis von 2:1 des Presskörpers. Genaue Abmessungen der Form sind im Anhang unter Konstruktionszeichnungen der Pressvorrichtung beigelegt.

Da die maximale Korngröße bei den Laborversuchen in Leoben nur 3 mm beträgt, ist ein Durchmesser der Form von 30 mm ausreichend. Ein möglicher Einfluss der Körner auf die Festigkeit ( $6 \cdot k_{\max}$ ) des Prüfkörpers kann somit ausgeschlossen werden.

**Abbildung 29: Midi 10/ Fa. Messphysik mit montierter Pressvorrichtung samt Pressform**



Zahlreiche Einstellungen und Tests des Versuchsaufbaus hinsichtlich Federvorspannung und der richtigen Vorschubgeschwindigkeit beim Pressen wurden durchgeführt, bevor die ersten Probenkörper gepresst worden sind. Die Federvorspannung konnte mit den Sechskantmuttern an den Wellen eingestellt werden. Nähere Informationen zu den einzelnen Parametern sind in Kapitel 6.2.4 und im Anhang unter Arbeitsanleitung zu finden.

Die Befürchtung, dass sich der Probekörper schwer aus der Form lösen könnte, bestätigte sich nicht. Die gepresste Probe hat einen Durchmesser von 30 mm und eine Länge von 60 mm.

### 6.2.3. EIN PRESSZYKLUS

Ein Presszyklus setzt sich aus folgenden Arbeitsschritten zusammen:

- Einwaage
- Mischen
- Feuchtebestimmung
- Verdichten
- Pressen
- Entfernen des Prüfkörpers aus der Form
- Aushärten

Folgende Parameter haben einen wesentlichen Einfluss auf eine erfolgreiche Pressung:

- Konsistenz der Mischung (Kontrolle über Feuchtebestimmung)
- Homogenisierung
- Anpressdruck

Vor dem Pressen werden die einzelnen Stoffe mit Zement und Wasser laut Rezeptur mit der Waage (Sartorius, CP323 P) genau eingewogen und mit einem Handmixer vermischt. Die Mischdauer beträgt je nach Materialart und Menge nach Augenschein zwischen einer und drei Minuten. Nach der Homogenisierung wird das Material in die Pressform gefüllt und der Pressstempel aufgesetzt.

Um die Prozessbedingungen der Großanlage in Brixlegg nachstellen zu können, wird die vollgefüllte Form bei aufgesetztem Pressstempel für 20 Sekunden mittels Siebmaschine (Fritsch Analysensiebmaschine) vorverdichtet. Anschließend wird die verdichtete Probe auf die Pressvorrichtung geschraubt. Je nach Versuchsplan wird die Probe entweder mit 500 N oder mit 2000 N belastet. Der Vorschub wird automatisch über ein Programm Weg/Zeit gesteuert und beträgt 10 mm pro Minute. Nach Erreichen der festgelegten Maximalkraft stoppt die Maschine automatisch und der Pressstempel muss wieder in die Ausgangsposition zurückgefahren werden. Eine Pressung dauert je nach Material in der Regel ca. eine Minute.

Kann der Presskörper händisch nicht aus der Form gepresst werden, wird mit Hilfe der Presse der Körper aus der Form gedrückt. Im Großmaßstab hingegen erfolgt dies automatisch, da die Pressform nach dem Pressen selbst hochzieht und die Probe am Förderband liegen bleibt.

Abbildung 30 zeigt einen fertig gepressten Prüfkörper.

**Abbildung 30: Prüfkörper aus Cu Hydroxidschlamm mit 35 % Zementgehalt und einem W/Z-Wert von 0,9**



Genauere Details zu den einzelnen Arbeitsschritten befinden sich im Anhang unter Arbeitsanleitung.

#### 6.2.4. FESTIGKEITS- UND QUALITÄTSPRÜFUNG

Aus prozesstechnischen Gründen muss die Mindestfestigkeit von 5 MPa der Steine nach drei Tagen gegeben sein. Dies ist notwendig, da im großtechnischen Maßstab die Steine nach Ablauf dieser Zeit den Schachtofen zugeführt werden müssen, um die Prozesskette nicht zu unterbrechen und Lagerkapazitäten möglichst gering zu halten. Die Mindestanforderung von 5 MPa entspricht einer Mindestfestigkeit des Prüfkörpers, der einen Falltest aus zwei Metern ohne zu zerfallen, standhalten sollte.

Die Mindestfestigkeit wird mittels einem einaxialen Druckversuch überprüft. Die Überprüfung kann mittels drei unterschiedlichen Prüfpressen erfolgen. Diese sind in Tabelle 9 aufgelistet. Je nach zu erwartender Druckfestigkeit, kann eine der drei Pressen verwendet werden.

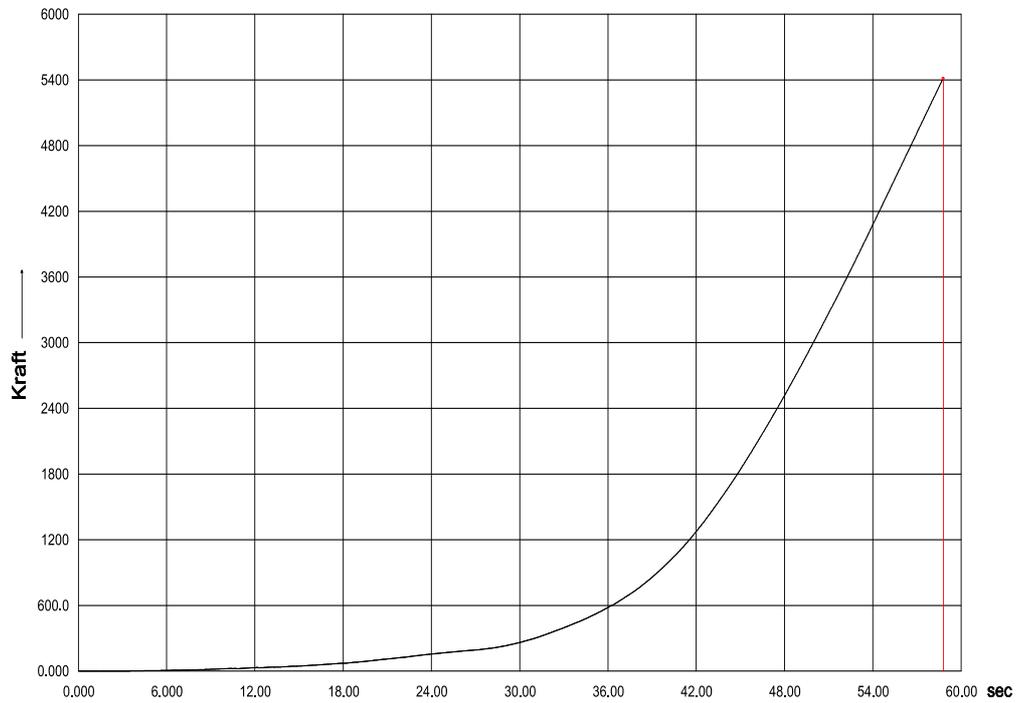
**Tabelle 9: Auflistung aller verwendeten Prüfpressen**

<b>Presse</b>	<b>Maximale Belastung</b>	<b>Fehlertoleranz</b>	<b>Vorschub</b>
Midi 10 Firma Messphysik	5 kN (7 MPa)	+/- 0,05 kN	Elektronisch mm/min
Mega KS-10	30 kN (42 MPa)	+/- 1 kN	händisch
Prüfpresse Tunnelbauinstitut	1000 kN (1400 MPa)	+/- 2-3 kN	händisch

Die Prüfpresse Midi 10 von der Firma Messphysik ist mit einer Fehlertoleranz von +/- 0,05 kN die genaueste dieser drei Prüfpressen. Ein Vorteil ist, dass der Vorschub der Presse Weg/Zeit gesteuert (1 mm/min) erfolgt. Sobald der Prüfkörper die maximale Festigkeit erreicht hat und die Festigkeit aufgrund eines Bruchs abnimmt, ist die Messung beendet. Eine genaue Auflistung der Parameter ist im Anhang unter Arbeitsanleitung zu finden.

Sollte die Druckfestigkeit des Prüfkörpers den Wert von 5,0 kN übersteigen, kann die Prüfpresse Midi 10, welche bei 5,0 kN abregelt, nicht mehr verwendet werden. Abbildung 31 zeigt eine Druckfestigkeitsprüfung von einem Prüfkörper des Materials Endschlamm 1. Dieser Schlamm weist eine höhere Festigkeit als 5,0 kN auf und kann somit nicht bis zum Bruch mit dieser Prüfpresse belastet werden.

**Abbildung 31: Midi 10: Druckfestigkeitsprüfung, Kraft/Zeit Verlauf für Probe Endschlamm 1**



In diesem Fall wird die Presse KS-10 von der Firma MEGA zur Prüfung höherer Festigkeiten, bis zu 30 kN, eingesetzt (Abbildung 32).

**Abbildung 32: Prüfeinrichtung Mega KS-10 mit Kraftmessdose und Messverstärker**

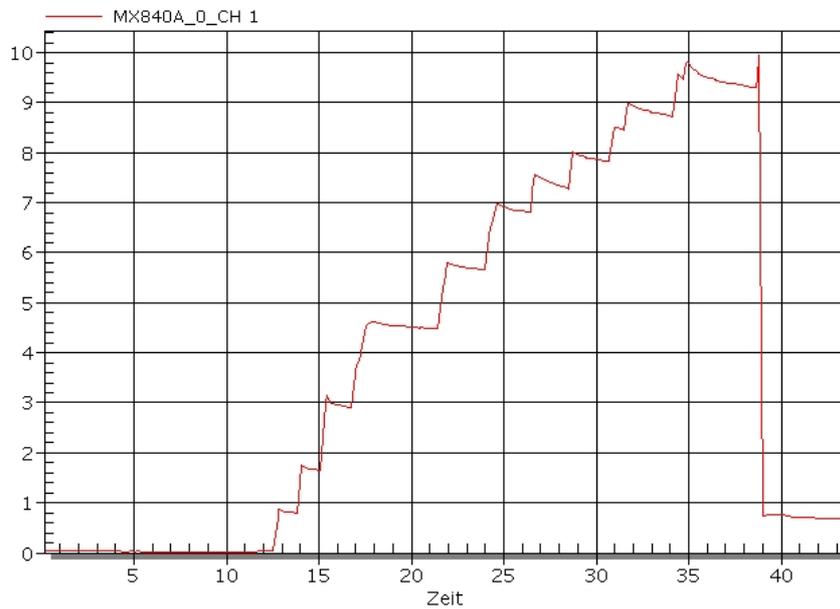


Ein Nachteil ist, dass die Presse nicht mit einer Kraftmessdose ausgestattet ist und auch der Vorschub nicht automatisch (Weg/Zeit gesteuert) geregelt werden kann. Die Regelung erfolgt händisch mittels Öldruckhandpumpe.

Für die genaue Messung der Druckbelastung musste daher eine Kraftmessdose nachgerüstet werden. Zum Betrieb einer Kraftmessdose bzw. zum Auswerten der Daten wird zusätzlich ein Messverstärker mit einer speziellen Messsoftware (Catman) benötigt. Der Messverstärker (Quantum X, Firma HBM) musste neu angeschafft werden. Die Kraftmessdose von der Firma Althen wurde vom Lehrstuhl für Subsurface Engineering an der Montanuniversität zur Verfügung gestellt. Aufgrund der höheren möglichen Belastung von 30 kN liegt der Fehlerbereich bei +/- 1 kN.

Abbildung 33 zeigt die Festigkeitsprüfung der Probe Endschlamm 2 mit der Prüfpresse Mega KS-10. Die Darstellung des Kraftverlaufs über die Zeit erfolgt in der Messsoftware „Catman“. Die stufenförmige Belastung während des Verlaufs ist auf den Vorschub dieser Presse zurückzuführen, welcher händisch mittels Ölpumpe erfolgt.

**Abbildung 33: Druckfestigkeitsprüfung mit der Prüfpresse MEGA KS-10, Kraftverlauf über die Zeit für die Probe Endschlamm 2**



Da die Prüfpresse Mega KS-10 zu Beginn nicht einsatzfähig war, musste nach einer Übergangslösung gesucht werden. Der Lehrstuhl für Subsurface Engineering an der Montanuniversität stellte dankenswerterweise teilweise seine Prüfpresse zur Verfügung (Abbildung 35). Diese Prüfpresse kann bis zu einer Belastung von 1000 kN beansprucht werden.

**Abbildung 34: Prüfpresse Subsurface Engineering**



### 6.3. MISCHVERSUCHE UND FESTIGKEITSAUSWERTUNG

Im Laufe der Diplomarbeit wurden die Ausgangsstoffe (Stäube, Schlämme und Aggregate) auf ihre chemischen und physikalischen Eigenschaften untersucht.

Bei den Stoffen handelt es sich um:

- Schlämme:
  - Endschlamm 1
  - Endschlamm 2
  - Hydroxidschlamm
  - Ent-Cu Schlamm
- Stäube:
  - FO-Filterstaub
  - SO-Flugstaub
- Aggregate:
  - Raff-Oxid
  - Raff-Oxid KK Stery 1
  - Raff-Oxid KK Stery 2

Mittels ersten Tastversuchen konnten Auskünfte über die zu erwartenden Festigkeit erlangt werden. Aus der Notwendigkeit, eine systematische und reproduzierbare Versuchsdurchführung und Festigkeitsüberprüfung sicherzustellen, musste eine geeignete Pressvorrichtung für die Prüfpresse Midi 10 (siehe Kapitel 6.2) konstruiert und gebaut werden. Das Auffinden einer zielführenden Versuchsmethodik und die Entwicklung eines Versuchstandes stellte einen wesentlichen Teil der Arbeit dar.

Abbildung 35 gibt einen Überblick über die unterschiedlichen Parametervariationen bei einer erstellten Mischung an. Bei einer Mischung werden die Parameter

- Presskraft (500 N oder 2000 N)
- Aushärtedauer (3 oder 7 Tage)
- Temperatur (20° C oder 40° C)

für jeden Versuchspunkt variiert. Die Beschriftung a – h dient zur direkten Zuordnung der einzelnen acht Pressungen zu einer Mischung.

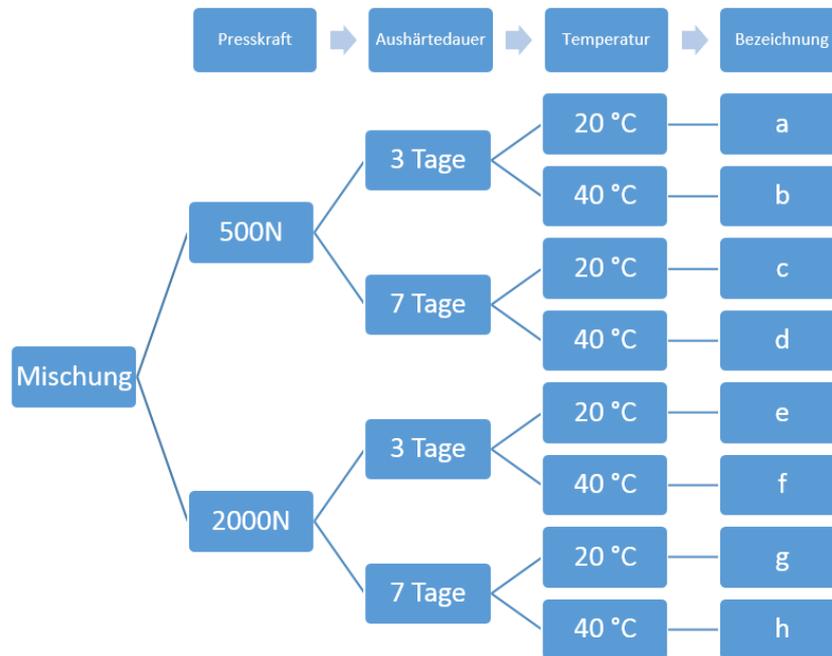
**Abbildung 35: Organigramm eines Mischversuchs**


Abbildung 36 zeigt die Auswertung eines Versuchsplans für den Endschlamm 2 mit 15 % Zementgehalt und 30 % Zuschlagsstoff. Bei diesem Schlamm wurde aus Feuchtigkeitsgründen der Mischung kein Wasser hinzugefügt. Bei Stäuben hingegen wurde bis zu maximal 25 % Wasser hinzugefügt. Rot hervorgehoben ist die jeweilige Zuordnung der Bezeichnungen (a-h) zu den jeweiligen Festigkeiten mit den unterschiedlichen Parametern. „14e“ weist zum Beispiel nach 2 Tagen, bei einer Trocknungstemperatur von 40° C und einer Presskraft von 2000 N eine Festigkeit von 2,05 MPa auf. „14“ bedeutet dass es sich um die vierzehnte Mischungsreihe handelt. Die Nummerierung der Mischungsreihen ist fortlaufend.

Die Bezeichnung a – h wird auch in den einzelnen Diagrammen verwendet, um die Ergebnisse einer Pressung direkt zuordnen zu können.

**Abbildung 36: Darstellung einer Versuchsmischung von Endschlamm 2**

Versuche Endschlamm 2														
Zement: CEM I 52,5 R														
Probenzusammensetzung: (Material+Zement+Wasser)														
Mixer (130 Watt)														
Datur	Probemenge [g]	Zement [%] / [g]	Zugabe H <sub>2</sub> O [%] /	Material [%] / [g]	Granos [%] / [g]	Quarz [%] / [g]	Mixtemp. [C°]	Feuchte [%]						
14a	09.05.2016	650	15%	98	0%	0,0	70%	386,8	15%	82,9	15%	82,9	28	24,82%
14b														
14c														
14d														
14e														
14f														
14g														
14h														

Festigkeit Fettgedruck = große Prüfpresse							
WZ-Wert	Notiz zum Mische	Pressen [N]	Notiz zum Pressen	Temperatur [C°]	Aushärtedauer [h]	Festigkeit [MPa]	Prüfung
1,65	Probemenge zuviel, 90g Trockenmasse	500	etwas zu nass	20	48	1,89	11.5
		500		40	48	2,79	11.5
		500		20	168	3,63	16.5
		500		40	168	<b>13,86</b>	16.5
		2000		20	48	2,05	11.5
		2000		40	48	3,67	11.5
		2000		20	168	4,17	16.5
		2000		40	168	<b>14,85</b>	16.5

Das Ziel der einzelnen Versuchsreihen ist es, die Festigkeiten für die Mischungen bei unterschiedlichen Parametern (Temperatur, Anpresskraft, Aushärtedauer) festzustellen. Ebenso sollte durch gezielte Veränderung der einzelnen Parametern die gewünschte Mindestfestigkeit von 5 MPa erreicht werden.

Sämtliche Daten aller Versuchsreihen sind im Anhang unter Versuchsserien zu finden.

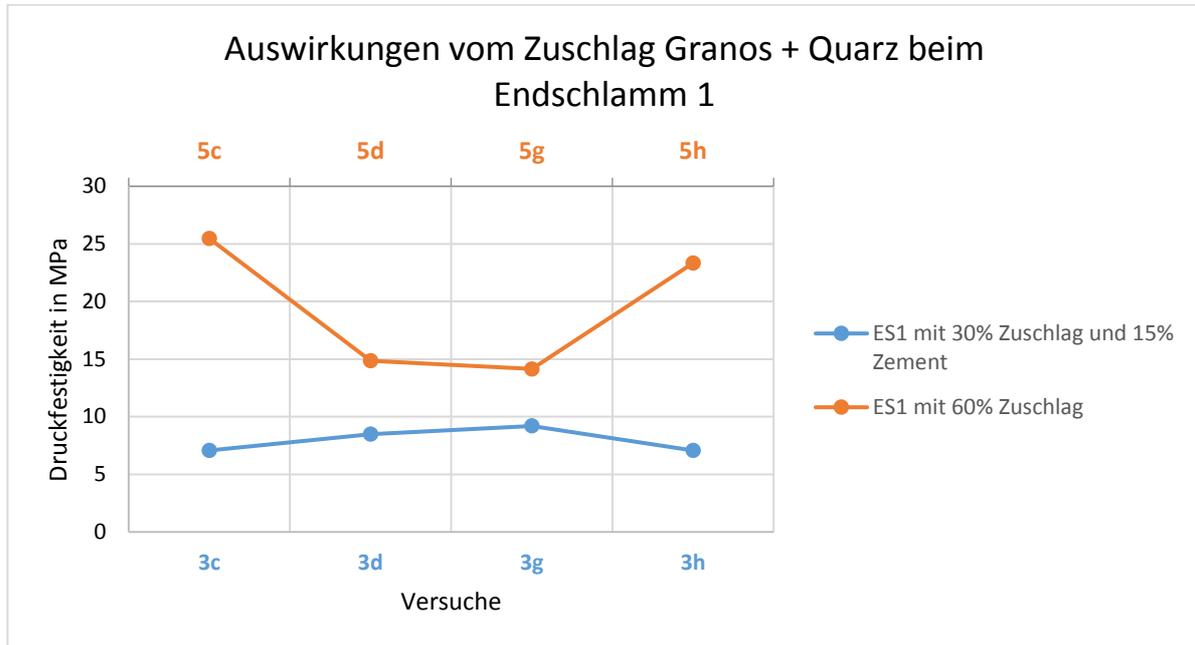
### 6.3.1. 1. VERSUCHSREIHE

#### Endschlamm 1

Grundsätzlich wurde die geforderte Mindestdruckfestigkeit von 5 MPa bei allen 32 Proben (vier hergestellte Mischungen) bereits nach 48 Stunden erreicht. Auf eine genaue Darstellung und ein Vergleich der Festigkeit nach 120 Stunden wurde verzichtet, da zu diesem Zeitpunkt die Prüfpresse zum Bestimmen der Druckfestigkeit noch zu schwach war und bei fünf Kilonewton elektronisch abgeregelt hat. Ein Vergleich wäre aus diesem Grund nicht repräsentativ.

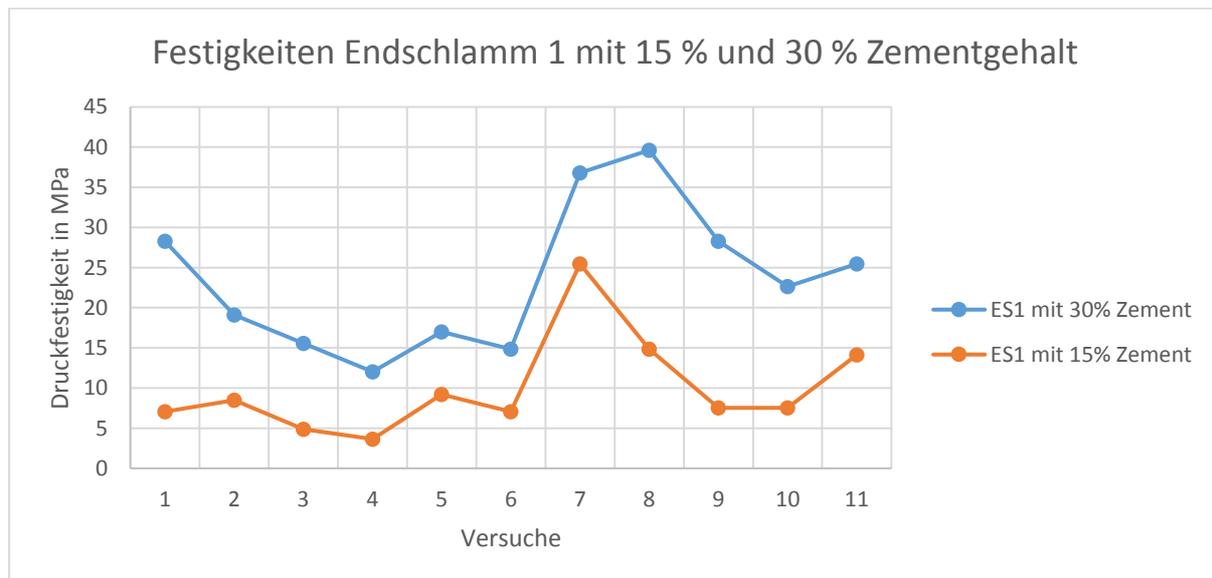
Wie bereits erwartet erhöht sich die Druckfestigkeit mit Erhöhung des Zuschlags von 30 % auf 60 % (50 % Granos, 50 % Quarz) um 144 %. Abbildung 37 verdeutlicht diesen Trend. Die dargestellten zwei Kurven beziehen sich auf die farblich angepassten horizontalen Achsen. Die obere Kurve bezieht sich immer (auch bei allen weiteren Diagrammen) auf die obere horizontale Achse und die untere Kurve auf die untere Achse.

**Abbildung 37: Auswirkungen Zuschlag Endschlamm 1 mit 15 % Zementgehalt**



Setzt man der Mischung mehr Zement zu (+30 %), dann erhöht sich die Druckfestigkeit um 42 % (siehe Abbildung 38).

**Abbildung 38: Steigerung Zementgehalt Endschlamm 1**



Die Zementgehaltsteigerung von 15 % auf 30 % erfordert eine zusätzliche Wasserzugabe von 5 %.

Ein positiver Einfluss der Temperatursteigerung beim Aushärten (20 °C und 40 °C) konnte beim Endschlamm 1 nicht festgestellt werden.

## Raff-Oxid

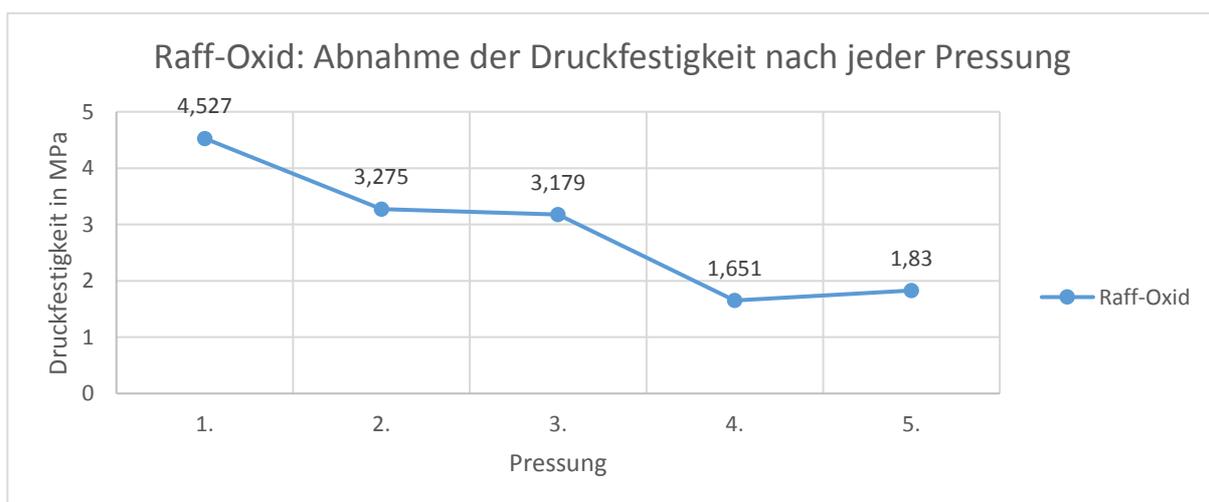
Erste Versuche zeigten bereits, dass nach der erfolgten Mischung nur die Pressung von einem Prüfkörper möglich ist (Probenbezeichnung: a). Wird das Material nur mit Zuschlag und Zement ohne Vorkonditionierung gemischt, führt dies nicht zum gewünschten Erfolg. Das Material, Raff-Oxid, reagiert nach dem Mischen sofort, sodass es an der Oberfläche komplett austrocknet und anschließend fest wird. Der Grund dafür sind chemische Reaktionen vom Material mit Kontakt mit Wasser und Zement.

Aus diesen Gründen wurde die Rezeptur neu überarbeitet und das Material vor der eigentlichen Mischung mit 50 % ungelöschtem Branntkalk unter Zugabe von Wasser vermengt. Es kam durch die Reaktion von Wasser mit dem Branntkalk zur Raumentwicklung und zu einer starken Erwärmung der Probe (bis zu 180 °C). Nach ein bis zwei Stunden konnte die Mischung dann weiterverarbeitet werden. Der Einsatz von 50 % Branntkalk ist aber aus wirtschaftlicher Sicht nicht praktikabel.

Trotz dieser Vorbehandlung war ein normaler Versuchszyklus mit jeweils acht Proben nicht möglich. Es konnten lediglich fünf Proben mit einer Presskraft von 2000 N hergestellt werden. Abbildung 39 zeigt die Abnahme der Festigkeit nach jeder Pressung. Obwohl die Feuchtigkeit in der Mischung 17,5 % betrug, trocknete diese relativ schnell auf.

D.h. der Kalk verbessert grundsätzlich die Verarbeitung, jedoch ist eine vorzeitige Erhärtung durch den Einsatz von Kalk nicht zu verhindern.

**Abbildung 39: Abnahme der Festigkeit nach jeder Pressung, Raff-Oxid mit 15% Zementanteil, 5 Tage Aushärtedauer**



## FO-Filterstaub

Gleich wie beim Raff-Oxid reagiert dieses Material sofort nach dem Mischen und trocknet an der Oberfläche aus. Zusätzlich erhöht sich die Temperatur auf über 45° C, weshalb die vorzeitige Erhärtung noch stärker beschleunigt wird. Dies führt dazu, dass die Masse bereits nach dem Mischen binnen Minuten im Gefäß sehr hart wird.

Ähnlich wie beim Raff-Oxid wurde deshalb auch dieses Material mit 50 % Branntkalk vorkonditioniert.

Nach einer heftigen Reaktion wurde die Probe eine Stunde zum Abkühlen stehen gelassen. Anschließend konnte diese aber wieder gut weiterverarbeitet werden.

Anders als beim Raff-Oxid reichte die berechnete Wassermenge (für einen W/Z-Wert von 0,5 benötigt man 7,5 % Wasser in der Mischung) nicht aus und es musste zusätzlich Wasser zugegeben werden.

Die Berechnung der Wassermenge ist in Tabelle 10 wiedergegeben.

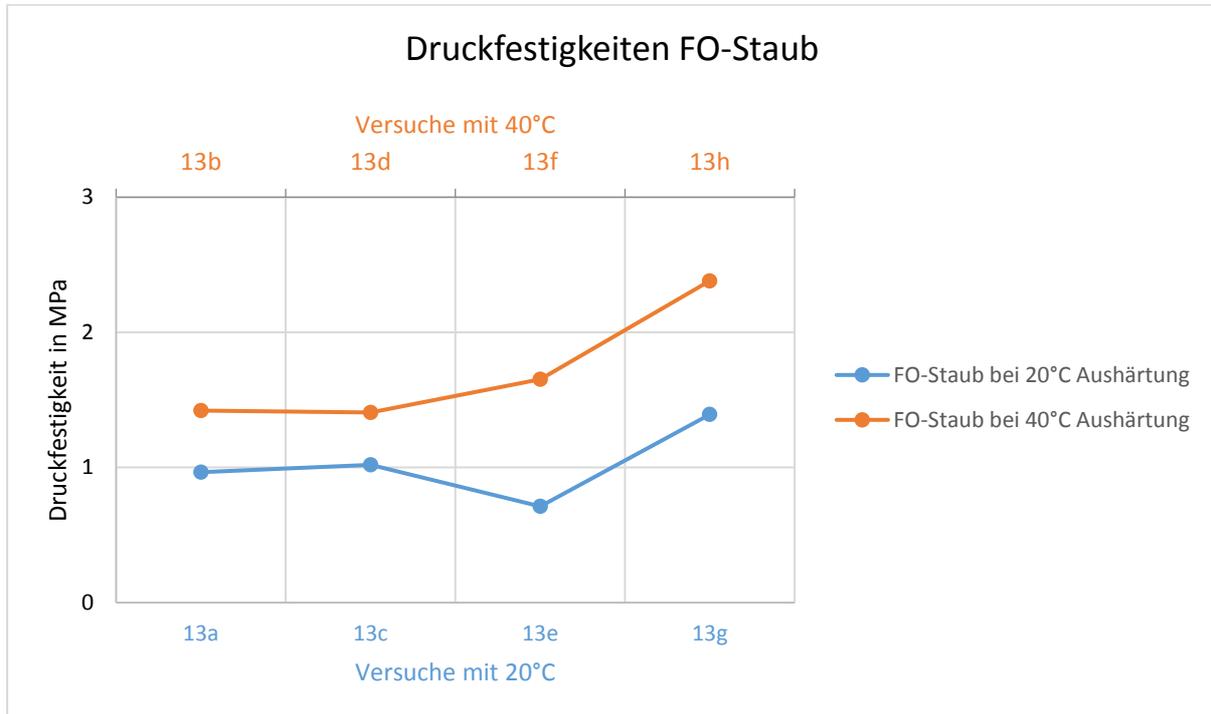
**Tabelle 10: Berechnung der zugeführten Wassermenge über die Zementmenge und den W/Z-Wert**

Vorgabe W/Z-Wert	[-]	0,5
Vorgabe Zementmenge	[%]	15,0
Berechnete Wassermenge	[%]	<b>7,5</b>

Der Grund für die zusätzlich benötigte Wassermenge ist die Reaktion vom FO-Staub mit dem Wasser, welche zur Temperaturerhöhung führt. Der sogenannte Umschlagpunkt für die feuchte Konsistenz war zuerst nicht ersichtlich, was dazu führte, dass die Mischung in Summe zu feucht wurde. Die letzte Pressung der acht Einzelproben erwies sich als problemlos. Diese Erkenntnis spricht eindeutig für den Einsatz von Kalk. Alle Proben wurde nach fünf Tage Aushärtedauer abgedrückt.

