



# Diplomarbeit

## Stoffliche Verwertung von Granitrückständen

- Design des Aufbereitungsprozesses
- Analyse und Erschließung des Absatzmarktes

erstellt am

**Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik (IED)**

**Montanuniversität Leoben**

**Vorgelegt von:**

Stefan HERZER, 9635031  
Lassendorf 72  
9064 Pischeldorf

**Betreuer:**

Dipl.-Ing. Michael Kotschan MAS (GM)  
O.Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr. Karl E. Lorber

Leoben, September 2003

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1 EINLEITUNG .....</b>	<b>4</b>
1.1 Problemstellung .....	4
1.2 Zielsetzung .....	4
<b>2 PROJEKTAUFBAU .....</b>	<b>6</b>
2.1 Projektplanung [2], [3], [5] .....	7
2.1.1 Problemstellung .....	7
2.1.2 Festlegung der Ziele .....	7
2.2 Projektdauer .....	9
2.3 Zukünftige Projektweiterführung .....	10
<b>3 TECHNISCHE GRUNDLAGEN VON GRANIT .....</b>	<b>11</b>
<b>4 AUFBEREITUNG DER GRANITABFÄLLE .....</b>	<b>14</b>
4.1 Sammlung, Lagerung und Sortierung der Granitabfälle .....	14
4.1.1 Sammlung .....	14
4.1.2 Lagerung .....	16
4.1.3 Sortierung .....	16
4.2 Aufbereitung von Granitabfällen zu Granitsand 0/3 .....	18
4.2.1 Aufbereitung durch die Firma Freund & Co KG .....	18
4.2.1.1 Brechen der Granitabfälle .....	18
4.2.1.2 Siebanalyse .....	19
4.2.2 Möglichkeiten für eine zukünftige Aufbereitung [12] .....	23
4.2.2.1 Mobile Anlagen .....	23
4.2.2.2 Semimobile Anlagen .....	24
4.2.2.3 Stationäre Anlagen .....	24
4.2.2.4 Mobil, semimobil oder stationär? .....	25
4.3 Aufbereitung und Weiterverarbeitung zu antikisierten Platten .....	26
4.3.1 Herstellung der antikisierten quadratischen Platten .....	26
4.3.2 Herstellung der antikisierten Polygonplatten .....	30

4.4	Aufbereitung von Granitabfällen zu Trommelsteinen .....	31
<b>5</b>	<b>QUALITÄT UND EINSATZ DER AUFBEREITETEN GRANITABFÄLLE .....</b>	<b>33</b>
5.1	Qualitätssicherung durch das Einbauzeichen ÜA .....	33
5.1.1	Allgemeines [14], [15], [16] .....	33
5.1.2	Umsetzung für die aufbereiteten Granitrückstände .....	36
5.1.3	Anforderungen der ÖNORM B 3304 [11], [18], [19] .....	39
5.1.3.1	Kornform .....	39
5.1.3.2	Rundkorn, Kantkorn .....	39
5.1.3.3	Oberflächenbeschaffenheit .....	39
5.1.3.4	Festigkeit und Frostbeständigkeit .....	39
5.1.3.5	Kornzusammensetzung .....	41
5.1.3.6	Schädliche Bestandteile .....	46
5.1.3.7	Oberflächenwassergehalt .....	48
5.1.3.8	Kornrohichte .....	49
5.1.3.9	Bezeichnung der Körnungen .....	50
5.1.4	Güteüberwachung .....	51
5.1.4.1	Lagerung .....	51
5.1.4.2	Eigenüberwachung .....	52
5.1.4.3	Fremdüberwachung .....	53
5.1.4.4	Lieferverzeichnis .....	53
5.1.5	Bewertung des Granitsandes 0/3 zu den Anforderungen der ÖNORM B 3304 .....	54
5.1.6	Schlussfolgerung .....	55
5.2	Einsatzmöglichkeiten der aufbereiteten Granitabfälle .....	56
5.2.1	Einsatzmöglichkeit für Granitsand 0/3 .....	56
5.2.1.1	Umsetzung bei der Firma Luiki [3] .....	57
5.2.1.2	Umsetzung bei der Fa. Ebenseer .....	64
5.2.1.3	Technische und optische Anforderungen .....	68
5.2.1.4	Bedarf .....	74
5.2.2	Einsatzmöglichkeit für antikisierte Platten .....	75
5.2.2.1	Technische und optische Anforderungen .....	77
5.2.2.2	Bedarf .....	78
5.2.3	Einsatzmöglichkeit für Trommelsteine .....	78
5.2.4	Alternative Einsatzmöglichkeiten der aufbereiteten Granitabfälle .....	79

5.2.4.1	Anwendung als Zuschläge für Beton.....	79
5.2.4.2	Anwendung im Straßenbau .....	80
<b>6</b>	<b>KOSTEN- UND WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNGEN DES GRANIT-RECYCLINGS.....</b>	<b>88</b>
6.1	Ökonomische Akzeptanz [13] .....	88
6.2	Kosten- und Erlösbestimmung .....	88
6.2.1	Transportkosten ( $K_{\text{TRANSPORT}}$ ) .....	89
6.2.2	Lagerkosten ( $K_{\text{LAGERUNG}}$ ).....	90
6.2.3	Aufbereitungskosten ( $K_{\text{AUFBEREITUNG}}$ ) .....	91
6.2.3.1	Brecherkosten .....	91
6.2.3.2	Schneidekosten .....	95
6.2.3.3	Trommelkosten.....	96
6.2.3.4	Zusammenstellung der gesamten Aufbereitungskosten .....	97
6.2.4	Gesamtkosten .....	97
6.2.5	Erlöse durch Abholgebühren ( $E_{\text{ABHOLGEBÜHREN}}$ ).....	97
6.3	Preisbestimmung für die aufbereiten Granitrückstände ( $P_{\text{AUFBEREITETE GRANITRÜCKSTÄNDE}}$ ).....	98
6.4	Vergleich von Preisen der aufbereiteten Granitrückstände zu den Preisen am freien Markt.....	99
6.5	Schlussfolgerung .....	100
<b>7</b>	<b>DISKUSSION.....</b>	<b>101</b>
<b>8</b>	<b>VERZEICHNISSE .....</b>	<b>102</b>
8.1	Literatur.....	102
8.2	Verwendete Abkürzungen/Begriffe .....	105
8.3	Tabellen .....	107
8.4	Abbildungen .....	109
<b>ANHANG.....</b>	<b>.....</b>	<b>111</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung

Die Produktion von Gütern ist großteils auf den ständigen Abbau von Ressourcen angewiesen. Nicht nur der enorme Verbrauch, sondern auch die Abbaumengen mineralischer Rohstoffe weisen immer noch eine steigende Tendenz auf. Dieser durch die Wirtschaft ausgelöste riesige Stoffumsatz führt zu immer mehr Abfällen. Abhilfe garantiert eine verstärkte Umsetzung der Kreislaufwirtschaft, die bereits bei der Güterproduktion die Möglichkeit der Wiederverwendung und Verwertung einplant. [1]

Granit fällt in großen Mengen als Abfall in Steinmetzbetrieben an. Zur Zeit werden bei einem Großteil der Steinmetzbetriebe diese Granitabfälle als Bauschutt zusammen mit weiteren Gesteinsabfällen gesammelt, zwischengelagert und auf Baurestmassendeponien entsorgt. Durch diese Vorgehensweise wird nicht nur der immer knapper werdende Deponieraum verbraucht, sondern auch der hochwertige und wertvolle Rohstoff Granit geht verloren. [2]

Die Granitfraktion soll vom restlichen Bauschutt getrennt gesammelt und anschließend einer stofflichen Verwertung zugeführt werden.

Diese Thematik gemeinsam in Form einer Arbeitsgemeinschaft zu bearbeiten, haben sich die Firmen Marmorwerk Fast, Freund & Co GmbH & Co KG und Luiki Betonwerke GmbH zum Ziel gesetzt.

Das „Stoffliche Verwertung von Granitrückständen“ betitelte Forschungsprojekt wurde vom Forschungsförderungsfonds für die gewerbliche Wirtschaft (FFF) und von der Steirischen Wirtschaftsförderung (SFG) unterstützt.

## 1.2 Zielsetzung

Im Rahmen dieser Diplomarbeit soll die Durchführung der für das Forschungsprojekt erarbeiteten Versuchsreihen dokumentiert werden, sowie eine Analyse und Erschließung des Absatzmarktes unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu erstellen.

Als Ausgang der vorliegenden Diplomarbeit wurden dementsprechend folgende Ziele definiert, die es zu erfüllen galt:

- Endgültige Verfahrensentwicklung zur stofflichen Verwertung von Granitabfällen zu verschiedenen hochwertigen Produkten
- Erstellung eines externen Logistikkonzeptes zwischen den Steinmetzbetrieben und der Firma Marmorwerk Fast

- Betrachtung der Möglichkeiten zur Erschließung von Absatzmärkten für die hergestellten Produkte
- Erforderliche Qualitäten (Gütesiegel, Baustoffprüfungen) die der Markt an die hergestellten Produkte stellt
- Wirtschaftliche Betrachtung der einzelnen Produkte in bezug auf ihre Herstellkosten

Die vorliegende Diplomarbeit des hier vorgestellten Projektes stellt den zweiten Teil und quasi auch den Endbericht des Projektes „Stoffliche Verwertung von Granitrückständen“ dar. Der erste Teil und vorläufige Projektlauf wurde in der Diplomarbeit von GUY THINNES [3] beschrieben. Diese umfasste folgende angeführten Ziele:

- Kurze Betrachtung der rechtlichen Vorschriften
- Verfahrensentwicklung zur stofflichen Verwertung von Granitabfällen zu verschiedenen hochwertigen Produkten
- Betrachtung der Möglichkeiten zur Erschließung von Märkten für die hergestellten Produkte
- Erstellung eines internen Logistikkonzeptes zwischen den Projektpartnern
- Evaluierung der Granitrückstände in Mittel- und Ostösterreich bei Steinmetzbetrieben zum Aufbau eines externen Logistikkonzeptes

## 2 Projektaufbau

Dieses Kapitel soll einen zusammenfassenden Überblick über das gesamte Projekt geben.

### Grundgedanke des Projektes

Granit fällt in großen Mengen als Abfall in Steinmetzbetrieben an. Zur Zeit werden bei einem Großteil der Steinmetzbetriebe diese Granitabfälle als Bauschutt zusammen mit weiteren Gesteinsabfällen gesammelt, zwischengelagert und auf Baurestmassendeponien entsorgt. Durch diese Vorgehensweise wird nicht nur der immer knapper werdende Deponieraum verbraucht, sondern auch der hochwertige und wertvolle Rohstoff Granit geht verloren. [2]

Die Granitfraktion soll vom restlichen Bauschutt getrennt gesammelt und anschließend einer stofflichen Verwertung zugeführt werden. [2] Im Gegensatz zum herkömmlichen Downcycling [4], dabei werden Baurestmassen zu Sekundärbaustoffen minderer Qualität aufbereitet, wird hier die Herstellung von qualitativ hochwertigen Produkten in den Vordergrund gestellt.

Um die oben angeführten Ziele zu erreichen, wurden starke Partner gesucht, die über die fachliche Kompetenz verfügen und, als wesentliche Anforderung, räumlich nahe beieinander liegen, um lange Transportwege mit dem schweren Gut Granit zu vermeiden. [3]

### Projektpartner

Im Bezirk Leoben wurden den oben angeführten Anforderungen folgende Firmen gerecht:

- Firma Marmorwerk Fast in 8792 St. Peter Freienstein, ein Steinmetzbetrieb
- Betonwerke Luiki GmbH in 8700 Leoben, ein Betonwerk
- Firma Freund & Co GmbH & Co KG in 8704 Leoben/Donawitz, eine Firma für Recycling von Eisenhüttenschlacken

Die wissenschaftliche Begleitung und Koordination des Projektes wurde vom Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik (IED) gewährleistet.

## 2.1 Projektplanung [2], [3], [5]

Die Projektplanung wurde von den Projektpartnern sowie dem IED durchgeführt.

### 2.1.1 Problemstellung

Folgende Fragestellungen wurden ausgearbeitet:

- Welche Mengen an Granitabfall stehen für eine stoffliche Verwertung zur Verfügung?
- Wie können diese Abfälle erfasst, gesammelt und gelagert werden?
- Welche Produkte können hergestellt werden?
- Welche Verfahrensschritte sind hierzu notwendig?
- Wie ist der Transport der Granitabfälle zwischen den Projektpartnern zu organisieren?
- Welche Marktchancen haben die hergestellten Produkte?

### 2.1.2 Festlegung der Ziele

Aus diesen Fragestellungen wurden anschließend folgende Ziele abgeleitet:

#### Potentialanalyse

An erster Stelle steht die Durchführung einer Potentialanalyse über die verfügbaren Mengen an Granitabfällen in Österreich mit dem Schwerpunkt Mittel- und Ostösterreich.

Die Potentialanalyse wurde am Institut für Innovations- und Umweltmanagement an der Karl-Franzes-Universität Graz durchgeführt. Ihr Endbericht lag bereits im Juni 2000 vor. [6] Von 50 befragten Steinmetzbetrieben, erklärten sich 14 Betriebe aus der Steiermark, Kärnten, Wien, Niederösterreich und dem Burgenland bereit, ihre Granitabfälle für das Projekt zur Verfügung zu stellen.

#### Erstellung eines Geoinformationssystems (GIS)

Im Anschluss an die Potentialanalyse soll ein GIS für die Planung des Sammelsystems für die Granitabfälle erstellt werden.

Die Durchführung wurde dem Institut für Innovations- und Umweltmanagement der Karl-Franzens-Universität Graz übertragen. Ein Endbericht ist derzeit noch nicht vorhanden.

#### Sammlung, Lagerung und Sortierung der Granitabfälle

Die betrieblichen Rückstände werden von der Fa. Fast bei den Steinmetzbetrieben abgeholt und am eigenen Betriebsgelände zwischengelagert. Die Steinmetzbetriebe sollten so



Entsorgungskosten sparen, da die Fa. Fast die Granitrückstände zu Preisen unter den bestehenden Entsorgungskosten abholen kann.

Die Sortierung der Rückstände für die weitere Verarbeitung soll in Abhängigkeit von Farbe und Größe der Rückstände erfolgen.