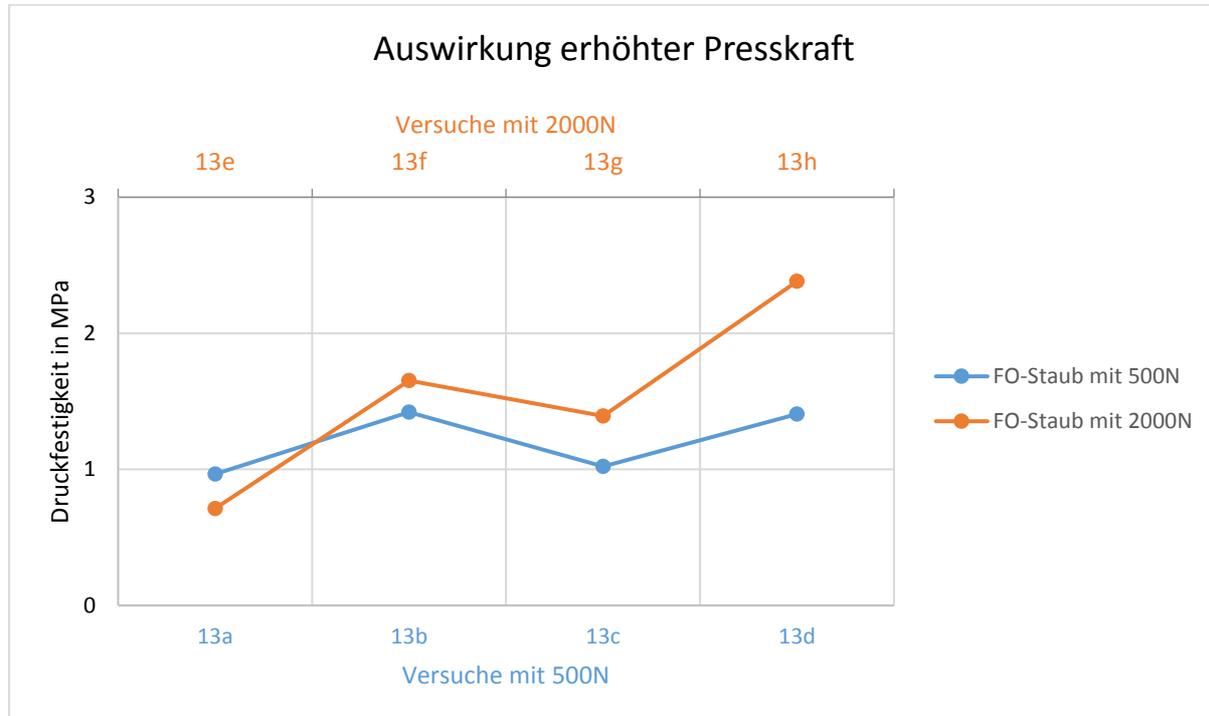
Die Steigerung der Aushärtetemperatur von 20 °C auf 40 °C führte beim FO-Staub zu einer durchschnittliche Steigerung der Druckfestigkeit von 68 % (Abbildung 40).

**Abbildung 40: Einfluss der Temperatur FO-Staub**



Eine Abnahme der Festigkeit gegen Ende der Pressung konnte nicht beobachtet werden. Dies spricht eindeutig für einen Einsatz von Kalk.

Die Erhöhung der Presskraft wirkt sich ebenfalls positiv aus. Abbildung 41 zeigt die Auswirkung einer erhöhten Presskraft. Es kommt zu einer Steigerung der Druckfestigkeit von 28 %. Generell befinden sich die erreichten Festigkeiten aber unter 5 MPa.

**Abbildung 41: Vergleich der Presskraft von 500 N und 2000 N bei FO-Staub**


## SO-Flugstaub

Der SO-Flugstaub hat verglichen mit Raff-Oxid und FO-Staub kein Problem mit längeren Verarbeitungszyklen und muss daher nicht vorkonditioniert werden. Nach einer kurzen Mischphase von ein paar Sekunden lässt sich auch die achte Probe problemlos verarbeiten bzw. pressen.

Ebenso verhält sich das Material bezogen auf den Zuschlag Granos und Quarz genau umgekehrt wie die anderen bereits getesteten Materialien. Je höher nämlich der Anteil des Zuschlags wird, desto niedriger wird die Festigkeit. Diese Erkenntnis ist durchaus positiv hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit, da Zuschlag eingespart und mehr SO-Flugstaub der Mischung zugegeben werden kann.

Abgesehen davon, dass bei der Mischung Nr. 9 (30 % Zuschlaganteil) drei Proben (9c, 9d, 9h) nur wieder bis 7,5 Kilonewton belasteten werden konnten (Presse regelte ab), waren die Werte, wie in Abbildung 42 ersichtlich, deutlich höher als mit 60 % Zuschlag. Im Durchschnitt ist die Druckfestigkeit bei 30 % Zuschlag um 130 % höher. Die geforderte Mindestfestigkeit von 5 MPa konnte aber nur bei fünf von 32 Prüfkörper erreicht werden.

Als letzten Punkt dieser Versuchsreihe wurde noch eine Mischung ohne Bindemittel (Blindversuch) durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Verarbeitung leicht möglich ist und sogar eine geringe Festigkeit (0,5 MPa) erreicht werden kann.

**Abbildung 42: Vergleich SO-Staub mit 30 % und 60 % Zuschlaganteil**

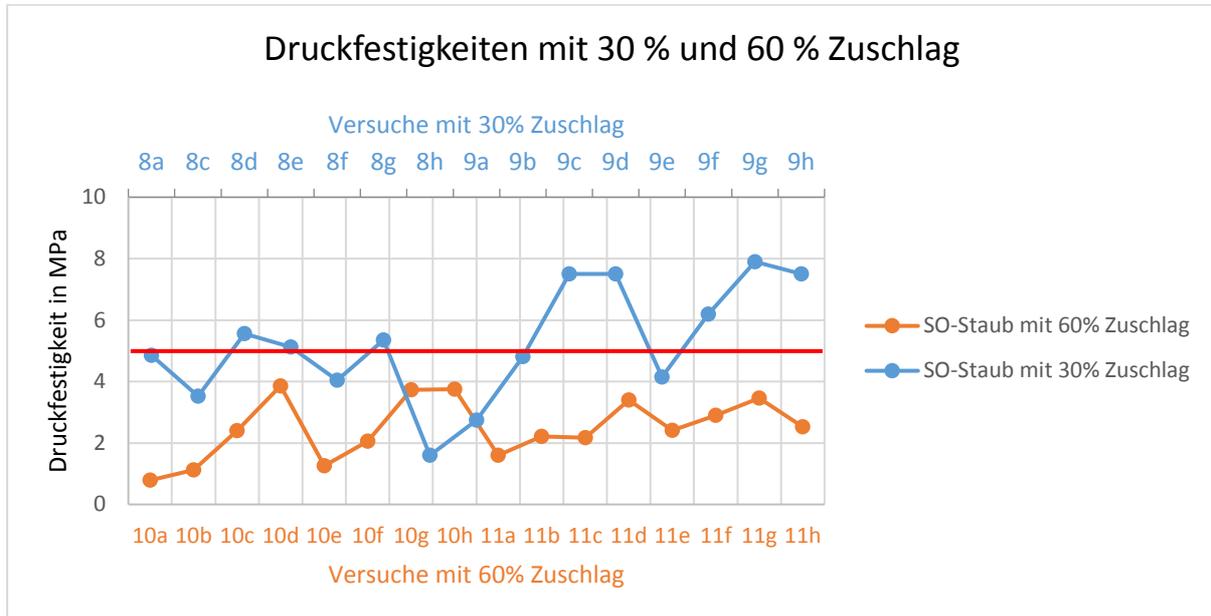
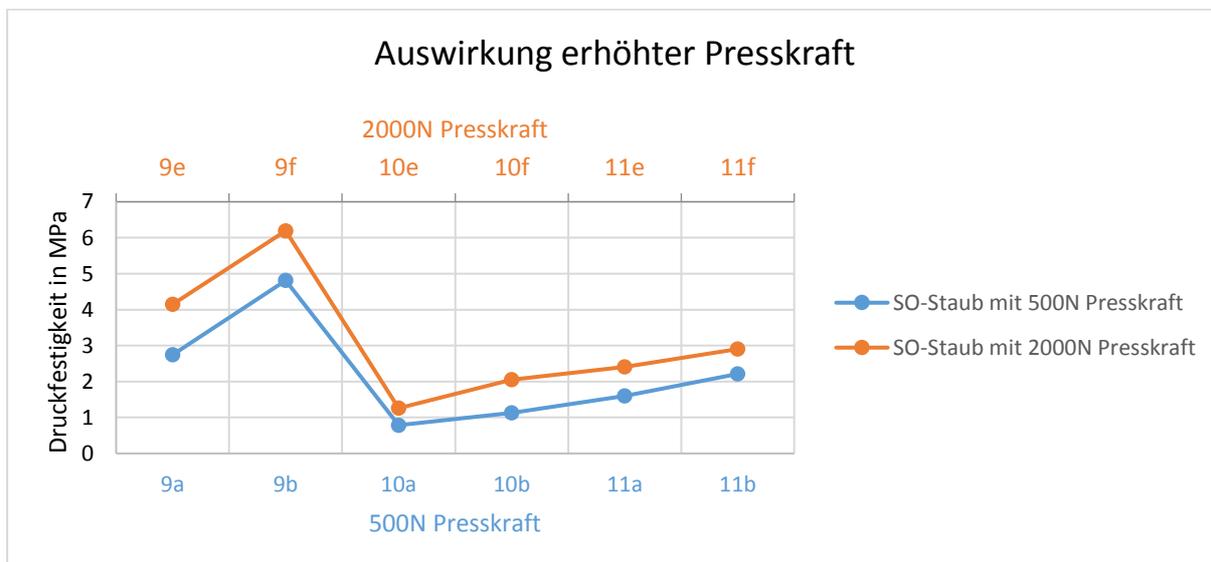


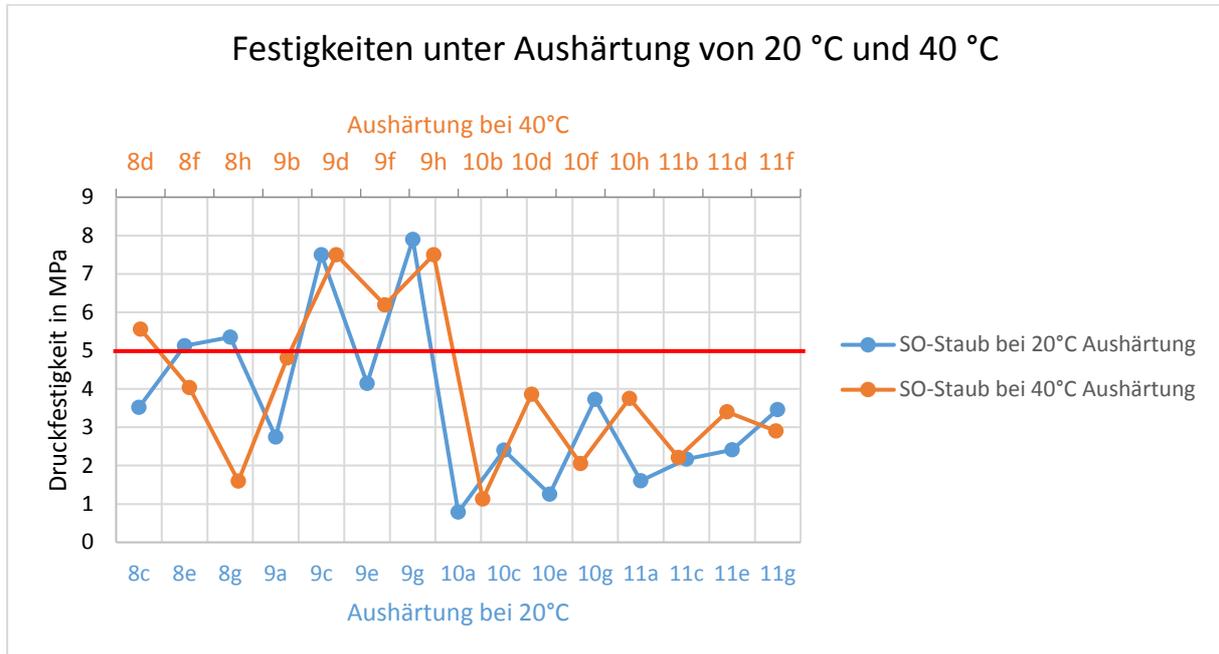
Abbildung 43 zeigt die Auswirkung erhöhter Presskraft. Es konnte eine Steigerung der Druckfestigkeit von 32 % erreicht werden.

**Abbildung 43: Erhöhung der Presskraft SO-Staub nach 2 Tage Aushärtedauer**



Ebenso steigert sich die Druckfestigkeit bei einer Erhöhung der Temperatur beim Aushärten um 23 % (Abbildung 44).

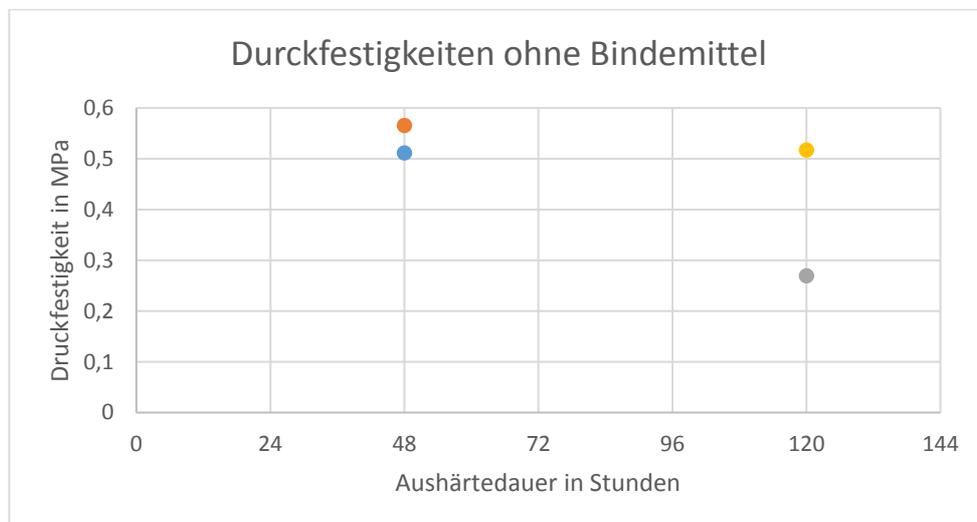
**Abbildung 44: Einfluss der Temperatur FO-Staub**



Die Steigerung des Zementgehaltes von 15 % auf 30 % führte zu einer durchschnittlichen Erhöhung der Druckfestigkeit von 10,5 %.

Bei Versuchen ohne eine Zugabe von Bindemitteln zeigt die Prüfung der Proben nach zwei und fünf Tagen, dass sich die Druckfestigkeiten nicht wesentlich ändern (siehe Abbildung 45).

**Abbildung 45: Druckfestigkeit ohne Bindemittel SO-Staub**



## Zusammenfassung der Ergebnisse

Bei den Stoffen Raff-Oxid und FO-Staub waren Brikettversuche erst nach einer Vorkonditionierung mit ungelöschtem Kalk aufgrund von frühzeitiger Erstarrung möglich.

Es können deutliche Abnahmen der Festigkeiten nach jeder Pressung beobachtet werden. Beim Endschlamm 1 ist dieser Unterschied bei den ersten vier Pressungen zu den Pressungen 5-8, 142 %.

Grundsätzlich ist bei allen Mischungen eine Herstellung der Prüfkörper nach der 6. Pressung ohne einer Presskraft von 2000 N nicht möglich.

Den positiven Effekt einer höheren Presskraft zeigt sich beim SO-Staub und beim FO-Staub, wo durch Vorkonditionierung ein zu rasches Abbinden verhindert werden konnte.

In Tabelle 11 wird der Einfluss der einzelnen Parameterveränderungen nochmals verdeutlicht. Das blaue Feld symbolisiert den umgekehrten Effekt der Erhöhung des Zuschlags. Durch eine Zuschlagssteigerung von 30 % auf 60 % sollte sich die Festigkeit erhöhen. Beim SO-Staub hingegen wirkt sich der Zuschlag negativ aus.

**Tabelle 11: Auswirkungen verschiedener Parameter Versuche KW9-13**

	Temperatur von 20 °C auf 40 °C	Zementsteigerung von 15 % auf 30 %	Zuschlag von 30 % auf 60 %	Presskraft von 500 N auf 2000 N	Zu schnelles Aushärten	Abhilfe mittels Kalk
Endschlamm 1	X	42 %	144 %	-	NEIN	
Raff-Oxid	-	-	-	positiv	JA	NEIN
FO-Filterstaub	68 %	-	-	28 %	JA	JA
SO-Staub	23 %	10,5 %	-130 %	11 %	NEIN	

### 6.3.2. 2. VERSUCHSREIHE

Bei dieser Versuchsreihe wurden die Materialien Endschlamm 2, Ent-Cu Schlamm, Hydroxidschlamm und zwei Raff-Oxide aus dem Schmelzwerk Kovohuty in Krompachy (KK) in der Slowakei untersucht.

Ebenso wurde bei dieser Versuchsreihe auf eine Mischung mit einem Zuschlaganteil von über 30 % verzichtet, da dies prozesstechnisch nicht relevant ist.

Alle Proben, bei denen eine Festigkeit von über 5 kN (7,0 MPa) bestimmt oder erwartet wurde, sind mit der zweiten Prüfpresse Mega KS-10 mit einer maximalen Belastung von 30 kN gedrückt worden.

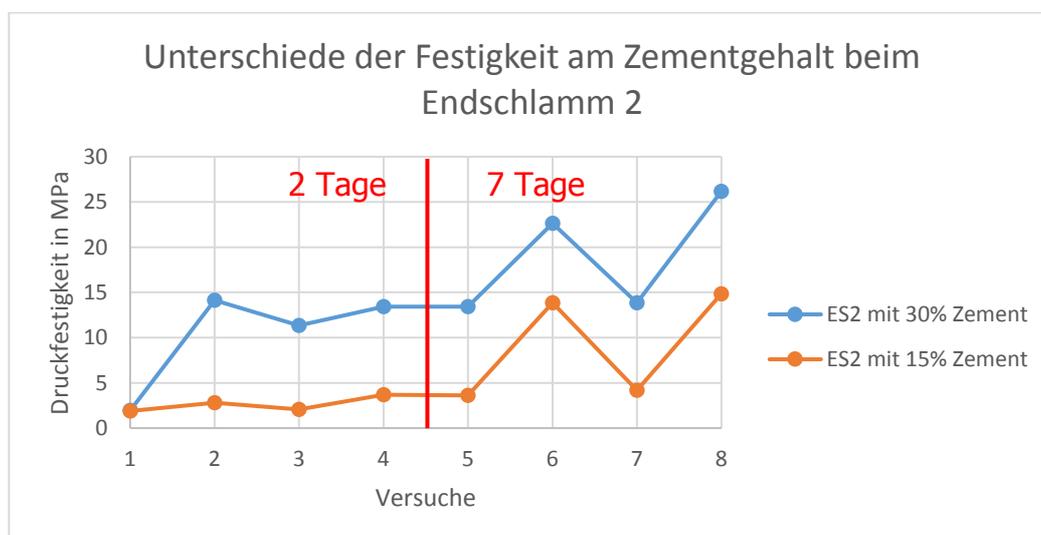
#### Endschlamm 2

Aufgrund der geringen Korngröße (100 % kleiner als 40  $\mu\text{m}$ ) vom Endschlamm 2 musste beim Mischen eine mögliche Agglomeratbildung berücksichtigt werden. Aufgrund der hohen Feuchtigkeit des Materials (über 40 %) musste das Material vorher getrocknet werden. Der Agglomeratbildung kann durch Erhöhung der Rührgeschwindigkeit und Mischdauer (mindestens drei Minuten) entgegengewirkt werden.

Die Mischtemperatur war immer unter 30° C. Das bedeutet, dass keine Reaktion der Materialien stattfand. Dadurch kam es auch zu keiner oberflächlichen Austrocknung bzw. Abnahme der Festigkeit gegen Ende der jeweiligen Mischungen.

Abbildung 46 zeigt die einzelnen Festigkeitswerte bei verschiedenen Zementgehalten (15 % und 30 %). Versuche 1-4 stellen die Druckfestigkeit nach zwei Tagen und die Versuche 5-8 die Festigkeit nach 7 Tagen dar. Die Festigkeitswerte konnte von zwei auf sieben Tage um durchschnittlich 150 % gesteigert werden.

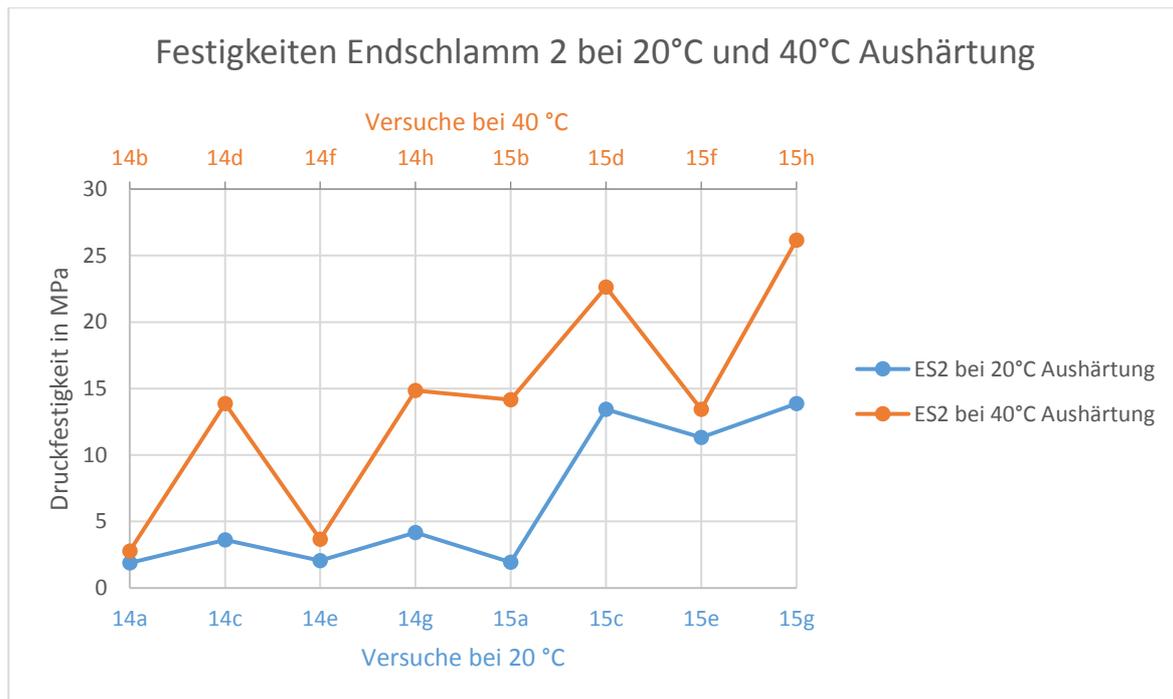
**Abbildung 46: Steigerung der Festigkeit von Endschlamm 2 mit 15 % und 30 % Zementgehalt, nach 2 und 7 Tagen Festigkeitsprüfung**



Die Festigkeit war nach zwei Tagen bei einem Zementgehalt von 30 % bis auf einen Ausreißer immer über 5 MPa und erfüllt somit die Mindestfestigkeit.

Weiteres ist eine Erhöhung der Festigkeit bei einer Aushärtetemperatur von 40° C deutlich ersichtlich (Abbildung 47).

**Abbildung 47: Einfluss der Aushärtetemperatur beim Endschlamm 2 nach 2 und 7 Tagen Aushärtedauer**



Die Aushärtung bei 40° C zeigt sich bei sehr feuchten Mischungen (25 %), wie sie bei Versuchsreihe 14 aufgetreten, als sehr wirkungsvoll. Es konnte eine Steigerung von knapp 200 % gegenüber einer Aushärtung bei 20° C erreicht werden. Deshalb kann die Feuchtigkeit für weitere Versuche zur leichteren Verarbeitung der Mischung erhöht sein. Ein W/Z-Wert von 1,65 entspricht nicht gewohnten Werten, stellt aber in diesem Fall kein Problem dar.

Eine erfolgreiche Pressung der Proben war ohne weiteres mit 500 N Presskraft möglich. Eine Erhöhung der Presskraft auf 2000 N steigerte trotzdem die Druckfestigkeit um 24 %.

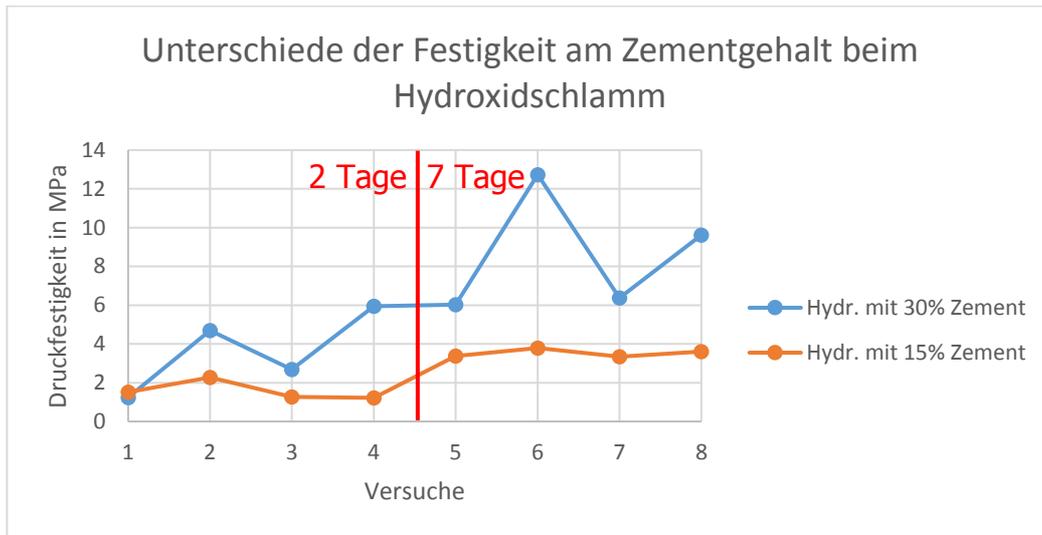
### Hydroxidschlamm

Die erreichten Druckfestigkeiten nach der Brikettierung des Hydroxidschlammes (durchschnittlich 4,4 MPa) sind deutlich geringer als beim Endschlamm 2 (10,2 MPa). Da die Parameter nicht grundlegend verändert wurden, muss eine Störstoff in diesem Material vorhanden sein, welcher die Abbindereaktion stört.

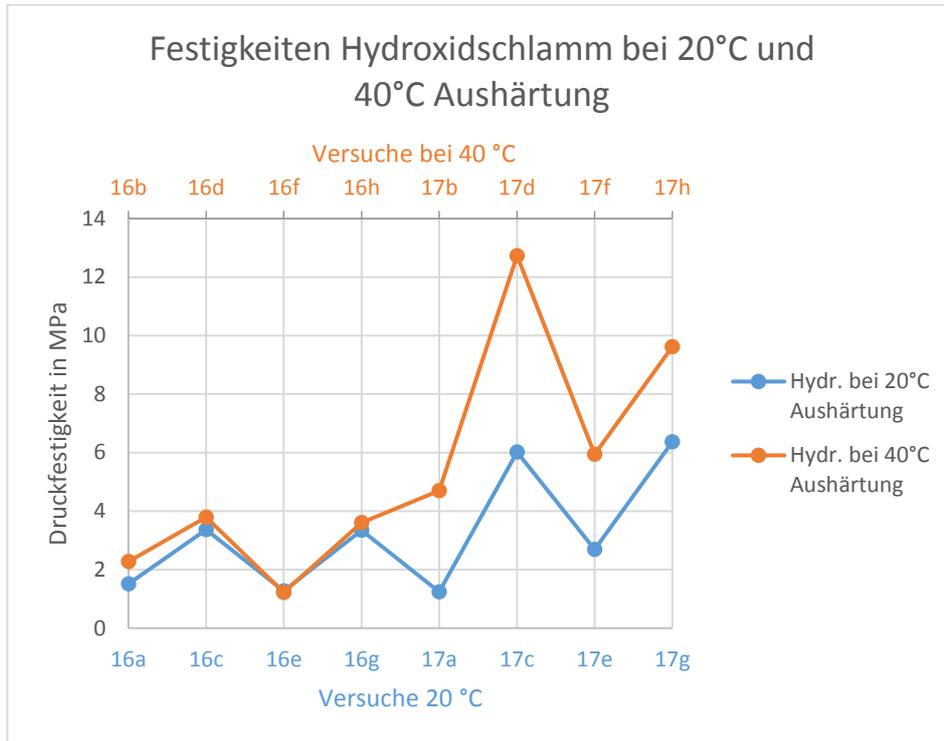
Die optimale Mischungskonsistenz stellt sich bei 22 % Feuchte ein.

Die Festigkeitswerte stiegen verglichen mit den beiden Zementgehalten (15 % und 30 %) um 142 % (Abbildung 48). Versuche 1-4 stellen die Druckfestigkeit nach zwei Tagen und die Versuche 5-8 die Festigkeit nach 7 Tagen dar.

**Abbildung 48: Hydroxidschlamm, Steigerung der Festigkeit bei einem Zementgehalt von 15 % auf 30 %**



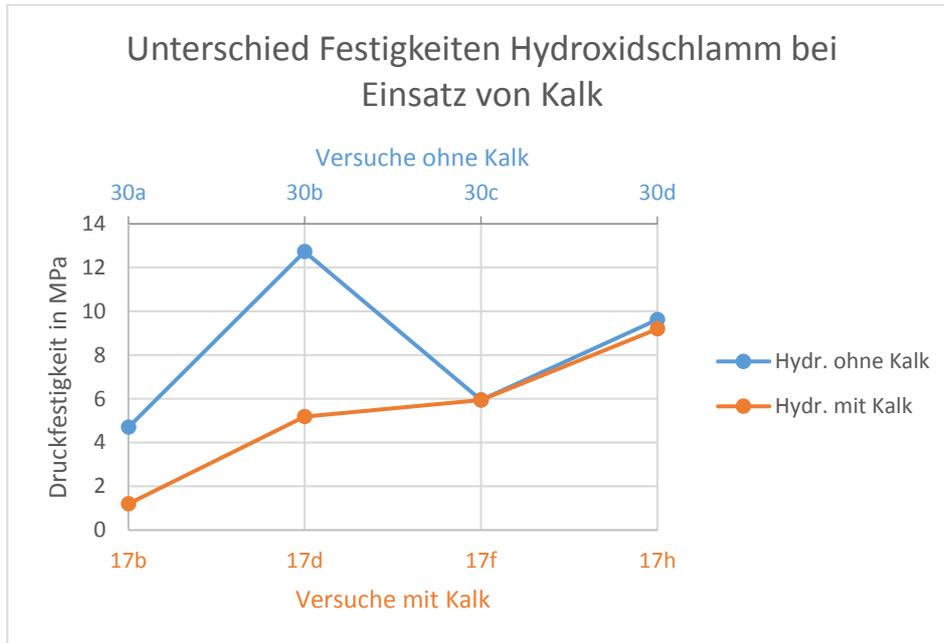
Die Aushärtung bei 40° C ermöglicht einen durchschnittlichen Festigkeitszuwachs von 70 % (Abbildung 49).

**Abbildung 49: Einfluss Temperatur beim Aushärten Hydroxidschlamm**


Mit dem Fortschreiten der Verarbeitungsdauer (ab der 4. Pressung, nach ca. fünf Minuten) nimmt die Festigkeit ab, wodurch sich die erhöhte Presskraft nicht auswirken kann.

Ansonsten zeigt das Material keine Reaktion für zu schnelles Aushärten.

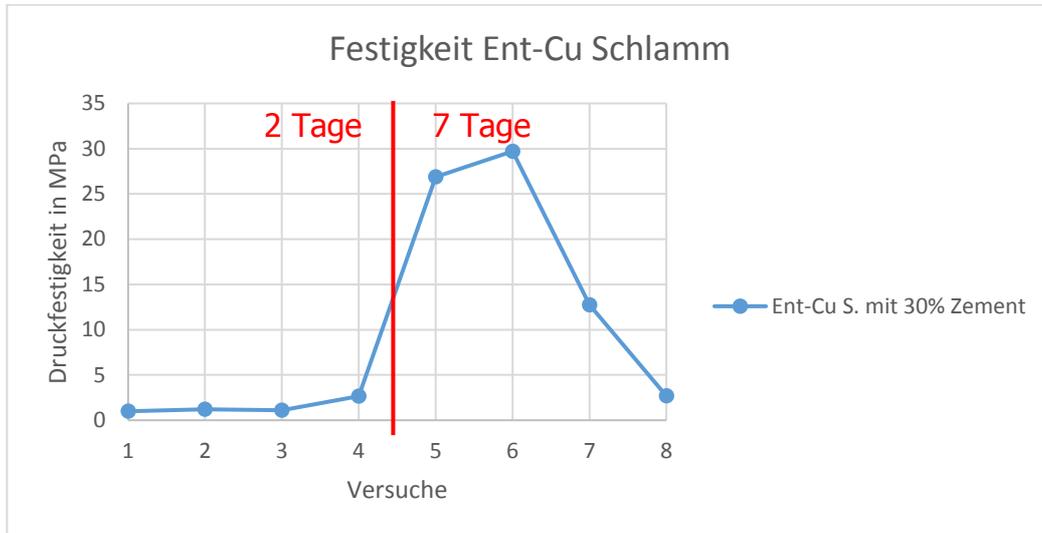
Um eine vorzeitige Reaktion zu verhindern sowie die Festigkeitswerte zu steigern wurden 20 % Branntkalk mit dem Hydroxidschlamm mittels Handmixer vermischt. Nach einer Stunde wurde der Zement und das restliche Wasser zugegeben. Abbildung 50 zeigt Festigkeitswerte nach zwei Tagen (17b&f bzw. 30a&c) und nach 7 Tagen (17d&h bzw. 30b&d). Die Grafik verdeutlicht, dass der Einsatz von Kalk keine Steigerung bewirkt. Es konnte sogar eine Minderung der Festigkeit von 35 % festgestellt werden.

**Abbildung 50: Festigkeit Hydroxidschlamm mit Kalk**


### Ent-Cu Schlamm

Für Mischversuche musste der Ent-Cu Schlamm aufgrund der hohen Feuchte vorgetrocknet werden. Das Material reichte nur um eine Mischung mit 30 % Zementanteil herzustellen. Es musste vor jeder Pressung etwas Wasser (ca. 10 ml) extra hinzugefügt werden, da das Material ansonsten zu trocken für eine Pressung war und beim Entnehmen aus der Probenform zerfiel. Aufgrund der chemischen Reaktion vom Material mit dem Zement war die Mischtemperatur mit 31° C leicht erhöht.

Abbildung 51 zeigt die Festigkeiten vom Ent-Cu Schlamm bei einem Zementgehalt von 30 %, wobei die Versuche 1-4 nach zwei Tagen Aushärtedauer und Versuche 5-8 nach 7 Tagen abgebildet wurden. Die Festigkeitszunahme nach 7 Tagen ist überdurchschnittlich hoch. Da bei allen vier Vergleichswerten die Festigkeit immer gleich stark variiert, kann ein Messfehler ausgeschlossen werden. Eine schlechte Homogenisierung bei den ersten Pressungen könnte eine Ursache sein.

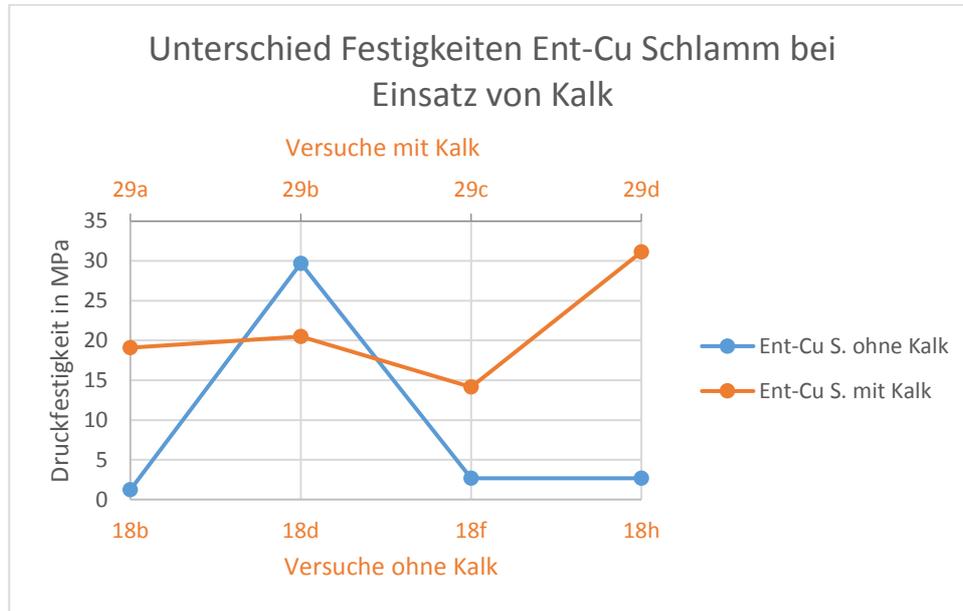
**Abbildung 51: Festigkeit Ent-Cu Schlamm**


Der Festigkeitsabfall bei Versuch Nr. 7 und Nr. 8 (Abbildung 51) bestätigt die Erkenntnis, dass das Material leicht austrocknet, sich schwer verarbeiten lässt und dadurch an Festigkeit verliert.

Auf den Vergleich der beiden Aushärtetemperaturen 20° C und 40° C wurde beim Ent-Cu Schlamm aufgrund der geringen Steigerung der Festigkeit (15 %) auf eine Darstellung verzichtet.

Ebenso wäre ein Vergleich hinsichtlich der Pressdrücke aufgrund der abnehmenden Festigkeiten nicht repräsentativ.

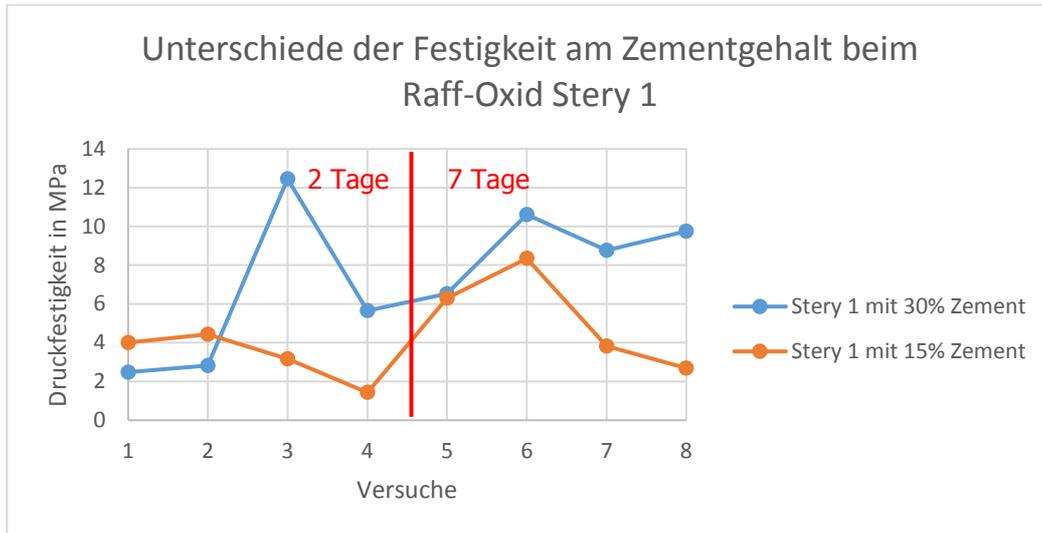
Anders als beim Hydroxidschlamm bewirkt die Zugabe von 20 % Branntkalk eine Steigerung der Festigkeit um 133 %. In Abbildung 52 sind die gemessenen Werte ersichtlich. Mit der Prüfpresse Mega KS-10 konnte die höchste Festigkeit von über 31 MPa bestimmt werden.

**Abbildung 52: Festigkeit Ent-Cu Schlamm mit Kalk**


### Raff-Oxid KK Stery 1

Die Sonderproben Raff-Oxid Stery stammen aus einem Tochterwerk der Montanwerke aus der Slowakei.

Die Verarbeitung dieses Materials musste aufgrund der Austrocknungsgefahr binnen den ersten zwei Minuten geschehen. Bei der Hälfte des Mischzyklus (Pressung Nr. 5) musste wieder neu gemischt werden, da sich das Material nicht mehr durch Pressen kompaktieren ließ und beim Auspressen zerfiel. Abbildung 53 bestätigt diese Erkenntnis. Die Versuche 1-4 zeigen die Festigkeit nach zwei und die Versuche 5-8 nach sieben Tagen. Dementsprechend nahm die Festigkeit gegen Ende wieder ab, unabhängig davon mit welcher Presskraft gearbeitet wurde.

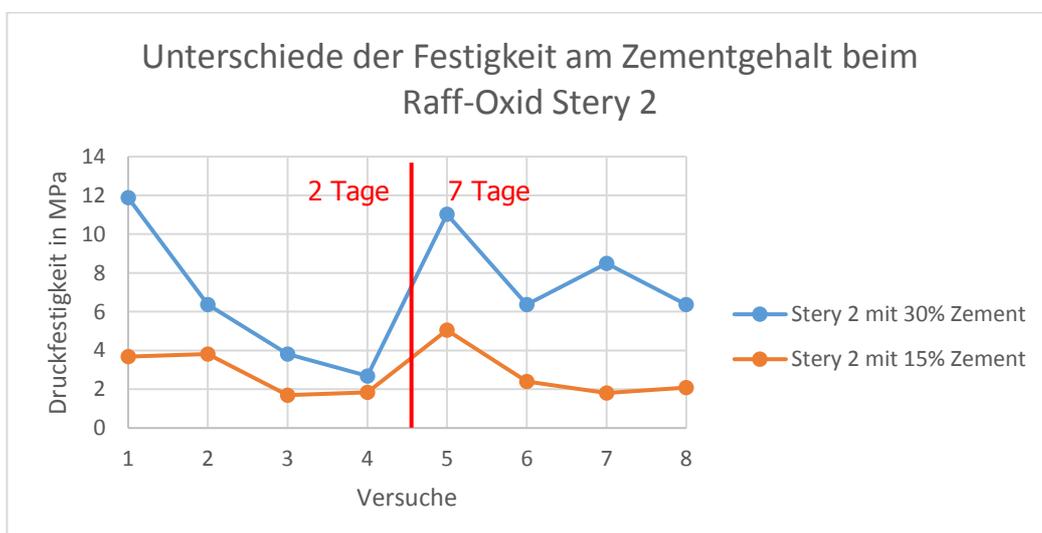
**Abbildung 53: Steigerung Zementgehalt Stery 1**


Wegen der oberflächlichen Austrocknung wird der Einfluss der Erhöhung der Presskraft und der Trocknungstemperatur beim Aushärten nicht berücksichtigt.

Bemerkenswert ist die Versuchsreihe Nr. 20. Durch die Erhöhung des Zementanteils (30 %) kam es zu einer starken exothermen Reaktion. Verglichen mit der Mischung mit einem Zementanteil von 15 % stieg die Temperatur um 4° C. Daraus ist zu schließen, dass vor jeder Pressung der Mischung Wasser hinzugefügt werden muss.

### Raff-Oxid KK Stery 2

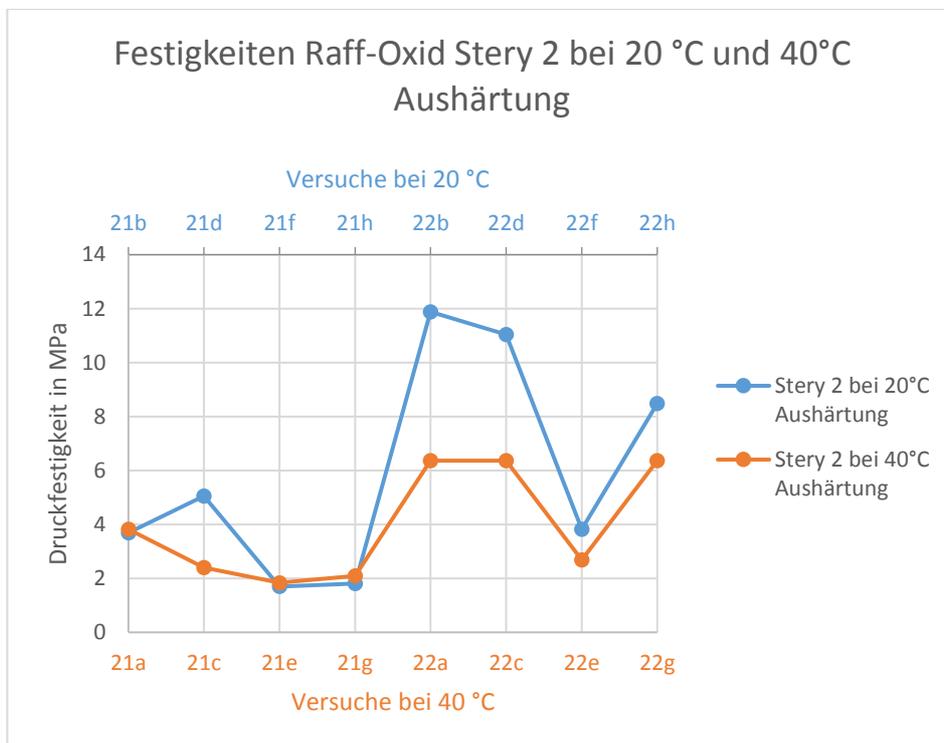
Wie schon bei Material Stery 1 trocknet auch dieses beim Mischen nach einer gewissen Zeit oberflächlich aus und muss nach jeder zweiten Pressung (5 min) wieder neu gemischt werden. Abbildung 54 bestätigt die Abnahme der Festigkeit, da bei den ersten vier Versuchen (Zementgehalt von 30 %), also nach zwei Tagen, der Festigkeitsverlust von 12 MPa auf unter 3 MPa deutlich sank.

**Abbildung 54: Steigerung Zementgehalt Stery 2 von 15 % auf 30 %**


Die Austrocknung der Mischung bei 30 % Zementanteil war, anders als in Versuchsreihe Nr. 20 beschrieben, weniger problematisch (Temperaturerhöhung um 2° C). Ein neues Mischen war spätestens nach der vierten Pressung notwendig (10 min). Dieser erhöhte Zementanteil von 30 % führte zu einer deutlichen Festigkeitszunahme von über 150 %.

Abbildung 55 zeigt erstmals einen negativen Effekt bei erhöhter Aushärtetemperatur. Wenn das Material zu schnellem Trocknen neigt, sollte die Aushärtung nicht zusätzlich bei erhöhter Temperatur stattfinden. Dies führte in diesem speziellen Fall zu einer Abnahme der Festigkeit um 33 %. Dieser Wert ergibt sich aus dem Vergleich der beiden Durchschnittswerte der Festigkeit bei 20 °C und 40 °C Trocknungstemperatur.

**Abbildung 55: Einfluss der Temperatur Stery 2**



Der Vergleich der Presskraft ist aus den oben genannten Gründen der vorzeitigen Austrocknung wiederum nicht repräsentativ und wurde daher nicht dargestellt.

**Zusammenfassung der Ergebnisse**

Tabelle 12 stellt eine Übersicht dieser Versuchsreihe dar, um den Einfluss der einzelnen Parameter aufzuzeigen.

**Tabelle 12: Auswirkungen verschiedener Parameter Versuche KW18-20**

	Temperatur von 20° auf 40°C	Zementsteigerung von 15% auf 30%	Zunahme von 2 Tage auf 7 Tage	Presskraft von 500N auf 2000N	Zu schnelles Aushärten	Abhilfe mittels Kalk
Endschlamm 2	113 %	150 %	144%	24 %	NEIN	
Hydroxidschlamm	70 %	142 %	135%	0 %	NEIN	NEIN
Ent-Cu Schlamm	15 %	-	1100 %	-	JA	JA
Raff-Oxid Stery 1	0 %	72 %	56 %	-	JA	-
Raff-Oxid Stery 2	-33 %	155 %	22 %	-	JA	-

Eine Steigerung der Temperatur beim Aushärten wirkt sich bei allen Schlämmen positiv aus. Am größten ist die Zunahme der Festigkeit beim Endschlamm 2. Keine Wirkung zeigte die Temperaturänderung hingegen bei den beiden Raff-Oxiden.

Ebenso bewirkt die Steigerung vom Zementgehalt von 15 % auf 30 % sowie die Zunahme der Aushärtedauer eine Festigkeitssteigerung. Ein signifikanter Unterschied ist beim Ent-Cu Schlamm feststellbar (1100 %).

Aufgrund der Austrocknung während eines Mischversuchs (Pressung von acht Prüfkörpern) konnte die Pressung bei erhöhter Presskraft, welche immer bei den letzten vier Prüfkörpern eingestellt wurde, für den Ent-Cu Schlamm, Raff-Oxid Stery 1 und 2 nicht durchgeführt werden.

Mittels Vorkonditionierung durch Kalk konnte beim Ent-Cu Schlamm eine Verbesserung der Aushärtung erzielt werden.

Nur Endschlamm 2 und der Hydroxidschlamm zeigten keine Probleme durch zu schnelles Aushärten.

### 6.3.3. VERSUCHE MIT VORKONDITIONIERUNG

Es wurde versucht, die Festigkeit bei den zwei problematischsten Stoffen der letzten Versuchsreihe (Raff-Oxid und FO Staub) mit spezieller Vorbehandlung und durch Zugabe von Zusatzmitteln zu steigern.

#### Neutralisierung mittels Soda

Raff-Oxid und FO-Staub führten mit 50 % Kalkanteil nur zu geringen Festigkeiten von 2,89 MPa bzw. 1,39 MPa. Aus diesem Grund wurden die zwei Kreislaufstoffe (Raff-Oxid und FO-Staub) jeweils mit Soda neutralisiert, um eine gewünschte Steigerung der Festigkeit zu erzielen. Für die Sodalösung wurde ein Liter Leitungswasser mit 200 g Material vermischt und anschließend 60 g Natriumcarbonat in Pulverform zugegeben. Die Menge an Natriumcarbonat wurde anhand des Halogenanteils des Materials, in diesem Fall Chlor von 10 %, ermittelt.

Aufgrund der chemischen Reaktion von  $\text{PbCl}_2 + 2\text{NaCO}_3 = 2\text{NaCl} + \text{Pb}(\text{CO}_3)_2$  werden 2,82 Mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  benötigt. Dies entspricht bei einem Materialanteil von 20 % einer Menge von 60 g Natriumcarbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ).

Die Sodasuspension wurde anschließend für 20 min gerührt, abfiltriert und mit Leitungswasser mehrmals nachgewaschen (Abbildung 56).

**Abbildung 56: Abfiltrierung FO-Staub von Soda**



Nach der Trocknung des Filterkuchens bis zur Gewichtskonstanz bei 105 °C, wurde das Material wieder mit Zement vermischt und gepresst.

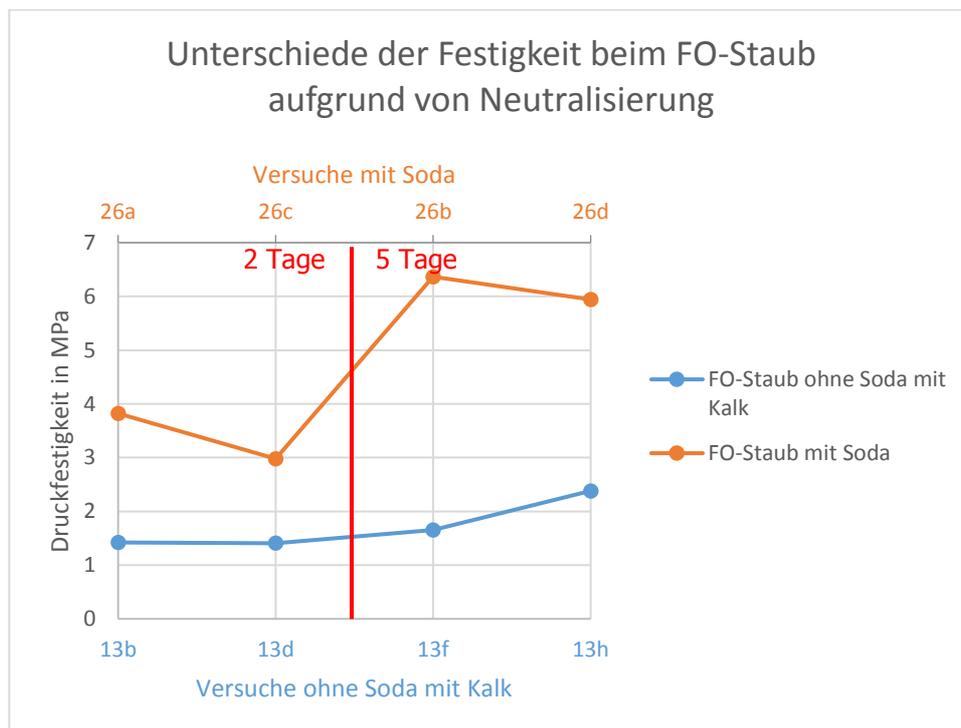
Bei Raff-Oxid wirkte sich die Vorbehandlung negativ aus. Es konnte lediglich die erste Pressung von vier durchgeführt werden. Die Mischung trocknete sofort auf und wurde hart. Die Festigkeit war nach 48 h Aushärtung mit 4,29 MPa ebenfalls gering.

Es kann beim Raff-Oxid bis auf weiteres auf die Vorbehandlung mittels Soda verzichtet werden, da es keinen Erfolg erbringt.

Beim FO-Staub hingegen wirkte sich die Neutralisation positiv aus. Die Verarbeitbarkeit beim Pressen verbesserte sich deutlich. Es konnte nur eine geringe Austrocknung an der Oberfläche festgestellt werden, welche aber keinen Einfluss beim Pressen hatte.

Abbildung 57 stellt die Erhöhung der Festigkeit aufgrund von Sodazugabe dar. Die blaue Kurve zeigt Druckfestigkeiten der alten Versuchsreihe ohne Soda aber mit 50 % Kalkanteil nach fünf Tagen Aushärtedauer. Obwohl die Aushärtedauer beim Versuch (Nr. 26a und 26c) mit Soda nur zwei Tage betrug, sind die Festigkeitswerte trotzdem deutlich höher als ohne Sodavorbehandlung. Durchschnittlich konnte eine Steigerung der Festigkeit von 180 % bei 30 % Zementgehalt erreicht werden.

**Abbildung 57: Unterschiede der Festigkeit beim FO-Staub aufgrund von Neutralisierung mit Soda, 30 % Zementgehalt, Aushärtedauer 2 und 5 Tagen**



### Zugabe von Verzögerer

Die Zugabe von Zitronensäure und Weinsäure bewirkt in der Betonindustrie ein verzögertes Abbinden des Betons und wird häufig beim Transportbeton für längere Transportwege angewendet (Altner & Reichel 1981). Laut Aussagen von

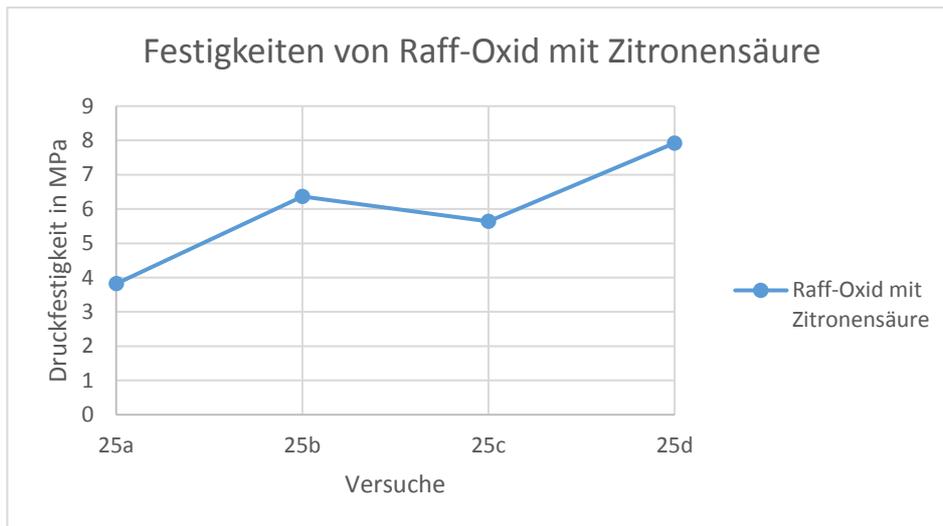
Zementexperten werden in der Regel jeweils etwa 1-2 % der Zementmenge an Zitronensäure oder Weinsäure zugeben.

Da vorangegangene Versuche mit Raff-Oxid und FO-Staub ohne Vorbehandlung immer zum vorzeitigen Abbinden bzw. oberflächlichen Austrocknen führten, wurde mittels Verzögerer versucht, dieser Problematik entgegenzusteuern.

Für die Versuche wurde handelsübliche Zitronensäure, welche es im Lebensmittelhandel zu kaufen gibt, verwendet.

Der Einsatz von Zitronensäure wirkte sich beim Raff-Oxid sehr positiv aus. Das Material trocknete nur langsam auf, weshalb es zu keinen Problemen beim Pressen kam. Bei der Festigkeitsprüfung fiel auf, dass die erhöhte Presskraft von 2000 N bei den Proben 25c und 25d zu einer Steigerung der Festigkeit um 33 % führte. Die Proben 25a und 25c wurden nach zwei Tagen abgedrückt.

**Abbildung 58: Raff-Oxid mit Zitronensäure**



Verglichen mit den Werten des Raff-Oxids mit 50 % Kalkanteil stiegen die Festigkeiten auf über 100 % an.

Beim FO-Staub zeigte die Zitronensäure hingegen keinerlei Wirkung. Ohne Vorbehandlung war keine Pressung möglich.

Der Einsatz von Weinsäure beeinflusste die vorzeitige Reaktion weder beim Raff-Oxid noch beim FO-Staub. Es kam in beiden Fällen zu einem raschen Anziehen der Mischung. Es musste vor jeder Pressung erneut gemischt werden. Die Festigkeiten ergaben beim Raff-Oxid einen Durchschnittswert von unter 1 MPa.

Beim FO-Staub konnte eine leichte Verbesserung erzielt werden. Die durchschnittlichen Werte sind in derselben Größenordnung wie jene Proben vom FO-Staub, welche mit Soda vorbehandelt wurde. Sie betragen 4,56 MPa.

Bei allen Mischungen betrug der Zementgehalt 30 %.

## 7. MISCHVERSUCHE IN BRIXLEGG IM PILOTMAßSTAB

### 7.1. EINTEILUNG UND ÜBERSICHT DER MISCHVERSUCHE

Wie in Kapitel 6 angeführt, wurden parallel zu den Tastversuchen in Leoben, verschiedenste Mischversuche in Brixlegg durchgeführt. Ein wesentlicher Unterschied zu den Versuchen in Leoben ist die Rezeptur. Während in Leoben sämtliche Stoffe systematisch einzeln mit Zement und Wasser vermischt und geprüft wurden, sind in Brixlegg verschiedene Mischungen gemeinsam getestet worden. Grundlage der Rezeptur bildete der Wunsch, die Gesamtmasse aller Stoffe mittels Mengenmanagement möglichst vollständig verwerten zu können.

Anhand dieser Massenübersicht (Tabelle 13) erfolgten die ersten Rezepturentwicklungen. Die eingesetzten Mengen [t/a] beruhen auf Erfahrungswerten.

**Tabelle 13: Massenübersicht aller Materialien**

<b>Kreislaufmaterial Box</b>		<b>Menge [t/a]</b>	
A1	Endschlamm 1	550	Schlämme
A2	Endschlamm 2	650	
A3	Ent-Cu Schlamm	250	
A4	Hydroxidschlamm	250	
A5	Sulfidschlamm	100	
A6	ARA+Absetzbecken Schlamm	50	
A7	Gießereistaub	50	Stäube
A8	Bemusterungsstaub/rückstände	50	
A10	Sonstige Rückstände	200	
A13	Hallenfilterstaub	80	
A14	FO Staub	350	
A15	SO Flugstaub	1000	
<b>Summe</b>		<b>3580</b>	
<b>Kreislaufmaterial Schlacke</b>		<b>Menge t/a</b>	
B1	Unterkorn Granos+Filterstaub	500	Aggregate
B2	Überkorn Granos	500	
B3	Feinanteil Schlackenhandling	2000	
B4	Schlackenbildner Koks	500	
Summe Schlackenkreislauf		<b>3500</b>	
<b>Rohstoffeinkauf</b>		<b>Menge t/a</b>	
C1	feinkörnige Rückstände	5000	Rohstoffe
C2	Rohstoffe < 15 mm gesiebt	5800	

Da für die geplante Großanlage (Betonsteinpresse) nicht jeder Stoff einzeln in Silos gelagert werden bzw. dieser bei Bedarf einfach zugeführt werden kann, wurden verschiedene Mischungen mit ähnlichen Stoffen erstellt. Einige Stoffe dieser Mischungstypen sollen in der späteren Anlage bereits vorab gemeinsam in einer Box

gelagert werden, um den logistischen Aufwand so gering wie möglich zu halten. Tabelle 14 zeigt eine Übersicht der verschiedenen Mischungstypen (Grundrezepte):

**Tabelle 14: Auflistung der Grundrezepte**

Grundrezept	Stäube	Schlämme	Aggregate	Rohstoffe
	[%]	[%]	[%]	[%]
Mix 1	100	-	-	-
Mix 3	100	-		
Mix 4	-	40	60	-
Mix 5	0-3	5-9	21-27	65-70
Mix 6	-	25	-	75
Mix 7	15-22	5-22	40	20-30
Mix 8	13	50	44	-

Die einzelnen Mischungen wurden im Verlauf der Arbeit aufgrund von mangelnder Festigkeit oder schlechter Verarbeitung modifiziert und weiter angepasst. Zur Unterscheidung der Mischungen wurde ein spezieller Zahlencode, wie zum Beispiel 8M3 entwickelt. In diesem Fall wurde aufgrund der hohen Feuchte der Anteil des Endschlamm 1 von 50 % auf 30 % reduziert und zusätzlich Rohstoffe hinzugefügt.

## 7.2. METHODIK UND VORGEHENSWEISE

Gemischt wurde mit einem Labormischer R01 der Firma Eirich (Abbildung 59), welcher von dieser zur Verfügung gestellt wurde. Der Mischer weist ein Fassungsvermögen von fünf Litern auf. Diesem Fassungsvermögen entsprechend wurde die Menge der Mischungen berechnet und anschließend eingewogen.

**Abbildung 59: Eirich Labormischer R01 (Bunjaku 2015)**



Für die erste Versuchsreihe in Brixlegg stellte die Firma Eirich einen Techniker als Unterstützung zur Verfügung. Dieser optimierte sämtliche, für die Mischung wichtige Parameter. Parallel dazu Versuche mit einem größeren Mischer (150 Liter Fassungsvermögen) durchgeführt. Es wurde getestet, ob dieser Mischer (Produktionsmischer R09T) eine ähnliche gute Homogenisierung der Materialien liefert wie der Labormischer. Dies konnte erfolgreich bestätigt werden, da der Produktionsmischer die Festigkeitswerte des Labormischer R01 widerspiegelte.

Nach jeder Mischung werden Faktoren wie Temperatur, Wassergehalt, Mischdauer und Geschwindigkeit des Wirblers dokumentiert. Im Anhang befindet sich das Dokument unter Vorlage Mischversuche zur Nachvollziehbarkeit. Anhand dieser Daten und den Festigkeitswerten ist die Reproduzierbarkeit und eine Verbesserung der Rezepturen möglich.

Das homogenisierte Material wurde in eine zerlegbare Form (Abbildung 60) gefüllt und ein Pressstempel mit einem definierten Gewicht von 30 kg aufgesetzt. Die Form wurde mit einem Rütteltisch fix verschraubt und anschließend für 30 Sekunden verdichtet.

**Abbildung 60: Pressform am Rütteltisch (Bunjaku 2016)**



Je nach Mix konnte der Presskörper entweder mit dem Presstempel aus der Form gedrückt werden oder die Form musste in zwei Hälften zerlegt werden, um den Körper unbeschädigt herauszunehmen. Die Stempelpresse wurde daher ständig verbessert und adaptiert.

Die gepressten Betonsteine wurden zum Aushärten auf ein Holzbrett gelegt, wo sie abgedeckt zum Schutz vor Austrocknung mehrere Tage aushärten konnte. Abbildung 61 zeigt die gepressten Betonsteine mit den Maßen von ca. 10x10x10 cm. Die Maße und die Form der Steine sind jenen ähnlich, welche später von der Betonsteinmaschine in der Großanlage produziert werden.

**Abbildung 61: Betonsteine verschiedener Mischungen mit ähnlicher Geometrie der Großanlage, hergestellt mittels Handpresse in Brixlegg**



Die Festigkeitsüberprüfung der Steine mittels Prüfpresse erfolgte extern bei der Firma Rohrdorfer Zement. Der Falltest der Steine aus zwei Metern wurde Vorort durchgeführt. Um die Einflüsse falscher Geometrien bei der Festigkeitsüberprüfung so gering wie möglich zu halten, mussten viele Steine mittels Mörtel planparallel nachbearbeitet werden.

Die Festigkeitswerte schwankten je nach Rezeptur sehr stark. Es wurde versucht, mit verschiedenen Bindemitteln wie Lignin, Wasserglas oder Kalkhydrat die Festigkeit zu steigern und auftretende Probleme wie zum Beispiel:

- Schnelles Austrocknen
- Hohe Mischtemperaturen
- Schweres Herauslösen aus der Form

zu reduzieren.

Eine weitere Versuchsreihe wurde in Zusammenarbeit mit der Firma Eirich unter Einbindung eines Produktionsmischers R08W (75 Liter Fassungsvermögen) durchgeführt. Diese Versuchsreihe diente dazu, Daten für die Maschinenauslegung (Scale-Up) des späteren Produktionsmischers zu ermitteln. Aufgrund des großen Fassungsvermögens des Mischers konnten mehrere Steine hintereinander gepresst werden. Bei Mischungen mit hohem Staubanteil, speziell beim FO-Staub, zeigte sich eine vorzeitige Austrocknung der gepressten Steine, welche anschließend beim Auspressen aus der Form zerfielen. Diese Austrocknung der Steine führte zu

Verarbeitungsproblemen mit geringeren Steindichten sowie zu geringen Druckfestigkeiten.

### 7.3. ERGEBNISSE

Aus Gründen von zu hoher Feuchtigkeit der einzelnen Schlämme, zu feinen Kornverteilungen und zu geringen Festigkeiten wurden die Mischungen Mix 1, Mix 3, Mix 4 und Mix 6 nicht mehr weiterverfolgt. Die Mischungen mit den Bezeichnungen Mix 5/ Mix 7/ Mix 8 wurden in verschiedenen Modifikationen weiterentwickelt.

#### 7.3.1. MIX 5

Mix 5 besteht hauptsächlich aus den Rohstoffen und Aggregaten. Stäube und Schlämme wurden nur in geringen Mengen hinzugefügt. Die genaue Übersicht der Bestandteile ist in Tabelle 14 angeführt.

Bei Mix 5 wurde festgestellt, dass aufgrund der Vorverdichtung die Mindestfestigkeit von fünf MPa bei allen Steinen erreicht werden konnte. Überprüft wurde dies mittels Bestimmung der Steindichte, welche über  $2,7 \text{ g/cm}^3$  liegen sollte, um die Mindestfestigkeit zu erfüllen.