### **Aufbereitung und Weiterverarbeitung zu antikisierten Platten und Polygonplatten und Trommelsteinen**

Ein Teil der Granitrückstände – großflächige Platten mit einer Dicke von 20 bzw. 30 mm – werden bei der Fa. Fast aussortiert und zu quadratischen Platten (100 x 100 mm bzw. 120 x 120 mm) zugeschnitten. Anschließend werden diese Platten von der Fa. Freund getrommelt und antikisiert (Herstellung einer unregelmäßigen Oberflächenstruktur und Brechen der Kanten). Aus dem Verschnitt und anderen kleinflächigen Plattenreste entstehen die Polygonplatten, die ebenfalls getrommelt und antikisiert werden. Ein Teil der Rückstände mit der Korngröße > 3 mm werden zu Trommelsteinen verarbeitet. Die so hergestellten quadratischen Platten, Polygonplatten und Trommelsteine werden anschließend von der Fa. Fast vermarktet und verkauft.

### **Aufbereitung von Granitabfällen auf die Korngröße 0/3<sup>1</sup>**

Der größte Teil der Granitabfälle wird von der Fa. Freund mittels Backen - und Kegelschredder auf eine Zielkorngröße 0/3 gebrochen und zur Weiterverarbeitung an die Fa. Luiki geliefert.

### **Oberflächenveredelung in der stein- und keramischen Industrie**

Die Fa. Luiki verwendet das aufbereitete Granitmaterial 0/3 zur Oberflächengestaltung von Betonsteinen. Durch die Veredelung der Oberfläche wird die Qualität (Optik, Verwitterungsbeständigkeit) erheblich gesteigert und ermöglicht somit einen höheren Verkaufserlös im Vergleich zu herkömmlichen Betonsteinen.

### **Erarbeitung eines Logistikkonzeptes zwischen den Projektpartnern**

Für den Transport des Granits zwischen den Projektpartnern und für das optimale Ausnutzen freier Produktionskapazitäten, soll ein Logistikkonzept erarbeitet werden.

---

<sup>1</sup> Lies 0 bis 3 mm

## 2.2 Projektdauer

Der Projektzeitraum wurde auf ein Jahr festgelegt, von Juli 2001 bis Juni 2002. Innerhalb dieses vorgesehenen Projektzeitraums wurden insgesamt 370 Mg Granitrückstände gesammelt und verarbeitet. Abbildung 1 zeigt ein Fließbild des Aufbereitungsprozesses.

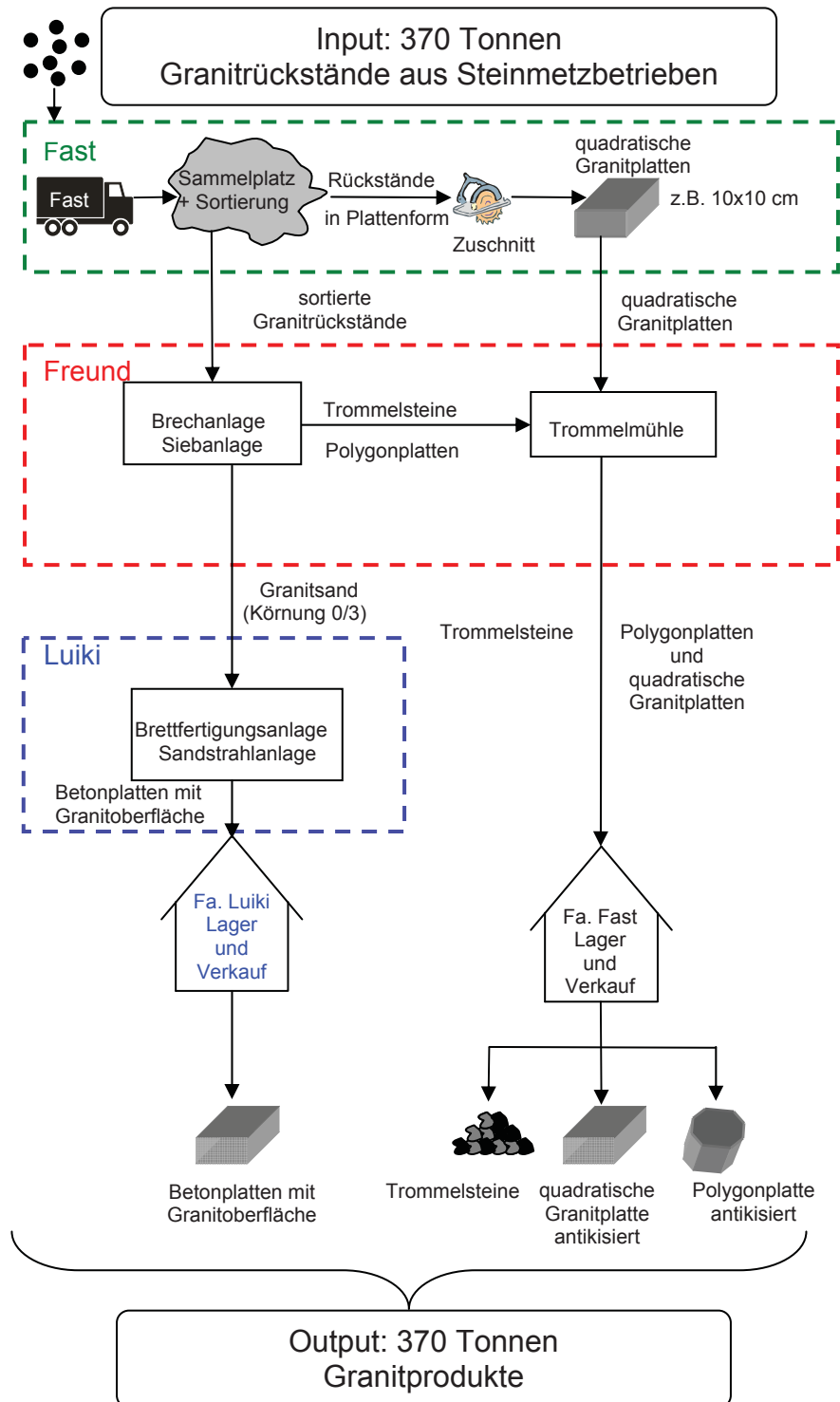


Abbildung 1: Fließbild stoffliche Verwertung von Granitrückständen Juli 2001 - Juni 2002

## 2.3 Zukünftige Projektweiterführung

Mit Ende Dezember 2002, wurde die Fa. Freund am Standort Leoben/Donawitz aufgelöst. Dadurch verlor das Projekt einen strategisch wichtigen Partner. Jedoch wurde der Standort von der Fa. Porr AG aufgekauft und im August 2003 sollte eine neu errichtete stationäre Brecheranlage in Betrieb genommen werden. Die Fa. Porr bekundete ihr Interesse an einer Teilnahme am Projekt, aber zum jetzigen Zeitpunkt können keine Aussagen über die Erzeugung von Granitsand in dieser Anlage getroffen werden. Unabhängig davon, muss die Aufgabe der Brechung der Granitabfälle zu Sand an einen neuen externen Dienstleister übertragen werden.

Die Aufbereitung der quadratischen Platten und Polygonplatten (ursprünglich auch ein Teilprozess der Fa. Freund) wird in Zukunft die Fa. Fast selbst übernehmen.

Leider verabschiedete sich auch die Fa. Luiki vom Projekt. Als neuen Partner konnten die Ebenseer Betonwerke GmbH in 8720 Knittelfeld gewonnen werden. Somit ist die zukünftige Verwertung des hergestellten Granitsandes sichergestellt.

### 3 Technische Grundlagen von Granit

Granit gehört zu den Plutoniten (Tiefengestein). Das sind Gesteine, die in großer Tiefe der Erdkruste durch das Erstarren von Magma entstehen. Weshalb sie auch als Erstarrungsgesteine bezeichnet werden. Durch die langsame Abkühlung des Magmas können alle Bestandteile der Schmelze auskristallisieren. Dadurch gibt es keine glasige Grundmasse und es handelt sich um ein vollkristallines Gestein (körnig bis grobkörnig). Ein weiteres Indiz für Granit ist seine richtungslose Struktur, wodurch keine Schichtung oder Schieferung zu erkennen ist. [7]

Granit besteht aus Feldspat (40 - 80 %), Quarz (20 - 60 %) und Glimmer (0 - 20 %) [8]. Selten sind die Bestandteile Hornblende und Augit zu finden. Die Farbe hängt vom vorherrschenden Mineral ab (z.B. rötlich bei Kalifeldspat, milchig-weiß bis hellgrau-gelblich bei anderen Feldspäten; weißlichgrau bei Quarz; silbrig bei Muskovit; grauschwarz bei Biotit). [9]

In all seinen Abarten sollte der Granit möglichst feinkörnig und gleichmäßig im Korn sein. Je ungleichmäßiger die Körnung und je gröber besonders die meist gelblich-rötlichen Feldspatkristalle sind, um so weniger gut ist im allgemeinen der Granit. Dagegen steigt seine Güte mit wachsendem Quarzgehalt und abnehmendem Feldspat- und Glimmeranteil. Glimmer darf vor allem nicht in größeren Plättchen vorhanden sein, da dieser leicht verwittert und somit die Festigkeit und Wetterbeständigkeit des Granits vermindert wird. Die besten technischen Eigenschaften besitzen somit jene Granite, die einen hohen Quarzgehalt und ein gleichmäßiges feinkörniges Gefüge haben. [9]

Im frischen, unverwitterten Zustand sind Granite harte, wetterbeständige, gut spaltbare und polierbare Gesteine. Ist der Granit an seinen Bruchflächen (durch Oxidation von Eisenverbindungen) gelb bis braun verfärbt und haben die Feldspatkristalle ihren Glanz verloren oder liegen einzelne Kristalle lose im Gefüge, so ist er bereits angewittert. Durch die schnell fortschreitende Verwitterung ist solcher Granit als Bauwerkstoff unbrauchbar. [9]

Die auf der nächsten Seite angeführte Tabelle 1 sollte die wesentlichsten technischen Eigenschaften von Granit gegenüber anderen Gesteinen zeigen. Die angegebenen Richtwerte stammen aus der ÖNORM B 3129 „Natürliche Gesteine – Richtwerte für die Auswahl“, wobei die angegebenen Bandbreiten zu den einzelnen Eigenschaften durch Prüfungen häufig belegte Werte sind. Die angegebenen mechanischen Richtwerte beziehen sich auf Prüfungen normal zur Schichtung oder Schieferung des Gesteines. Nicht ausreichend gesicherte Werte sind in der Tabelle durch Leerfelder ausgewiesen.

Tabelle 1: Richtwerte von Festgesteinen [10]

Gesteinsart	Rohdichte [g/cm <sup>3</sup> ]	Reindichte [g/cm <sup>3</sup> ]	wahre Porosität [Vol-%]	Wasser- aufnahme [Masse-%]	Druck- festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Biegezug- festigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Elastizitäts- modul (dyn.) in Tausend [N/mm <sup>2</sup> ]	Elastizitäts- modul (stat.) in Tausend [N/mm <sup>2</sup> ]	thermische Dehnung bei 100 °C [mm/m]	Schleif- verschleiß trocken nach BÖHME [cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup> ]	Polier- barkeit + = ja - = nein	Politurbe- ständigkeit im Freien + = ja - = nein
<b>Erstarrungsgesteine</b>												
Granit, Syenit	2,60 - 2,80	2,62 - 2,85	0,4 - 1,5	0,2 - 0,5	160 - 240	10 - 20	35 - 75	30 - 70	0,5 - 0,9	5 - 8	+	+
Diorit, Gabbro	2,80 - 3,00	2,85 - 3,05	0,5 - 1,2	0,2 - 0,4	170 - 300	10 - 22	75 - 120	60 - 100	0,4 - 0,7	5 - 8	+	+
Quarzporphyr (Rhyolit), Porphyrit, Andesit	2,55 - 2,80	2,58 - 2,83	0,4 - 1,8	0,2 - 0,7	180 - 300	15 - 20	30 - 75	10 - 50	0,3 - 0,8	5 - 8	+	+
Basalt, Melaphyr	2,95 - 3,00	3,00 - 3,15	0,2 - 0,9	0,1 - 0,3	250 - 400	15 - 25	45 - 105	20 - 100	0,3 - 0,8	5 - 8	+	+
Basaltlava	2,20 - 2,35	3,00 - 3,15	20 - 25	4 - 10	80 - 150	8 - 12	40 - 90	10 - 20	0,3 - 0,9	12 - 15	-	-
Diabas	2,80 - 2,90	2,85 - 2,95	0,3 - 1,1	0,1 - 0,4	180 - 250	15 - 25	65 - 115	30 - 90	0,3 - 0,6	5 - 8	+	+ <sup>1)</sup>
<b>Sedimentgesteine</b>												
Dichte Kalke	2,65 - 2,85	2,70 - 2,80	0,5 - 2,0	0,2 - 0,6	80 - 180	6 - 15	15 - 90	50 - 80	0,3 - 0,6	15 - 40	+	-
Poröse Kalke	1,70 - 2,60	2,70 - 2,80	0,5 - 3,0	0,2 - 10	20 - 90	5 - 8			0,3 - 0,7	25 - 60	-	-
Travertin	2,30 - 2,50	2,70 - 2,80		2 - 5	20 - 70	4 - 10	15 - 80		0,2 - 0,7	25 - 60	+	-
Kalksandsteine	1,70 - 2,30	2,70 - 2,80		5 - 15	15 - 50	4 - 10			0,4 - 0,6			
Dolomite	2,70 - 2,90	2,75 - 2,95	0,5 - 2,0	0,2 - 0,6	120 - 200	12 - 20	30 - 100	20 - 30	0,3 - 0,6	20 - 35	+	-
Kieselig gebundene Quarzsandsteine	2,60 - 2,65	2,64 - 2,68	0,4 - 2,0	0,2 - 0,5	120 - 200	3 - 15	10 - 70		0,3 - 1,0	7 - 8	-	-
Sonstige Quarzsandsteine	2,00 - 2,65	2,64 - 2,72	0,5 - 25	0,2 - 9	30 - 180	3 - 8	5 - 30		0,2 - 0,8	10 - 14	-	-
Konglomerate	1,90 - 2,60		10 - 15	0,5 - 8,0	30 - 40	2 - 6	10 - 55		0,3 - 0,9	20 - 100	+	-
<b>Metamorphe Gesteine</b>												
Gneise	2,65 - 3,00	2,67 - 3,05	0,4 - 2,0	0,1 - 0,6	160 - 280		30 - 65	25 - 60	0,5 - 0,8	4 - 10	+	+
Granulit	2,60 - 2,70	2,67 - 2,72	0,4 - 2,0	0,1 - 0,6	160 - 240		45 - 80	25 - 60		4 - 10	+	+
Amphibolit	2,70 - 3,10	2,75 - 3,15	0,4 - 2,0	0,1 - 0,4	170 - 280					6 - 12	+	+ <sup>1)</sup>
Serpentinit	2,60 - 2,75	2,62 - 2,78	0,3 - 2,0	0,1 - 0,7	140 - 250		85 - 130		0,5 - 0,9	8 - 18	+	+ <sup>1)</sup>
Quarzit	2,60 - 2,65	2,64 - 2,68	0,4 - 2,0	0,2 - 0,5	150 - 300	13 - 25	50 - 75		0,5 - 1,1	7 - 8	+	+ <sup>1)</sup>
Kristalline Marmore	2,65 - 2,85	2,70 - 2,90	0,5 - 2,0	0,2 - 0,6	80 - 160	6 - 12	65 - 105	60 - 90	0,3 - 0,8	15 - 40	+	-

<sup>1)</sup> nur wenn carbonatfrei

Wenn man die Zahlenwerte der einzelnen Gesteinsarten mit denen von Granit vergleicht, so ist es nicht verwunderlich, dass Granit zu den weit verbreitetsten Bauwerkstoffen zählt. Durch die vielen positiven Eigenschaften, wie geringe Wasseraufnahme, hohe Druck-, Biege-, und Abriebfestigkeit, gute Polierbarkeit, findet er besonders an stark beanspruchten Bereichen Anwendung. Graue Sorten werden als Pflaster-, Rand- und Grenzsteine, gebrochen als Schotter und Splitt verwendet. Farbige Granite dienen als Rohstein für Skulpturen, geschliffen und poliert für Fassadenverkleidungen, Fußbodenbeläge und ähnlich flächenhafte Gestaltungen. [8]

## 4 Aufbereitung der Granitabfälle

In diesem Kapitel werden die im Rahmen des Projektes durchgeführten Arbeitsschritte von der Sammlung der Granitabfälle bis hin zur Erstellung der einzelnen Produkte beschrieben.