Die erzielten Druckfestigkeiten betragen nach:

- Zwei Tagen: 6 – 9 MPa
- Vier Tagen: 7 – 15 MPa
- Sieben Tagen: 10 – 18 MPa

#### 7.3.2. MIX 7

In dieser Rezeptur sollen überwiegend die Schlämme - außer Endschlamm 1 - verarbeitet werden. Die Steindichte hat mindestens  $2,3 \text{ g/cm}^3$  betragen und die Mindestfestigkeit konnte ebenso nach zwei Tagen erreicht werden.

Die erzielten Druckfestigkeiten sind aufgrund des erhöhten Problemstoffanteils (Schlämme und Stäube) geringer als bei Mix 5:

- Drei Tage: 3 – 8 MPa
- Sieben Tage: 7 – 9 MPa

#### 7.3.3. MIX 8 UND 8M

Es wurde hauptsächlich Endschlamm 1 und Aggregate (Granos UK) verarbeitet. Bei diesem Mix wirkt sich die Aushärtung bei  $40^\circ \text{ C}$  unter eigener Atmosphäre positiv auf die Festigkeit aus:

- Zwei Tage: 4 – 7,5 MPa
- Vier Tage: 4 – 8 MPa
- Sieben Tage: 5 – 8 MPa

## 8. DISKUSSION DER ERGEBNISSE

### 8.1. TASTVERSUCHE

Zu Beginn der Diplomarbeit war es wichtig, möglichst viele Daten zur Festigkeit der einzelnen Schlämme und Stäube zu erhalten. Aus diesem Grund wurde der Entschluss gefasst, Tastversuche durchzuführen. Bei Tastversuchen werden die Materialien mit einer zuvor definierten Menge an Zement vermischt und getrocknet. Diese Tastversuche dienten als erste Annäherung für die zu erwarteten Festigkeitswerte. Ein Vorteil dieser Vorgehensweise ist, dass mit geringem finanziellen Aufwand eine große Anzahl an Daten gewonnen werden kann. Zusätzlich gestaltet sich die Durchführung im Labor als einfach. Aufgrund von Erfahrungsmangel wurden anfangs manche Mischungen zu feucht oder zu trocken gemischt. Es zeigte sich, dass vorwiegend Stäube und Schlämme mit einer Feuchte von über 30 % unabhängig vom Zementgehalt beim Aushärten Probleme aufweisen. Außerdem erwies sich die Prüfung der Festigkeit als problematisch. Es konnte keine objektive Aussage zur Festigkeit getroffen werden, weshalb schnell der Gedanke auf eine Pressvorrichtung mit einer Prüfpresse fiel.

### 8.2. PRESSVORRICHTUNG UND FESTIGKEITSEINFLÜSSE

Um die entstandenen Probleme der Tastversuche zu minimieren sowie ein standardisiertes und reproduzierbares Verfahren für die Herstellung von Prüfkörpern gewährleisten zu können, wurde eine Prüfvorrichtung für eine der am Lehrstuhl für Aufbereitung vorhandenen Prüfpressen (Midi 10) entwickelt. Die Maße der gepressten Prüfkörper von 30 mm Durchmesser und 60 mm Länge wurden an die Dimension der Prüfpresse in Leoben angepasst. Diese können aber ohne weiteres als Vergleich zu den später produzierten Betonsteinen mit den Maßen von 100 mal 100 mm herangezogen werden, da die maximale Korngröße von 3 mm in Leoben nicht übersteigen wird.

Die Versuche in Brixlegg zeigten, dass bei verschiedensten Mischungen, besonders aber bei Mischungen mit erhöhtem Endschlamm 1 Anteil, sich der gepresste Betonstein schwer oder teilweise überhaupt nicht aus der Form lösen lässt. Verringert kann diese Eigenschaft durch die Zugabe von Lignin werden

### 8.3. PARAMETER DER FESTIGKEITSÜBERPRÜFUNG

Anders als in Brixlegg, wo die Versuchspläne auf die jeweiligen verfügbaren Mengen der Kreislaufstoffe angepasst wurden, wurde in Leoben ein Versuchsplan ausgearbeitet, der jedes einzelne Kreislaufmaterial auf die unterschiedlichsten Parameter untersucht. Nur diese systematische Vorgehensweise konnte die Störmaterialien wie zum Beispiel FO-Staub und Raff-Oxid in den Mischungen aufzeigen.

Die chemische Reaktion von Zement und Wasser mit FO-Staub und Raff-Oxid führt zur vorzeitigen Austrocknung der Mischung. Generell ist ohne eine Reduzierung der Menge oder Vorbehandlung durch Soda dieser Stoffe, der Einsatz in zukünftigen Rezepturen

nur sehr begrenzt möglich. Diese Reaktion führt nicht nur zur schnellen Austrocknung der Mischung sondern auch zur vorzeitigen Erhärtung, was im Fall einer Störung des Mixers oder der Steinpresse große Problemen bereiten kann. Die Verarbeitungszeit der Materialien verkürzt sich massiv (unter zwei Minuten).

Für eine reibungslose Verarbeitung in der Anlage muss die Feuchte der Mischung zwischen 10 % und 15 % liegen. Eine zu feuchte Konsistenz der Mischung würde den Transport vom Mischer zur Steinpresse erschweren und außerdem die Festigkeit beeinflussen.

Die Steigerung der Aushärtetemperatur auf 40 °C wirkt sich auf die Festigkeit, speziell auf die Frühfestigkeit, positiv aus. Es muss darauf geachtet werden, dass die Prüfkörper vor Austrocknung geschützt werden. Die höchsten Festigkeitswerte wurden bei einer Aushärtung in eigener Atmosphäre gemessen.

Es wurde außerdem gezeigt, dass der Einsatz von erhöhtem Pressdruck zur positiven Entwicklung der Festigkeit führt. Eine Erhöhung dieses Anpressdrucks in der zukünftigen Anlage wäre sicher kein Nachteil für die Festigkeit. Ebenso kann dadurch der Bindemittelanteil gesenkt werden. Diese Festigkeitssteigerung würde für den Einsatz einer Stempel- oder Walzenpresse mit hohen Pressdrücken von bis zu 1000 MPa sprechen, welche heutzutage oft für diese Problematik verwendet wird. Diese Überlegung wurde aber seit Beginn dieser Diplomarbeit seitens der Firma nicht in Betracht gezogen.

In den Versuchsreihen wurden problematische Kreislaufstoffe bei unterschiedlichsten Parametern gepresst. Die gemessenen Druckfestigkeiten wurden ausgewertet und anschließend für die Entwicklung neuer Rezepturen herangezogen.

Alle Daten zu den Mischversuchen sowie Festigkeitsprüfungen wurden dokumentiert und sind im Anhang zu finden.

## LITERATURVERZEICHNIS

- Altner, W. & Reichel, W., 1981. *Beton Schnellerhärtung*, Verlag für Bauwesen.
- Bäcker, M., 1977. *Praktische Betontechnik*, Beton-Verlag.
- Bunjaku, A., 2015. *Mischen von kupferhaltigen Sekundärrohstoffen*,
- Bunjaku, A., 2016. *Mischen von kupferhaltigen Sekundärrohstoffen*,
- Czernin, W., 1977. *Zementchemie für Bauingenieure* 3rd ed., Bauverlag.
- Dryzymala, Z., 1993. *Industrial briquetting: Fundamentals and methods* 13th ed., Elsevier Science Ltd.
- Lerch, W. & Boque, R.H., 1934. Heat of hydration of portland cement pastes. *Part of Bureau of Standards Journal of Research*, 12.
- Locher, F.W., Richartz, W. & Sprung, S., 1976. Erstarren von Zement: Teil 1: Reaktion und Gefügeentwicklung. *Zement-Kalk-Gips*, 29, pp.435–410.
- Odler, I., 1998. Hydration, setting and hardening of portland cement. *Lea's chemistry of cement and concrete*, 4, pp.241–297.
- Reichmann, F., 2010. Bindemittel und ihre typischen Verwendungen. *interne Köppern-Schrift*.
- Reul, H., 1991. *Handbuch der Bauchemie: Einführung in die Grundlagen - Rohstoffe, Rezepturen*, Verlag für chem. Industrie, H. Ziolkowsky.
- Schubert, H., 2003. *Handbuch der mechanischen Verfahrenstechnik*, WILEY-VCH Verlag.
- Schwenk, 2008. *Betontechnologische Daten*, Schwenk Zement KG.
- Treptow, E., 1925. *Grundzüge der Bergbaukunde: Aufbereitung und Brikettieren*, Verlag von Julius Springer.
- Verein Deutscher Zementwerke e.V, 2002. Zement-Taschenbuch. *Verlag Bau und Technik*, pp.1–844.
- Zilch, K. et al., 2012. *Handbuch für Bauingenieure*, Springer.

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Pressvorrichtung für Laborpresse Midi 10, Fa Messphysik .....	3
Abbildung 2: In Brixlegg anfallende Kreislauf- und Abfallstoffe .....	6
Abbildung 3: Druckfestigkeiten der reinen Klinkerphasen bis zum Alter von 360 Tagen (Lerch & Boque 1934).....	11
Abbildung 4: Bildung der Hydratphasen und Gefügeentwicklung (Verein Deutscher Zementwerke e.V 2002).....	12
Abbildung 5: Übersicht Brikettierung .....	14
Abbildung 6: Prinzipien der Pressagglomeration (Schubert 2003) .....	15
Abbildung 7: Abhängigkeit der Festigkeit vom Pressdruck (Schubert 2003) .....	16
Abbildung 8: Rundlauf Tablettenpresse (Schubert 2003).....	17
Abbildung 9: Pressform einer Formkanalpresse (Dryzymala 1993) .....	17
Abbildung 10: Stempelpresse Materialzufuhr kontinuierlich (Dryzymala 1993) .....	18
Abbildung 11: Presszyklus Formkanalpresse (Dryzymala 1993) .....	18
Abbildung 12: Walzenpressenarten (Schubert 2003).....	19
Abbildung 13: Teilprozesse der Verdichtung bei der Walzenpresse (Schubert 2003)	19
Abbildung 14: Aufgabevorrichtungen (Dryzymala 1993).....	20
Abbildung 15: Handhabungshinweise zu den einzelnen Materialien.....	22
Abbildung 16: Chemische Analyse der Stoffe.....	23
Abbildung 17: Malvern Mastersizer 2000. Lasergranulometrie. Endschlamm 1 .....	25
Abbildung 18: Malvern Mastersizer 2000. Lasergranulometrie. Gegenüberstellung der Summenmasseverteilungen für die Schlämme .....	26
Abbildung 19: pH- Messung der Prozessschlämme .....	27
Abbildung 20: Optimale Kornverteilungsbereiche für Zuschlagsgemische (Schwenk 2008, p.121) .....	29
Abbildung 21: Handmixer .....	37
Abbildung 22: Darstellung der verwendeten Probenbehälter und Abdeckung während der Trocknung.....	38
Abbildung 23: Hydroxidschlamm nach Festigkeitstest .....	39
Abbildung 24: Agglomerate Tastversuch Endschlamm 2 .....	40
Abbildung 25: Risse bei geringem Wassergehalt.....	40
Abbildung 26: Empfehlungsliste der Stoffe.....	41
Abbildung 27: Darstellung der Prüfvorrichtung in 3D Simulation .....	43

Abbildung 28: Konstruktionszeichnung Prüfvorrichtung .....	44
Abbildung 29: Midi 10/ Fa. Messphysik mit montierter Pressvorrichtung samt Pressform .....	45
Abbildung 30: Prüfkörper aus Cu Hydroxidschlamm mit 35 % Zementgehalt und einem W/Z-Wert von 0,9.....	46
Abbildung 31: Midi 10: Druckfestigkeitsprüfung, Kraft/Zeit Verlauf für Probe Endschlamm 1.....	48
Abbildung 32: Prüfeinrichtung Mega KS-10 mit Kraftmessdose und Messverstärker	49
Abbildung 33: Druckfestigkeitsprüfung mit der Prüfpresse MEGA KS-10, Kraftverlauf über die Zeit für die Probe Endschlamm 2 .....	50
Abbildung 34: Prüfpresse Subsurface Engineering .....	50
Abbildung 35: Organigramm eines Mischversuchs .....	52
Abbildung 36: Darstellung einer Versuchsmischung von Endschlamm 2 .....	53
Abbildung 37: Auswirkungen Zuschlag Endschlamm 1 mit 15 % Zementgehalt .....	54
Abbildung 38: Steigerung Zementgehalt Endschlamm 1.....	54
Abbildung 39: Abnahme der Festigkeit nach jeder Pressung, Raff-Oxid mit 15% Zementanteil, 5 Tage Aushärtedauer .....	55
Abbildung 40: Einfluss der Temperatur FO-Staub .....	57
Abbildung 41: Vergleich der Presskraft von 500 N und 2000 N bei FO-Staub.....	58
Abbildung 42: Vergleich SO-Staub mit 30 % und 60 % Zuschlaganteil.....	59
Abbildung 43: Erhöhung der Presskraft SO-Staub nach 2 Tage Aushärtedauer .....	59
Abbildung 44: Einfluss der Temperatur FO-Staub .....	60
Abbildung 45: Druckfestigkeit ohne Bindemittel SO-Staub.....	60
Abbildung 46: Steigerung der Festigkeit von Endschlamm 2 mit 15 % und 30 % Zementgehalt, nach 2 und 7 Tagen Festigkeitsprüfung .....	62
Abbildung 47: Einfluss der Aushärtetemperatur beim Endschlamm 2 nach 2 und 7 Tagen Aushärtedauer.....	63
Abbildung 48: Hydroxidschlamm, Steigerung der Festigkeit bei einem Zementgehalt von 15 % auf 30 % .....	64
Abbildung 49: Einfluss Temperatur beim Aushärten Hydroxidschlamm.....	65
Abbildung 50: Festigkeit Hydroxidschlamm mit Kalk .....	66
Abbildung 51: Festigkeit Ent-Cu Schlamm .....	67
Abbildung 52: Festigkeit Ent-Cu Schlamm mit Kalk .....	68
Abbildung 53: Steigerung Zementgehalt Stery 1.....	69
Abbildung 54: Steigerung Zementgehalt Stery 2 von 15 % auf 30 %.....	69

Abbildung 55: Einfluss der Temperatur Stery 2.....	70
Abbildung 56: Abfiltrierung FO-Staub von Soda .....	72
Abbildung 57: Unterschiede der Festigkeit beim FO-Staub aufgrund von Neutralisierung mit Soda, 30 % Zementgehalt, Aushärtedauer 2 und 5 Tagen. 73	
Abbildung 58: Raff-Oxid mit Zitronensäure.....	74
Abbildung 59: Eirich Labormischer R01 (Bunjaku 2015) .....	77
Abbildung 60: Pressform am Rütteltisch (Bunjaku 2016).....	78
Abbildung 61: Betonsteine verschiedener Mischungen mit ähnlicher Geometrie der Großanlage, hergestellt mittels Handpresse in Brixlegg.....	79
Abbildung 62: Arbeitsplatz Vorbereitung .....	XVIII
Abbildung 63: Pressform auf der Siebmaschine zur Verdichtung.....	XIX
Abbildung 64: Inbetriebnahme Midi 10 Fa. Messphysik .....	XIX
Abbildung 65: Bewegung des Stempels der Presse .....	XX
Abbildung 66: Parametereinstellung .....	XX
Abbildung 67: Aushärten der Prüfkörper .....	XXI
Abbildung 68: Prüfpresse Mega KS-10 mit Messverstärker und Kraftmessdose .....	XXII

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Relevante Parameter für die Brikettierung .....	2
Tabelle 2: Bindemittelgruppen (Reichmann 2010) .....	9
Tabelle 3: Ergebnisse der Siebanalysen der fünf Prozessschlämme .....	24
Tabelle 4: Ergebnisse der pH-Wert Messung mit der Einstab-Messkette .....	27
Tabelle 5: Materialeigenschaften Schlämme und Stäube .....	28
Tabelle 6: Wichtige Materialeigenschaften der Rohstoffe.....	30
Tabelle 7: Übersicht der Materialeigenschaften der Aggregate und Rohstoffe .....	35
Tabelle 8: Kennzeichnung der Festigkeit der Prüfkörper nach sieben Tagen .....	39
Tabelle 9: Auflistung aller verwendeten Prüfpressen .....	47
Tabelle 10: Berechnung der zugeführten Wassermenge über die Zementmenge und den W/Z-Wert .....	56
Tabelle 11: Auswirkungen verschiedener Parameter Versuche KW9-13 .....	61
Tabelle 12: Auswirkungen verschiedener Parameter Versuche KW18-20 .....	71
Tabelle 13: Massenübersicht aller Materialien.....	75
Tabelle 14: Auflistung der Grundrezepte .....	76

## ANHANG INHALTSVERZEICHNIS

A.	Datenblätter der Bindemittel .....	I
a.	CEM I 52,5 R .....	I
b.	CEM I 42,5 R C <sub>3</sub> A-frei .....	II
c.	Feinkalk QL-90 .....	III
d.	Druckfestigkeitsentwicklung von CEM I 52,5 R; CEM II/A-S 42,5 R; CEM II/A-M 42,5 N .....	V
B.	Eluatmessung .....	VI
C.	Charakterisierung von Schlämmen und Stäuben .....	VII
a.	A1: Endschlamm 1; A2: Endschlamm 2 .....	VII
b.	A3: Ent-Cu Schlamm; A4: Hydroxidschlamm .....	VIII
c.	A5: Sulfidschlamm; A6: ARA + Absetzbecken Schlamm; A9: Cu Hydroxidschlamm .....	IX
d.	A7: Gießereistaub; A8: Bemusterungsstaub .....	X
e.	A13: Hallenfilterstaub; A14: FO-Staub .....	XI
f.	A15: SO-Flugstaub; SO-Flugstaub aus Quench .....	XII
D.	Tastversuche .....	XIII
a.	Tastversuch KW49 .....	XIII
b.	Tastversuch KW50 .....	XIV
c.	Tastversuch KW53 .....	XV
E.	Arbeitsanleitung für die Herstellung und Festigkeitsbestimmung von Betonprüfkörpern .....	XVII
a.	Verwendete Geräte .....	XVII
b.	Probenvorbereitung .....	XVII
c.	Festigkeitsprüfung .....	XXI
F.	Konstruktionszeichnungen der Pressvorrichtung .....	XXIV
a.	Unterplatte .....	XXIV
b.	Oberplatte .....	XXV
c.	Welle .....	XXVI
d.	Pressform 30 mm .....	XXVII
e.	Stempel 30 mm .....	XXVIII
G.	1. Versuchsserie KW8-13 .....	XXIX
a.	Vorversuch Endschlamm 1 .....	XXIX

b.	Endschlamm 1 .....	XXX
c.	Raff-Oxid und FO-Staub.....	XXXI
d.	SO-Flugstaub .....	XXXII
H.	2. Versuchsserie KW19 .....	XXXIII
a.	Endschlamm 2, Hydroxidschlamm und Ent-Cu Schlamm .....	XXXIII
b.	Raff-Oxid Stery 1&2 .....	XXXIV
c.	Vorkonditionierung .....	XXXV
I.	Mischversuche in Brixlegg .....	XXXVI
a.	Mischversuche Oktober 2015 .....	XXXVI
i.	Übersicht.....	XXXVI
ii.	Mischversuche .....	XXXVII
iii.	Rezepturen .....	XXXVIII
b.	Mischversuche November 2015.....	XXXIX
i.	Übersicht.....	XXXIX
ii.	Mischversuche .....	XL
iii.	Rezepturen .....	XLI
c.	Mischversuche Jänner 2016 .....	XLII
i.	Mischversuche .....	XLII
ii.	Rezepturen .....	XLIII
d.	Mischversuche Feber 2016.....	XLIV
e.	Vorlage Mischversuch.....	XLV

## A. DATENBLÄTTER DER BINDEMittel

### a. CEM I 52,5 R

# CEM I 52,5 R PREMIUM

Portlandzement EN 197-1  
Chromatarm gem. RL 2003/53/EG

CE-Kennzahl 2523-CPR-0018  
Fremdüberwachung durch VÖZert

	Kurzbezeichnung	PREMIUM
	Anwendungsbereich	<p>Am schnellsten baut man mit CEM I 52,5 R Höchstwertzement. Der Premium-Zement erreicht eine besonders hohe Anfangsfestigkeit. Bereits nach 2 Tagen ist die Normfestigkeit von PREMIUM höher als jene von Zementen der Festigkeitsklasse 32,5 nach 28 Tagen.</p> <p>Die Verwendung von Premium-Zement bringt also die kürzesten Schalfristen und ermöglicht damit den optimalsten Baufortschritt.</p> <p>Der verdichtete frische Beton muss nach dem Einbau vor zu schnellem Austrocknen geschützt werden. Eine geeignete Nachbehandlung (z. B. Besprühen der Oberfläche mit Wasser, Abdecken oder längerer Verbleib in der abgedeckten Schalung) ist in den ersten 3 – 6 Tagen nötig.</p>
	Lieferform	Sack 25 kg, Palette mit 56 Säcken = 1400 kg und lose
	Lagerung	Trocken, vor Feuchtigkeit geschützt
	Haltbarkeit	Chromatreduziert/trocken im Silo 1 Monat, im Sack 3 Monate, jeweils ab Lieferdatum

Produkt Daten nach EN 197-1		Richtwerte	NORM-Anforderungen
Erstarrungsbeginn	(EN 196-3) [min]	> 90	≥ 45
Druckfestigkeit 2 Tage	(EN 196-1) [MPa]	> 32,5	≥ 30
Druckfestigkeit 28 Tage	(EN 196-1) [MPa]	> 55	≥ 52,5

b. CEM I 42,5 R C<sub>3</sub>A-frei

## CEM II/A-S 42,5 R WT27 C<sub>3</sub>A-frei Hochsulfatbeständig

Portlandhüttenzement EN 197-1  
Chromatarm gemäß RL 2003/53/EG

CE-Kennzahl 2523-CPR-0021  
Fremdüberwachung durch VÖZZert

	<b>Kurzbezeichnung</b>	HOCHSULFATBESTÄNDIG
	<b>Anwendungsbereich</b>	<p>Diese Zementart wird eingesetzt, wenn mit einem chemischen Angriff durch sulfathaltige Wässer und Böden zu rechnen ist. Trotz des raschen Erhärtungsverlaufes zeichnet sich der CEM II/A-S 42,5 R WT27 C<sub>3</sub>A-frei durch geringe Wärmeentwicklung, gute Verarbeitbarkeit, geringen Wasserbedarf und hervorragende Nacherhärtung aus. Daher wird 42,5 R WT27 C<sub>3</sub>A-frei z. B. beim Tunnelbau, beim Bau von Kläranlagen, im Tiefbau oder bei der Herstellung von Betonrohren und Schächten verwendet.</p> <p>Die Anforderung der Fußnote 9 der Tabelle NAD 10 der ÖNORM B 4710-1:2007 bezüglich Sulfatbeständigkeit analog ÖNORM B 3309 wird für den LEUBE CEM II/A-S 42,5 R WT27 C<sub>3</sub>A-frei erfüllt.</p> <p>Der verdichtete frische Beton muss nach dem Einbau vor zu schnellem Austrocknen geschützt werden. Eine geeignete Nachbehandlung (z. B. Besprühen der Oberfläche mit Wasser, Abdecken oder längerer Verbleib in der abgedeckten Schalung) ist in den ersten 3 – 6 Tagen nötig.</p>
	<b>Lieferform</b>	Sack 25 kg, Palette mit 56 Säcken = 1400 kg und lose
	<b>Lagerung</b>	Trocken, vor Feuchtigkeit geschützt
	<b>Haltbarkeit</b>	Chromatreduziert/trocken im Silo 1 Monat

Produkt Daten nach EN 197-1		Richtwerte	NORM-Anforderungen
Erstarrungsbeginn	(EN 196-3) [min]	> 120	≥ 60
Druckfestigkeit 2 Tage	(EN 196-1) [MPa]	> 22	≥ 20
Druckfestigkeit 28 Tage	(EN 196-1) [MPa]	> 50	≥ 42,5 und ≤ 62,5
Produkt Daten nach ÖNORM B 3327-1		Richtwerte	NORM-Anforderungen
C <sub>3</sub> A-Gehalt	(EN 196-2) [Gew.-%]	C <sub>3</sub> A-frei	≤ 1
Erstarrungsbeginn	(EN 196-3) [min]	> 120	≥ 90
Mahlfeinheit (Blaine-Wert)	(EN 196-6) [cm <sup>2</sup> /g]	ca. 4300	Variationskoeffizient der Produktion ≤ 5 %
Bluten nach 120 min	(ÖNORM B 3303) [ml]	< 10	≤ 20
Druckfestigkeit 1 Tag	(EN 196-1) [MPa]	≥ 9	≥ 8
Hydratationswärme bei einer Hydratationsdauer von 15 Stunden	(EN 196-9) [J/g]	≤ 200	≤ 260

## c. Feinkalk QL-90

## FEINKALK gesackt

Hohe Ergiebigkeit – bestes Löschverhalten



Eigenschaften	Feinkalk (CaO) ist aus hochwertigem Kalkstein gebrannt, gemahlen und ungelöscht. Feinkalk wird in geeigneten Löschgefäßen zu Sumpfkalk gelöscht und ist für alle Arbeiten, die mit baustellen-gemischtem Mörtel ausgeführt werden, bestens geeignet, z. B. Mörtel und Putze, Anstriche und Restaurierungen, ...
Normbezeichnung	Weißkalk CL 90-Q entspricht EN 459-1 Baukalk
Anwendungsgebiete	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Papier- und Stahlproduktion sowie zur Neutralisation von sauren Abwässern und in Gerbereien</li> <li>■ In der Bauindustrie zur Herstellung von Löschkalken, für baustellen-gemischtem Mörtel zum Mauern und Putzen sowie für Anstriche</li> <li>■ Rauchgasreinigung, in Kläranlagen zur Abwasseraufbereitung</li> <li>■ Bodenstabilisierung</li> <li>■ Als Düngemittel und Desinfektionsmittel – vorwiegend im Bereich Landwirtschaft</li> </ul>
Lieferform	Im Sack zu 40 kg, 1 Palette mit 30 Säcken = 1200 kg
Lagerung	Trocken, auf Palette
Haltbarkeit	6 Monate im Sack ab Lieferdatum
Verarbeitung	<p>Löschen – Achtung!          Feinkalk bildet mit Wasser unter starker Hitzeentwicklung eine ätzende Lauge. Mundschutz, Handschuhe und Schutzbrillen sind beim Kalklö-schen zu verwenden. Ca. 80 l Wasser pro Sack Feinkalk vorlegen, Feinkalk zusetzen und gleichmäßig durchrühren.          Nach 15 min ist der Löschprozess rückstandsfrei beendet. Der Kalk-teig ist nach 12-stündiger Rastzeit verarbeitbar und kann beliebig lang frostfrei eingesumpft bleiben.</p>
Als Mauermörtel	Vor Verwendung als baustellengemischter Mörtel ist Feinkalk zu löschen und einzusumpfen. Mit Feinkalk hergestellte Mauermörtel müssen bei allen üblichen Mauersteinen vollflächig aufgebracht werden.
Als Putzmörtel	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Vor Verwendung als baustellengemischter Putz oder Mörtel ist Feinkalk zu löschen und einzusumpfen. Das zu verputzende Mauerwerk muss vollflächig vorgespritzt sein (die Standzeit ist vom Mauerwerk abhängig). Vor Aufbringen der Putzfatschen ist der Untergrund entsprechend vorzunässen.</li> <li>■ Die händische Verarbeitung erfolgt durch Anwerfen mit einer Kelle in einer Putzstärke bis 2 cm. Bei größeren Putzstärken in mehreren Arbeitsschritten frisch in frisch arbeiten.</li> <li>■ Als Grobputz wird Mörtel mit Feinkalk nur mit einer vorgeässen Latte abgezogen und zugestoßen, jedoch nicht verrieben.</li> <li>■ Als Feinputz ist der Feinkalk mit einem geeigneten Reibbrett zu verreiben.</li> </ul>

## FEINKALK gesackt

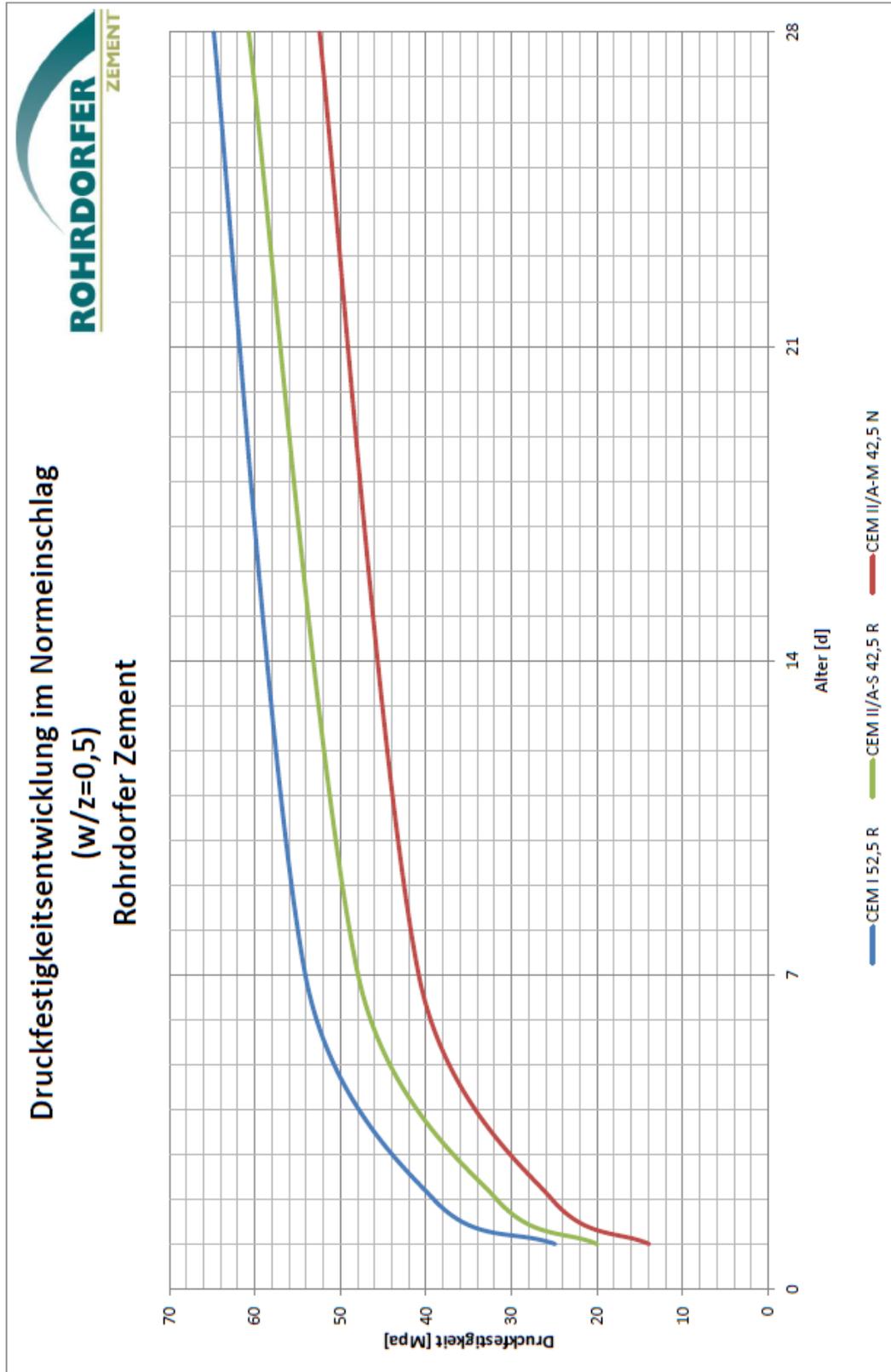
Hohe Ergiebigkeit – bestes Löschverhalten

Untergrund	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Für die Untergrundvorbehandlung gelten die einschlägigen Regeln und Normen. Für die Verarbeitung baustellengemischer Mörtel sind die ÖNORM B 2206 (Mauer- und Versetzarbeiten) und die B 2210 (Putzarbeiten) maßgebend.</li> <li>■ Die Putzgrundprüfung hat nach den Richtlinien der ÖNORM B3346 (Putzmörtel) zu erfolgen.</li> <li>■ Der Untergrund muss sauber, frostfrei, staubfrei, trocken, nicht wasserabweisend, frei von Ausblühungen, tragfähig und frei von losen Teilen sein.</li> </ul>
Verarbeitung als Anstrich	Feinkalk wird für Anstriche vorher gelöscht und eingesumpft.
Hinweise	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Die Luft-, Material- und Untergrundtemperatur muss während der Verarbeitung und des Abbindevorganges über +5 °C liegen.</li> <li>■ Frische Putzflächen mindestens 2 Tage feucht halten. Vor jeder weiteren Beschichtung ist eine Standzeit von mind. 10 Tagen je cm Putzdicke einzuhalten.</li> </ul>
CE-Kennzahl	CE 1086-CPR-0064-1

Produktdaten nach EN 459-1		Richtwerte	NORM-Anforderungen
CaO + MgO	[%]	> 93	≥ 90
MgO	[%]	< 2	≤ 5
CO <sub>2</sub>	[%]	< 2	≤ 4
H <sub>2</sub> O	(Feuchte) [%]	< 1	–
Schüttdichte	[g/l]	ca. 750	–

Mischungsverhältnisse (Richtwerte)						
Produkt		Raumteile			ca. kg/m <sup>3</sup> Materialbedarf	
		Kalk	Zement	Sand	Feinkalk	Zement
Mauermörtel						
Kalkmörtel		1	–	3	95	–
Mörtelgruppe lt. ÖNORM EN 998-2						
M2,5	(Mauermörtel für mittlere Ansprüche)	2	1	8	70	150
M5	(Mauermörtel für höhere Ansprüche)	1	1	6	50	200
Putzmörtel						
Kalkmörtel		1	–	3 – 4	95 – 70	–
Kalkzementmörtel		2	1	6 – 8	60 – 50	135 – 110

- d. Druckfestigkeitsentwicklung von CEM I 52,5 R; CEM II/A-S 42,5 R; CEM II/A-M 42,5 N



## B. ELUATMESSUNG

### Resultate Eluatmessung von KW 8

Lorenz Canaval, 29.02.16

Probe	Probentyp	Farbe Lsg.	pH	Al	Ca	Co	Cd	Cu	K	Mg	Na	Ni	Zn	Zn(2)	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
			ppm													
ARA-Filtrat	Filtrat	farblos	8,82	2	4492	0	0	22	8	31	1097	0	0	3	> 250	< 200
ARA-Schlamm	Schlamm	farblos	8,88	2	105	0	0	0	5	2	18	0	0	0	175	> 1600
Bemusterungsstaub	Staub	gelb	11,70	2	9521	0	0	0	742	0	3299	0	23	25	-	> 1200
Endschlamm 1	Schlamm	farblos	8,80	2	81	0	0	0	10	3	18	0	60	53	250	> 800
Endschlamm 1 Filtr	Filtrat	Fäll. ICP-Vorb.	11,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Endschlamm 2	Schlamm	farblos	11,93	2	7288	0	0	0	11	0	1565	0	12	11	< 25	> 1200
Endschlamm 2 Filtr	Filtrat	farblos	11,72	2	7842	0	0	0	18	0	sat.	0	0	0	> 250	> 800
Entkupf.schl.	Schlamm	farblos	7,30	2	169	0	0	1	16	3	sat.	95	101	135	< 25	< 200
Entkupf.schl. Filtra	Filtrat			8	59	97	0	1297	9	6	92	11926	69	159	-	> 1200 *
Entkupf.schl. Lauge	Filtrat			4	29	35		4598	6	2	45	5265	22	90	225	> 1600 *
FO-Staub	Staub	farblos-grünlich	5,83	10	537	5	733	522	8492	188	3221	74	23915	7228	5625	> 1600
GieBereistaub	Staub	gelb	11,65	1	13129	0	0	1	1513	1	sat.	0	19	24	-	> 1600
Hallenfilterstaub	Staub	gelblich	6,66	5	457	0	284	56	5000	465	1034	12	6620	2303	> 250	> 1200
Hydroxidschl.	Schlamm	grün	7,20	0	1892	146	0	0	10	37	30	17542	1	163	< 25	> 1600
Hydroxidschl. Filtr	Filtrat	grün	5,70	0	262	519	0	60	13	65	57	24784	381	841	-	> 1600
Raff-Oxid	Staub	farblos	9,80	9	13	0	0	0	606	1	142	0	0	0	< 25	< 200
SO-Staub	Staub	farblos	10,00	121	1976	0	0	0	370	1	345	0	0	0	375	> 200
Sulfidschlamm	Schlamm	grünlich	6,65	1	2542	31	0	28	15	39	30	6603	3095	1493	75	> 1600 *
Sulfidschlamm Filtr	Filtrat	grünlich	5,50	0	273	514	0	0	13	68	55	25389	10	527	-	- *

Tropfen f. Cl- Test	Ag	As	Bi	Fe	Pb	Pb(2)	Sb	Se	Sn	Sr	ICP-Verd.
Anz. Tropfen	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
10	7	0	0	0	3	0		6	0	5	10
7	0	0	17	0	4	0	6	0	1	6	2
	0	0	5	0	161	144	2	4	0	15	2
10	0	0	5	0	4	0	3	0	0	6	2
0											10
10	0	0	4	0	16	8	2	10	0	6	2
	0	0	0		8	0		40	0	9	10
	0	5	5	0	4	0	7	0	0	2	2
	0	85	16	51	5	0	192	28	63	2	10
	0	45	10	13	7	10	57	8	28	2	10
	0	0	5	0	84	74	2	2	0	4	2
	0	0	3	0	145	119	0	5	0	47	2
	0	0	3	0	126	129	0	0	0	4	2
	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3	2
	0	0	2	0	4	0	0	0	0	3	10
	0	0	8	0	3	0	5	0	1	2	2
	0	0	6	0	2	5	4	2	0	14	2
	0	0	3	0	3	0	0	1	0	4	2
	0	0	2	0	0	0	0	0	0	3	10

\* Semiquantitative Analyse mit Mquant Teststäbchen 1.10019.0001; Störung durch **Sulfid-Ionen** möglich; Störung durch **Cu(II)-Ionen** möglich  
 Semiquantitative Analyse mit MColorTest 1.11132.0001 Titration; Störung durch starke Eigenfärbung der Lösungen möglich; Mitbestimmung von Bromid und Iodid

Betonzugabewasser Grenzwerte: (nach Baustoffchemie: Eine Einführung für Bauingenieure und Architekten, Otto Henning, Dietbert Knöfel, Dietmar

Sulfat keine Angabe  
 Chlorid > 10 000 mg/l  
 Ammonium > 600 mg/l

#### Probenvorbereitung ICP-Messung:

25ml Probe (Verd=2) oder 5ml Probe (Verd=10)

2ml HNO<sub>3</sub> konz.

6ml HCl konz.

auf 50ml mit dest. Wasser auffüllen

24.02.2016 Einwaage in 1000ml Glasflaschen, Übe

25.02.2016 Filtration mit Papierfilter -> Eluat, ICP

# C. CHARAKTERISIERUNG VON SCHLÄMMEN UND STÄUBEN

## a. A1: Endschlamm 1; A2: Endschlamm 2

### A1: Endschlamm 1

**Chemische Zusammensetzung:**

1,69% Kupfer	0,60% Arsen
9,09% Nickel	0,08% Selen
24,94% Blei	4,16% Antimon
15,99% Zinn	

PH-Wert: 8,8  
Feuchte: 16,36 [%]

**Siebanalyse:**

Aufgabe: 16,0153 [g]

MW [µm]	Masse [g]	Masse [%]	Durchgang [%]	Rückstand [%]
100	0,9130	5,70	94,30	5,70
40	0,4853	3,03	91,27	8,73
0	14,617	91,27	0,00	100,00

**Festigkeitsbestimmung:**

+	Zerbricht nicht und besteht Falltest (2m)
++	Zerbricht nicht besteht 1. Falltest aber zerbricht nach dem 2.
+-	Zerbricht nicht aber besteht Falltest nicht
-	Zerbricht beim Handtest
--	bröseln
---	feucht breiig, kein Abbinden

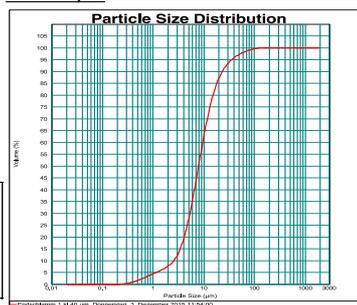
**Grundsätzliche Eigenschaften:**

Material sehr fein (>90% kleiner 40µm), sehr hoher Bleianteil, starker Ammoniakgeruch

**Empfehlungen:**

**Zement:** 25% ... Es konnten gute Ergebnisse bereits bei 25% erzielt werden.  
**Feuchtigkeit:** 15% ... also 5% Wasserzugabe, bei trockenen Schlamm mind. 16%  
**WZ-Wert:** 0,5 - 0,7

**Laseranalyse:**



Datum	Zustand	Feuchte [%]	Material menge [g]	Zement [g]	Zugabe H2O [g]	ges. Feuchte [%]	WZ-Wert	Notiz	Festigkeit	
A1	30.11.2015	feucht	16,36	87	13	10	19,32%	1,6		-
				85	15	10	21,35%	1,6		-
				80	20	10	19,39%	1,1		+-
				75	25	10	18,05%	0,8		-
				74	26	15	x 8,81%	x		+-
				65	35	15	20,35%	0,7		+-
A1	10.12.2015	feucht	16,68	75	25	10	19,8%	0,8	10g H2O zu viel -> Mixer ermöglicht bessere Homogenisierung	+-
				75	25	5	14,6%	0,6	gute Konsistenz	++
				65	35	7,8	14,6%	0,4	WZ eigentlich niedrig, Mischverhalten trotzdem gut	+-
A1	11.12.2015	trocken	0	55	25	20	15,5%	0,6	Auch mit 20g Wasser zu trocken, WZ von 0,6 nicht möglich	-
				60	25	15	13,5%	0,5	-> Zu trocken!! Material zieht Feuchtigkeit	+-
				44	35	21	18,7%	0,5	21g zu feucht-> 17,5g wäre optimal	+-
				47,5	35	17,5	16%	0,5	super Konsistenz!! Feuchte zeigt wieder, dass Material Wasser zieht	--

### A2: Endschlamm 2

**Chemische Zusammensetzung:**

5,29% Kupfer	0,12% Arsen
0,75% Nickel	0,08% Selen
0,67% Blei	0,08% Antimon
0,19% Zinn	

PH-Wert: 12,4  
Feuchte: 34 [%]

**Siebanalyse:**

Aufgabe: 11,88 [g]

MW [µm]	Masse [g]	Masse [%]	Durchgang [%]	Rückstand [%]
100	0,00	0,00	100,00	0,00
40	0,00	0,00	100,00	0,00
0	11,88	72,62	-27,38	127,38

**Festigkeitsbestimmung:**

+	Zerbricht nicht und besteht Falltest (2m)
++	Zerbricht nicht besteht 1. Falltest aber zerbricht nach dem 2.
+-	Zerbricht nicht aber besteht Falltest nicht
-	Zerbricht beim Handtest
--	bröseln
---	feucht breiig

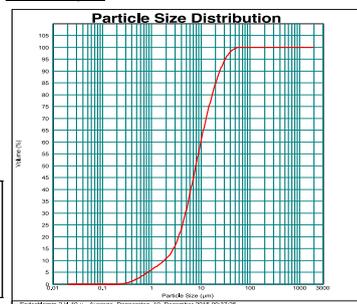
**Grundsätzliche Eigenschaften:**

Material sehr sehr fein (>100% kleiner 40µm)

**Empfehlungen:**

**Zement:** 25-35% ... Es konnten gute Ergebnisse bereits bei 25% erzielt werden.  
**Feuchtigkeit:** 22-25% ... also 5% Wasserzugabe bei 35% Zement, bei 25% Zement weniger Wasser  
**WZ-Wert:** 0,7 - 1,0

**Laseranalyse:**



Datum	Zustand	Feuchte [%]	Material menge [g]	Zement [g]	Zugabe H2O [g]	ges. Feuchte [%]	WZ-Wert	Notiz	Festigkeit	
A2	30.11.2015	feucht	34	85	15	0	31,97%	2,1		-
				75	25	0	29,69%	1,2		-
				65	35	5	25,09%	0,7		+
A2	10.12.2015	feucht	53!!*1	75	25	0	29,7%	1,2	super zum Homogenisieren, zu feucht!	++
				75	25	0	25,1%	0,7	immer noch zu feucht, *1 neuer Schlamm	+-
A2	11.12.2015	trocken	0	55	25	20	22,6%	0,9	zu trocken-> Risse	--

## b. A3: Ent-Cu Schlamm; A4: Hydroxidschlamm

### A3: Ent-Cu Schlamm

**Chemische Zusammensetzung:**

Schwefel	6,56%
Zinn	0,34%
Zink	0,08%
Kupfer	55,59%
Blei	4,64%
Nickel	2,48%
Eisen	1,48%
Antimon	0,99%
Arsen	1,16%
Calcium	0,08%

PH-Wert: 5,5  
Feuchte: 39 [%]

**Grundsätzliche Eigenschaften:**

Material gröber als Anodenschlämme, sehr hoher Kupfergehalt

**Empfehlungen:**

Zement: mind. 35%

Feuchtigkeit: 20-25% ... bei 35% Zement nicht mehr als 25% Feuchte

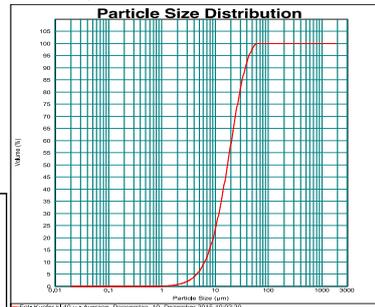
WZ-Wert: 0,6 - 0,7

**Siebanalyse:**

Aufgabe: 11,64 [g]

MW [µm]	Masse [g]	Masse [%]	Durchgang [%]	Rückstand [%]
100	3,61	31,01	68,99	31,01
40	2,27	19,50	49,48	50,52
0	5,76	49,48	0,00	100,00

**Laseranalyse:**



**Festigkeitsbestimmung:**

+	Zerbricht nicht und besteht Falltest (2m)
+ *	Zerbricht nicht besteht 1. Falltest aber zerbricht nach dem 2.
+ -	Zerbricht nicht aber besteht Falltest nicht
-	Zerbricht beim Handtest
--	bröseln
-- -	feucht breiig

	Datum	Zustand	Feuchte [%]	Material menge [g]	Zement [g]	Zugabe H2O [g]	ges. Feuchte [%]	WZ-Wert	Notiz	Festigkeit
A3	01.12.2015	feucht	39	85	15	0	31,28%	2,1	viel zu feucht	- - -
				75	25	0	22,37%	0,9	viel zu feucht	-
				65	35	0	23,37%	0,7	krümelig aber dann zu feucht	+ -

### A4: Hydroxidschlamm

**Chemische Zusammensetzung:**

Schwefel	19,63%
Zinn	0,50%
Zink	1,78%
Kupfer	3,20%
Blei	0,05%
Nickel	3,88%
Eisen	1,05%
Antimon	0,43%
Arsen	0,05%
Calcium	25,53%

PH-Wert: 7,5  
Feuchte: 29,96 [%]

**Grundsätzliche Eigenschaften:**

Material sehr fein (>98% kleiner 40µm), hoher Schwefel- und Calciumgehalt, niedrige Dichte

**Empfehlungen:**

Zement: mind. 35%

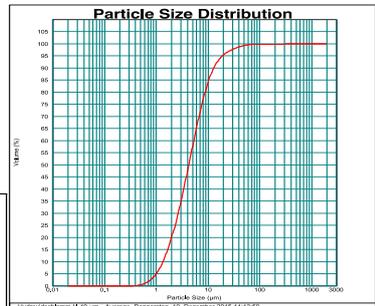
Feuchtigkeit: 30-35% ... 25% Wasserzugabe, Wasser vom Schlamm ist gebunden und steht nicht für Zement zur Verfügung

**Siebanalyse:**

Aufgabe: 11,74 [g]

MW [µm]	Masse [g]	Masse [%]	Durchgang [%]	Rückstand [%]
100	0,13	1,12	98,88	1,12
40	0,08	0,69	98,20	1,80
0	11,53	99,05	0,86	99,14

**Laseranalyse:**



**Festigkeitsbestimmung:**

+	Zerbricht nicht und besteht Falltest (2m)
+ *	Zerbricht nicht besteht 1. Falltest aber zerbricht nach dem 2.
+ -	Zerbricht nicht aber besteht Falltest nicht
-	Zerbricht beim Handtest
--	bröseln
-- -	feucht breiig

	Datum	Zustand	Feuchte [%]	Material menge [g]	Zement [g]	Zugabe H2O [g]	ges. Feuchte [%]	WZ-Wert	Notiz	Festigkeit
A4	01.12.2015	feucht	29,96	85	15	5	21,43%	1,4	auch nach Zugabe von 5g Wasser immer r	- -
				75	25	30	36,33%	1,5	Erst nach 30g Wasser keine Risse	-
				65	35	25	31,00%	0,9	Risse weg aber keine 100% Durchmischung	+

## c. A5: Sulfidschlamm; A6: ARA + Absetzbecken Schlamm; A9: Cu Hydroxidschlamm

### A5: Sulfidschlamm

**Chemische Zusammensetzung:**

Schwefel	38,81%
Zinn	0,05%
Zink	9,17%
Kupfer	1,25%
Blei	0,08%
Nickel	12,20%
Eisen	0,13%
Antimon	0,15%
Arsen	0,05%
Calcium	16,84%
PH-Wert:	7
Feuchte:	45,73 [%]

**Grundsätzliche Eigenschaften:**

Material sehr fein (>90% kleiner 40µm), hoher Schwefel- und Calciumgehalt, hohe Feuchtigkeit, trotz hoher Feuchtigkeit Wasserzugabe für bessere Verarbeitung!

**Empfehlungen:**

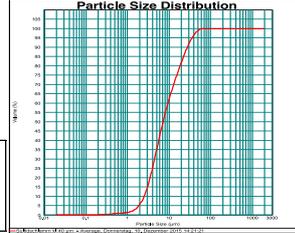
**Zement:** mind. 35%

**Feuchtigkeit:** 25% ... bei 35% Zement, 5 % Wasserzugabe, **etwas mehr Wasser für bessere Verarbeitung.**

**Siebanalyse:**

Aufgabe:	7,69 [g]			
MW [µm]	Masse [g]	Masse [%]	Durchgang [%]	Rückstand [%]
100	0,29	3,77	96,23	3,77
40	0,51	6,63	89,60	10,40
0	6,89	89,60	0,00	100,00

**Laseranalyse:**



**Festigkeitsbestimmung:**

- + Zerbricht nicht und besteht Falltest (2m)
- +\* Zerbricht nicht besteht 1. Falltest aber zerbricht nach dem 2.
- + - Zerbricht nicht aber besteht Falltest nicht
- Zerbricht beim Handtest
- bröseln
- feucht breilig

	Datum	Zustand	Feuchte [%]	Material menge [g]	Zement [g]	Zugabe H2O [g]	ges. Feuchte [%]	WZ-Wert	Notiz	Festigkeit
A5	01.12.2015	feucht	45,73	85	15	5	32,25%	2,2	etwas zu nass aber gut zum Pressen und Mischen	-
				75	25	5	28,73%	1,1	etwas zu nass aber gut zum Pressen und Mischen	-
				65	35	10	26,45%	0,8	ohne Wasserzugabe keine Chance zum Mischen	+

### A6: ARA + Absetzbecken Schlamm

**Chemische Zusammensetzung:**

Schwefel	8,80%
Zinn	0,06%
Zink	1,69%
Kupfer	14,96%
Blei	2,85%
Nickel	2,79%
Eisen	1,17%
Antimon	0,05%
Arsen	0,09%
Calcium	24,54%
Feuchte:	46,13 [%]

**Grundsätzliche Eigenschaften:**

Material lässt sich sehr schwer mit Labormixer mischen, hoher Calciumgehalt, hohe Feuchtigkeit, Festigkeitsbestimmung aus Tastversuche nicht 100% aussagekräftig da alle Proben zu feucht!!

**Empfehlungen:**

**Zement:** mind. 35%

**Feuchtigkeit:** 20-25% ... weitere Versuche für genauere Werte

**Festigkeitsbestimmung:**

- + Zerbricht nicht und besteht Falltest (2m)
- +\* Zerbricht nicht besteht 1. Falltest aber zerbricht nach dem 2.
- + - Zerbricht nicht aber besteht Falltest nicht
- Zerbricht beim Handtest
- bröseln
- feucht breilig

	Datum	Zustand	Feuchte [%]	Material menge [g]	Zement [g]	Zugabe H2O [g]	ges. Feuchte [%]	WZ-Wert	Notiz	Festigkeit
A6	28.12.15	feucht	46,13	85	15	5	21,8%	1,5	Zugabe 50% trockenes Material, etwas zu trocken	--
				75	25	0	32,0%	1,3	zu feucht	--
				65	35	0	28,0%	0,8	zu feucht	-

### A9: Cu Hydroxidschlamm

**Chemische Zusammensetzung:**

Schwefel	5,40%
Zinn	0,60%
Kupfer	57,80%
Eisen	1,07%
Nickel	7,04%
Chrom	0,01%
Mangan	0,42%
Natrium	1,62%
Sauerstoff	25,92%
Calcium	0,02%
Feuchte:	41,47 [%]

**Grundsätzliche Eigenschaften:**

Sehr hohe Feuchtigkeit; muss vor der Zugabe gut gemischt werden, da sich das Wasser oben absetzt; hohe Presskraft erforderlich; Material klebt; trocknet nach 5min bereits auf und wird fest; geringe Festigkeit trotz 50% Quarzanteil

**Empfehlungen:**

**Zement:** mind. 25%

**Feuchtigkeit:** 23% bei 25% Zementanteil

**WZ-Wert:** 0,8-0,9



**Festigkeitsbestimmung:**

- + Zerbricht nicht und besteht Falltest (2m)
- +\* Zerbricht nicht besteht 1. Falltest aber zerbricht nach dem 2.
- + - Zerbricht nicht aber besteht Falltest nicht
- Zerbricht beim Handtest
- bröseln
- feucht breilig

**Tastversuche**

	Datum	Zustand	Feuchte [%]	Material [g]	Zement [g]	H2O [g]	ges. Feuchte [%]	WZ-Wert	Notiz	Festigkeit
A7	22.02.2016	feucht	58,62	85	15	0	47,43%	3,2	Schlamm feuchter als in Brixlegg??? --> viel zu feucht	--
				75	25	0	40,92%	1,6	zu feucht	--
				65	35	0	32,44%	0,9	etwas besser aber immer noch zu feucht	-

**Pressversuch**

Datum	Zustand	Feuchte [%]	Material [g]	Quarz [g]	Zement [g]	Zugabe H2O [g]	Feuchte	Notiz	Anpressdruck [N]	temperatur [C]	WZ-Wert	Festigkeit [Mpa]
23.02.2016	feucht	58,62	94	94	62,5	0	22,96%	klebrig, mit 500N aus der Form gebrochen	500	20	0,92	--
								trocknet nach 5min schon auf und wird richtig fest	2000	20	0,92	3,25

## d. A7: Gießereistaub; A8: Bemusterungsstaub

### A7: Gießereistaub

**Chemische Zusammensetzung:**

Schwefel	1,88%
Zink	0,41%
Chlor	2,49%
Kupfer	6,41%
Blei	0,20%
Nickel	0,05%
CaO	51,95%
SiO <sub>2</sub>	0,74%
FeO	1,08%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,21%
MgO	1,94%

Glührückstand: 68,9%  
 Trockenverlust: 6,6%  
 Schüttdichte: 0,40 [g/cm<sup>3</sup>]

**Grundsätzliche Eigenschaften:**

Material zieht Wasser --> mind. 25% Wasser zugeben; durch geringe Zugabe erfolgt plötzlicher Umschlag auf nasse, optimale Konsistenz,

**Empfehlungen:**

**Zement:** 25-35%  
**Feuchtigkeit:** 25%  
**WZ-Wert:** 0,8

**Siebanalyse mittels Luftstrahlsieb (extern durchgeführt):**

MW [µm]	Masse [g]	Masse [%]	Durchgang [%]	Rückstand [%]
1000	0	0,00	100,00	0,00
500	0	0,00	100,00	0,00
355	0	0,00	100,00	0,00
250	0	0,00	100,00	0,00
125	98	28,32	71,68	28,32
63	0	0,00	71,68	28,32
32	0	0,00	71,68	28,32
20	90	26,01	45,66	54,34
11	86	24,86	20,81	79,19
0	72	20,81	0,00	100,00
	346,00	100,00		

**Festigkeitsbestimmung:**

+	Zerbricht nicht und besteht Falltest (2m)
+	Zerbricht nicht besteht 1. Falltest aber zerbricht nach dem 2.
+ -	Zerbricht nicht aber besteht Falltest nicht
-	Zerbricht beim Handtest
--	bröseln
---	feucht breiig

**Tastversuche**

	Datum	Zustand	Feuchte [%]	Material [g]	Zement [g]	H <sub>2</sub> O [g]	ges. Feuchte [%]	WZ-Wert	Notiz	Festigkeit
A7	28.12.15	trocken	-	75	15	10	7,3%	0,5	etwas zu trocken	--
				60	25	15+5	13,6%	0,5	etwas zu trocken, zu wenig Wasser mind. 25%	--
				40	35	25+5	26,8%	0,8	perfekte Konsistenz, keine Risse, plötzlicher Umschlag--> sehr fest	+-

### A8: Bemusterungsstaub

**Chemische Zusammensetzung:**

Schwefel	1,12%
Zink	39,35%
Chlor	3,15%
Kupfer	3,32%
Blei	1,63%
Nickel	0,15%
CaO	14,98%
SiO <sub>2</sub>	1,12%
FeO	1,08%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,94%
MgO	0,55%

Glührückstand: 77,8%  
 Trockenverlust: 13,7%  
 Schüttdichte: 0,50 [g/cm<sup>3</sup>]

**Grundsätzliche Eigenschaften:**

mind. 25% Wasserzugabe weil Material zieht Wasser; hoher Zinkanteil fast keine Festigkeit, am ehesten noch mit 35% Zement

**Empfehlungen:**

**Zement:** >35%  
**Feuchtigkeit:** 20%  
**WZ-Wert:** 0,5

**Siebanalyse mittels Luftstrahlsieb (extern durchgeführt):**

MW [µm]	Masse [g]	Masse [%]	Durchgang [%]	Rückstand [%]
1000	0	0,00	100,00	0,00
500	0	0,00	100,00	0,00
355	0	0,00	100,00	0,00
250	0	0,00	100,00	0,00
125	0	0,00	100,00	0,00
63	99	28,61	71,39	28,61
32	91	26,30	45,09	54,91
20	78	22,54	22,54	77,46
11	66	19,08	3,47	96,53
0	16	4,62	-1,16	101,16
	350,00	101,16		

**Festigkeitsbestimmung:**

+	Zerbricht nicht und besteht Falltest (2m)
+	Zerbricht nicht besteht 1. Falltest aber zerbricht nach dem 2.
+ -	Zerbricht nicht aber besteht Falltest nicht
-	Zerbricht beim Handtest
--	bröseln
---	feucht breiig

**Tastversuche**

	Datum	Zustand	Feuchte [%]	Material [g]	Zement [g]	H <sub>2</sub> O [g]	ges. Feuchte [%]	WZ-Wert	Notiz	Festigkeit
A8	28.12.15	trocken	-	65	15	20+10	27,8%	1,9	gute Konsistenz	-
				45	25	30	29,2%	1,2	zu feucht	--
				40	35	25	19,1%	0,5	perfekte Konsistenz	-

## e. A13: Hallenfilterstaub; A14: FO-Staub

### A13: Hallenfilterstaub

**Chemische Zusammensetzung:**

Schwefel	2,15%
Zink	24,92%
Chlor	2,57%
Kupfer	18,32%
Blei	8,26%
Nickel	0,23%
CaO	1,23%
SiO <sub>2</sub>	3,01%
FeO	1,85%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,35%
MgO	0,71%

Glührückstand: 94,1%  
 Trockenverlust: 0,4%  
 Schüttdichte: 0,30 [g/cm<sup>3</sup>]

**Grundsätzliche Eigenschaften:**

20% Wasserzugabe weil Material zieht Wasser; hoher Zinkanteil  
 fast keine Festigkeit, am ehesten noch mit 35% Zement

**Empfehlungen:**

**Zement:** 35%  
**Feuchtigkeit:** 13% optimal bei 35% Zementanteil

**Siebanalyse mittels Luftstrahlsieb (extern durchgeführt):**

MW [µm]	Masse [g]	Masse [%]	Durchgang [%]	Rückstand [%]
1000	0	0,00	100,00	0,00
500	92	23,00	77,00	23,00
355	0	0,00	77,00	23,00
250	0	0,00	77,00	23,00
125	0	0,00	77,00	23,00
63	88	22,00	55,00	45,00
32	91	22,75	32,25	67,75
20	0	0,00	32,25	67,75
11	87	21,75	10,50	89,50
0	42	10,50	0,00	100,00
400,00		100,00		

**Festigkeitsbestimmung:**

+	Zerbricht nicht und besteht Falltest (2m)
+*	Zerbricht nicht besteht 1. Falltest aber zerbricht nach dem 2.
+ -	Zerbricht nicht aber besteht Falltest nicht
-	Zerbricht beim Handtest
--	bröselt
---	feucht breig

**Tastversuche**

	Datum	Zustand	Feuchte [%]	Material [g]	Zement [g]	H <sub>2</sub> O [g]	ges. Feuchte [%]	WZ-Wert	Notiz	Festigkeit
A9	28.12.15	trocken	-	60	15	25	20,1%	1,3	etwas zu feucht	--
				50	25	25	16,4%	0,7	zu feucht --> je mehr Zement desto feuchter zumindest optisch!	-
				45	35	20	13,1%	0,4	perfekte Konsistenz	+-

### A14: FO-Staub

**Chemische Zusammensetzung:**

Zink	15,95%
Zinn	4,21%
Kupfer	37,05%
Blei	6,56%
Nickel	0,73%
Arsen	0,50%
Antimon	0,04%
Eisen	0,48%
Chlor	6,07%
Bismut	1541 [ppm]
Silber	1252 [ppm]
Cadmium	2459 [ppm]

Glührückstand: 88,3%  
 Trockenverlust: 0,3%  
 Schüttdichte: 0,70 [g/cm<sup>3</sup>]

**Grundsätzliche Eigenschaften:**

25% Wasserzugabe weil Material zieht Wasser;  
 fast keine Festigkeit, egal wie viel Zement

**Empfehlungen:**

**Zement:** 15%  
**Feuchtigkeit:** 20%

**Siebanalyse mittels Luftstrahlsieb (extern durchgeführt):**

MW [µm]	Masse [g]	Masse [%]	Durchgang [%]	Rückstand [%]
1000	0	0,00	100,00	0,00
500	96	19,88	80,12	19,88
355	0	0,00	80,12	19,88
250	0	0,00	80,12	19,88
125	92	19,05	61,08	38,92
63	85	17,60	43,48	56,52
32	82	16,98	26,50	73,50
20	68	14,08	12,42	87,58
11	50	10,35	2,07	97,93
0	10	2,07	0,00	100,00
483,00		100,00		

**Festigkeitsbestimmung:**

+	Zerbricht nicht und besteht Falltest (2m)
+*	Zerbricht nicht besteht 1. Falltest aber zerbricht nach dem 2.
+ -	Zerbricht nicht aber besteht Falltest nicht
-	Zerbricht beim Handtest
--	bröselt
---	feucht breig

**Tastversuche**

	Datum	Zustand	Feuchte [%]	Material [g]	Zement [g]	H <sub>2</sub> O [g]	ges. Feuchte [%]	WZ-Wert	Notiz	Festigkeit
A14	29.12.15	trocken	-	65	15	20+5	19,8%	1,3	von 20 auf 25 plötzlicher Umschlag --> sehr feste Konsistenz	-
				50	25	25	12,97%*	0,8	perfekte Konsistenz	-
				40	35	25	19,9%	0,6	perfekte Konsistenz	-

## f. A15: SO-Flugstaub; SO-Flugstaub aus Quench

### A15: SO-Flugstaub

#### Chemische Zusammensetzung:

Schwefel	1,61%
Zink	16,17%
Chlor	0,20%
Kupfer	25,25%
Blei	3,49%
Nickel	0,92%
CaO	4,75%
SiO <sub>2</sub>	5,74%
FeO	13,24%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,55%
MgO	1,69%
Glührückstand:	100,0%
Trockenverlust:	0,1%
Schüttdichte:	1,70 [g/cm <sup>3</sup> ]

#### Grundsätzliche Eigenschaften:

15% Wasserzugabe; benötigt wenig Wasser --> gut für WZ-Wert  
gute Grundfestigkeit, hält bei 15% Zement gleich wie bei 35%

#### Empfehlungen:

Zement: 25-35%  
Feuchtigkeit: 12%

#### Siebanalyse mittels Luftstrahlsieb (extern durchgeführt):

MW [µm]	Masse [g]	Masse [%]	Durchgang [%]	Rückstand [%]
1000	0	0,00	100,00	0,00
500	95	33,81	66,19	33,81
355	86	30,60	35,59	64,41
250	57	20,28	15,30	84,70
125	35	12,46	2,85	97,15
63	8	2,85	0,00	100,00
32	0	0,00	0,00	100,00
20	0	0,00	0,00	100,00
11	0	0,00	0,00	100,00
0	0	0,00	0,00	100,00
281,00		100,00		

#### Festigkeitsbestimmung:

+	Zerbricht nicht und besteht Falltest (2m)
++	Zerbricht nicht besteht 1. Falltest aber zerbricht nach dem 2.
+-	Zerbricht nicht aber besteht Falltest nicht
-	Zerbricht beim Handtest
--	bröselt
---	feucht breiig

#### Tastversuche

	Datum	Zustand	Feuchte [%]	Material [g]	Zement [g]	H <sub>2</sub> O [g]	ges. Feuchte [%]	WZ-Wert	Notiz	Festigkeit
A15	29.12.15	trocken	-	70	15	15	12,0%	0,8	beim Pressen etwas zu feucht	+-
				60	25	15	12,6%	0,5	beim Pressen etwas zu feucht aber 15% muss sein --> WZ	+-
				50	35	15	12,0%	0,3	beim Pressen etwas zu feucht aber 15% muss sein --> WZ	+-

### "SO-Flugstaub" aus Quench

#### Chemische Zusammensetzung:

Schwefel	2,23%
Zink	37,44%
Kupfer	11,38%
Eisen	7,22%
Nickel	0,76%
Blei	6,10%
Mangan	0,25%
Chlor	2,17%
Sauerstoff	23,06%
Zinn	0,97%
Calcium	2,65%
Feuchte:	41,47 [%]

#### Grundsätzliche Eigenschaften:

Hoher Zinkanteil stört beim Abbinden  
Zerfällt beim Auspressen, keine Festigkeit,

#### Empfehlungen:

Zement:-  
Feuchtigkeit: 19%  
WZ-Wert: 0,5 bei 35% Zement

#### Festigkeitsbestimmung:

+	Zerbricht nicht und besteht Falltest (2m)
++	Zerbricht nicht besteht 1. Falltest aber zerbricht nach dem 2.
+-	Zerbricht nicht aber besteht Falltest nicht
-	Zerbricht beim Handtest
--	bröselt
---	feucht breiig