### 4.1 Sammlung, Lagerung und Sortierung der Granitabfälle

#### 4.1.1 Sammlung

Die betrieblichen Granitrückstände wurden von den verschiedenen Steinmetzbetrieben in den kostenlos von der Fa. Fast bereitgestellten Sammelboxen erfasst und auf Wunsch des Steinmetzbetriebes abgeholt. Dabei hatte der LKW-Fahrer die Qualität und Beschaffenheit der einzusammelnden Granitrückstände zu kontrollieren und die Transportsicherung zu gewährleisten. Insgesamt fielen ca. 370 Mg Granitrückstände an. Wobei der Hauptanteil des gesammelten Granits von der Fa. Stein von Grein aus Graz bzw. aus dem eigenen Betrieb der Fa. Fast stammte. Die Entscheidung, in der Projektphase hauptsächlich mit nur einem der interessierten Betriebe zusammenzuarbeiten, folgte aus folgenden Überlegungen: einerseits bietet die relativ geringe Entfernung Leoben-Graz der Fa. Fast die Möglichkeit, unwirtschaftliche LKW-Leerfahrten zu vermeiden und bei der Rückfahrt aus/über Graz Granitrückstände nach Leoben mitzunehmen, andererseits wollte sich die Fa. Fast mit der Sammlung von Granitabfällen nicht übernehmen, um bei einem Scheitern des Projektes nicht in die Missslage zu kommen, die Rückstände selbst entsorgen zu müssen.

Um die Abholung der Granitrückstände zu erleichtern und die Sammlung für die Steinmetzbetriebe attraktiver zu machen wurden von der Fa. Fast Sammelboxen aus Stahl mit einer Größe (L x B x H) von 120 x 80 x 50 cm angeschafft (vgl. Abbildung 2). Das Fassungsvermögen einer solchen Box beträgt ungefähr 550 kg.



Abbildung 2: Sammelboxen



Die Vorteile für die Steinmetzbetriebe gegenüber der losen Sammlung sind, dass sich die Boxen mittels Gabelstapler leicht manövrieren lassen und helfen Lagerfläche einzusparen, da diese stapelbar sind. Weiters konnten durch diese Investition die Manipulationszeiten zur Beladung bzw. Entladung des LKW's extrem verkürzt und die Sicherung des Ladegutes für den Transport vergrößert werden.

Vorweg muss hinzugefügt werden, dass in Zukunft nur jene Steinmetzbetriebe in den Genuss dieses Sammelsystems kommen können, die in der Nähe der Transportroute der Fa. Fast liegen. In der Regel ist davon auszugehen, dass die Steinmetzbetriebe selten über mehr als 20 km [4] des eigentlichen Transportweges entfernt sein dürfen. Bei größeren Entfernungen würden im Vergleich zum Wert des Transportgutes unverhältnismäßig hohe Transportkosten anfallen. Abbildung 3 soll die von den Transportrouten aus mögliche Einzugsgebiete für das Sammelsystem zeigen.



Abbildung 3: Einzugsgebiete für das Sammelsystem



### 4.1.2 Lagerung

Nach der Anlieferung der Granitrückstände erfolgte die Entladung der Sammelboxen auf einer bestehenden Lagerfläche (vgl. Abbildung 4) hinter dem Betriebsgebäude der Fa. Fast mittels eines Boxenwenders. Dabei wird eine Kippvorrichtung am vorderen Ende des Gabelstaplers montiert, die es ermöglicht die Boxen zu heben und anschließend zu leeren. Der Untergrund dieser Lagerfläche ist allerdings nicht befestigt, wodurch eine Verschmutzung der Granitrückstände mit Erdreich nicht ausgeschlossen werden konnte. Zusätzlich wurde auch der Platz immer knapper. Aus diesem Grund wurde eine Lagerfläche mit asphaltiertem Untergrund ca. 100 m vom Betriebsgebäude der Fa. Fast entfernt angemietet. Jedoch musste diese Fläche im Juni 2002 aufgegeben werden, da das angemietete Grundstück vom Grundeigentümer verkauft wurde. Daher ist ein Umbau der existierenden Lagerfläche unausweichlich, um Verunreinigungen zu verhindern.



Abbildung 4: Lagerfläche (unbefestigt)

### 4.1.3 Sortierung

Am Betriebsgelände der Fa. Fast wurden die Platten mit einer Dicke von 20 bzw. 30 mm von den restlichen Granitrückständen aussortiert. Bei der Sortierung wurde nicht auf die farbliche Qualität geachtet, sodass dunkle, helle und auch farbige Platten gemischt vorlagen. Diese Granitplatten wurden auf Holzpaletten gestapelt und zwischengelagert um sie für die weitere Verarbeitung zu regelmäßigen (quadratischen) Granitplatten oder Polygonplatten im Winter vorzubereiten (vgl. Abbildung 5). Der Anteil der verwendbaren Platten liegt bei lediglich ca. 5 - 10 M.-% und wurde hauptsächlich von der Fa. Fast bereitgestellt. Der Grund für die geringe Menge liegt wahrscheinlich daran, dass die Platten selbst von den einzelnen Unternehmen verwertet werden.



**Abbildung 5: Zur Verarbeitung aussortierte Granitplatten**

Die restlichen 90 - 95 M.-% des angelieferten Materials bestehen aus großen, sperrigen, meist dunklen Granitblöcken. Eine weitere Sortierung nach Farbe (z.B. rot, grün) macht aus jetziger Sicht keinen Sinn, da die Menge an farbigem Granit mit insgesamt ca. 4 M.-% einen verschwindend geringen Anteil ausmacht. Diese Fraktion wird neben den Platten mit der Dicke von 20 bzw. 30 mm, die aufgrund ihrer zu kleinen Größe zum Schneiden (unwirtschaftlich) ungeeignet sind, am Lagerplatz weiter gelagert, bis sie einer Aufbereitung zu Granitsand weitergegeben werden. Ursprünglich wurde diese Aufgabe der Fa. Freund anvertraut, jedoch wurde das Unternehmen mit Ende Dezember 2002 aufgelöst. Somit wird die Verarbeitung an einen neuen externen Dienstleister übergeben werden müssen.

Abschließend soll die nachfolgende Tabelle 2 einen Überblick über die Fraktionen nach der Sortierung schaffen, die aus dem Gesamtaufkommen angefallen sind.

**Tabelle 2: Sortierung der gesammelten Granitrückstände**

Fraktion	Menge	Anteil
	[Mg]	[M.-%]
Platten	ca. 30	5 - 10
Granitblöcke	ca. 340	90 - 95
Gesamtaufkommen	ca.370	100

## 4.2 Aufbereitung von Granitabfällen zu Granitsand 0/3

Unter diesem Punkt soll vorerst über die ursprüngliche Aufbereitung der Granitabfälle durch die Fa. Freund berichtet werden. Anschließend soll über die Möglichkeiten für eine zukünftige Aufbereitung diskutiert werden. Der Grund dafür liegt darin, dass die Fa. Freund ein halbes Jahr nach Projektende aufgelassen wurde.

### 4.2.1 Aufbereitung durch die Firma Freund & Co KG

Die gesammelten Granitrückstände, welche nicht zu quadratischen Platten oder Polygonplatten verarbeitet werden, wurden von der Fa. Fast per LKW zur Fa. Freund transportiert. Dabei handelte es sich um eine Menge von ca. 340 Mg. In den verschiedenen Zerkleinerungseinrichtungen wurden diese Rückstände zu Granitsand auf eine Ziel Korngröße 0/3 gebrochen. Wie sich die Arbeitsschritte zusammensetzten wird im folgenden erklärt.

#### 4.2.1.1 Brechen der Granitabfälle

##### Vorbrechen

Das Vorbrechen der sperrigen Granitblöcke (bis zu 1.000 mm) erfolgte händisch mit einem Hammer. Die vorliegenden Granitstücke wiesen danach eine maximale Korngröße von 300 - 400 mm auf.

##### Primär- und Sekundärzerkleinerung

Das vorgebrochene Material wurde anschließend einem Backenbrecher aufgegeben (Primärzerkleinerung). Der Backenbrecher verfügt über eine minimale Brechspalte von 80 mm. Nach der Primärzerkleinerung lag somit eine Granitfraktion mit einer Korngröße von 0 - 80 mm vor. Der vorhandene Feinkegelbrecher (Sekundärzerkleinerung) ist allerdings für eine Korngröße < 30 mm ausgelegt. Somit musste dem Backenbrecher ein Wurf gitter nachgeschaltet werden, um die Grobfraktion (> 30 mm) abzutrennen.

Der Siebunterlauf (< 30 mm) wurde dem Feinkegelbrecher aufgegeben, der das Material dann auf die gewünschte Fraktion 0/3 zerkleinert hat (vgl. Abbildung 6).

Der Siebüberlauf (30 - 80 mm) musste somit extra zerkleinert werden. Dies geschah auch über den vorhandenen Feinkegelbrecher, welcher jedoch umgebaut und außerhalb seines normalen Betriebsbereiches betrieben werden musste. Über das so erreichte neue Brechverhalten war es möglich auch diese Fraktion in einem Zwischenschritt auf die Korngröße < 30 mm und anschließend auf die Fraktion 0/3 zu zerkleinern.



**Abbildung 6: Granitsand 0/3**

Der oben beschriebene Verfahrensweg stellte eine unzureichende Lösung dar. Das Problem bestand darin, dass die vorhandenen Brecher nicht aufeinander abgestimmt waren. Deswegen musste ein Teil des Granits die Sekundärzerkleinerung mehrmals durchlaufen, was einen größeren Zeitaufwand und erhöhten Maschineneinsatz erforderte.

#### 4.2.1.2 Siebanalyse

Zur Feststellung der Kornzusammensetzung des Granitsandes 0/3 wurde nach dem Brechen eine Siebanalyse nach ÖNORM B 3304 „Betonzuschläge aus natürlichem Gestein – Begriffe, Anforderungen, Prüfungen, Lieferung und Güteüberwachung“ durchgeführt. Die Probenentnahme erfolgte mit einer Schaufel. Bei der Entnahme wurde besonders geachtet, dass die Einzelproben an verschiedenen Stellen in unterschiedlichen Höhen des Schütthaufens entnommen wurden, um eine gute Durchschnittsprobe zu erhalten. Die Entnahmemenge wurde anschließend mit Hilfe eines Probenteilers auf die erforderliche Probenmenge für die Trockensiebung vermindert.

Die erforderlichen Probemengen für den Siebversuch sind in der Tabelle 3 angeführt:

**Tabelle 3: Mindestprobemenge**

Größtkorn	Entnahmemenge	Mindestprobemenge	Mindestprobemenge je Siebversuch
[mm]	[kg]	[kg]	[kg]
3	40	10	1



Die Mindestprobemenge hängt immer vom Größtkorn des zu untersuchenden Korngemisches ab.

Das vorher bei 105 °C getrocknete Siebgut wurde durch alle Prüfsiebe – beginnend mit dem größten und durch das jeweils nächstkleinere – geschüttelt. Mit jedem Sieb musste solange gesiebt werden, bis kein Durchgang mehr stattfand. Der Siebrückstand wurde gewogen. Dabei wurde besonders geachtet, dass nicht mehr als 1 M.-% des Siebgutes verloren ging, ansonsten wäre der Versuch ungültig gewesen und hätte wiederholt werden müssen. Aus den Siebrückständen wurden die Siebdurchgänge ermittelt und in Massenprozent, bezogen auf die gesamte Probe, angegeben. Der Siebversuch wurde zweimal durchgeführt.

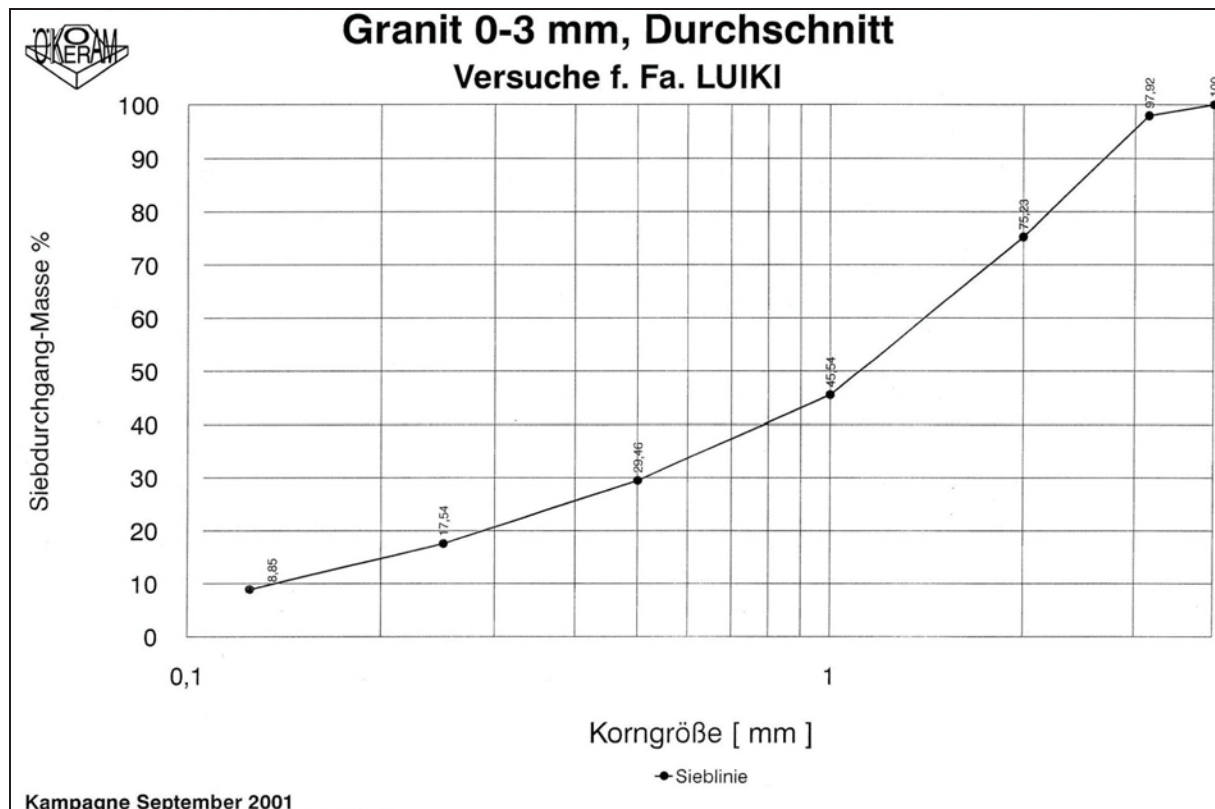
Für die Bestimmung der Kornzusammensetzung wurden Prüfsiebe folgender Nennweite verwendet:

- 125 µm
- 250 µm
- 500 µm
- 1 mm
- 2 mm
- 3,15 mm
- 4 mm

Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse aus der Siebanalyse des Granitsandes 0/3. Abbildung 7 zeigt die aus diesen Daten ermittelte Sieblinie.

**Tabelle 4: Kornzusammensetzung des Granitsandes 0/3**

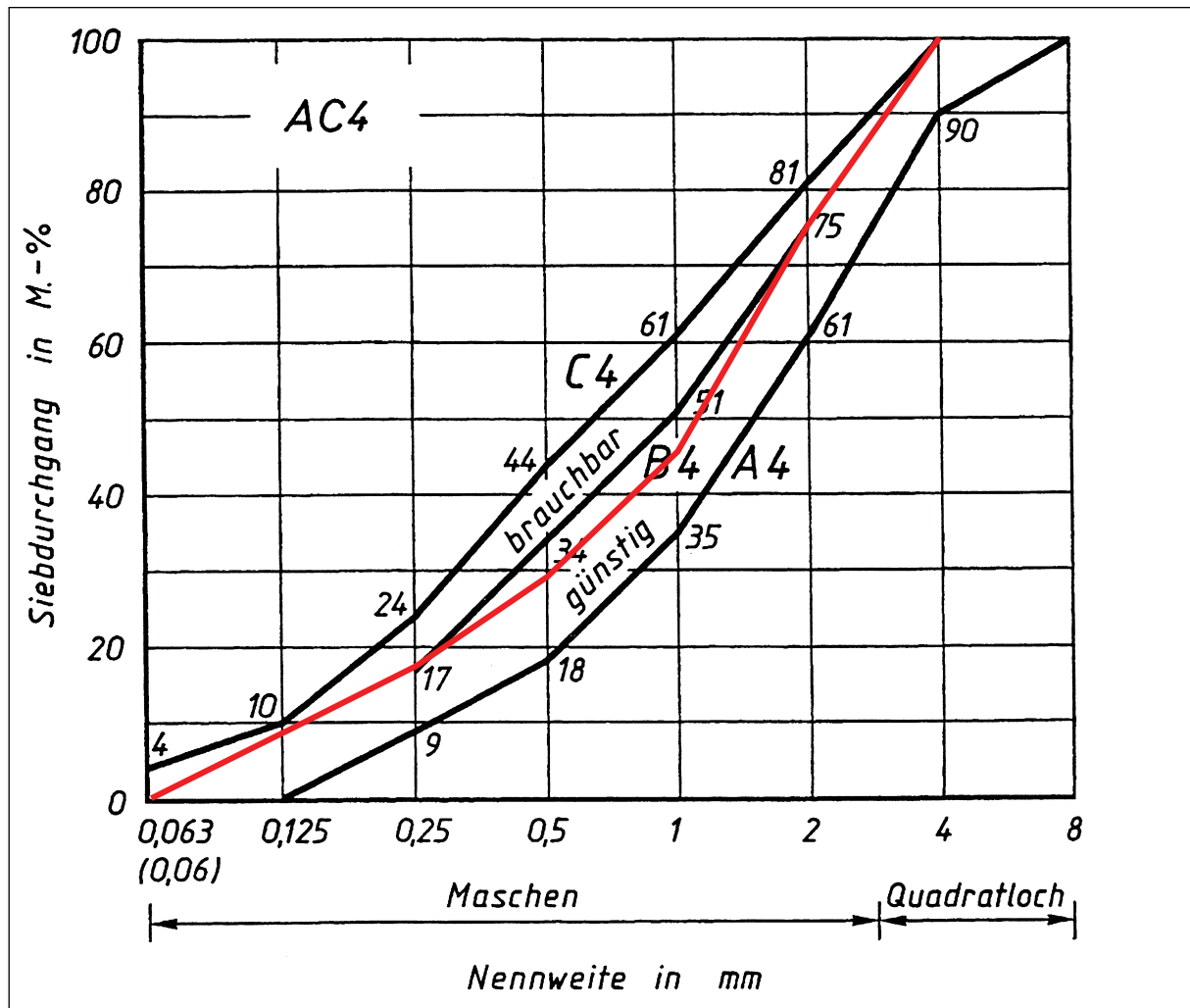
Sieböffnung	Siebdurchgang
[µm]	[M.-%]
125	8,85
250	17,54
500	29,46
1.000	45,54
2.000	75,23
3.150	97,92
4.000	100,00



**Abbildung 7: Sieblinie des Granitsandes 0/3**

Um die Sieblinie des hergestellten Granitsandes bewerten zu können, wurden die Grenzsieblinien der ÖNORM B 3304 herangezogen. Dabei wird die Sieblinie des Granitsandes mit den Grenzsieblinien A, B und C der ÖNORM verglichen. Die Grenzsieblinien grenzen Bereiche für jene Kornzusammensetzungen ab, die für Beton günstig (zwischen A und B) oder brauchbar (zwischen B und C oder A und C) sind. Der Bereich unterhalb der Grenzsieblinie A kennzeichnet Zuschläge, die einen zu grobkornreichen, schwer verarbeitbaren Beton ergeben. Der Bereich oberhalb der Grenzsieblinie C kennzeichnet sehr feine Zuschläge, die zur Verarbeitung und zur Erzielung ausreichender Festigkeiten einen sehr hohen Wasser- und Zementzusatz brauchen und deshalb technologisch und wirtschaftlich ungünstig sind. Die Zahl nach den Grenzsieblinien kennzeichnenden Buchstaben gibt das Größtkorn des Korngemisches an. [11]

Da es in der ÖNORM kein Normprüfsieb mit der Nennweite 3,15 mm bzw. kein Größtkorn mit 3 mm gibt, musste für den Vergleich der Sieblinie des Granitsandes auf die Grenzsieblinien AC 4 zurückgegriffen werden d.h. mit einem Größtkorn von 4 mm gearbeitet werden. Daher wird der Siebdurchgang bei 3,15 mm nicht berücksichtigt.



**Legende:**

- Grenzsieblinie A, B und C
- Sieblinie des Granitsandes

**Abbildung 8: Vergleich Grenzsieblinien mit der Sieblinie des Granitsandes**

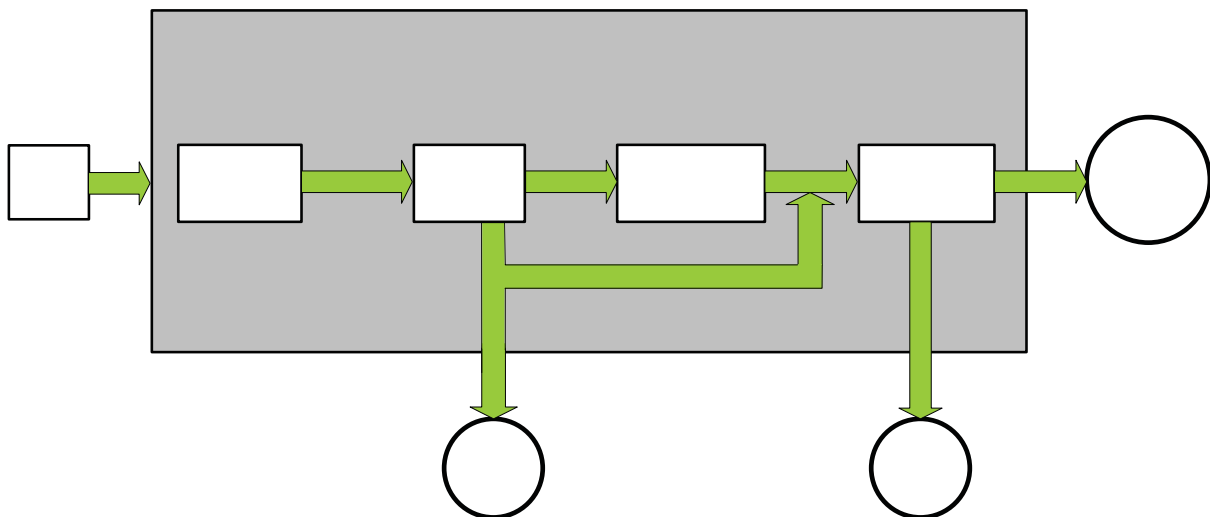
Aus der Abbildung 8 ist ersichtlich, dass sich die Sieblinie im günstigen Bereich befindet. Das daraus resultierende Endergebnis ist aus der Sicht der ÖNORM B 3304 ein äußerst zufriedenstellendes. Jedoch stellte sich bald heraus, dass der Granitsand einen zu geringen Feinanteil im Bereich 0,25 - 1 mm für die Weiterverarbeitung der Fa. Luiki hatte. Somit wäre die ideale Sieblinie für die Fa. Luiki im Bereich der Grenzsieblinien B und C. Das Problem wurde damals von der Fa. Luiki durch beimengen von Quarzsand gelöst.

## 4.2.2 Möglichkeiten für eine zukünftige Aufbereitung [12]

Art und Umfang einer Aufbereitungsanlage wird in erster Linie durch die Qualitätsanforderungen an das Endprodukt bestimmt. Bei der Erzeugung von Granitsand der Korngröße 0/3 kann sich die Aufbereitung auf das Zerkleinern und die Abscheidung von Störstoffen wie z.B. Holz beschränken. Im folgenden sollen nun die drei möglichen Anlagenarten - mobil, semimobil und stationär - mit ihren Vor- und Nachteilen beschrieben werden. Anschließend erfolgt eine Diskussion welcher Anlagentyp der geeignetste für die Fortführung des Projektes ist.

### 4.2.2.1 Mobile Anlagen

Mobile Anlagen sind insbesondere für den direkten Einsatz für Einzugsgebiete mit geringem Bauschutttaufkommen pro Ablagerungsplatz geeignet. Die einzelnen Komponenten einer Aufbereitungsanlage (Absiebung, Zerkleinerung, Eisenseparation) sind hierbei auf eine Transporteinheit (Sattelaufleger, Anhänger) zusammengefasst. Die Abbildung 9 zeigt das Funktionsschema einer mobilen Aufbereitungsanlage.



**Abbildung 9: Funktionsschema einer mobilen Anlage [12]**

Das aufzubereitende Material wird mit einem Bagger oder Radlader in einen Aufgabebunker aufgegeben. Austragsorgan ist eine Austragsrinne, die auf eine Vorklassiersiebmaschine, einen Kreisschwinger fördert. Als Siebbelag kann wahlweise ein Stangenrost oder ein Lochblech gewählt werden. Der Siebüberlauf wird in den nachfolgenden Prallbrecher auf die gewünschte Korngröße zerkleinert und über eine Schwingföderrinne in Drehrichtung des Rotors ausgetragen. Von dort aus gelangt das Material auf einen Gurtförderer und kann zur weiteren Klassierung einer Siebmaschine zugeführt werden. Über dem Förderbandkopf ist ein Magnetabscheider in Förderrichtung angeordnet. Das angefallene Überkorn kann wahlweise aufgehaldet oder zum Prallbrecher zurückgeführt werden.



Als Vorteile für mobile Anlagen lassen sich der geringe Aufwand für die Platzvorbereitung und wegfallenden Transportkosten für die Aufbereitung des Granitabfalles nennen. Dem stehen aber die beschränkte Produktpalette und das begrenzte Anlagenkonzept (teilweise fehlende Klassier- und Sortieraggregate) als diverse Nachteile gegenüber.

#### 4.2.2.2 Semimobile Anlagen

Semimobile Anlagen bestehen aus mehreren transportfähigen Einheiten (vgl. Abbildung 10). Die Hauptaggregate (Vorabscheideseib und Brecher) sind auf eine Stahlkonstruktion mit Kufen montiert. Für den Transport werden die Einzelteile demontiert und mittels Kränen auf einen Tieflader gezogen bzw. verladen. Vor- und Nachteile der semimobilen Anlagen entsprechen denen der mobilen. Allerdings durch die Möglichkeit der Installation von manuellen Lesestationen und Nachsiebeeinheiten und Magnetabscheidern können höhere Produktqualitäten erreicht werden.