#### Tastversuche

	Datum	Zustand	Feuchte [%]	Material [g]	Zement [g]	H <sub>2</sub> O [g]	ges. Feuchte [%]	WZ-Wert	Notiz	Festigkeit
	22.02.2016	trocken		70	15	15	20,93%	1,2	etwas zu feucht	--
				60	25	15	-	-	optimale Konsistenz	-
				50	35	15	18,59%	0,5	optimale Konsistenz	-

#### Pressversuch

	Datum	Zustand	Feuchte [%]	Material [g]	Quarz [g]	Zement [g]	Zugabe H <sub>2</sub> O [g]	ges. Feuchte [%]	Notiz	Anpressdruck [N]	Temperatur [C°]	WZ-Wert	Festigkeit
	22.02.2016	trocken		60	60	62,5	0	7,75%	zu trocken, zerfällt aus der Form	2000	-	0,23	

## D. TASTVERSUCHE

### a. Tastversuch KW49

**Tastversuch KW 49**

Materialien nicht vorbehandelt (getrocknet)

Gesamtprobenmenge: 100g (Material+Zement)

Material	ca. Feuchte [%]	gem. Feuchte [%]	PH-Wert	Zement [%]	Kalk [%]	Zugabe H <sub>2</sub> O [g]	ges. Feuchte [%]	WZ-Wert	Notiz	Festigkeit
A1 Endschlamm 1 Datum: 30.11.2015	16	16,36	8,8	13% 15% 20% 25% 26% 35%	0 0 0 0 0 0	10 10 10 15 15	19,32% 21,35% 19,39% 18,05% x 8,81% 20,35%	1,5 1,4 1,0 0,7 x 0,6		- - +- - +- +-
A2 Endschlamm 2 Datum: 30.11.2015	35	34	12,4	15% 25% 35%	0 0 0	0 0 5	29,69% 29,69% 25,09%	2,1 1,2 0,7		- - +
A3 Ent-Cu Schlamm Datum: 01.12.2015	35	39	5,5	15% 25% 35%	0 0 0	0 0 0	31,28% 22,37% 23,37%	2,1 0,9 0,7	viel zu feucht viel zu feucht krümelig aber dann zu feucht	+- +- +-
A4 Hydroxidschlamm Datum: 01.12.2015	30	29,96	7,5	15% 25% 35%	0 0 0	0 / 5 30 25	21,12% / 21,43% 36,33% 31,00%	1,4 1,5 0,9	1,4   auch nach Zugabe von 5g Wasser immer noch Risse Erst nach 30g Wasser keine Risse Risse weg aber keine 100% Durchmischung, ohne Wasser keine Chance Risse zu mass aber gut zum Pressen und Mischen etwas zu mass aber gut zum Pressen und Mischen	- - + - -
A5 Sulfidschlamm Datum: 01.12.2015	30	45,73	7	25% 35%	0 0	5 10	28,73% 26,45%	1,1 0,8	etwas zu mass aber gut zum Pressen und Mischen ohne Wasserzugabe keine Chance zum Mischen	- +

02.12: Erste Erfahrungen: Längere Mischzeiten vorsehen, besserer Mischer, Sulfidschlamm sehr nass, teilweise gebundenes Wasser somit nicht alles verfügbar --> Material trocknen für bessere Ergebnisse  
09.12: Festigkeitsversuche zeigen, dass unter einem Zementanteil von 20% keine positiven Ergebnisse erzielt werden konnten. Ebenso zeigt der WZ-Wert größer 1,2 keine Festigkeit

Zerbricht nicht und besteht Fallfest (Zm) +  
Zerbricht nicht aber besteht Fallfest nicht +-  
Zerbricht bröselig -  
feucht breilig ---

b. Tastversuch KW50

Materialien feucht, neuer Mixer (130 Watt)		Zement: CEM I 52,5 R				Gesamtprobenmenge: 100g (Material+Zement)				Festigkeit
Material	Zustand	Ca. Feuchte [%]	gem. Feuchte [%]	Zement [%]	Zugabe H2O [g]	gem. Feuchte [%]	WZ-Wert	Notiz		
					60 [s]					
A1	Endschlamm 1 Datum: 10.12.2015	feucht	16	16,68	10	19,8%	0,8	10g H2O zu viel --> Mixer ermöglicht bessere Homogenisierung		+ -
A2	Endschlamm 2 Datum: 10.12.2015	feucht	35	34 53,1**1	5 7,8	14,6%	0,6	gute Konsistenz WZ eigentlich niedrig, Mischverhalten trotzdem gut		+ *
Prüfung 14.12.: sehr gute Grundfestigkeit, Falltest bestehen jedoch nur 2 Proben --> Form als entscheidendes Kriterium. Aussagekräftige bzw. repräsentative Werte in Zukunft nur mehr über die richtige Form des Probekörpers; Grundsätzlicher Trend --> Das Material entzieht das Wasser (gebunden) --> Zement hat nicht komplettes Wasser zur Verfügung --> deshalb höherer WZ-Wert										
A1	Endschlamm 1 Datum: 11.12.2015	trocken	0	-	20	15,5%	0,6	Auch mit 20g Wasser zu trocken, WZ von 0,6 nicht möglich --> Zu trocken!! Material zieht Feuchtigkeit		-
A1	Endschlamm 1 Datum: 11.12.2015	trocken	0	-	18,7	18,7%	0,5	21g zu feucht--> 17,5g wäre optimal zu wenig getrocknete Probe		+ -
Beim Endschlamm 1 mit 35% CEM ist ein WZ-Wert größer 0,6 zu feucht										
A2	Endschlamm 2 Datum: 11.12.2015	trocken	0	-	25 21	22,6%	0,9	zu trocken--> Risse zu wenig getrocknete Probe		- -
Beim getrockneten Endschlamm 2 wirkt sich die getrocknete Probe stark aus --> braucht mehr Wasser										

+ Zerbricht nicht und besteht Falltest (2m)

+ \* Zerbricht nicht besteht 1. Falltest aber zerbricht nach dem 2.

+ - Zerbricht nicht aber besteht Falltest nicht

- Zerbricht

- - bröseln

- - - feucht breig

c. Tastversuch KW53

**Tastversuch KW 53**

Zement: CEM I 52,5 R

Materialien feucht, neuer Mixer (130 Watt) Mischdauer: 60 [s]

Gesamtprobebmenge: 100g (Material+Zement+Wasser)

Festigkeitsprüfung: 05.01.16

Material	Zustand	Feuchte [%]	PH-Wert	Mat.-menge [g]	Zement [g]	Zugabe H2O [g]	Feuchte [%]	WZ-Wert	Notiz	Festigkeit
A6 ARA + Absetzbecken Schlamm Datum: 28.12.15	feucht	46,13		85	15	5	21,8%	1,5	50% trockenes, etwas zu trocken	--
				75	25	0	32,0%	1,3	zu feucht	--
				65	35	0	28,0%	0,8	zu feucht	-
<p><b>Mixen:</b> Material geht schwer zum Mixen, sehr feucht,  <b>Festigkeit:</b> keine wirkliche Festigkeit, viele Poren und auch beim 35% Risse, Versuch mit etwas weniger Wasser</p>										
A7 Gießereistaub Datum: 28.12.15	trocken	-		75	15	10	7,3%	0,5	etwas zu trocken	--
				60	25	15+5	13,6%	0,5	etwas zu trocken, zu wenig Wasser mind. 25%	--
				40	35	25+5	26,8%	0,8	perfekte Konsistenz, keine Risse, plötzlicher Umschlag--> sehr fest	+-
<p><b>Mixen:</b> Material zieht Wasser --&gt; mind. 25% Wasser zugeben; durch geringe Zugabe erfolgt plötzlicher Umschlag auf nasse, optimale Konsistenz, Fe  <b>Festigkeit:</b> mit mind. 25% Wasser gut, keine Aussage bzgl. Zementmenge</p>										
A8 Bernusterungsstaub Datum: 28.12.15	trocken	-		65	15	20+10	27,8%	1,9	gute Konsistenz	-
				45	25	30	29,2%	1,2	zu feucht	--
				40	35	25	19,1%	0,5	perfekte Konsistenz	-
<p><b>Mixen:</b> 25% Wasserzugabe weil Material zieht Wasser  <b>Festigkeit:</b> fast keine Festigkeit, am besten noch mit 35%</p>										
A13 Hallenfilterstaub Datum: 29.12.15	trocken	-		60	15	25	20,1%	1,3	etwas zu feucht	--
				50	25	25	16,4%	0,7	zu feucht --> je mehr Zement desto feuchter zumindest optisch!	-
				45	35	20	13,1%	0,4	perfekte Konsistenz	+-
<p><b>Mixen:</b> 20% Wasserzugabe  <b>Festigkeit:</b> mit 15% zerbricht schon vor Prüfung, 13% Wasser optimal bei 35% Zement</p>										
A14 FO Staub Datum: 29.12.15	trocken	-		65	15	20+5	19,8%	1,3	von 20 auf 25 plötzlicher Umschlag --> sehr feste Konsistenz	-
				50	25	25	12,97%*	0,8	perfekte Konsistenz	-
				40	35	25	19,9%	0,6	perfekte Konsistenz	-
<p><b>Mixen:</b> 25% optimale Wasserzugabe, Material zieht Wasser  <b>Festigkeit:</b> gute Grundfestigkeit, egal ob 15% oder 35% Zement</p>										

A15	SO Flugstaub Datum: 29.12.15	trocken		70	15	15	15	12,0%	0,8	beim Pressen etwas zu feucht	+ -
<p><b>Mixen:</b> 15% Wasserzugabe, benötigt sehr wenig Wasser --&gt; super für WZ  <b>Festigkeit:</b> gute Grundfestigkeit, hält bei 15% gleich gut wie bei 35%, benötigt nicht viel Wasser</p>											
S1	Roff Oxid aus Gießerei Datum: 29.12.15	feucht	1,02	65	15	20	22,4%	1,5	viel zu feucht, Material zu körnig zum Mixen	- -	
<p><b>Mixen:</b> 17,5% Wasserzugabe, Material wenig geeignet für Laborversuche mit Mixer  <b>Festigkeit:</b> steigende Festigkeit mit zunehmendem Zementanteil</p>											
S2	Katalysatoren Datum: 29.12.15	feucht	4,37	70	15	15+5	16,5%	1,1	zuerst zu trocken	+*	
<p><b>Mixen:</b> 15% Wasserzugabe weil gewisse Grundfeuchte vorhanden, Material zieht Wasser!; ab jetzt anderer Behälter (Ø46mm) dadurch sicher höhere Festigkeit  <b>Festigkeit:</b> sehr gute Festigkeit, steigende Festigkeit mit zunehmendem Zementanteil, neue Form sicher vom Vorteil</p>											
S3	Koks fein Datum: 30.12.15	feucht	10,58	75	15	10	16,4%	1,1	zu feucht, Mixen nicht möglich --> zu körnig	+	
<p><b>Mixen:</b> 10% Wasserzugabe bei 35% Zement, wichtig ist Gesamtfeuchte von ca. 16%. Material wenig geeignet für Laborversuche mit Mixer  <b>Festigkeit:</b> steigende Festigkeit mit zunehmendem Zementanteil</p>											
S4	Granos UK Datum: 30.12.15	trocken	0,2	65	25	10+2,5	10,6%	0,4	etwas zu feucht	+	
<p><b>Mixen:</b> 10% Wasserzugabe würde für optimale Verarbeitung wahrscheinlich reichen!  <b>Festigkeit:</b> alle gleich fest, 15% Zementanteil reichen</p>											
<p>70 15 15 15 12,0% 0,8          60 25 15 12,6% 0,5          50 35 15 12,0% 0,3</p> <p>65 15 20 22,4% 1,5          60 25 15 12,19%* 0,5          47,5 35 17,5 14,4% 0,4</p> <p>70 15 15+5 16,5% 1,1          55 25 20 20,9% 0,8          50 35 15 16,3% 0,5</p> <p>75 15 10 16,4% 1,1          65 25 10 15,7% 0,6          55 35 10 15,7% 0,4</p> <p>70 15 15 13,8% 0,9          65 25 10+2,5 10,6% 0,4          50 35 15 13,1% 0,4</p>											

- Zerbricht  
 - - brösel  
 - - - feucht breiig

+ Zerbricht nicht und besteht Falltest (2m)  
 + \* Zerbricht nicht besteht 1. Falltest aber zerbricht nach dem 2.  
 + - Zerbricht nicht aber besteht Falltest nicht

## E. ARBEITSANLEITUNG FÜR DIE HERSTELLUNG UND FESTIGKEITSBESTIMMUNG VON BETONPRÜFKÖRPERN

Für die Herstellung von Betonprüfkörpern sind drei Arbeitsschritte notwendig:

- Probenvorbereitung
- Pressen der Proben
- Festigkeitsbestimmung

Der Lehrstuhl für Aufbereitung verfügt über zwei unterschiedliche Prüfpressen, der Midi 10 und Mega KS-10. Für das Pressen der Proben kann nur die Prüfpresse Midi 10 verwendet werden, da diese über eine geeignete Pressvorrichtung verfügt. Beide Prüfpressen eignen sich jedoch zur Festigkeitsbestimmung. Der Einsatz von der Prüfpresse Mega KS-10 ist dann erforderlich, wenn die zu erwartende Endfestigkeit größer als 5 kN ist.

### a. Verwendete Geräte

Folgende Geräte werden für die Herstellung und anschließende Festigkeitsbestimmung benötigt:

- Handmixer der Firma Philips
- Laborwaage der Firma Sartorius, CP323 P
- Feuchtemessgerät der Firma Mettler Toledo
- Siebmaschine zum Verdichten (Fritsch Analysensiebturm)
- Prüfpresse (bis 5 kN) Midi 10 der Firma Messphysik mit montierter Pressvorrichtung
- Prüfpresse (bis 30 kN) Mega KS-10 mit Messverstärker der Firma HBM und Kraftmessdose mit 120 kN der Firma Althen (Leihgabe vom Tunnelbauinstitut)

### b. Probenvorbereitung

Vor der Einwaage muss der Arbeitsplatz vorbereitet werden. Sämtliche Materialien müssen direkt zugänglich sein (Abbildung 62).

Es ist auf eine persönliche Schutzausrüstung (Brille, Handschuhe, Staubschutz) zu achten.

**Abbildung 62: Arbeitsplatz Vorbereitung****1. Einwaage**

Alle Materialien werden laut Rezepturplan mit der Laborwaage (auf drei Komastellen genau) eingewogen.

Ebenfalls wird die benötigte Wassermenge und die Bindemittelmenge eingewogen.

**2. Mischen**

Nach erfolgter Einwaage werden sämtliche Stoffe in einem geeigneten Gefäß mit einem Handmixer (auf höchster Stufe) vermischt. Die Mischdauer beträgt je nach Homogenisierung zwischen ein und drei Minuten.

**3. Feuchtebestimmung**

Nach der Mischung werden 5 g Probe entnommen und zur Feuchtebestimmung dem Feuchtemessgerät der Firma Mettler Toledo aufgegeben.

Die Parameter der Messung lauten:

- Trocknungstemperatur: 140 °C
- Abschaltkriterium: Automatisch (Abschaltung nach Gewichtskonstanz)

**4. Verdichten**

Die Pressform wird auf eine Unterlage gegeben und mit einem handelsüblichen Öl befeuchtet. Die Unterlage wird benötigt, damit die Probemasse in der Pressform verbleibt. Der Deckel darf erst nach der Vorverdichtung, bei der Pressung entfernt werden. Anschließend wird die Form bis zum Rand mit dem gemischtem Material befüllt.

Danach wird die Form samt Unterlage auf die Siebmaschine der Firma Fritsch zur Verdichtung gestellt (Abbildung 63).

**Abbildung 63: Pressform auf der Siebmaschine zur Verdichtung**

Vor der Verdichtung wird der Pressstempel auf die Form aufgesetzt.

Die Verdichtungsdauer beträgt 20 Sekunden und die Frequenz der Siebmaschine ist nach Material 20 bis 40 Prozent des skalierten Einstellrades.

Bei der Verdichtung (Siebmaschine eingeschaltet) wird die Pressform samt Pressstempel mit den Händen (leichte Belastung) auf die Siebmaschine gedrückt. Es ist darauf zu achten, dass die Frequenz der Siebmaschine nicht zu hoch eingestellt ist, da die Form ansonsten zu groben Stößen ausgesetzt sein kann.

## 5. Pressen

Vor dem Pressen muss die Prüfpresse eingeschaltet werden. Zuerst muss der Hauptschalter am Schaltkasten an der Vorderseite umgelegt werden und anschließend beim Bedienteil auf der Rückseite der Kippschalter auf „Ein“ geschaltet werden (Abbildung 64).

**Abbildung 64: Inbetriebnahme Midi 10 Fa. Messphysik**

Der Laptop wird hochgefahren und die installierte Software der Firma Messphysik händisch gestartet. Nach erfolgtem Start des Programmes ist eine Steuerung am Bedienteil zum Bewegen der Presse möglich. Möchte man mit dem Stempel der Prüfpresse nach oben zurück fahren, muss zuerst am Bedienteil die gewünschte Vorschubtaste gedrückt, und danach das Vorschubrad für die gewünschte Vorschubgeschwindigkeit gedreht, werden (Abbildung 65).

**Abbildung 65: Bewegung des Stempels der Presse**

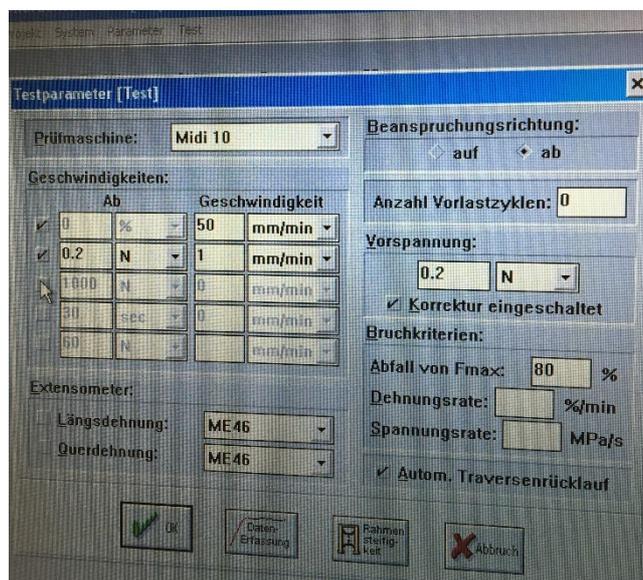


Nach erfolgtem Hochfahren des Stempels und abgeschlossener Verdichtung des Materials wird die Form auf der Pressvorrichtung mit drei Schrauben fixiert. Anschließend wird der Stempel, wie gerade beschrieben, händisch auf Kontakt zum Pressstempel der Form gefahren (Abbildung 65).

Vor dem Start der Pressung müssen folgende Parameter in der Software festgelegt werden:

- Geschwindigkeiten (Abbildung 66):
  - Ab: 0 % → 50 [mm/min]
  - Ab: 0,2 N → 1 [mm/min]
  - Ab: 500 oder 2000 N → 0 [mm/min] (je nach Versuchsplan)

**Abbildung 66: Parametereinstellung**



Nach der Pressung bis zur gewünschten Presskraft (500 oder 2000 N) muss der Stempel der Prüfmaschine wieder händisch zurück gefahren werden.

### 6. Entfernen des Prüfkörpers aus der Form

Wenn der Stempel der Prüfpresse wieder in die Ausgangslage zurückgefahren ist, kann die Pressform demontiert werden.

Die Probe kann durch Drücken des Pressstempels aus der Form entfernt werden.

Es ist darauf zu achten, dass das Lösen aus der Form vorsichtig geschieht, um ein Beschädigen der Probe zu verhindern.

### 7. Aushärten

Nach dem erfolgreichen Auspressen des Prüfkörpers wird dieser mittels Laborsäckchen luftdicht verschlossen, um in eigener Atmosphäre zu trocknen (Abbildung 67).

Abbildung 67: Aushärten der Prüfkörper



## c. Festigkeitsprüfung

Für die Festigkeitsprüfung stehen zwei Prüfpressen zur Verfügung. Je nachdem wie hoch die zu erwartende Festigkeit sein wird, ist entweder die:

1. Prüfpresse Midi 10            maximale Belastung von 5 kN
2. Prüfpresse Mega KS-10    maximale Belastung von 30 kN

zu verwenden.

Die Prüfung erfolgt jeweils einaxial und ist beendet, sobald ein Bruch im Prüfkörper eintritt.

### a. Festigkeitsprüfung mit Midi 10 Fa. Messphysik

Die hochpräzise Prüfpresse Midi 10 hat den Vorteil, dass der Messfehler aufgrund der geringen Belastungsgrenze kleiner als +/- 0,05 kN ist.

Außerdem kann diese Weg/Zeit gesteuert werden.

Bevor die Festigkeit bestimmt werden kann, müssen die oberen vier Muttern gelöst und die Platte entfernt werden.

Die Steuerung der Presse erfolgt exakt gleich wie in der Beschreibung in Kapitel 5.

Die eingestellten Parameter lautet:

- Geschwindigkeiten (Abbildung 66):
  - Ab: 0 % → 50 [mm/min]
  - Ab: 0,2 N → 1 [mm/min]
  - Ab: 5300 N → 0 [mm/min] (Überlastungsschutz)

Sobald der Bruch eintritt (signifikanter Festigkeitsabfall) wird der Stempel der Presse wieder händisch in die Ausgangsposition zurückgefahren.

Sollte kein Bruch bis zur Maximalbelastung von 5300 N eintreten, muss die zweite Prüfpresse Mega KS-10 verwendet werden.

### b. Festigkeitsprüfung mit Mega KS-10

Diese Prüfpresse hat den Nachteil, dass sie nur händisch mittels Öldruckhandpumpe gesteuert werden kann.

Die Kraftmessung erfolgt mittels zusätzlich aufzubauendem Messverstärker plus Kraftmessdose. Diese wird direkt an einem freien Port des Messverstärkers angeschlossen und muss exakt horizontal und mittig in der Prüfpresse auf einer Stützplatte (in Abbildung 68 ersichtlich) positioniert werden.

Abbildung 68: Prüfpresse Mega KS-10 mit Messverstärker und Kraftmessdose



Die Kraftmessdose kann bis zu 120 kN belastet werden, weshalb sie einen Messfehler von +/- 1 kN hat.

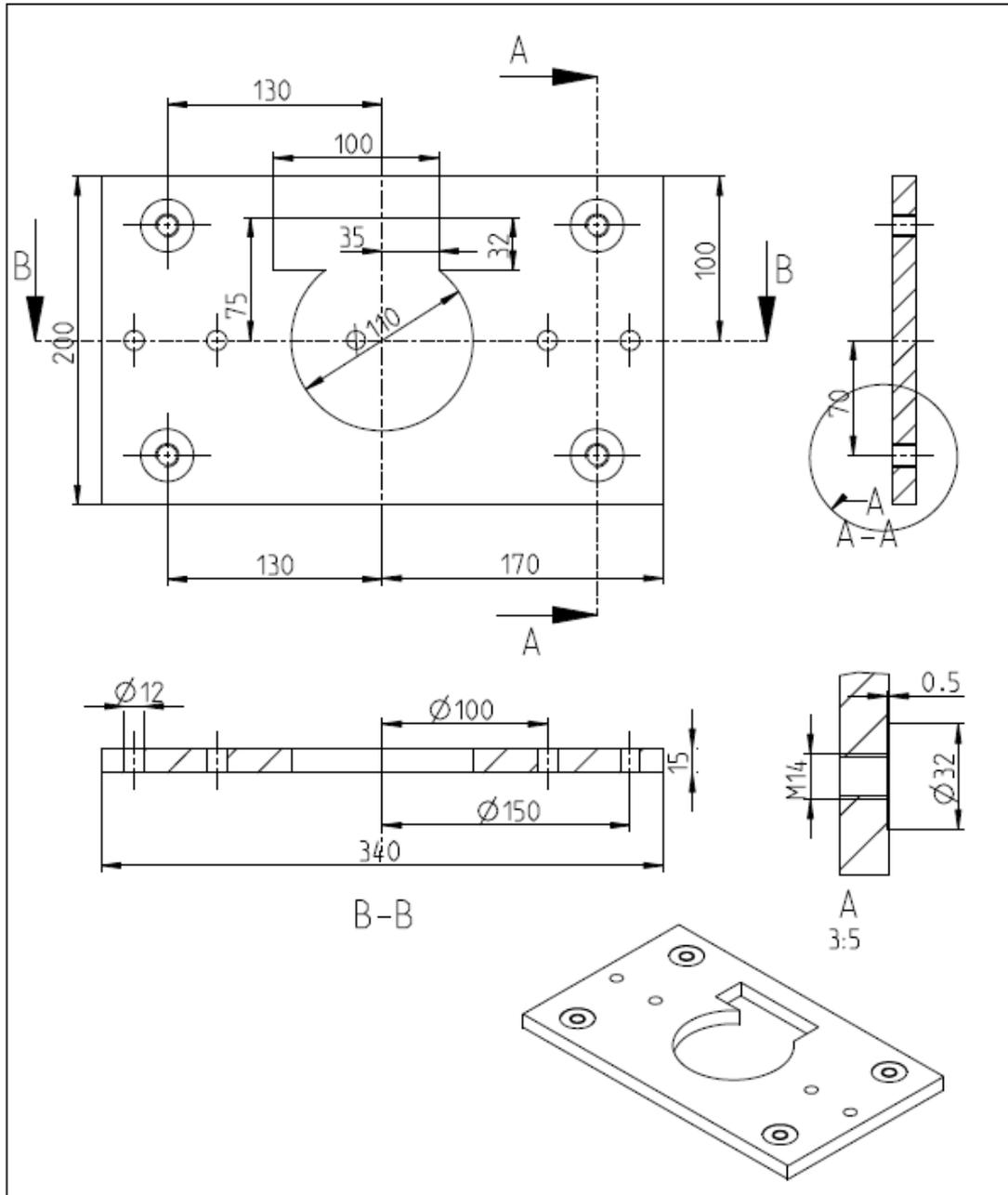
Vor der Prüfung muss die bereits installierte Software „Catman“ des Messverstärkers der Firma HBM gestartet werden.

Beim Start der Messung muss die Kraft in der Software auf Null gestellt werden. Wenn gewünscht, kann die Aufzeichnung gestartet werden.

Anschließend muss händisch mit der Ölhandpumpe der Presse der Druck aufgebaut werden. Die Prüfung ist beendet, wenn der Prüfkörper bricht bzw. in der Software ein Belastungsabfall festgestellt werden kann. Die maximal aufgezeichnete Kraft in der Software „Catman“ ergibt die Druckfestigkeit des Prüfkörpers.

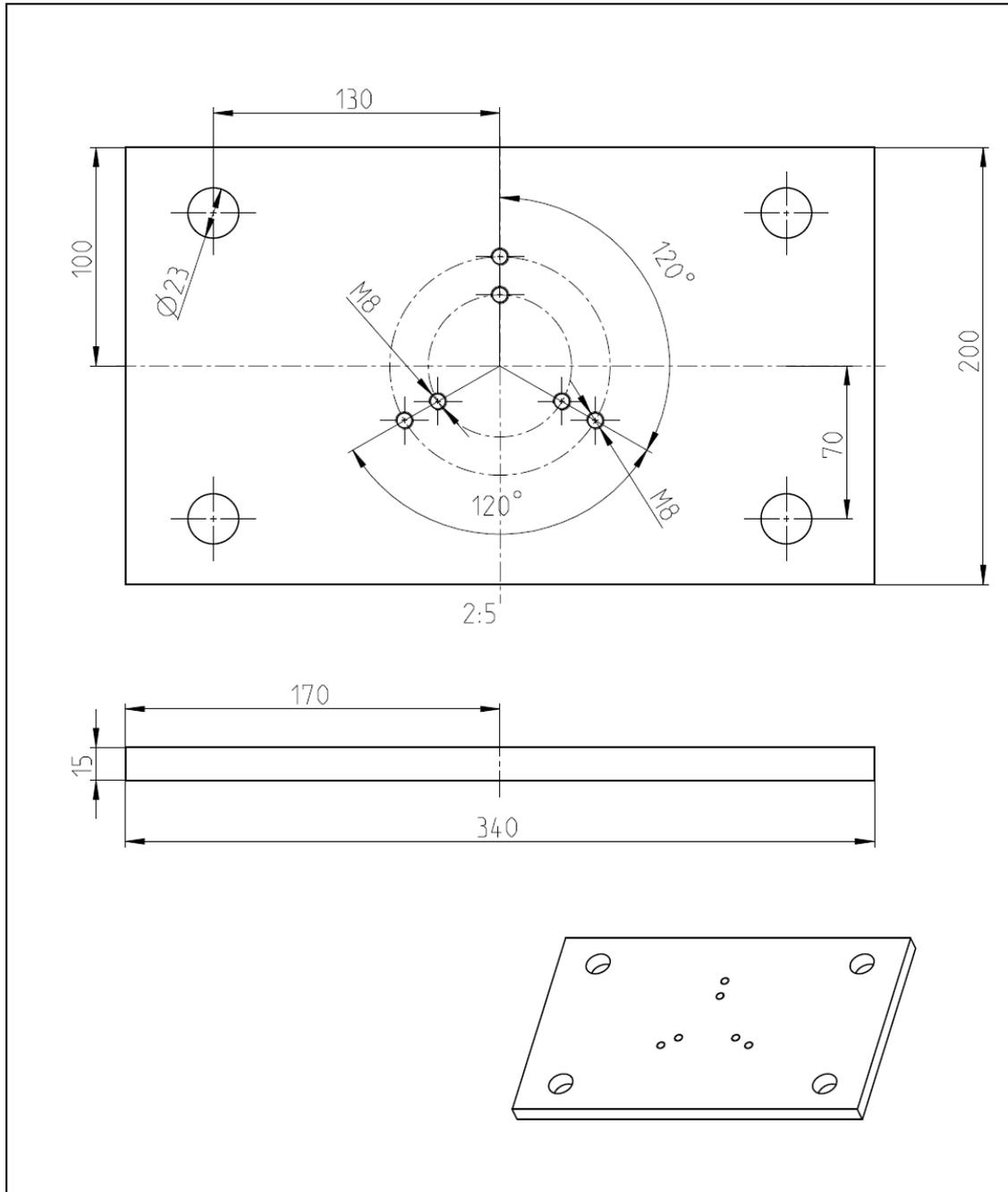
## F. KONSTRUKTIONSZEICHNUNGEN DER PRESSVORRICHTUNG

### a. Unterplatte



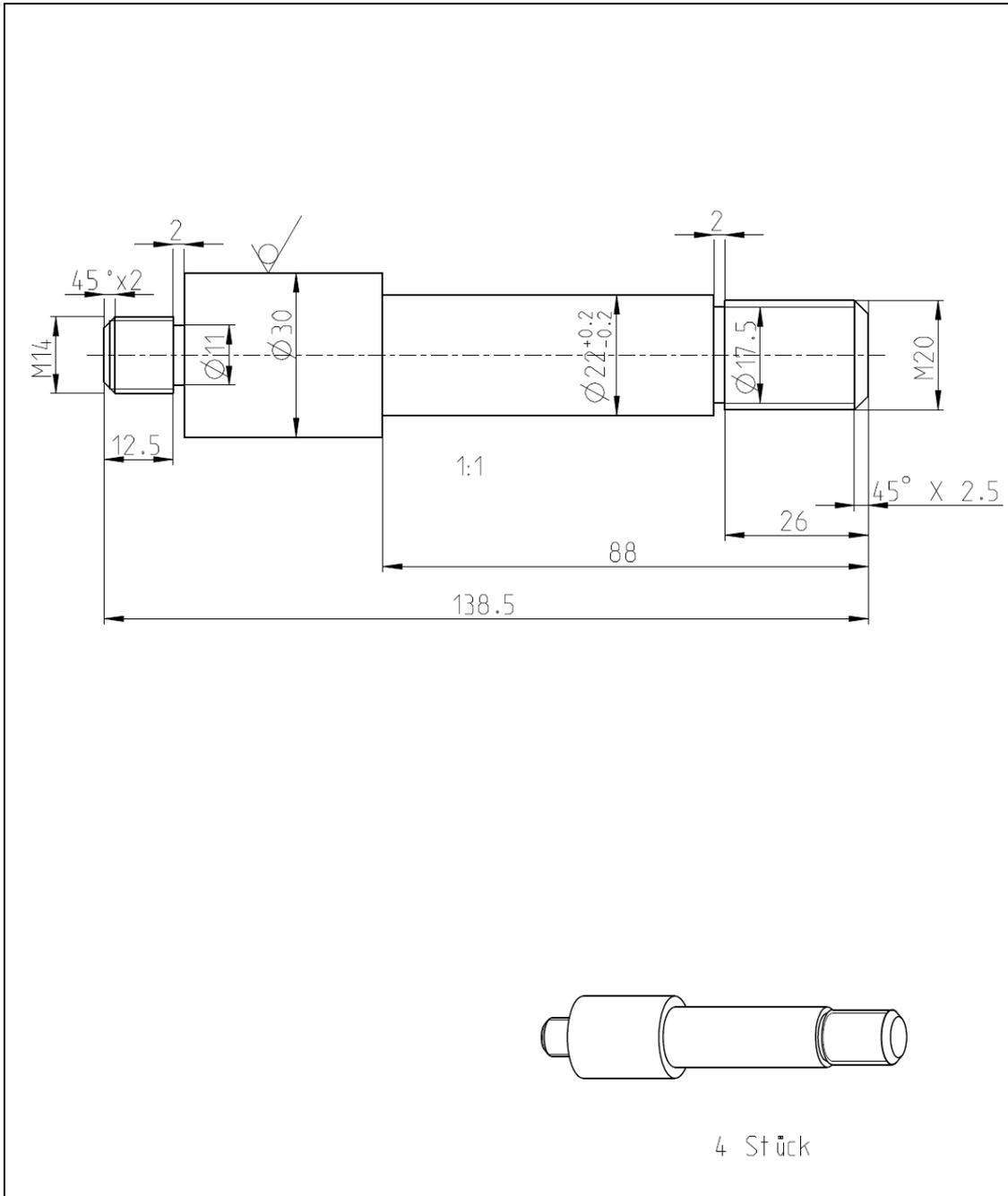
Allgemeintoleranzen ISO 2768 - mK				Name	Datum	Werkstoff:	
Gez. - Tripolt T.				09.01.16	S235JR		
Form- und Lagetol. ISO 1101				Gepr.		Abmessung:	Gewicht: 6.460 kg
				Benennung Unterplatte			
				Zeichnungnr.: 1			M 1:5 Blatt 1 von 1
Zust.	Aenderung	Datum	Name				

b. Oberplatte



Allgemeintoleranzen ISO 2768 - mK				Name	Datum	Werkstoff:	
Gez.				- Tripolt T.	07.01.16	S235JR	
Form- und Lagetol. ISO 1101				Gepr.		Abmessung:	Gewicht: 7.786 kg
				Benennung Oberplatte			
				Zeichnungnr.:			M 1:5
Zust.	Aenderung	Datum	Name	2			Blatt 1 von 1

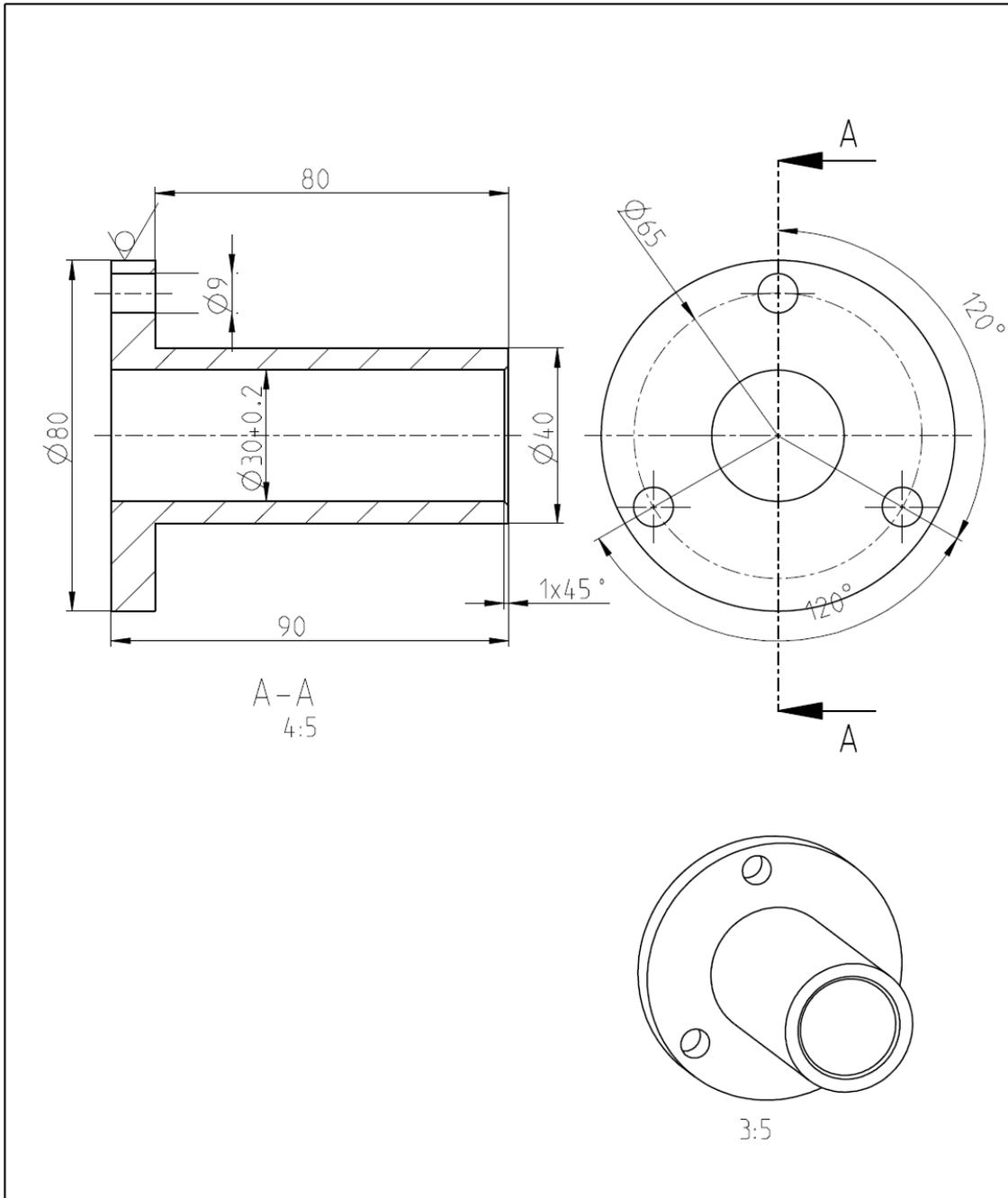
c. Welle



4 Stück

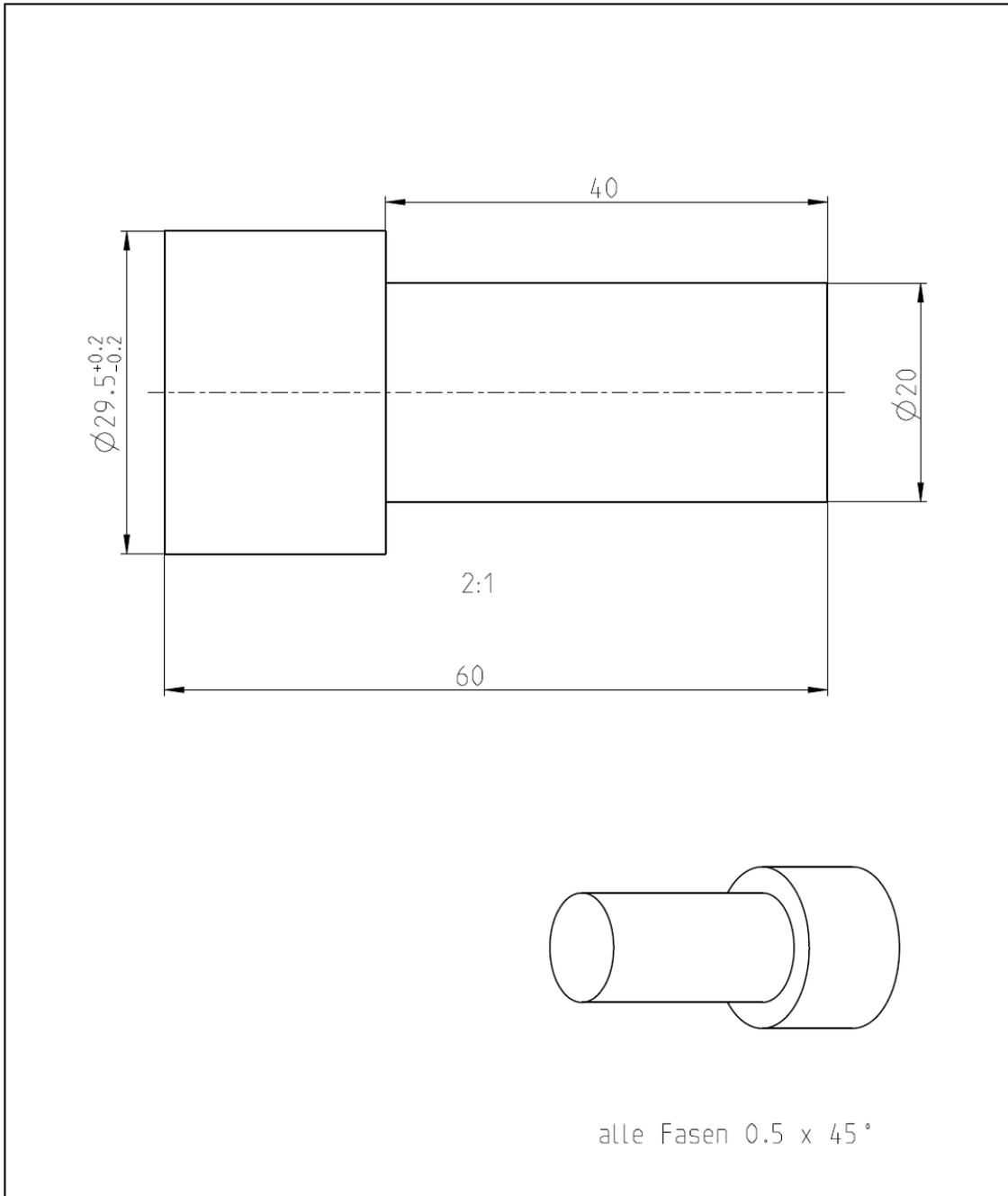
Allgemeintoleranzen ISO 2768 - mK				Name	Datum	Werkstoff:	
				Gez. - Tripolt T.	09.01.16	10S20	
Form- und Lagetol. ISO 1101				Gepr.		Abmessung: -	Gewicht: 0.461 kg
				Benennung Welle			
				Zeichnungnr.: 3			
				M 1:2			
Zust.	Aenderung	Datum	Name	Blatt 1 von 1			

d. Pressform 30 mm



Allgemeintoleranzen ISO 2768 - mK				Name	Datum	Werkstoff:	
Form- und Lagetol. ISO 1101				Gez. Tripolt	09.01.16	10S20	
				Gepr.		Abmessung:	- Gewicht: 0.669 kg
				Benennung Pressform 30mm			
				Zeichnungnr.:			M 1:1
Zust.	Aenderung	Datum	Name	4			Blatt 1 von 1

e. Stempel 30 mm



alle Fasen 0.5 x 45°

Allgemeintoleranzen ISO 2768 - mK				Name	Datum	Werkstoff:	
Gez.				- Tripolt T.	09.01.16	10S20	
Form- und Lagetol. ISO 1101				Gepr.		Abmessung:	Gewicht: 0.000 kg
				Benennung Stempel 30mm			
				Zeichnungnr.: -			
Zust.	Aenderung	Datum	Name	M 1:1			
				Blatt 1 von 1			

## G. 1. VERSUCHSSERIE KW8-13

### a. Vorversuch Endschlamm 1

#### Vorversuch Endschlamm 1

Mixer (130 Watt)		Zement: CEM I 52,5 R		Mischdauer: 60 [s]		Probemenge: (Material+Zement+Wasser)					
Material	Zustand	Feuchte [%]	Probemenge [g]	Zement [%] / [g]	Zugabe H <sub>2</sub> O [%] / [g]	Material [%] / [g]	Granos [%] / [g]	Quarz [%] / [g]			
1a	Endschlamm 1	feucht	300	15% 45	5%	40%	30%	72	30%	72	
1b											
1c											
1d	Endschlamm 1	feucht	300	15% 45	5%	40%	30%	72	30%	72	
1e											
1f											
2a	Endschlamm 1	feucht	500	15% 75	5%	70%	15%	280	15%	60	
2b											
2c											
2d											
2e											
2f											

Festigkeitsprüfung: 25.02.2016									
Feuchte [%]	WZ-Wert	Notiz zum Mischen	Pressen [N]	Notiz zum Pressen	Temperatur [C°]	Aushärtedauer [h]	Festigkeit [MPa]		
10,36%	0,7	super Konsistenz	500	ging gut raus	20	48	7,66*		
			500		40	48	7,66*		
			1000		20	48	7,66*		
9,26%	0,6	super Konsistenz, etwas trockener	1000	ging gut raus	40	48	7,66*		
			2000		20	48	7,66*		
			2000		40	48	9,9		
13,95%	0,9	etwas zu feucht	500		20	48	5,86		
			500		40	48	6,04		
			1000	ging gut raus	20	48	7,66*		
			1000		40	48	n.M		
			2000		20	48	7,66*		
			2000		40	48	7,66*		

\*Maschine riegelt ab

**Mixen:** Grundsätzlich gute Mischeigenschaften auch bei 500g, 10-11% optimale Feuchte, geht eher leicht aus der Form, Trocknet auch nach 25 Minuten nicht auf  
**Fazit: Festigkeit:**

b. Endschlamm 1

Versuche Endschlamm 1

Datum		Mischer (30 Watt)		Probensatzzusammensetzung: (Mischgut/Zement/Wasser)										Temperatur (°C)		Aushaltedauer (h)		Belastung (kN)		Festigkeit (MPa)		Prüfung									
3a	3b	3c	3d	3e	3f	3g	3h	4a	4b	4c	4d	4e	4f	4g	4h	5a	5b	5c	5d	5e	5f	5g	5h	6a	6b	6c	6d	6e	6f	6g	6h
Material		Zustand	Probemenge	Zement [%] / [g]	Zugabe H <sub>2</sub> O [%] / [g]	Material [%] / [g]	Gemoss [%] / [g]	Quarz [%] / [g]	Skamp. [G] / [g]	WZ-Wert	Netz zum Mischen	Pressen [N]	Netz zum Pressen	Temperatur (°C)	Aushaltedauer (h)	Belastung (kN)	Festigkeit (MPa)	Festigkeit (MPa)	Prüfung												
Endschlamm 1		feucht	600	15%	2,5%	70%	15%	74,3	25,1	0,57	zum Schluss etwas trocken bei den letzten 2 etwas Wasser dazu	500 500 500 2000 2000 2000		20 40 20 40 20 40	48 48 120 48 48		61,57 3,973 7 8 4,883 3,644	61,57 3,973 7 8 4,883 3,644	2,3 2,3 5,3 2,3 2,3												
Endschlamm 1		feucht	650	30%	7,5%	70%	15%	60,9	27,3	0,48	etwas feuchter angemischt Zement braucht mehr Wasser und wird auch schneller fest	500 500 2000 2000	nach 4. Pressung weite keine 500N mehr gegangen -> zu trocken	20 40 20 40	48 48 120 48		7,656 28 19 16 12 17 15	7,656 28 19 16 12 17 15	2,3 7,3 7,3 7,3 7,3 7,3 7,3												
Endschlamm 1		feucht	650	15%	5%	40%	30%	156,0	26,1	0,71	optimal	500 500 2000 2000	nach 4. Pressung miken	20 40 20 40	48 48 120 48		7,514 25 15 7,514 7,514	7,514 25 15 7,514 7,514	3,3 7,3 7,3 3,3 3,3												
Endschlamm 1		feucht	650	30%	8,5%	40%	30%	119,9	24,4	0,39	Gut w/ eine Spur zu nass	500 500 2000 2000	etwas zu nass	20 40 20 40	48 48 120 48		15 23 38 14 14 37 40 28 23 25	15 23 38 14 14 37 40 28 23 25	7,3 7,3 7,3 7,3 7,3 7,3 7,3 7,3 7,3 7,3 7,3												

alle mit Belastung am Tunnelbaumstift abgedrückt Schwerkung +1KN

c. Raff-Oxid und FO-Staub

Versuche Raff-Oxid

Zement: CIM 1423 R  
 Mehl: (1,30 Volt) 60 [l]  
 Probierzusammensetzung: Material (Zement/Wasser)

Datum	Material	Problemmenge	Zement [kg]	Zugabe H <sub>2</sub> O [l]	Material [kg]	Granat [kg]	Quarz [kg]	Mischtemp. [°C]	Feuchte [g]	WZ-Wert	Notiz zum Mischen	Pressen [N]	Temperatur [°C]	Aushärtdauer [h]	Feuchtigkeit [MPa]	Prüfung							
02.03.2016	Raff-Oxid	600	15%	90	17,5%	105,0	70%	283,5	15%	60,8	15%	60,8	29	9,72%	0,65	Trocknet sofort auf	500 500 500 2000 2000 2000	Nur eine Probe möglich	20 40 20 40 20 40	48 48 120 120 48 120	4,4 4,4 4,4 4,4 4,4 4,4	6,414 x x x x x	4,3 x x 4,3 x x

Versuche mit Vorkonditionierung mit ungelöschtem Brandkalk CL 90-Q

Verhältnis Kalk/FO-Staub: 50/50 -> 140g Kalk und 140g Raff-Oxid

Zugabe von 50g Wasser zum Starten der Reaktion

Datum	Material	Problemmenge	Zement [kg]	Zugabe H <sub>2</sub> O [l]	Material [kg]	Granat [kg]	Quarz [kg]	Mischtemp. [°C]	Feuchte [g]	WZ-Wert	Notiz zum Mischen	Pressen [N]	Temperatur [°C]	Aushärtdauer [h]	Feuchtigkeit [MPa]	Prüfung	Gewicht [g]	Höhe [mm]	Ständedichte [g/cm <sup>3</sup> ]					
02.03.2016	Raff-Oxid	600	15%	90	17,5%	105,0	35%	144,8	15%	60,8	15%	60,8	33	17,63%	1,18	etwas zu trocken	500 2000 2000 2000	Trocknet nicht mehr so schnell, aber mehr als 5 Proben mit 2000N nicht möglich	20 40 20 40	120 120 120 120	4,4 4,4 4,4 4,4	53,74 54,81 57,19 57,33	38 38 42 41	2,00 2,04 1,98 1,98

Versuche FO Staub

Zement: CIM 1423 R  
 Mehl: (1,30 Volt) 60 [l]  
 Probierzusammensetzung: Material (Zement/Wasser)

Datum	Material	Problemmenge	Zement [kg]	Zugabe H <sub>2</sub> O [l]	Material [kg]	Granat [kg]	Quarz [kg]	Mischtemp. [°C]	Feuchte [g]	WZ-Wert	Notiz zum Mischen	Pressen [N]	Temperatur [°C]	Aushärtdauer [h]	Feuchtigkeit [MPa]	Prüfung	Gewicht [g]	Höhe [mm]	Ständedichte [g/cm <sup>3</sup> ]					
03.03.2016	500	15%	75	16%	80,0	70%	241,5	15%	51,8	15%	51,8	44	17,60%	1,17	gute Konsistenz nach dem Mischen	500 500 500 2000 2000	keine Pressung möglich 1. Probe zerfällt bereits	500 500 500 2000 2000	20 40 20 40	120 120 120 120	4,4 4,4 4,4 4,4	68,24 68,24 68,24 70,94	47 42 43 51	2,05 1,96 2,03 1,97

Versuche mit Vorkonditionierung mit ungelöschtem Brandkalk CL 90-Q

Verhältnis Kalk/FO Staub: 50/50 -> 120g Kalk und 120g FO Staub

Zugabe von 50g Wasser zum Starten der Reaktion

Datum	Material	Problemmenge	Zement [kg]	Zugabe H <sub>2</sub> O [l]	Material [kg]	Granat [kg]	Quarz [kg]	Mischtemp. [°C]	Feuchte [g]	WZ-Wert	Notiz zum Mischen	Pressen [N]	Temperatur [°C]	Aushärtdauer [h]	Feuchtigkeit [MPa]	Prüfung	Gewicht [g]	Höhe [mm]	Ständedichte [g/cm <sup>3</sup> ]					
30.03.2016	500	15%	75	17,5%	87,5	35%	118,1	15%	50,6	15%	50,6	47	22,43%	1,50	zu feucht	500 500 500 2000 2000	trocknet oberflächlich aus aber lässt sich trotzdem verarbeiten, etwas zu nass zum Pressen	500 500 500 2000 2000	20 40 20 40	120 120 120 120	4,4 4,4 4,4 4,4	68,24 68,24 68,24 70,94	47 42 43 51	2,05 1,96 2,03 1,97

d. SO-Flugstaub

Versuche SO Flugstaub

		Zement: CEM I 52,5 R														
		Probierzusammensetzung: (Material/Zement/Wasser)														
		60 [s]														
		Mixer (330 Watt) Mischdauer:														
	Datum	Probemenge [g]	Zement [%]	Zugabe H <sub>2</sub> O [%]	Material [%]	Granos [%]	Quarz [%]	Feuchte [%]	WZ-Wert	Netz zum Mischen	Pressen [N]	Netz zum Pressen	Temperatur [C]	Aushärredauer [h]	Festigkeit [MPa]	Prüfung
8a											500		20	96	4,85	7,3
8b											500		40	96	13	7,3
8c											500		20	288	3,518	15,3
8d		650	15%	10%	70%	341,3	15%	73,1	15%	73,1	500	trocknet sehr langsam, letzte Probe etwas Wasser dazu	40	288	5,558	15,3
8e											2000		20	96	5,125	7,3
8f											2000		40	96	4,039	7,3
8g											2000		20	288	5,353	15,3
8h											2000		40	288	1,596	15,3
9a											500		20	48	2,748	24,3
9b											500		40	48	4,811	24,3
9c											500		20	120	30,3	30,3
9d		700	30%	11%	70%	289,1	15%	62,0	15%	62,0	500		40	120	7,5*	30,3
9e											2000		20	48	4,147	24,3
9f											2000		40	48	6,192	24,3
9g											2000		20	120	7,9	30,3
9h											2000		40	120	7,5*	30,3
10a											500		20	48	0,786	24,3
10b											500		40	48	1,126	24,3
10c											500		20	120	2,405	30,3
10d		700	15%	10%	40%	210,0	30%	157,5	30%	157,5	500		40	120	3,859	30,3
10e											2000		20	48	1,259	24,3
10f											2000		40	48	2,054	24,3
10g											2000		20	120	3,728	30,3
10h											2000		40	120	3,756	30,3
10i											5300		20	48	1,661	24,3
11a											500		20	48	1,603	24,3
11b											500		40	48	2,215	24,3
11c											500		20	120	2,17	30,3
11d		700	30%	10%	40%	168,0	30%	126,0	30%	126,0	500		40	120	3,399	30,3
11e											2000		20	48	2,408	24,3
11f											2000		40	48	2,901	24,3
11g											2000		20	120	3,463	30,3
11h											2000		40	120	2,528	30,3
ohne Zement																
*		300	30%	0	70%	189,0	15%	40,5	15%	40,5	500		20	48	0,511	24,3
*											500		20	120	0,269	30,3
*											500		20	48	0,565	24,3
*											500		20	120	0,517	30,3



b. Raff-Oxid Stery 1&2

Versuche mit Sonder-Raff-Oxid aus Slowakei

Mixer (130 Watt) Zement: CEM I 32,5 R Probenzusammensetzung: (Material+Zement+Wasser)  
 Mischdauer: 60 [s]

Raff-Oxid KK Stery 1

	Datum	Probemenge [g]	Zement [%] / [g]	Zugabe H <sub>2</sub> O [%] / [g]	Material [%] / [g]	Granat [%] / [g]	Quarz [%] / [g]	Mixtemp. [C]	Feuchte [%]	WZ-Wert	Notiz zum Mische	Pressen [N]	Netz zum Pressen	Temperatur [C]	Aushaltedauer [h]	Festigkeit [MPa]	Prüfung
19a												500		20	48	4,01	11,5
19b												500		40	48	4,44	11,5
19c		600	15%	11,0%	66,6	15%	66,6	22,7	11,02%	0,73	keine Reaktion	500	trocknet langsam aus nach 4 Pressungen neu Mischen	20	168	6,29	17,5
19d												500	Festigkeit nimmt Gegenüber der Zeit ab	40	168	8,35	17,5
19e												2000		20	48	3,17	11,5
19f												2000		40	48	1,43	11,5
19g												2000		20	168	3,82	17,5
19h												2000		40	168	2,69	17,5
20a												500		20	48	2,82	12,5
20b												500	Mehr Zement führt anscheinend zur schnellerem Austrocknen -> nach jeder Pressung neu Mischen	40	168	6,52	17,5
20c												500		20	168	10,61	17,5
20d		1000	30%	13,0%	130,0	15%	85,5	26	11,83%	0,39		2000		20	48	12,45	12,5
20e												2000		40	48	5,66	12,5
20f												2000		20	168	8,77	17,5
20g												2000		40	168	9,76	17,5
20h												2000					

Raff-Oxid KK Stery 2

21a												500		20	48	3,69	12,5
21b												500		40	48	3,82	12,5
21c												500	trocknet aus -> nach jeder 2. Pressung neu Mischen mit etwas Wasser	20	168	5,05	17,5
21d		1000	15%	11,0%	110,0	15%	111,0	26,3	10,15%	0,68		500		40	168	2,40	17,5
21e												2000		20	48	1,70	12,5
21f												2000		40	48	1,84	12,5
21g												2000		20	168	1,81	17,5
21h												2000		40	168	2,09	17,5
22a												500		20	48	11,88	12,5
22b												500		40	48	6,37	12,5
22c												500	nach 4. Pressung ... Hart ... Neu Mischen	20	168	11,03	17,5
22d		600	30%	20,0%	120,0	15%	45,0	28	12,68%	0,42	zuerst etwas zu nass dann trocknen	500		40	168	6,37	17,5
22e												2000		20	48	3,82	12,5
22f												2000		40	48	2,69	12,5
22g												2000		20	168	8,49	17,5
22h												2000		40	168	6,37	17,5



## I. MISCHVERSUCHE IN BRIXLEGG

### a. Mischversuche Oktober 2015

#### i. Übersicht

#### Übersicht Misch-/Agglomeriertests Oktober 2015

Okt.15

Rezepturtyp	Stäbe	Stäbe + Schlacken	Schlämme	Schlämme + Schlacken	Stäbe + Schlacken + Rohstoffe	Schlämme + Rohstoffe	Stäbe + Schlämme	Endschlamm 1	Rohstoffe
Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mischen	ok	ok	zu feucht	feucht	ok	ok	ok	feucht	ok
Rezepturanpassung	weglassen von THB- und HF-Staub (Zn-reich) ist positiv Bentonit ok Zement neg Lignin neg	-	wegen Feuchte viel Bindemittel erforderlich Kalkh. ok Zement ok Lignin neg	weglassen von Raff-Oxid, ES1, Ent-Cu ist positiv Kalkh. ok Zement ok Lignin ok	weglassen von THB- und HF-Staub (Zn-reich) ist positiv Zement ok Bentonit ok	weglassen von ES1, Ent-Cu ist positiv Zement ok Bentonit ok	-	Zugabe von Granos UK, FO- und Gi-Staub ist positiv Lignin ok Bentonit ok	-
Bindemittel	Zement neg Lignin neg	W-glas neg Zement neg Lignin neg	Kalkh. ok Zement ok Lignin neg	Kalkh. ok Zement ok Lignin ok	Zement ok Bentonit ok	Zement ok Bentonit ok	Bentonit Ton	Lignin ok Bentonit ok	Zement
Pressen	ok	ok	mit Lignin zu weich	mit Lignin zu weich	ok	Risse im Stein beim Härten	klebrig	mit Lignin zu weich	Risse im Stein beim Härten
Aushärtung	härtet nicht außer Bentonit	härtet nicht	ok	bedingt	ok	bedingt	härtet nicht	bedingt	härtet nicht
Falltest	Feinzerfall	Feinzerfall	Stücke	bedingt Zugabe Raff-Oxid, ES1 und Ent-Cu Schlammmist problemat. Weitere Tests machen	ok	Feinzerfall	Feinzerfall	bedingt	Feinzerfall
Bemerkung	Rezeptur nicht weiterverfolgt n	Rezeptur nicht weiterverfolgt n	weitere Test mit Zugabe von Granos UK	ähnlicher Mix lieferte auch 2013 gute Härten, Falltest bestanden	Steine "schwitzen" Salz aus, Rezeptur nicht weiterverfolgt n	Steine "schwitzen" Salz aus, Rezeptur nicht weiterverfolgt n	Rezeptur nicht weiterverfolgt n	weitere Tests mit Zement, Bentonit und Lignin sowie höheren Bindergehalt	Rezeptur nicht weiterverfolgt n
Anteil vom Einsatz	~6%	~16%	~8%	~18%	~90%			~5%	

ii. Mischversuche

Übersicht Mischversuche EIRICH Oktober 2015

Versuche KW42: 14.-15.10.2015 mit Hr. Bunjaku, Tripolit in KW 43&44 in Eigenregie (Kaneva & Pesl + Leiharbeiter)

rot = schlecht    schwarz = mittelmäßig    grün = ok / gut

Versuch	Datum	Mix-Typ	Mix Rezeptur	Bindemittel	Asseer-zugabe %	sch	füll-dichte	ichte %	wicht grün	Gewicht	wicht trocken	inhöhe	Stehndichte	Stücken kg/dm³	nsistenz	Bemerkung	Geruch	Risse im Stein	Prüfung Kanten	festigkeit per	Faltest aus Zm	Stückigkeit nach Faltest	Faltest	Bestanden
1	14.10.2015	3	Schlämme	25Ka	R01		17,2		1462	1337	82	1,874	pastös	zu weich	geruch	kein Feinzerfall, wenig Stücke	kein Feinzerfall	fest	2x	kein Feinzerfall, wenig Stücke	kein Feinzerfall	kein		
2	14.10.2015	3	Schlämme	10Ka	R01		9,1		1534	1581	81	1,96	pastös	zu weich	geruch	kein Feinzerfall, wenig Stücke	kein Feinzerfall	fest	2x	kein Feinzerfall, wenig Stücke	kein Feinzerfall	kein		
3	14.10.2015	4	Schlämme+Schlacken	10Ka	R01		6,9		1558	1511	67	2,592	krümmelig	gut	geruch	kein Feinzerfall, wenig Stücke	kein Feinzerfall	fest	2x	kein Feinzerfall, wenig Stücke	kein Feinzerfall	kein		
4	14.10.2015	4	Schlämme+Schlacken	10Ka + 10Ze	R01				2056	2000	85	2,705	rieselfähig	sehr gut	geruch	kein Feinzerfall, mehr Stücke	kein Feinzerfall	fest	2x	kein Feinzerfall, mehr Stücke	kein Feinzerfall	kein		
5	14.10.2015	1	Stäube	10Ze	20 R01		18,5		1962	1909	81	2,709	pastös	zu weich	geruch	kein Feinzerfall	kein Feinzerfall	brösel	1x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein		
6	14.10.2015	2	Stäube+Schlacken	5Ze	7,5 R01	1,7	2,2		1986	1957	71	3,168	krümmelig	gut	geruch	kein Feinzerfall	kein Feinzerfall	brösel	1x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein		
7	14.10.2015	1	Stäube	10L1	10 R01	1,4	7		1323	1286	59	2,505	krümmelig	gut	Wasser überdosiert	kein Feinzerfall	kein Feinzerfall	brösel	1x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein		
8	14.10.2015	1	Stäube+Schlacken	10Wg	2,5 R01	1,5	3,2		2286	2235	98	2,621	krümmelig	gut	Wasser überdosiert	kein Feinzerfall	kein Feinzerfall	brösel	1x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein		
9	14.10.2015	2	Stäube+Schlacken intem	10L1	R01	1,4	4,4		2274	2240	96	2,682	rieselfähig	sehr gut	Wasser überdosiert	kein Feinzerfall	kein Feinzerfall	brösel	1x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein		
10	14.10.2015	6	Schlämme + Rohstoffe	5Ze	5 R01	1,8			2273	2248	84	3,076	krümmelig	gut	Wasser überdosiert	kein Feinzerfall	kein Feinzerfall	fest	2x	kein Feinzerfall	kein Feinzerfall	kein		
11	15.10.2015	2	Stäube+ Schlacken	10Ze	7,5 R09	1,8	9,2	2152	2088	77	3,117	krümmelig	gut	Wasser überdosiert	kein Feinzerfall	kein Feinzerfall	brösel	1x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein			
12	15.10.2015	5	Schlämme intem + Rohstoffe	10Ze	5 R01	1,6	7,2	2229	2140	80	3,075	rieselfähig	sehr gut	Wasser überdosiert	kein Feinzerfall	kein Feinzerfall	brösel	2x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein			
13	15.10.2015	6	Schlämme + Schlacken + Rohstoffe	10Ze	7,5 R01	1,8	4,5	2187	2158	78	3,18	rieselfähig	sehr gut	Wasser überdosiert	kein Feinzerfall	kein Feinzerfall	brösel	2x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein			
14	15.10.2015	6	Schlämme + Rohstoffe	10Ze	5 R09	1,6	11,1	3494	2892	110	3,022	krümmelig	gut	Wasser überdosiert	kein Feinzerfall	kein Feinzerfall	brösel	1x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein			
15	15.10.2015	6	Schlämme + Rohstoffe	5Ze + 5 Be	5 R01	1,4	6	2144	2081	90	2,658	rieselfähig	sehr gut	Wasser überdosiert	kein Feinzerfall	kein Feinzerfall	brösel	2x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein			
16	15.10.2015	5	Stäube + Schlacken + Rohstoffe	10Ze	7 R09	1,7	9	2161	2081	117		rieselfähig	sehr gut	Wasser überdosiert	kein Feinzerfall	kein Feinzerfall	brösel	2x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein			
17	15.10.2015	4R	Mix 4 + 20% Raff-Oxid	10Ze	R01	1,5	9,6	2346	2194	91	2,771	rieselfähig	sehr gut	Wasser überdosiert	kein Feinzerfall	kein Feinzerfall	brösel	2x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein			
18a	15.10.2015	4R	Mix 4 + 20% Raff-Oxid	10Ze	R09	1,5			115		krümmelig	gut	Wasser überdosiert	kein Feinzerfall	kein Feinzerfall	brösel	2x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein				
18b	15.10.2015	4R	Mix 4 + 20% Raff-Oxid	10Ze + 3Ka	R09	1,5	9,3		78		rieselfähig	sehr gut	Wasser überdosiert	kein Feinzerfall	kein Feinzerfall	brösel	2x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein				
18c	15.10.2015	4R	Mix 4 + 20% Raff-Oxid	10Ze + 5Ka	R09	1,5	2988		2466	104	2,725	rieselfähig	sehr gut	Wasser überdosiert	kein Feinzerfall	kein Feinzerfall	brösel	2x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein			
19	15.10.2015	5	Stäube + Schlacken + Rohstoffe	5Ze + 5 Be	10 R01	1,3	7,9	2363	2269	91	2,866	krümmelig	gut	Wasser überdosiert	kein Feinzerfall	kein Feinzerfall	brösel	2x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein			
20a	19.10.2015	1M	Mix 1 ohne TBH/HF-Staub	10Ze	19 R01		11,8	1729	1629	72	2,601	krümmelig	klebrig	Trennmittel erforderlich	kein Feinzerfall	kein Feinzerfall	brösel	1x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein			
20b	19.10.2015	1M	Mix 1 ohne TBH/HF-Staub	10Be	15 R01		12,4	2153	1817	100	2,089	krümmelig	gut	Wasser überdosiert	kein Feinzerfall	kein Feinzerfall	brösel	2x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein			
20c	19.10.2015	1M	Mix 1 ohne TBH/HF-Staub	10Ze + 10Be	20 R01		12,9	1365	1272	62	2,358	rieselfähig	gut	Wasser überdosiert	kein Feinzerfall	kein Feinzerfall	brösel	2x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein			
21	19.10.2015	5M	Mix 5 ohne TBH/HF-Staub	10Ze	10 H			2153	2052	75	3,345	rieselfähig	gut	Wasser überdosiert	kein Feinzerfall	kein Feinzerfall	brösel	2x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein			
22	23.10.2015	*	Genos Referenzmix	12Ze	8,6 H				1918	71	3,105	krümmelig	gut	Wasser überdosiert	kein Feinzerfall	kein Feinzerfall	brösel	2x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein			
23	28.10.2015	7	Stäube + Schlämme ohne ES3/EntCu	159e	17,5 R01		22,7	1403	1198	73	1,886	krümmelig	klebrig	Wasser überdosiert	kein Feinzerfall	kein Feinzerfall	brösel	1x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein			
24	28.10.2015	7	Stäube + Schlämme ohne ES3/EntCu	157G	5 R01		13,9	2093	1899	94	2,322	krümmelig	gut	Wasser überdosiert	kein Feinzerfall	kein Feinzerfall	brösel	1x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein			
25	28.10.2015	4M	Mix 4 ohne ES3/EntCu + Raff-Oxid	10TG	R01		6,8	2415	2276	93	2,813	krümmelig	gut	Wasser überdosiert	kein Feinzerfall	kein Feinzerfall	brösel	1x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein			
26	28.10.2015	4M	Mix 4 ohne ES3/EntCu + Raff-Oxid	10Ze	R01		6,7	2556	2410	103	2,689	rieselfähig	gut	Wasser überdosiert	kein Feinzerfall	kein Feinzerfall	brösel	1x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein			
27	28.10.2015	6M	Mix 6 ohne ES3/EntCu	10Ze	5 R01		7,5	2789	2654	102	2,991	rieselfähig	gut	Wasser überdosiert	kein Feinzerfall	kein Feinzerfall	brösel	1x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein			
28	29.10.2015	8	ES1+GranosUK+TWG-Staub	10Be	17,5 R01		14,0	1876	1690	77	2,523	krümmelig	gut	Wasser überdosiert	kein Feinzerfall	kein Feinzerfall	brösel	1x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein			
29	29.10.2015	8	ES1+GranosUK+TWG-Staub	10L1	R01		9,0	1936	1798	72	2,87	krümmelig	klebrig	Wasser überdosiert	kein Feinzerfall	kein Feinzerfall	brösel	1x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein			
30	29.10.2015	4M	Mix 4 ohne EntCu	10Be	3,75 R01		14,2	1980	1790	80	2,572	krümmelig	gut	Wasser überdosiert	kein Feinzerfall	kein Feinzerfall	brösel	1x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein			
31	29.10.2015	4M	Mix 4 ohne EntCu	5L1 + 5Ka	R01		13,8	1902	1774	72	2,832	pastös	zu weich	geruch	kein Feinzerfall, wenig Stücke	kein Feinzerfall	brösel	1x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein			
32	30.10.2015	8M	Mix 8 + FO-Staub	159e	15 R01		11,0	2140	1899	88	2,48	krümmelig	gut	Wasser überdosiert	kein Feinzerfall	kein Feinzerfall	brösel	1x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein			
33	30.10.2015	8M	Mix 8 + FO-Staub	10L1	3,75 R01		11,9	1800	1670	67	2,865	pastös	zu weich	geruch	kein Feinzerfall, wenig Stücke	kein Feinzerfall	brösel	1x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein			
34	30.10.2015	8M	Mix 8 (ohne TWG) + CuFe-Mat + Koks	10Be	10 R01		11,4	2302	2083	98	2,443	pastös	zu weich	geruch	kein Feinzerfall, mehr Stücke	kein Feinzerfall	brösel	1x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein			
35	30.10.2015	8M	Mix 8 (ohne TWG) + CuFe-Mat + Koks	10TG + 5L1	R01		6,8	2324	2213	92	2,765	pastös	zu weich	geruch	kein Feinzerfall, mehr Stücke	kein Feinzerfall	brösel	1x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein			
36	30.10.2015	9	nur Rohstoffe	10Ze	10 R01		13,2	2000	1859	80	2,671	krümmelig	gut	Wasser überdosiert	kein Feinzerfall	kein Feinzerfall	brösel	1x	viel Feinzerfall	viel Feinzerfall	kein			