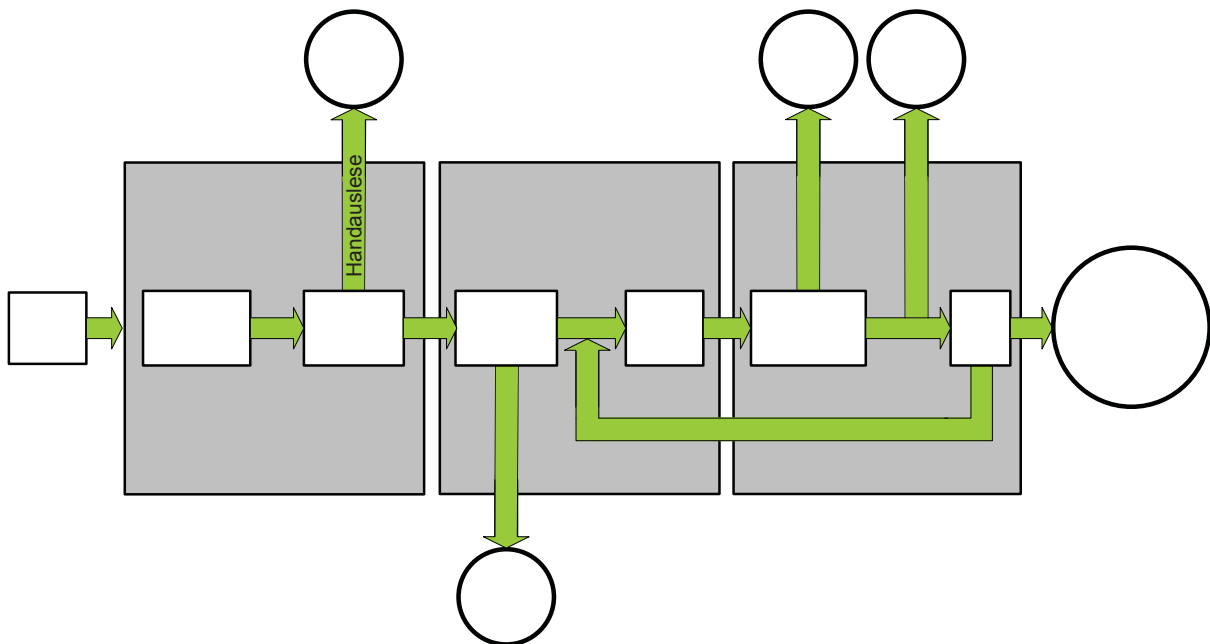


Abbildung 10: Funktionsschema einer semimobilen Anlage [12]

#### 4.2.2.3 Stationäre Anlagen

Stationäre Anlagen erlauben aufgrund der Baugröße und qualifizierter Aufbereitungstechniken die Erzeugung sehr guter Produktqualitäten. Diese sind mit mobilen und semimobilen Anlagen nicht vergleichbar. Der Einsatz von Vor- oder Nachbrechern erzeugt ein exakteres Kornspektrum. Darüber hinaus können durch den Einbau mehrerer Lesestationen sowie zusätzlicher Sortieraggregate (Nass- und Trockensichter) Fremdstoffe, die zu einer Qualitätsminderung führen, abgetrennt werden. Ein Funktionsschema in Abbildung 11 soll den Ablauf verdeutlichen. Als Nachteil einer stationären Anlage wären hier

die anfallenden Transportkosten für den Auftraggeber zu erwähnen, da das aufzubereitende Granitmaterial zur bzw. von der stationären Aufbereitungsanlage transportiert werden muss.

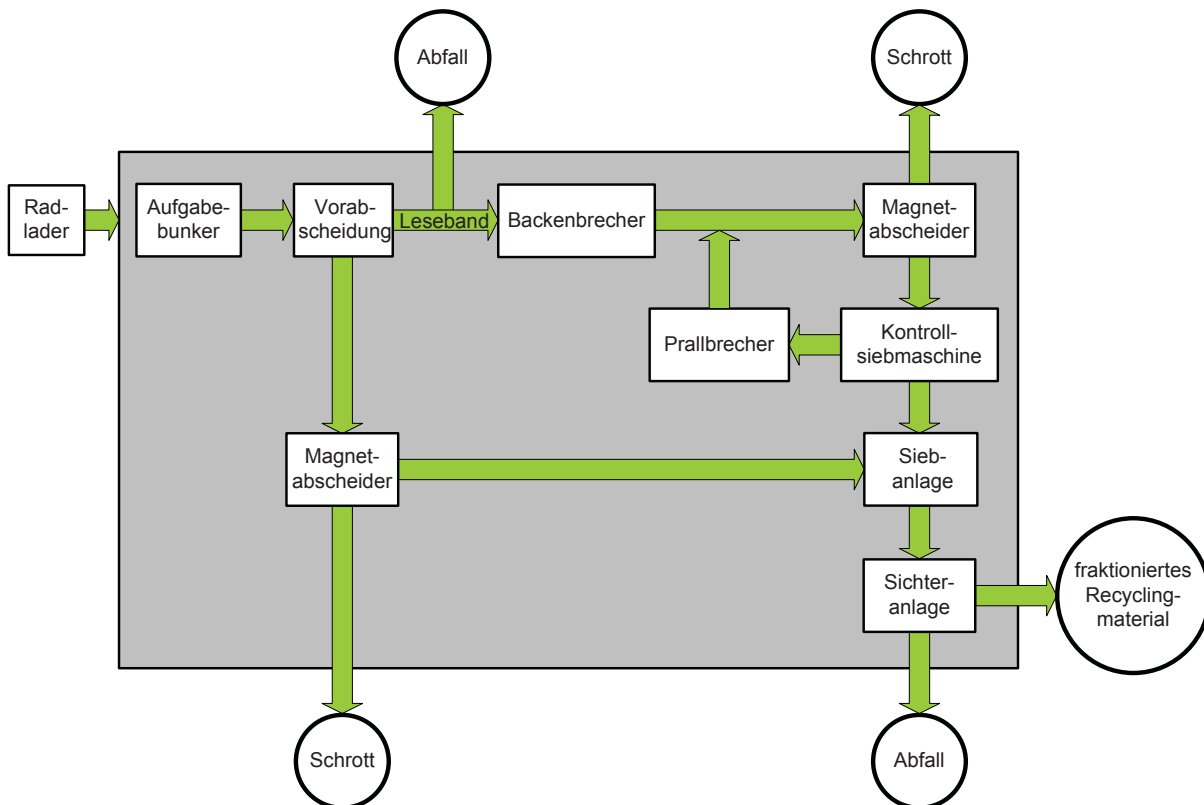


Abbildung 11: Funktionsschema einer stationären Anlage [12]

#### 4.2.2.4 Mobil, semimobil oder stationär?

Wenn man generell die wachsenden Qualitätsansprüche der aufzubereitenden Produkte beobachtet, so erfüllt die stationäre Anlage am besten die Anforderungen für die Herstellung von Granitsand mit der Zielkorngröße 0/3. Dem stehen aber die hohen Transportkosten gegenüber, die als wesentlicher Entscheidungsfaktor nicht unberücksichtigt bleiben dürfen.

Mobile Brecheranlagen bieten zwar den Vorteil, dass sie direkt am Ablagerungsplatz der Fa. Fast eingesetzt werden können und man sich somit den Transport erspart. Andererseits ist ihr Einsatz auf das Brechen der Granitrückstände auf die Fraktion 0/3 beschränkt. Durch das Fehlen eines Vor- oder Nachbrechers und die relativ großen Brecherspalten steht man vor dem Problem, dass max. 30 % der Aufgabe nur auf 0/3 gebrochen werden kann. Die übrigen 70 % müssten unter ihrem eigentlichen Wert verkauft werden.

Aufgrund des größeren Platzbedarfes für eine semimobile Anlage ist am Betriebsgelände der Fa. Fast eine Aufbereitung der Granitrückstände im Vorhinein auszuschließen. Ein weiterer Grund wären auch die zu langen Montage- bzw. Demontagezeiten dieser Anlage, die den normalen Betriebsablauf bei der Fa. Fast wesentlich beeinflussen würde.

Wenn man die Vor- und Nachteile der mobilen bzw. stationären Anlage nochmals vergleicht, so bietet sich die neu errichtete stationäre Anlage am Betriebsgelände der ehemaligen Fa. Freund als beste Lösung für die Anforderungen dieses Projektes an. Durch die geringe Entfernung (ca. 5 km) der beiden Betriebe entfällt der Nachteil bezüglich der teuren Transportkosten. Zwar gibt es keine Erfahrungswerte von dieser Anlage, da die Inbetriebnahme in August 2003 erfolgt. Die Praxis zeigt aber, dass solche Aufbereitungsanlagen den immer größer werdenden Qualitätsansprüchen am meisten gerecht wurden.

### **4.3 Aufbereitung und Weiterverarbeitung zu antikisierten Platten**

Die vom übrigen Granitabfall aussortierten Platten wurden zu antikisierten quadratischen Platten bzw. Polygonplatten weiter verarbeitet. Anhand der nachfolgenden Unterpunkte sollen jene Arbeitsvorgänge zur Herstellung der Platten beschrieben werden.

#### **4.3.1 Herstellung der antikisierten quadratischen Platten**

##### **Schneiden der Platten**

Die auf den Holzpaletten zwischengelagerten Platten wurden während der Wintermonate von der Fa. Fast geschnitten.

Die Platten mit einer Dicke von 20 mm wurden zu quadratischen Platten mit einer Seitenlänge von 100 mm geschnitten.

Die Platten mit einer Dicke von 30 mm wurden zu quadratischen Platten mit einer Seitenlänge von 120 mm bzw. 150 mm geschnitten.

Der Verschnitt wird entweder zur Weiterverarbeitung zu antikisierten Polygonplatten gegeben, oder zur Aufbereitung zu Granitsand zugeführt.

Die fertig geschnittenen Platten wurden je nach Granitsorte und Größe auf die Holzpaletten geschichtet, um später getrommelt zu werden.

##### **Trommeln der quadratischen Platten**

Durch das Trommeln werden die Platten antikisiert. Das Ziel der Antikisierung soll die Herstellung einer unregelmäßigen Oberflächenstruktur und die Abrundung der Ecken und Kanten sein.

In der ersten Hälfte der Projektphase erfüllte diesen Aufgabenbereich die Fa. Freund. Um die Herstellung der Platten zeitlich flexibler gestalten zu können und die unnötigen Transporte zwischen der Fa. Fast und der Fa. Freund zu vermeiden, einigten sich die Unternehmen, dass die Trommelmühle am Betriebsgelände der Fa. Fast aufgestellt wird.

Die verwendete Trommelmühle (vgl. Abbildung 12) besitzt ein Fassungsvermögen von ca. 500 l. Die Trommel besteht aus Stahl, um den auftretenden Belastungen auf den Mantel durch die Steine stand zu halten.



**Abbildung 12: Trommelmühle**

Das Befüllen erfolgte händisch in folgender Reihenfolge. Zuerst wurden die geschnittenen, quadratischen Platten in die Trommelmühle eingefüllt, anschließend wurde Sand hinzugegeben. Dabei handelte es sich um einen sogenannten Hütten- oder Keramiksand mit einer Korngröße von 0 - 2 mm. Abschließend wurde die Trommel mit Wasser befüllt, so dass ca. ein Viertel ihres Volumens frei blieb.

Nachdem die Granitplatten fertig getrommelt waren, wurde die Trommelmühle entleert. Da die Platten mit anhaftendem Schlamm verschmutzt waren, wurden diese sofort mit Wasser gereinigt. Der durch das Trommeln entstehende Schlamm ist ein Gemisch aus Wasser, Hütten sand und feinen Granitresten. Ebenfalls folgte nach jedem Trommeln eine komplette Reinigung der Trommel. Dafür wurde der Schlamm in das bestehende Schleif- und Schlamm sammelbecken eingeleitet. Als letzten Arbeitsschritt wurden die sauberen antikisierten Granitplatten auf Holzpaletten geschichtet.

Insgesamt wurden in mehreren Versuchsreihen aus sortenreinem bzw. nicht sortenreinem Granitarten verschiedene Produkte hergestellt. Die Zusammensetzung der einzelnen Versuchsreihen wird in Tabelle 5 dargestellt.

**Tabelle 5: Zusammensetzung der einzelnen Versuchsreihen**

Versuchsreihe	Plattengröße	sortenrein	Platten	Sand	Laufzeit der Trommel
Nr.	[mm]x[mm]x[mm]	[Ja / Nein]	[kg]	[dm <sup>3</sup> ]	[h]
1	100 x 100 x 20	Ja	180	120	24
2	120 x 120 x 30	Ja	180	120	24
3	120 x 120 x 30	Ja	180	120	12
4	150 x 150 x 30	Nein	180	120	24
5	150 x 150 x 30	Ja	180	120	24

Bis auf die Versuchsreihe Nr. 3 und Nr. 6 betrug die Laufzeit der Trommelmühle jeweils 24 Stunden. Wie erwartet konnte bestätigt werden, dass der Grad der Abrundung mit steigender Trommelzeit zunimmt. Abbildung 13 zeigt zum Vergleich des Abrundungsgrades die Versuchsreihen Nr. 2 (24 Stunden) und Nr. 3 (12 Stunden).



**Abbildung 13: Abrundung nach 12 Stunden (Nr. 3, links) und 24 Stunden (Nr. 2, rechts)**

Weiters konnte durch die Versuchsreihe Nr. 4 klar erkannt werden, dass sich die verschiedenen Granitarten unterschiedlich stark abrunden, wenn sie gemeinsam antikisiert werden. Zum Beispiel nützt sich der schwarze Nero Assoluto weniger stark ab, als vergleichsweise der Serizzo in derselben Verarbeitungszeit (vgl. Abbildung 14).





**Abbildung 14: Abrundungsgrad im Vergleich Nero Assoluto (links) zu Serizzo (rechts)**

Bei der Versuchsreihe Nr. 5 stellte sich heraus, dass man bei den quadratischen Platten mit einer Seitenlänge von 150 mm mit einem höheren Ausschuss (ca. 30 %) durch Brechen der Kanten (vgl. Abbildung 15) gegenüber kleineren Platten rechnen muss. Dieses Risiko will man bei einer späteren Produktion trotzdem eingehen, da diese Platten zwei weitaus größere Vorteile bieten. Erstens den geringeren Zeit- und Materialaufwand beim Schneiden, sowie der geringere Zeitaufwand beim Verlegen.



**Abbildung 15: Deformierte Granitplatte**

Durch die Ergebnisse der vorherig beschriebenen Versuchsreihen wird man sich auf die Produktion von antikisierten quadratischen Platten mit einer Seitenlänge von 120 mm bzw. 150 mm konzentrieren. Weiters ist von besonderer Wichtigkeit, dass die Trommel nur mit

einer Granitsorte befüllt wird, um ein unterschiedlich starkes abrunden der Kanten und Ecken zu vermeiden. Die Trommelzeit sollte mindestens 12 Stunden betragen um eine gleichmäßige Oberfläche zu erzeugen, aber nicht über 24 Stunden hinaus, da die Abrundung ansonsten zu stark wäre. Auf die Produktion von quadratischen Platten mit einer Seitenlänge von 100 mm will man in Zukunft wegen des viel höheren Arbeitsaufwandes verzichten.

### 4.3.2 Herstellung der antikisierten Polygonplatten

Ein größerer Teil der gesammelten Granitplatten mit einer Stärke von 20 bzw. 30 mm wurde nicht zugeschnitten, sondern lediglich mit einem Hammer klein geschlagen, sodass unregelmäßige Formen entstanden. Dabei handelt es sich um jene Fraktion, welche aufgrund ihrer Größe zum Schneiden unwirtschaftlich, aber zum Verarbeiten zu Granitsand zu schade ist. Nachdem die Bruchstücke zerkleinert worden sind, wurden diese ebenfalls in der Trommelmühle getrommelt. Auch hier hatte das Trommeln den Sinn, die scharfen Kanten und Ecken abzurunden und eine unregelmäßige Oberflächenstruktur herzustellen.

Die Befüllung der Trommel erfolgte ferner nach der gleichen Rezeptur (Platten, Hüttensand und Wasser), wie die bei der Herstellung der antikisierten quadratischen Platten, jedoch wurde hier ausschließlich mit einer Trommelzeit von 12 Stunden gearbeitet. Der Grund dafür liegt darin, dass man die Abrundung so gering wie möglich machen will, um die unregelmäßigen Fugenbreiten so schmal wie möglich zu halten. Die Sortenreinheit kann, muss aber nicht berücksichtigt werden, da es sich hier im Vergleich nicht um Platten mit einer regelmäßigen Größe und Form handelt. Abbildung 16 zeigt links die fertigen Polygonplatten und rechts eine Platte vor dem Trommeln.



Abbildung 16: Fertige Polygonplatten (links) und Platte vor dem Trommeln (rechts)

#### 4.4 Aufbereitung von Granitabfällen zu Trommelsteinen

Ein Teil (ca. 600 kg) des Siebüberlaufs aus der Primärzerkleinerung (Bruchsteine 30 - 80 mm) wurde zu Trommelsteinen weiterverarbeitet. Die dafür nötigen Arbeitsschritte sind im folgenden erklärt.

##### Trommeln der Trommelsteine

Zum Trommeln der Bruchsteine kam dieselbe Trommelmühle zum Einsatz. Durch das Trommeln sollen in einem ersten Arbeitsschritt die scharfkantigen Bruchsteine gerundet werden. Hierfür wurde wiederum die Trommel mit Hüttensand, Wasser und den Bruchsteinen gefüllt. Wie bei den Platten achtete man darauf, dass ein Viertel des Volumens frei blieb. Die Tabelle 6 zeigt die Zusammensetzung der einzelnen Versuchsreihen.

**Tabelle 6: Zusammensetzung der einzelnen Versuchsreihen**

Versuchsreihe	Bruchsteine	Sand	Laufzeit der Trommel
	[kg]	[dm <sup>3</sup> ]	[h]
1	260	90	44
2	325	90	48

Das höhere Füllgewicht der Trommel erklärt sich daraus, dass die Bruchsteine weniger sperrig sind als die Granitplatten. Anhand der beiden Versuchsreihen konnten aber keine Unterschiede des Abrundungsgrades wahrgenommen werden. Jedoch ist die Zusammensetzung der Versuchsreihe Nr. 2 vorzuziehen, da im Vergleich zur Versuchsreihe Nr. 1 mehr Bruchsteine getrommelt werden können.

##### Polieren der Trommelsteine

Nachdem die abgerundeten Trommelsteine mit Wasser vom anhaftenden Schlamm gereinigt wurden, konnten sie in einem nächsten Arbeitsschritt poliert werden. Durch die Politur sollen die Trommelsteine eine glänzende und glatte Oberfläche erhalten. Zum Polieren der Trommelsteine kam erneut die beschriebene Trommelmühle zum Einsatz, die ebenfalls vorher entleert und gereinigt wurde.

Poliert wurde nach zwei unterschiedlichen Rezepturen, deren Zusammensetzung in der Tabelle 7 dargestellt wird.



**Tabelle 7: Zusammensetzung der Rezepturen**

Rezeptur	Trommel- steine	Mikrosilika	Titanoxid	Säge- späne	Wasser	Laufzeit der Trommel
	[kg]	[dm <sup>3</sup> ]	[dm <sup>3</sup> ]	[dm <sup>3</sup> ]	[dm <sup>3</sup> ]	[h]
1	325	60	---	---	90	69
2	260	---	90	50	120	48

Das Ergebnis war weniger zufriedenstellend. Zwar lieferte die Rezeptur Nr. 2 ein besseres Erscheinungsbild als die Rezeptur Nr. 1, jedoch die erwünschte polierte Oberfläche wurde nicht erfüllt. Das Problem am Erscheinungsbild liegt darin, dass die Trommelsteine keine durchgehende polierte Oberfläche aufwiesen.

Man musste schließlich eingestehen, dass man mit den derzeitigen Möglichkeiten zwar Trommelsteine prinzipiell herstellen kann, aber nicht mit einer polierten Oberfläche.

Das Ergebnis des Trommelns wird in Abbildung 17 dargestellt. Wie man in der Abbildung erkennen kann, fehlt die glänzende Oberfläche, weshalb man auf den letzten, auch sehr zeitaufwendigen Arbeitsschritt, des Polierens der Steine, in Zukunft gänzlich verzichten will. Am Erscheinungsbild der Steine würde sich nicht viel ändern.

**Abbildung 17: Trommelsteine**

## 5 Qualität und Einsatz der aufbereiteten Granitabfälle

Der Begriff Qualität umfasst ein breites Spektrum, und jeder würde diesen Begriff nach seinen Wünschen definieren, denn Qualitätsansprüche sind sehr subjektiv geprägt. Die Technikerbranche bietet z.B. in der ISO-Familie 9000 umfangreiche Aussagen zur Qualität an und diese sind auch auf die Belange des Bauwesens übertragbar und werden somit herangezogen. Die Qualität wird angegeben als „Gesamtheit von Merkmalen einer Einheit bezüglich ihrer Eignung, die zu messen sind an festgelegten und vorausgesetzten Erfordernissen“. D.h. es ist notwendig, für die entsprechenden Einsatzfälle und das dazugehörige Objekt die Qualitätsansprüche zu definieren, an denen dann der Istzustand gemessen werden kann. [13]

### 5.1 Qualitätssicherung durch das Einbauzeichen ÜA

#### 5.1.1 Allgemeines [14], [15], [16]

Beim Einbauzeichen ÜA (ÜA steht für Übereinstimmung Austria) handelt es sich um eine verpflichtende Kennzeichnung von Bauprodukten für ihre uneingeschränkte Verwendbarkeit in Österreich. In einer Vereinbarung gemäß Artikel 15 a B-VG über die „Regelung der Verwendbarkeit von Bauprodukten“ haben sich die Bundesländer für die Übergangszeit bis zum Vorliegen harmonisierter europäischer technischer Spezifikationen (CE-Kennzeichnung) zur Einführung des sogenannten ÜA-Einbauzeichens geeinigt. Somit stellt das ÜA-Zeichen nur eine Übergangslösung bis zur endgültigen Einführung der CE-Kennzeichnung für Bauprodukte im Juni 2004 dar. Ziel der CE-Kennzeichnung ist die Beseitigung von Handelshemmnissen innerhalb des Binnenmarktes. Produkte, die schon jetzt mit europäischen technischen Spezifikationen übereinstimmen, gelten als geeignet und sind durch das CE-Symbol zu kennzeichnen. Sie können im gesamten Gebiet der Europäischen Union frei gehandelt und für den vorgesehenen Zweck verwendet werden.

Die für die einzelnen Bauprodukte geltenden technischen Anforderungen werden in der Baustoffliste ÖA festgelegt. Diese Baustoffliste wird vom Österreichischen Institut für Bautechnik (OIB) in Form einer Verordnung erlassen. Die Übereinstimmung des Bauproduktes mit den in der Baustoffliste festgelegten Regelwerken ist durch eine Übereinstimmungserklärung des Herstellers, oder durch ein Übereinstimmungszeugnis einer hierfür ermächtigten Stelle nachzuweisen. Die zur Ausstellung von Zeugnissen ermächtigten Stellen sind im Anhang ersichtlich.

Nach vorliegen der Übereinstimmungserklärung bzw. des Übereinstimmungszeugnisses bringt der Hersteller das ÜA-Zeichen am Produkt an. Das ÜA-Zeichen besteht aus dem Bildzeichen „ÜA“, der Kurzbezeichnung des Übereinstimmungsnachweises sowie der Bezeichnung der ausstellenden Stelle. In der folgenden Abbildung 18 wird das am Bauprodukt anzubringende ÜA-Einbauzeichen dargestellt.



**Abbildung 18: Einbauzeichen ÜA [14]**

Bauprodukte, die in der Baustoffliste angeführt sind dürfen in Zukunft nur verwendet werden, wenn sie dem für sie geltenden und in der Baustoffliste ÖA bekannt gemachten Regelwerk entsprechen, oder nur unwesentlich davon abweichen, oder ein Gutachten des Österreichischen Institutes für Bautechnik die gleichwertige Verwendbarkeit bestätigt und sie das Einbauzeichen tragen. Anschließend sollen jene Produktgruppen angeführt werden, für das ÜA-Einbauzeichen zwingend gilt [14]:

#### **1. AUSGANGSPRODUKTE:**

- Bindemittel
- **Beton- und Mörtelzuschläge**
- Beton- und Mörtelzusatzstoffe
- Zusatzmittel
- **Gesteinskörnungen für den Straßenbau**
- Recycling-Baustoffe für den Straßenbau

#### **2. BETON- UND STAHLBETONBAU:**

- Betonbewehrung
- **Beton**
- **Vorgefertigte Bauteile aus Beton, Leichtbeton und Stahlbeton, Ziegel**
- **Vorgefertigte Bauteile aus Porenbeton**
- **Vorgefertigte Bauteile aus Porenbeton**

#### **3. MAUERWERKSBAU:**

- Ziegel
- Vorgefertigte massive Wandelemente aus Ziegel
- Betonsteine
- Porenbetonsteine
- Mörtel und Putze

#### **4. HOLZBAU:**

- Holzrahmenbauweisen

**5. DÄMMSTOFFE:**

- Dämmstoffe für den Schall- und Wärmeschutz

**6. FASSADENELEMENTE:**

- Faserzementplatten und –tafeln

**7. DACHEINDECKUNGEN; DACH- UND BAUWERKSABDICHTUNGEN:**

- Dachsteine
- Dachziegel
- Faserzementplatten und zugehörige Formteile
- Dachschindeln
- Bituminöse Dach- und Abdichtungsbahnen
- Brückenabdichtungsbahnen

**8. WAND UND DECKENBEKLEIDUNGEN SOWIE NICHTTRAGENDE INNEWÄNDE:**

- Bauprodukte aus Gips
- Faserzementtafeln
- Bekleidungen aus Porenbeton

**9. ABWASSERBEHANDLUNGSANLAGEN:**

- Mineralöl- Abscheideanlagen
- Fettabscheider
- Kläranlagen

**10. BAUTENSCHUTZMITTEL:**

- Bitumen- Voranstrichmittel
- Klebmassen
- Deckanstrichmittel
- Heißvergussmassen

**11. FLÄCHENBEFESTIGUNGEN:**

- **Fertigteile aus Beton**
- Fertigteile aus Lehm, Ton

**12. LÄRMSCHUTZWÄNDE:**

- Elemente für Lärmschutzwände

**13. RAUCH- UND ABGASFÜHRENDE BAUTEILE:**

- Rauch- und Abgasfänge

**14. FEUERSCHUTZABSCHLÜSSE:**

- Drehflügel-, Pendeltüren und -tore, Hub-, Hubglieder-, Kipp-, Roll-, Schiebe-, und Falltüren und -tore sowie Dachbodenabschlüsse
- Verglasungselemente
- Brandschutzklappen

**15. PRODUKTE FÜR DIE WASSERVERSORGUNG UND ABWASSERBESEITIGUNG:**

- Schachtabdeckungen

Für die in den jeweiligen Produktgruppen fett gekennzeichneten Bauprodukte könnten die aufbereiteten Granitrückstände verwendet werden. D.h. speziell für jene Granitrückstände aus denen Gesteinskörnungen (Granitsand der Korngröße 0/3 oder Granitkies einer anderen Fraktion) hergestellt werden, ist somit eine Zertifizierung verpflichtend.

Grundsätzlich gilt, ohne ÜA- oder CE-Kennzeichnung versehene Produkte, dürfen in Österreich nicht mehr in den Verkehr gebracht werden!

**5.1.2 Umsetzung für die aufbereiteten Granitrückstände**

Für die Zertifizierung von Bauprodukten gelten zwei wesentliche Voraussetzungen:

- aufscheinen des Bauproduktes in der Baustoffliste ÖA
- entsprechen der dort genannten technischen Anforderungen

Auf diese zwei entscheidenden Punkte soll jetzt für die aufbereiteten Granitrückstände näher eingegangen werden.

**Aufscheinen des Bauproduktes in der Baustoffliste ÖA**

Der Ausschnitt der Auflistung, soll nochmals einen Überblick schaffen, bei welchen erfassten Bauprodukten die aufbereiteten Granitabfälle eventuell Verwendung finden könnten:

**1. AUSGANGSPRODUKTE:**

- Beton- und Mörtelzuschlüge
- Gesteinskörnungen für den Straßenbau

**2. BETON- UND STAHLBETONBAU:**

- Beton
- Vorgefertigte Bauteile aus Beton, Leichtbeton und Stahlbeton, Ziegel
- Vorgefertigte Bauteile aus Porenbeton
- Vorgefertigte Bauteile aus Porenbeton

## 11. FLÄCHENBEFESTIGUNGEN:

### ➤ Fertigteile aus Beton

Man kann sofort erkennen, dass nur jene Granitrückstände von der Zertifizierung betroffen sind, die lediglich zu Gesteinskörnungen gebrochen werden. Daher müssen die Gesteinskörnungen jenen in der Baustoffliste genannten Anforderungen entsprechen.

Da in der Baustoffliste ÖA keine Synonyme für Trommelsteine bzw. in der Produktgruppe Flächenbefestigungen kein Synonym für Platten aus Naturstein angeführt sind, unterliegen die hergestellten antikisierten Granitplatten und die Trommelsteine nicht der Verordnung des Österreichischen Instituts für Bautechnik (OIB). Eine Kennzeichnung dieser Produkte ist nicht notwendig.

### Entsprechen der dort genannten technischen Anforderungen

Hiefür musste erst die Frage abgeklärt werden, ob es sich bei den aufbereiteten Granitrückständen um Abfall im rechtlichen Sinne handelt, oder ob diese Rückstände als Primärrohstoffe anzusehen sind.