Bindemittel:  
 Ze Zement / Fa. Rohrdorfer  
 Ka Kalkhydrat / Fa. Schretter  
 Be Bentonit / Fa. S&B Minerals  
 Wg Wasserglas / Fa. Erlich  
 Li Ligninsulfonat / Fa. Lignotech-Borregard  
 To Ton / Fa. Silmeta  
 TG Ton/Gestüppemasse

Misch-/Pressverhalten:  
 pastös = zu weich  
 krümmelig = ok  
 rieselfähig = ideal

Note Zerfallklassen:  
 5 viel Feinzerfall = sehr schlecht  
 4 Feinzerfall = schlecht  
 3 kein Feinzerfall, mehr Stücke = mittelmäßig  
 2 kein Feinzerfall, wenig Stücke = gut  
 1 kein Zerfall = sehr gut



## b. Mischversuche November 2015

## i. Übersicht

## Übersicht Misch-/Agglomeriertests November 2015

Rezepturtyp	Stäube	Schlämme	Schlämme + Schlacken	Stäube + Schlacken + Rohstoffe	Schlämme + Rohstoffe	Stäube + Schlämme	Endschlamm 1 Rezepturen	Sonstige
Nr.	1	3	4	5	6	7	8	-
Mischen	ok	Einstellung Konsistenz schwierig	ok	ok, nicht zu trocken W/Z = 0,5-0,7	ok	ok, klebrig	feucht	ok
Rezepturanpassung	Zugabe inerten Aggregat (Koks fein) = pos	wegen Feuchte ist Zugabe von Branntkalk bzw. Trockenener erforderlich		weglassen von THB- und HF-Staub (Zn-reich) ist positiv	weglassen von ES1, Ent Cu ist positiv		Zugabe von Aggregat (Schlacke, Granos, Koks) positiv	Granos, Ofenbruch, Koks, Katalysator
Bindemittel (BM) (F) Verflüssiger (T) Trockner	Cem 1 ok	CaO max.10% (T) Cem 1 ok Lignin ok (F)	15-20% Zement bindet zu wenig ab	Cem 1 ok (≥10%) Lignin ok (F)	14-18% Zement bindet zu wenig ab	30% Cem 1 ok	Cem 1 ok (≥10%) Lignin ok (F)	Cem 1 ok
Pressen	ohne Aggregat klebrig	ohne Aggregat klebrig	ok	ok	ok	ohne Aggregat klebrig		ok
Aushärtung	ok ohne Aggregatzugabe viel BM erf.	ok bei >10% CaO Risse möglich	zu gering	ok	zu gering, Risse im Stein	viel BM erforderlich	Störungen bei Zugabe von Katalysator	ok
Steindichte (kg/dm <sup>3</sup> )	2,2-2,5	2,0-2,4	2,6-2,8	3,0-3,2	2,7-3,0	2,3-2,5	2,0-2,7	Koks 1,2 Schlacke 3,1
Falltest	ok	bedingt	Zefall	ok	Zefall	bedingt	ok	ok
Bemerkung	Zugabe inerten Aggregat (Koks fein) wird empfohlen	ES2 fördert Risse, Störeinflüsse untersuchen	Störeinfluss muss genauer untersucht werden	wie schon auch bei vorigen Test, Falltest bestanden	Steine "schwitzen" Salz aus, Rezeptur nicht weiterverfolgen	Störeinfluss muss genauer untersucht werden	alternative Steine für KO-Sn-reich mit Koks	Sonderrezepte und Referenzen
Anteil vom Einsatz	~6%	~8%	~18%	~90%	~90%	14%	~5%	

ii. Mischversuche

Übersicht Mischversuche November 2015

KW.47 Kaneva+Trippolt

rot = schlecht schwarz = mittelmäßig grün = ok / gut

Versuch	Num	Mix-Typ	Mix Rezeptur	Bindemittel	Wasser-zugabe %	schwer	nüt-dichte	uchte %	wicht grün	Gewicht	wicht trocken	Stehhöhe	Stehdichte kg/dm³	nsistenz	ss-barkeit	Bemerkung	Geruch	Risse im Stein	Prüfung Kanten- Festigkeit per	Falltest aus 2m	Stückigkeit nach Falltest	Falltest Bestanden
37	17.11.2015	8	ES1+GranosUK+TWG-Staub	10Ze+												zu feucht	Amoniak von ES1	nein	fest	2x	kein Zerfall	ja
38	17.11.2015	8	ES1+GranosUK+TWG-Staub	15Ze+												Mischung nicht homogen (ES1 Klumpen)	Amoniak von ES1	nein	brösel	1x	kein Feinzerfall, mehr Stücke	nein
39	17.11.2015	8M	Mix 8 + FO-Staub	15Ze+												zu trocken	Amoniak von ES1	nein	brösel	1x	Feinzerfall	nein
40	17.11.2015	8M	Mix 8 + FO-Staub	20Ze+												klebt in Form	Amoniak von ES1	nein	fest	2x	kein Zerfall	ja
41	18.11.2015	8	Mix 8 + FO-Staub	15Ze/S												gut	Amoniak von ES1	ja	brösel	1x	Feinzerfall	nein
42	18.11.2015	3	Schlämme	15Ze+/15Bka												zu weich zu feucht		ja	fest	1	kein Feinzerfall, wenig Stücke	nein
43	18.11.2015	3	Schlämme	20Ze+/20Bka												klebt in Form, bricht beim ausschalen, Brüden, wird heiß		ja	fest	kein Probekörper für Test	nein	
44	18.11.2015	3M	Schlämme+SO-Flugstaub	15Ze+/10Bka												zu weich		ja	fest	2x	kein Zerfall	ja
45	18.11.2015	3M	Schlämme+SO-Flugstaub	20Ze+/10Bka												klebt in Form		nein	fest	1x	2 Stücke	nein
46	18.11.2015	5M	Mix 5 ohne THB/HF-Staub	14Ze+												riesefähig		nein	fest	2x	kein Zerfall	ja
47	18.11.2015	5M	Mix 5 ohne THB/HF-Staub	18Ze+												riesefähig		nein	fest	2x	kein Zerfall	ja
48	19.11.2015	5M	Mix 5 ohne THB/HF-Staub/Raif + Kat.	14Ze+												zu trocken		schlecht	brösel	1x	Feinzerfall	nein
49	19.11.2015	5M	Mix 5 ohne THB/HF-Staub/Raif + Kat.	14Ze+												krümelig	teils/teil	schlechter	brösel	1x	kein Zerfall (trotz Riss)	ja
50	19.11.2015	4M	Mix 4 ohne EntCu	15Ze+												Mischung nicht homogen	Amoniak von ES1	nein	fest	1x	kein Feinzerfall, wenig Stücke	nein
51	19.11.2015	4M	Mix 4 ohne EntCu	20Ze+												etwas zu feucht	Amoniak von ES1	nein	fest	1x	kein Feinzerfall, mehr Stücke	nein
52	19.11.2015	8M	Mix 8 statt Granos Katalysatoren	10Ze+												zu trocken	Amoniak von ES1	nein	fest	1x	kein Feinzerfall, mehr Stücke	nein
53	19.11.2015	8M	Mix 8 statt Granos Katalysatoren	15Ze+/5L1												krümelig	Amoniak von ES1	ja	fest	2x	kein Zerfall	ja
54	19.11.2015	8M	Mix 8 statt Granos Feinkoks	15Ze+												riesefähig	Amoniak von ES1	nein	fest	2x	kein Zerfall	ja
55	20.11.2015	7	Stäube + Schlämme	30Ze+												riesefähig	Amoniak von ES1	nein	fest	2x	kein Zerfall	ja
56	20.11.2015	1	Stäube	30Ze+/5 L1												riesefähig	Amoniak von ES1	kleine	fest	2x	kein Zerfall	ja
57	20.11.2015	8C	ES1(25%)+Kat.(25%)+Koks(50%)	20Ze+												zu trocken	Katalysatoren dehydrieren, Probekörper beim ausschalen zerfallen	kleine	fest	1x	kein Feinzerfall, wenig Stücke	nein

Bindemittel:

- Ze Zement CEM II 42,5 N / Fa. Rohrdorfer
- Ze+ Zement CEM I 52,5 R / Fa. Leube
- Ze/S Sonder-Zement MB1 / Fa. Rohrdorfer
- Ka Kaikhydrat / Fa. Schretter
- Be Bentonit / Fa. S&B Minerals
- Wg Wasserglas / Fa. Erich
- Li Ligninsulfonat / Fa. Lignotech-Borregaard
- To Ton / Fa. SImeta
- TG Ton/Gestüppemasse

Misch-/Pressverhalten:

- pastös = zu weich
- krümelig = ok
- riesefähig = ideal

Note Zerfallsklassen:

- 5 viel Feinzerfall = sehr schlecht
- 4 Feinzerfall = schlecht
- 3 kein Feinzerfall, mehr Stücke = mittelmäßig
- 2 kein Feinzerfall, wenig Stücke = gut
- 1 kein Zerfall = sehr gut

iii. Rezepturen

Rezepturen für Misch- und Agglomerationsversuche November 2015

Erstellt/Aktualisiert: Pest, 17.11.2015

Versuche ab 17.11.2015

Bindemittel		V50/152a+	V38/152a+	V38/152e+	V43/152a+	V49/202a+		
Bindemittel		V61/152a+	V41/152e/S					
Mix Nr.		4 mod/3	8	8 mod 1	3	3 mod	5 mod	5 mod
Menge kg		4	4	4	4	4		
Wiegeliste Labormischer		Schlämme + Trockenes		ES1 Spezial	Schlämme	Schlämme ES1 +Staub	Trockenes + Externe	Trockenes Externe -Raif Oxid
Kreislaufmaterial Box	Menge t/a Quelle	% Feuchte	4600	1100	1450	1850	2300	
A1	Endschlamm 1 550 EMA	16	0,478	2,000	1,517	1,189		
A2	Endschlamm 2 650 EMA	35	0,565			1,405	1,130	
A3	Ent-Cu Schlamm 250 Ent-Cu	35			0,541	0,435		
A4	Hydroxidschlamm 250 NA	30	0,217		0,641	0,435		
A5	Sulfidschlamm 100 NA	30	0,087		0,216	0,174		
A6	ARA+Absetzbecken Schlamm 50 ARA	30	0,043		0,108	0,087		
A7	Gießereistaub 50 Gießerei	0		0,182	0,138		0,018	0,018
A8	Bemusterungstaub/rückstände 50 Bemusterung	0						
A9	Ofenbruch 500 Schmelzhütte	1					0,160	0,160
A10	Sonstige Rückstände 100 Säurebetriebe	30						
A11	Sonstige Rückstände 50 Elektrolyse	20						
A12	Sonstige Rückstände 50 Gießerei	0						
A13	Hallenfilterstaub 80 Hallenfilter	0						
A14	FO Staub 350 Flammofen	0		0,966			0,111	0,111
A15	SO Flugstaub 1000 Schachtofen	0				1,739	0,318	0,318
<b>Summe</b>	<b>4080</b> davon ca. 1500 to trocken							
Kreislaufmaterial Schlacke		Menge t/a Quelle						
B1	Unterkorn Granos+Filterstaub 500 Granosanlage	0	0,435	1,818	1,379		0,159	0,159
B2	Überkorn Granos **) 500 Granosanlage	0	0,435				0,159	0,159
B3	Feinanteil Schlackenhandlung 2000 Materialvorbereitung, Brecher	3	1,739				0,637	0,637
<b>Summe Schlackenkreislauf</b>	<b>3000</b> überwiegend trocken							
Rohstoffeinkauf		Menge t/a Quelle						
C1	feinkörnige Rückstände 5000	5						
C2	Rohstoffe <15mm gesiebt 5800	3						
	Raif-Oxid						1,032	
	Cu-Fe-Granulat						0,344	0,344
	Fe-Brikett fein						0,344	0,344
	Cu-Fe Mat fein						1,032	1,032
	SO Shredder						0,516	0,890
	Ms-Späne							0,172
	Cu-Häcksel mit Kunststoff							0,172
	Koks fein/Katalysatoren			statt Granos	statt Granos		0,172	0,516
<b>Summe</b>			<b>4,000</b>	<b>4,000</b>	<b>4,000</b>	<b>4,000</b>	<b>4,000</b>	<b>5,000</b>

Erstellt/Aktualisiert: Pest, 20.11.2015

Versuche ab 19.11.2015

Bindemittel		V50/152a+	V52/102a+	V63/202a+	V57/202a+		
Bindemittel		V61/152a+		V64/202a+			
Mix Nr.		7	8	8 mod 1	3 C		
Menge kg		4	4	4	2		
Wiegeliste Labormischer		Stäube+ Schlämme		ES1 Spezial	Schlämme ES1 +Staub	Stäube	hoch-C haltig
Kreislaufmaterial Box	Menge t/a Quelle	% Feuchte	3380	1100	1450	1850	2300
A1	Endschlamm 1 550 EMA	16	0,051	2,000	1,517	0,256	
A2	Endschlamm 2 650 EMA	35	0,769		0,703	0,565	
A3	Ent-Cu Schlamm 250 Ent-Cu	35	0,296		0,270	0,217	
A4	Hydroxidschlamm 250 NA	30	0,296		0,270	0,217	
A5	Sulfidschlamm 100 NA	30	0,118		0,108	0,087	
A6	ARA+Absetzbecken Schlamm 50 ARA	30	0,059		0,054	0,043	
A7	Gießereistaub 50 Gießerei	0	0,059	0,182	0,138		0,131
A8	Bemusterungstaub/rückstände 50 Bemusterung	0	0,059				0,131
A9	Ofenbruch 500 Schmelzhütte	1					
A10	Sonstige Rückstände 100 Säurebetriebe	30					
A11	Sonstige Rückstände 50 Elektrolyse	20					
A12	Sonstige Rückstände 50 Gießerei	0					
A13	Hallenfilterstaub 80 Hallenfilter	0	0,095				0,209
A14	FO Staub 350 Flammofen	0	0,414	0,966			0,915
A15	SO Flugstaub 1000 Schachtofen	0	1,183			0,870	2,614
<b>Summe</b>	<b>4080</b> davon ca. 1500 to trocken						
Kreislaufmaterial Schlacke		Menge t/a Quelle					
B1	Unterkorn Granos+Filterstaub 500 Granosanlage	0		1,818			
B2	Überkorn Granos **) 500 Granosanlage	0					
B3	Feinanteil Schlackenhandlung 2000 Materialvorbereitung, Brecher	3					
<b>Summe Schlackenkreislauf</b>	<b>3000</b> überwiegend trocken						
Rohstoffeinkauf		Menge t/a Quelle					
C1	feinkörnige Rückstände 5000	5					
C2	Rohstoffe <15mm gesiebt 5800	3					
	Raif-Oxid						0,800
	Cu-Fe-Granulat						0,400
	Fe-Brikett fein						0,200
	Cu-Fe Mat fein						1,000
	SO Shredder						0,800
	Ms-Späne						0,200
	Cu-Häcksel mit Kunststoff						0,200
	Koks fein / Katalysatoren		1,800	1,000	4,000	1,000	0,800
<b>Summe</b>			<b>4,000</b>	<b>4,000</b>	<b>4,000</b>	<b>4,000</b>	<b>4,000</b>

Erstellt/Aktualisiert: Pest, 25.11.2015

Versuche ab 23.11.2015

Bindemittel		V69/202a+	V73/142a+	V75/142a+	V76/182a+	V76/182a+
Bindemittel		V73/142a+	V74/182a+	V76/182a+		
Mix Nr.		1 mod	7 mod	Koks	Kat	6 mod
Menge kg		2,5	2,5			6 mod
Wiegeliste Labormischer		Stäube		Reduktionsmittel	Katalysator + Schlacke	Rohstoffe + ES1
Kreislaufmaterial Box	Menge t/a Quelle	% Feuchte	1830	2830		
A1	Endschlamm 1 550 EMA	16				1,000
A2	Endschlamm 2 650 EMA	35	0,574			0,700
A3	Ent-Cu Schlamm 250 Ent-Cu	35	0,221			0,700
A4	Hydroxidschlamm 250 NA	30	0,221			1,000
A5	Sulfidschlamm 100 NA	30	0,088			1,000
A6	ARA+Absetzbecken Schlamm 50 ARA	30	0,044			1,000
A7	Gießereistaub 50 Gießerei	0	0,082	0,044		
A8	Bemusterungstaub/rückstände 50 Bemusterung	0	0,082	0,044		
A9	Ofenbruch 500 Schmelzhütte	1	0,500	0,500	1,000	
A10	Sonstige Rückstände 100 Säurebetriebe	30				
A11	Sonstige Rückstände 50 Elektrolyse	20				
A12	Sonstige Rückstände 50 Gießerei	0				
A13	Hallenfilterstaub 80 Hallenfilter	0	0,131	0,071		
A14	FO Staub 350 Flammofen	0	0,572	0,309		
A15	SO Flugstaub 1000 Schachtofen	0	1,634	0,883		
<b>Summe</b>	<b>4080</b> davon ca. 1500 to trocken					
Kreislaufmaterial Schlacke		Menge t/a Quelle				
B1	Unterkorn Granos+Filterstaub 500 Granosanlage	0				
B2	Überkorn Granos **) 500 Granosanlage	0			1,000	
B3	Feinanteil Schlackenhandlung 2000 Materialvorbereitung, Brecher	3			1,000	
<b>Summe Schlackenkreislauf</b>	<b>3000</b> überwiegend trocken					
Rohstoffeinkauf		Menge t/a Quelle				
C1	feinkörnige Rückstände 5000	5				
C2	Rohstoffe <15mm gesiebt 5800	3				
	Raif-Oxid					0,800
	Cu-Fe-Granulat					0,400
	Fe-Brikett fein					0,200
	Cu-Fe Mat fein					1,000
	SO Shredder					0,800
	Ms-Späne					0,200
	Cu-Häcksel mit Kunststoff					0,200
	Koks fein / Katalysatoren		1,800	1,000	4,000	1,000
<b>Summe</b>			<b>4,000</b>	<b>4,000</b>	<b>4,000</b>	<b>4,600</b>



## ii. Rezepturen

### Rezepturen für Misch- und Agglomerationsversuche Jänner 2016

Erstellt/Aktualisiert: Pest, 08.01.2016  
Änderungen geb. hinterlegt

Versuche ab 11.01.2016

Bündelmittel						V2-142a+	
Bündelmittel						V3-142a+	
Bündelmittel						V4-142a+	
Bündelmittel	V20-102a+					V6-142a+	
Bündelmittel	V21-102a+			V26-102a+w / 2 LL		V8-142a+w	V7-142a+
Bündelmittel	V27-102a+w / 1 LL			V30-102a+w / 1 LL	V32-102a+w	V30-102a+w	V9-102a+
Bündelmittel	V28-102a+w / 1 LL			V32-202a+w / 3 LL	V33-202a+w	V37-142a	V9-142a+ / 1 LL
Mix Nr.	8	8 mod 1	8 mod 2	8 mod 3	8 mod C	5 mod 1	5 mod 2
Menge kg	4	4	5	4	4		
Wiegliste Labormischer	ES1 Spezial	ES1 Spezial	ES1 Spezial + Koks	ES1 Spezial + Schlacke + Koks	hoch-C haltig	Thickenes + Externe	Thickenes + Externe + Raif Oxid
Rezeptsamaterial Box	Menge	ts	Quelle	% Feuchte			
A1	Endschlamm 1	650	EMA	16			
A2	Endschlamm 2	650	EMA	35			
A3	Ent-Cu Schlamm	250	Ent-Cu	35			
A4	Hydroxid Schlamm	250	NA	30			
A5	Sulfid Schlamm	100	NA	30			
A6	ARA-Absetzbecken Schlamm	50	ARA	30			
A7	Gießereistaub	50	Gießerei	0	0,182	0,138	0,138
A8	Bemustertungsstaub/rückstände	50	Bemustertung	0			
A9	Obenbruch	500	Schmelzhütte	1			
A10	Sonstige Rückstände	100	Säurebetriebe	30			0,180
A11	Sonstige Rückstände	50	Elektrolyse	20			0,150
A12	Sonstige Rückstände	50	Gießerei	0			
A13	Hallenfilterstaub	80	Hallenfilter	0			
A14	FO Staub	350	Flammofen	0	0,968	0,968	0,603
A15	SO Flugsstaub	1000	Schichtofen	0			0,111
Summe	4880	davon ca. 1500 to trocken					0,318
Rezeptsamaterial Schlacke	Menge	ts	Quelle	% Feuchte			
B1	Unterkom Grano-Fillierstaub	500	Granoanlage	0	1,818	1,379	
B2	Überkom Grano **)	500	Granoanlage	0			0,199
B3	Fermentier Schlackenhandlung	2000	Materialvorbereitung, Brecher	3			0,159
Summe Schlackenrücklauf	3000	überwiegend trocken				0,003	0,357
Rohstoffe	Menge	ts	Quelle	% Feuchte			
C1	feinkörnige Rückstände	5000		5			
C2	Rohstoffe < 15mm gesiebt	5800		3			
	Raif-Oxid					1,032	30%
	Cu-Fe-Granulat					0,344	10%
	Fe-Brikett fein					0,344	10%
	Cu-Fe-Mat fein					1,032	30%
	SO-Schredder					0,516	15%
	Ms-Späne grob					0,172	5%
	Cu-Häcksel mit Kunststoff					0,172	5%
	Ms-Späne fein						
	Cu-Häcksel drahtig						
	Eisenspäne						
	Fe-Stanz mit Kunststoff						
	Katalysatoren						
	Koks fein		stätt Grano		1,379	1,724	
Summe	4.000	4.000	4.000	5.000	4.000	5.000	5.000

Erstellt/Aktualisiert: Pest, Änderungen geb. hinterlegt

Versuche ab 11.01.2016

Bündelmittel							
Bündelmittel							
Bündelmittel							
Bündelmittel	V11-202a+			V1-202a+		V16-202a+ / 2 S. Blau	
Bündelmittel	V12-202a+			V17-202a+		V16-202a+	
Bündelmittel	V13-202a+ / 1 LL	V26-102a+w		V18-202a+	V25-202a+w	V23-202a+w	
Bündelmittel	V14-202a+ / 2 LL	V26-202a+w	V19-202a+	V25-202a+w	V24-202a+w	V22-152a+w	
Mix Nr.	7	7 mod	3	3 mod	3 C	3 mod C	4 mod 3
Menge kg	4	2,5	4	3,5	2,5	2,5	4
Wiegliste Labormischer	Stäube	Stäube + Schlamm	Schlamm	Schlamm + ES1 + Staub	Schlamm	Schlamm + ES1 + Staub	Schlamm + Truckenes
Rezeptsamaterial Box	Menge	ts	Quelle	% Feuchte			
A1	Endschlamm 1	650	EMA	16	0,621	1,109	
A2	Endschlamm 2	650	EMA	35	0,769	0,574	1,405
A3	Ent-Cu Schlamm	250	Ent-Cu	35	0,296	0,221	0,541
A4	Hydroxid Schlamm	250	NA	30	0,296	0,221	0,541
A5	Sulfid Schlamm	100	NA	30	0,118	0,088	0,216
A6	ARA-Absetzbecken Schlamm	50	ARA	30	0,059	0,044	0,108
A7	Gießereistaub	50	Gießerei	0	0,059	0,044	0,108
A8	Bemustertungsstaub/rückstände	50	Bemustertung	0	0,059	0,044	0,108
A9	Obenbruch	500	Schmelzhütte	1	0,500	1,000	1,000
A10	Sonstige Rückstände	100	Säurebetriebe	30			
A11	Sonstige Rückstände	50	Elektrolyse	20			
A12	Sonstige Rückstände	50	Gießerei	0			
A13	Hallenfilterstaub	80	Hallenfilter	0	0,095	0,071	
A14	FO Staub	350	Flammofen	0	0,414	0,399	
A15	SO Flugsstaub	1000	Schichtofen	0	1,182	0,883	1,522
Summe	4880	davon ca. 1500 to trocken					1,067
Rezeptsamaterial Schlacke	Menge	ts	Quelle	% Feuchte			
B1	Unterkom Grano-Fillierstaub	500	Granoanlage	0			0,435
B2	Überkom Grano **)	500	Granoanlage	0			0,435
B3	Fermentier Schlackenhandlung	2000	Materialvorbereitung, Brecher	3			1,739
Summe Schlackenrücklauf	3000	überwiegend trocken				1,000	1,000
Rohstoffe	Menge	ts	Quelle	% Feuchte			
C1	feinkörnige Rückstände	5000		5			
C2	Rohstoffe < 15mm gesiebt	5800		3			
	Raif-Oxid					0,243	10%
	Cu-Fe-Granulat					0,475	10%
	Fe-Brikett fein					0,272	10%
	Cu-Fe-Mat fein					0,272	10%
	SO-Schredder					0,272	10%
	Ms-Späne grob					0,109	5%
	Cu-Häcksel mit Kunststoff					0,054	5%
	Ms-Späne fein						
	Cu-Häcksel drahtig						
	Eisenspäne						
	Fe-Stanz mit Kunststoff						
	Katalysatoren						
	Koks fein		stätt Grano		1,000	1,000	
Summe	4.500	4.500	4.000	4.000	4.000	4.500	4.000

Erstellt/Aktualisiert: Pest, Änderungen geb. hinterlegt

Versuche ab 11.01.2016

Bündelmittel						
Bündelmittel						
Mix Nr.	1	1 mod	Koks	Kat	6 mod	6 mod
Menge kg	4	2,5				
Wiegliste Labormischer	Stäube	Stäube	Reduktionsmittel	Katalysator + Schlacke	Rohstoffe + ES1	Rohstoffe + ES1
Rezeptsamaterial Box	Menge	ts	Quelle	% Feuchte		
A1	Endschlamm 1	650	EMA	16		
A2	Endschlamm 2	650	EMA	35		
A3	Ent-Cu Schlamm	250	Ent-Cu	35		
A4	Hydroxid Schlamm	250	NA	30		
A5	Sulfid Schlamm	100	NA	30		
A6	ARA-Absetzbecken Schlamm	50	ARA	30		
A7	Gießereistaub	50	Gießerei	0	0,131	0,082
A8	Bemustertungsstaub/rückstände	50	Bemustertung	0	0,131	0,082
A9	Obenbruch	500	Schmelzhütte	1		
A10	Sonstige Rückstände	100	Säurebetriebe	30		
A11	Sonstige Rückstände	50	Elektrolyse	20		
A12	Sonstige Rückstände	50	Gießerei	0		
A13	Hallenfilterstaub	80	Hallenfilter	0	0,209	0,131
A14	FO Staub	350	Flammofen	0	0,915	0,572
A15	SO Flugsstaub	1000	Schichtofen	0	2,614	1,634
Summe	4880	davon ca. 1500 to trocken				
Rezeptsamaterial Schlacke	Menge	ts	Quelle	% Feuchte		
B1	Unterkom Grano-Fillierstaub	500	Granoanlage	0		
B2	Überkom Grano **)	500	Granoanlage	0		
B3	Fermentier Schlackenhandlung	2000	Materialvorbereitung, Brecher	3		
Summe Schlackenrücklauf	3000	überwiegend trocken				
Rohstoffe	Menge	ts	Quelle	% Feuchte		
C1	feinkörnige Rückstände	5000		5		
C2	Rohstoffe < 15mm gesiebt	5800		3		
	Raif-Oxid					0,800
	Cu-Fe-Granulat					0,400
	Fe-Brikett fein					0,200
	Cu-Fe-Mat fein					1,000
	SO-Schredder					0,800
	Ms-Späne grob					0,200
	Cu-Häcksel mit Kunststoff					0,200
	Ms-Späne fein					0,200
	Cu-Häcksel drahtig					
	Eisenspäne					
	Fe-Stanz mit Kunststoff					
	Katalysatoren					
	Koks fein		stätt Grano		1,000	1,000
Summe	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.600



### e. Vorlage Mischversuch

Versuch Nr: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

Bindemittel: \_\_\_\_\_

Mix: \_\_\_\_\_

Einwaage: \_\_\_\_\_ [kg]

Zeit	Umdr.	Was	Zugabe Zement	Zugabe Wasser [g]	Konsistenz	Temperatur	gem. Feucht.	WZ-Wert
0 - 1	/ 2	Mischen ohne Zement						
1 - 1,5	/ 2	Zugabe Zement						
1,5 -	/ 2							
	/ 2							
	/ 2							
	/ 2							
	/ 2							
	/ 2							
	/ 2							
	/ 2							
	/ 2							
	/ 2							

Pressung:		Konsistenz	Ausschalen	Klebt am Boden	Rauchen	Erfolgreich
1.						
2.						
3.						

Gründe für das Fehlschlagen der Pressung:

**Festigkeitsprüfung** Datum: \_\_\_\_\_ Trocknungsdauer: \_\_\_\_\_ [h]

Erscheinungsbild:	Falltest bestanden:
Erkenntnisse/Verbesserungen:	