Zur Beantwortung dieser Frage wurde das Österreichische Institut für Bautechnik (OIB) und der Österreichische Baustoff-Recycling Verband (BRV) kontaktiert, wobei der BRV eine schriftliche Stellungnahme abgab, die folgendermaßen lautete:

*„Generell ist die Frage, ob Abfälle vorliegen damit zu beantworten, dass eine subjektive oder objektive Entledigungsabsicht vorliegt. ... ..Da es sich in diesem Fall um Abfälle eines Produktionsbetriebes handelt, wird die Behörde diese Abfälle als solche beurteilen.“*

*Sollte es gelingen, neben der Produktion von Natursteinplatten, die Produktion von Gesteinskörnungen als zweites Standbein des Betriebes (also keine Entledigungsabsicht vorliegen) darzulegen und zu beweisen, entfielen die abfallrechtliche Komponente.“*

Das OIB bestätigte die Antwort des BRV's. Da durch die Aufbereitung der Granitabfälle die abfallrechtliche Komponente entfällt, gelten für die Gesteinskörnungen aus Granit die gleichen Voraussetzungen, als handle es sich um einen direkt abgebauten Rohstoff vom Steinbruch.

Erst mit dieser Antwort konnte festgelegt werden, nach welchem Regelwerk die Gesteinskörnungen zwecks des ÜA-Zeichens geprüft werden müssen. Hätte es sich nämlich um Abfall gehandelt, so würden die Vorschriften gemäß der Richtlinie „Richtlinie für Recycling-Baustoffe“ des BRV's gültig sein. Somit gelten aber die technischen Anforderungen jener Regelwerke für Gesteinskörnungen, die das OIB vorgibt.

Folgende Regelwerke, die letztendlich zur Überprüfung der Verwendbarkeit der Gesteinskörnungen herangezogen werden, sind in Tabelle 8 angeführt:

**Tabelle 8: Regelwerke für Gesteinskörnungen [17]**

Regelwerk	Bezeichnung	Ausgabedatum
ÖNORM B 3304	Betonzuschläge aus natürlichem Gestein – Begriffe, Anforderungen, Prüfungen, Lieferung und Güteüberwachung	April 1981
ÖNORM B 5017	Hochleistungsbeton im Siedlungswasserbau	Oktober 2000
RVS 8.01.11	Baustoffe, Steinmaterial, Gesteinskörnungen für den Straßenbau	März 1993
RVS 8S.05.11	Oberbauarbeiten (ohne Deckenarbeiten), Tragschichten, Ungebundene Tragschichten	April 2001
RVS 8S.05.12	Oberbauarbeiten (ohne Deckenarbeiten) Tragschichten, Mechanisch stabilisierte Obere Tragschichten	April 2001
RVS 8S.01.41	Baustoffe, Asphalt, Anforderungen an Asphaltmischgut	November 2001

Dabei gelten für jene Gesteinskörnungen, die als Betonzuschläge eingesetzt werden, die Anforderungen der ÖNORM B 3304. Zusätzlich zur ÖNORM B 3304 sind die Anforderungen gemäß der ÖNORM B 5017 einzuhalten, wenn Betonzuschläge für Hochleistungsbeton im Siedlungswasserbau Verwendung finden.

Die Richtlinien der Forschungsgesellschaft für das Verkehrs- und Straßenwesen (RVS) gelten bei Gesteinskörnungen für den Straßenbau. Je nach gewünschten Einsatzmöglichkeiten finden die RVS 8.01.11, RVS 8S.05.11, RVS 8S.05.12 oder RVS 8S.01.41 Anwendung.

Aus der Sicht des Projektes ist die ÖNORM B 3304 für die Qualitätssicherung und Einhaltung der technischen Anforderungen, das wichtigste Regelwerk der in der Tabelle 8 angeführten Normen und Richtlinien. Aus diesem Grund wird im nächsten Unterpunkt 5.1.3 auf die Forderungen der ÖNORM B 3304 näher eingegangen werden.



### 5.1.3 Anforderungen der ÖNORM B 3304 [11], [18], [19]

Die in den nächsten Punkten angeführten Anforderungen werden entweder durch Augenschein, oder anhand von genaueren Untersuchungen überprüft.

#### 5.1.3.1 Kornform

Die Form der Gesteinskörner soll möglichst gedrunken sein, d.h. das Verhältnis der größten Länge zur kleinsten Dicke muss kleiner als 3:1 sein. Zur Bestimmung werden mit Hilfe einer Kornform-Schiebelehre 200 Körner jeder Korngruppe gemessen, und der Anteil der Körner ermittelt, bei denen das oben genannte Verhältnis nicht stimmt.

Der Anteil von Körnern mit einem Längen-Dicken-Verhältnis größer 3:1 darf 20 M.-%, bei der Korngruppe 4/8 30 M.-% nicht überschreiten.

#### 5.1.3.2 Rundkorn, Kantkorn

Rundkorn (R) ist ein Korn, dessen Oberfläche zu mehr als 50 % natürlich gerundet ist. Kantkorn (K) ist ein Korn, dessen Oberfläche zu mehr als 50 % Bruchflächen aufweist. Aus jeder Korngruppe werden 200 Körner nach Augenschein in Rundkorn und Kantkorn getrennt, gewogen und in M.-%, bezogen auf die gesamte Probe, angegeben.

Körnungen, die zu mehr als 50 M.-% aus Rundkorn bestehen, werden als Rundkörnung (RK) bezeichnet.

Körnungen, die zu mehr als 50 M.-% aus Kantkorn bestehen, werden als Kantkörnung (KK) bezeichnet.

#### 5.1.3.3 Oberflächenbeschaffenheit

Die Oberfläche der Körner muss sauber sein und insbesondere frei von Krusten, die abschlämmbares oder organisches Material enthalten.

#### 5.1.3.4 Festigkeit und Frostbeständigkeit

Die Körner müssen so fest und frostbeständig sein, dass die geforderte Betongüte erreicht werden kann. Schiefriige, stark angewitterte, rissige und absandende Körner sowie Glimmerschüppchen, und andere wenig feste Körner werden als Mürbkorn bezeichnet.

Der Mürbkorngehalt wird bestimmt

- bis zu einem Größtkorn von 4 mm nach Augenschein unter einem Mikroskop bei etwa 25-facher Vergrößerung an jeweils mindestens 1.000 Körnern,



- bei einem Größtkorn über 4 mm mit Hammerschlag. Für den Hammerversuch werden mindestens 200 Gesteinskörner aus jeder Kornklasse wahllos entnommen, getrocknet, gewogen und 24 Stunden unter Wasser gelagert. Anschließend werden die offensichtlich gesunden von den verdächtigen Körnern nach Augenschein aussortiert. Die verdächtigen Körner mit einem Hammerschlag (Masse des Hammers 250 g für Kornklasse 4/8, bzw. 500 g bei größerem Korn, Fallhöhe 30 cm) auf einer harten Unterlage zerschlagen.

Gute Körner zerspringen mit hellem Klang in wenige Stücke mit harten, scharfkantigen Bruchflächen oder brechen nicht. Schlechte Körner zerbrechen mit dumpfem Klang in viele Stücke. Die Bruchflächen sehen mürb aus. Die ermittelten Anteile an gesundem Korn und Mürbkorn werden anschließend getrocknet und gewogen.

Der Mürbkorngehalt wird in M.-% angegeben.

#### **5.1.3.4.1 Festigkeit**

Als ausreichend fest gelten Zuschläge, die

- höchstens 5 M.-% Mürbkorn enthalten, oder
- mehr als 5 M.-% enthalten. Hiefür ist die Festigkeit anhand einer Betonprüfung zu beurteilen.

#### **5.1.3.4.2 Frostbeständigkeit**

Als ausreichend frostbeständig gelten Zuschläge, die

- höchstens 5 M.-% Mürbkorn enthalten, oder
- mehr als 5 M.-% enthalten. Hiefür ist die Frostbeständigkeit anhand einer Betonprüfung zu beurteilen.

#### **5.1.3.4.3 Verwendungsklassen der Zuschläge**

- Verwendungsklasse I: Zuschläge, die fest und frostbeständig sind.
- Verwendungsklasse II: Zuschläge, die fest aber nicht frostbeständig sind.
- Verwendungsklasse III: Zuschläge mit bis zu 20 M.-% Mürbkorn, ohne Nachweis der Festigkeit und der Frostbeständigkeit.

### 5.1.3.5 Kornzusammensetzung

Die Feststellung oder Überprüfung der Korngruppen bzw. der Korngemische werden anhand von Siebversuchen durchgeführt. Damit der Siebversuch repräsentative Ergebnisse liefert, sind die Proben an den unterschiedlichen Stellen des Lagers gemäß der ÖNORM EN 932-1 „Prüfverfahren für allgemeine Eigenschaften von Gesteinskörnungen; Teil 1: Probenahmeverfahren“ zu entnehmen. Jede dieser Proben muss zunächst mindestens viermal so groß wie die in der Tabelle 9 vorgeschriebene Mindestprobemenge sein, bevor die Entnahmemenge eingeengt wird.

**Tabelle 9: Mindestprobemenge [11]**

Größtkorn	Mindestprobemenge	Mindestteilprobemenge je Siebversuch
[mm]	[kg]	[kg]
1	5	0,5
4	10	1
16	25	3
32	50	5
63	75	10
> 63	100	20

Die Siebung der bei 105 °C getrockneten Teilproben erfolgt mit Prüfsieben mit folgenden Nennweiten:

- Maschensiebe: 0,063; 0,125; 0,25; 0,5; 1,0 und 2,0 mm
- Quadratlochsiebe: 4,0; 8,0; 11,2; 16; 22,4; 31,5; 45; 63; 90 und 125 mm

Es sind zwei Teilprobemengen gemäß der Tabelle 9 zu sieben. Wenn die Ergebnisse wesentlich voneinander abweichen, oder wenn eine Teilprobe eine Anforderung nicht erfüllt, ist der Siebversuch an einer dritten Teilprobe zu wiederholen. Maßgebend für die Beurteilung ist das Mittel von zwei bzw. drei Siebungen.

### Trockensiebung

Das Siebgut wird auf das oberste (gröbste) Sieb des zusammengesetzten Siebsatzes geschüttet. Mit jedem Sieb muss solange gesiebt werden, bis kein Durchgang mehr stattfindet. Die Rückstände der Siebe werden, beim größten beginnend, eingewogen. Die in der Waagschale zueinander gewogenen Siebrückstände (additive Wägung) dürfen in ihrer

Endsumme von ihrer Ausgangsmenge nicht mehr als 1 M.-% abweichen, ansonsten gilt der Versuch als ungültig. Aus den Siebrückständen werden anschließend die Siebdurchgänge ermittelt und in M.-%, bezogen auf die gesamte Probe, angegeben.

### Nasssiebung

Eine Nasssiebung ist vorzunehmen, wenn an der Oberfläche der Körner Krusten haften, Kornklumpen oder eine genaue Erfassung des Abschlämbaren (Kornanteil kleiner 0,063 mm) erforderlich ist. Hierzu wird die getrocknete und gewogene Probe fünf Minuten lang unter Wasser kräftig gerührt und einschließlich des Wassers auf das oberste der übereinanderstehenden Siebe geschüttet. Wenn das Abschlämbare am Gesteinskorn anhaftet, ist die Probe vor der Nasssiebung mindestens vier Stunden lang unter Wasser zu lagern. Der auf den Sieben verbliebene Zuschlag wird – beginnend auf dem größten Sieb – so lange mit einem Wasserstrahl ausgewaschen, bis das abfließende Wasser klar ist.

Der Rückstand auf den Sieben wird bei 105 °C im Trockenschrank getrocknet und in M.-%, bezogen auf die trockene Prüfgutmenge, angegeben.

#### 5.1.3.5.1 Korngruppen

Eine Korngruppe ist eine Kornklasse mit allfälligem Unter- und Überkorn. Man bezeichnet sie mit den Nennweiten des unteren und oberen Prüfsiebes (vgl. Abbildung 19). Kornklassen enthalten dagegen weder Unter- noch Überkorn.

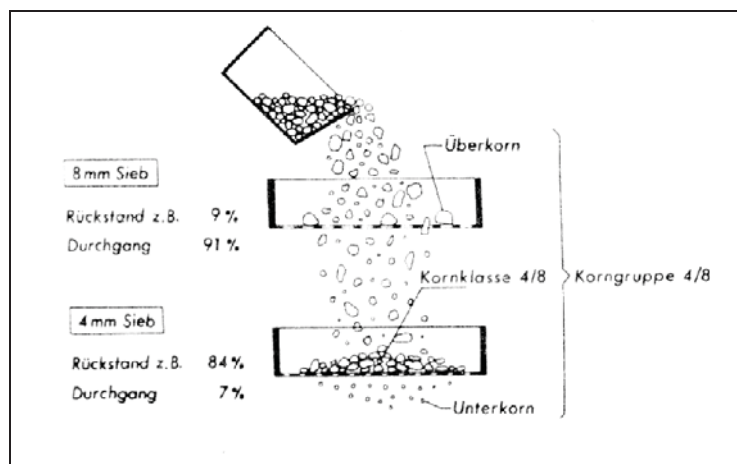


Abbildung 19: Korngruppe [18]

Grenzen für den Gehalt an Über- und Unterkorn für eine Korngruppe sind in der Tabelle 10 angeführt.

**Tabelle 10: Zulässiger Gehalt an Über- und Unterkorn [18]**

Korngröße	Unterkorn	Überkorn
[mm]	[M.-%]	[M.-%]
bis 4 mm	15	10
über 4 mm	10	10
Zusätzlich gilt: max. 2 % Durchgang durch das nächstkleinere Prüfsieb. Das Überkorn muss zur Gänze durch das nächstgrößere Prüfsieb hindurchgehen.		

### 5.1.3.5.2 Korngemische

Ein klares Bild über die Kornzusammensetzung des Korngemisches ergibt sich durch die graphische Darstellung. Die Darstellung erfolgt in einem Diagramm, bei dem auf der Abszisse in logarithmischen Maßstab die Sieböffnung, auf der Ordinate der Siebdurchgang in M.-% aufgetragen wird. Verbindet man die Punkte, so erhält man die Sieblinie des Zuschlages. Die Sieblinie wird dann mit den Grenzsieblinien (Linien A, B und C) verglichen.

Durch Grenzsieblinien werden Bereiche begrenzt, in denen erfahrungsgemäß die Kornzusammensetzung „günstig“ (Sieblinienbereich AB) oder „brauchbar“ (Sieblinienbereich BC oder AC) ist. Der Bereich unterhalb der Grenzsieblinie A kennzeichnet Zuschläge, die einen zu grobkornreichen, schwer verarbeitbaren Beton ergeben. Der Bereich oberhalb der Grenzsieblinie C kennzeichnet sehr feine Zuschläge, die zur Verarbeitung und zur Erzielung ausreichender Festigkeiten einen sehr hohen Wasser- und Zementzusatz brauchen und deshalb technologisch und wirtschaftlich ungünstig sind.

Die Grenzsieblinien für die Korngemische 4, 8, 11, 16, 22 und 32 mm sind in der folgenden Abbildung 20 bis Abbildung 24 dargestellt. Da in den Abbildungen für die jeweiligen Grenzsieblinien der ÖNORM B 3304 die Obergrenze des erweiterten Sieblinienbereiches bzw. die Untergrenze für Ausfallkörnungen nicht gezeigt werden, sind die Grenzsieblinien aus der ÖNORM B 4710-1 „Beton – Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis“ entnommen worden. Die Zahl am linken oberen Eck der Abbildungen gibt das Größtkorn (GK) des Korngemisches an.

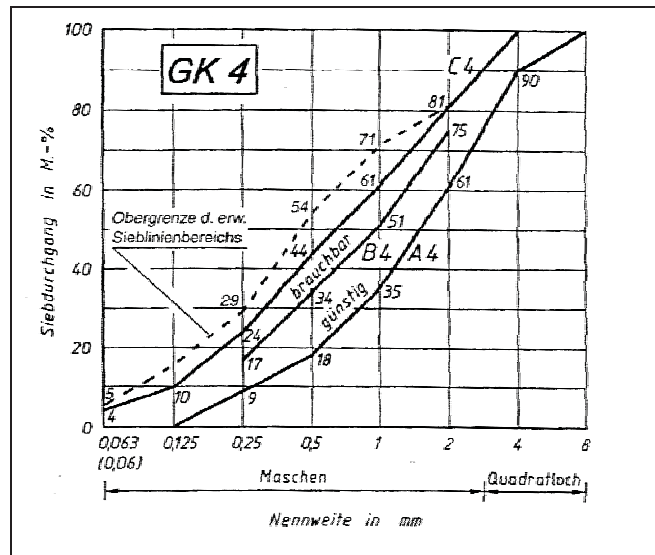


Abbildung 20: Grenzsieblinie Größtkorn 4 mm [20]

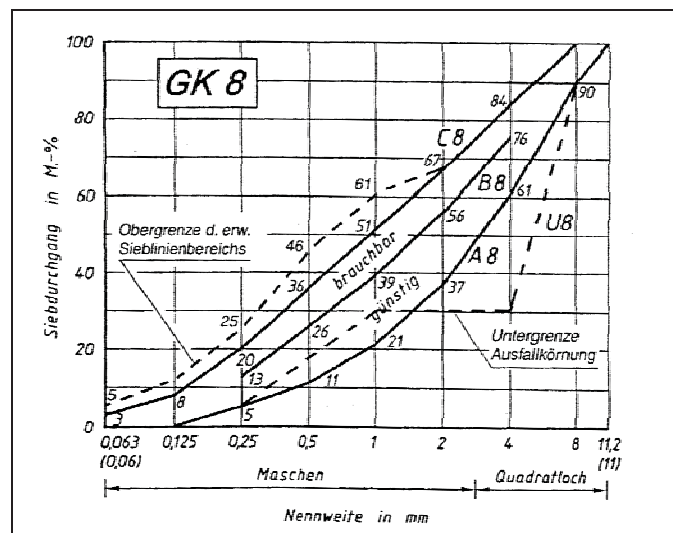


Abbildung 21: Grenzsieblinie Größtkorn 8 mm [20]

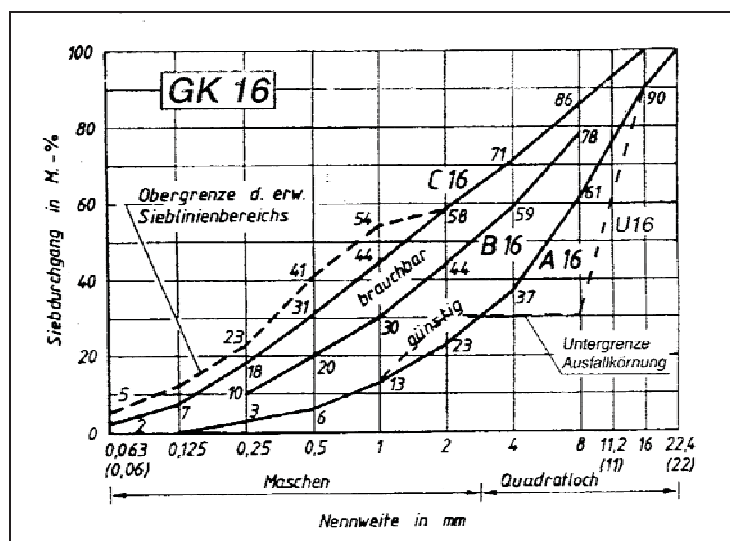


Abbildung 22: Grenzsieblinie Größtkorn 16 mm [20]

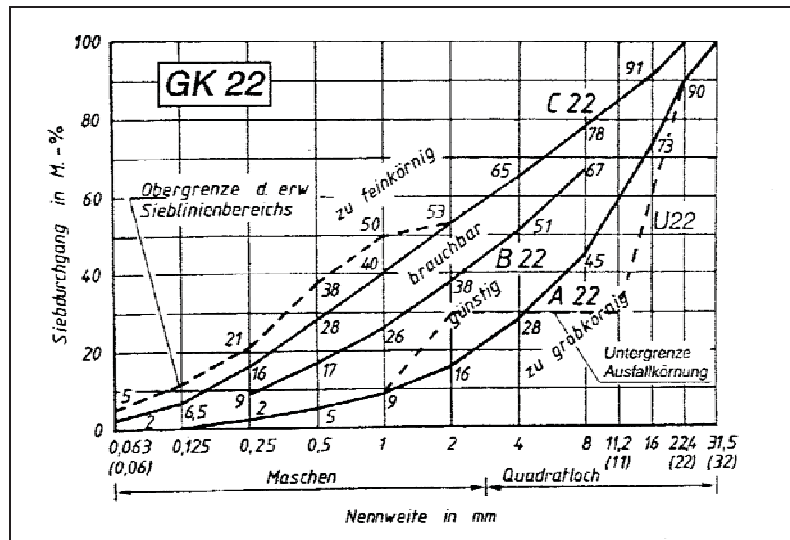


Abbildung 23: Grenzsieblinie Größtkorn 22 mm [20]

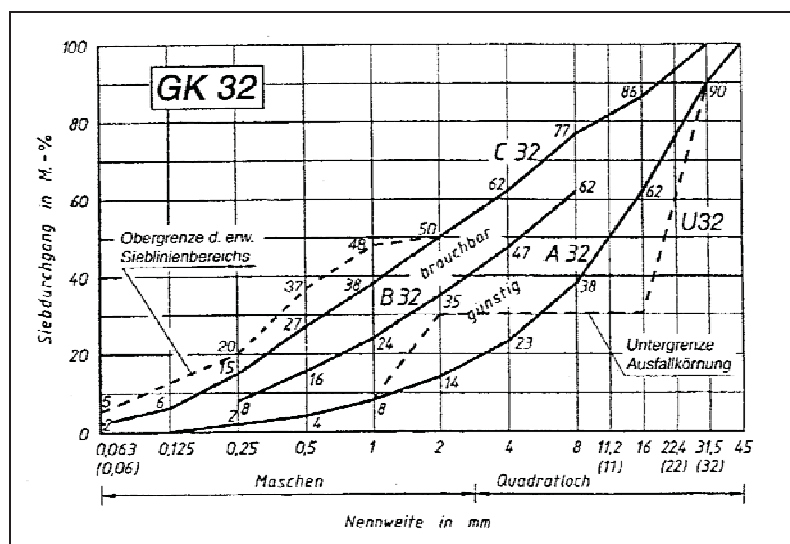


Abbildung 24: Grenzsieblinie Größtkorn 32 mm [20]

Die Sieblinie der Korngemische muss im entsprechenden Sieblinienbereich liegen. Die Bezeichnung eines Korngemisches richtet sich nach seinem Größtkorn und dem Bereich im Normdiagramm, in dem die Sieblinie liegt.

Ein Sonderfall sind jene Korngemische, die einen höheren Anteil an Abschlämbaren und Feinanteilen enthalten, als es der Grenzsieblinie C entspricht. Solche Zuschläge können trotzdem als geeignet angesehen werden, wenn sie im sogenannten „erweiterten Sieblinienbereich“ liegen. Derartige Korngemische werden mit 0/Größtkorn bezeichnet.

Ein anderer Sonderfall der Kornzusammensetzungen gegenüber den Sieblinien mit stetigem Verlauf sind Sieblinien mit unstetiger Kornfolge unter Weglassung einer oder mehrerer Korngruppen, die als „Ausfallkörnung“ bezeichnet werden. Der Unterschied zwischen grober und feiner Körnung muss jedoch groß genug sein, und der Anteil der größeren Korngruppe oberhalb der gestrichelten Grenzsieblinie U liegen.



### 5.1.3.6 Schädliche Bestandteile

Als schädliche Bestandteile gelten ein Übermaß an abschlämmbaren Bestandteilen, Stoffe organischen Ursprungs sowie erweichende, quellende und treibende Bestandteile, bestimmte erhärtungsstörende Stoffe, Schwefelverbindungen oder korrosionsfördernde Stoffe, wie Chloride.

#### 5.1.3.6.1 Abschlämmbares

Abschlämmbares ist der Kornanteil kleiner 0,063 mm. Diese sehr feinen Teilchen fallen als lehmige oder tonige Substanzen oder beim Brechen als sehr feines Gesteinsmehl an. Besonders betonschädigend sind lehmige, nicht leicht abreibbare Verkrustungen der Zuschläge (Behinderung der Bindemittelhaftung), tonige Knollen (Quellen bei Wasseraufnahme), sowie hoher Glimmeranteil im Gesteinsmehl. Deshalb sind höchstzulässige Anteile an Abschlämmbarem vorgeschrieben, die in der Tabelle 11 angegeben sind.

**Tabelle 11: Höchstzulässiger Gehalt an Abschlämmbarem [11]**

Körnung	Gehalt an Abschlämmbarem
[mm]	[M.-%]
<b>Korngruppe</b>	
0/1	5
1/4	1
4/8 bis 16/32	1 <sup>1)</sup>
<b>Korngemisch</b>	
0/4 bis 0/32	5
AB 4, AC 4, BC 4	4
AB 8 bis BC 16	3
AB 22 bis BC 32	2

1) Dürfen nur durch Abrieb entstandene Steinmehle sein

Die genaue Bestimmung des Abschlämmbaren erfolgt durch einen Auswaschversuch oder durch eine Nasssiebung (siehe Kapitel 5.1.3.5). Zur raschen Bestimmung ist der Absetzversuch geeignet.

### Absetzversuch

Die Feststellung des Gehaltes an abschlämmbaren Bestandteilen kann bei Korngruppen und Korngemischen bis zu einem Größtkorn von 4 mm erfolgen.

Die Zuschlagsprobe wird in einen Messzylinder mit 1.000 cm<sup>3</sup> Inhalt bis etwa zur 500 cm<sup>3</sup>-Marke eingefüllt. Hierauf wird Wasser bis knapp unter den oberen Rand mit Wasser gefüllt, verschlossen, so lange kräftig geschüttelt, bis alle Körner des Zuschlages sauber sind (mindestens eine Minute lang), und auf einer Unterlage abgestellt. Sobald die überstehende Flüssigkeit klar ist, frühestens nach einer Stunde, wird die Gesamthöhe des Zuschlages und die Höhe der Schlammschicht gemessen, wobei die mit bloßem Auge noch erkennbaren Feinsandkörner nicht zur Schlammschicht zählen.

Je Absetzversuch sind zwei Messzylinder anzusetzen. Maßgebend ist das Mittel aus den beiden Versuchen. Ist die Höhe der Schlammschicht in % bezogen die Gesamthöhe des Zuschlages nicht größer als  $\frac{2}{3}$  des gemäß der Tabelle 11 zulässigen Anteiles an Abschlämmbaren in M.-%, dann entspricht der Zuschlag. Ist der Anteil größer, dann ist eine genaue Bestimmung des Gehaltes an Abschlämmbaren durch eine Nasssiegung oder durch einen Auswaschversuch nötig.

### Auswaschversuch

An einer Teilprobe wird der Wassergehalt durch Trocknen bei 105 °C bestimmt (Trockenmasse  $M_1$ ). Eine zweite gleich große Probe wird ca. fünf Minuten lang mit Wasser kräftig durchgerührt und einschließlich des Wassers auf das oberste der übereinanderstehenden Prüfsiebe der Größen 2, 0,5 und 0,063 mm geschüttet. Wenn das Abschlämmbare am Gesteinskorn anhaftet, ist die Probe vor dem Auswaschversuch mindestens vier Stunden lang unter Wasser zu legen.

Der auf den Sieben verbliebene Zuschlag – beginnend auf dem größten Sieb – wird solange mit einem Wasserstrahl ausgewaschen, bis das durchfließende Wasser klar ist. Zuschläge mit einem Größtkorn von mehr als 4 mm werden zweckmäßigerweise unter zusätzlicher Verwendung des 4-mm-Siebes in zwei Teilmengen ausgewaschen.

Der Rückstand auf den Sieben wird bei 105 °C im Trockenschrank getrocknet ( $M_2$ ). Der Gehalt an Abschlämmbaren wird aus folgender Formel errechnet:

$$M_a = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad \text{in M.-%}$$

Der Auswaschversuch und die Bestimmung des Wassergehaltes sind je zweimal durchzuführen. Liegt eines der beiden Ergebnisse über die Grenzwerten der Tabelle 11, dann ist ein dritter Versuch notwendig. Maßgebend ist das Mittel aus zwei bzw. drei Versuchen.

#### 5.1.3.6.2 Organische Verunreinigungen

Der Gehalt an organischen Verunreinigungen (Humusstoffen) braucht in der Regel nur an Kornanteilen bis 4 mm bestimmt werden.

Ein dicht verschließbarer Gaszylinder mit ca. 300 cm<sup>3</sup> Inhalt wird bei den Füllhöhen 130 cm<sup>3</sup> und 200 cm<sup>3</sup> durch einen Strich markiert. Danach wird der Zylinder bis zur 130-cm<sup>3</sup>-Marke mit dem zu untersuchenden Zuschlag aufgefüllt. Darüber wird bis zur 200-cm<sup>3</sup>-Marke dreiprozentige Natronlauge gegossen. Anschließend wird der Glaszylinder dicht verschlossen, etwa eine Minute lang gut durchgeschüttelt und im Dunkeln abgestellt. Nach 24 Stunden wird die Verfärbung der Flüssigkeit festgestellt.

Bei einer Färbung der überstehenden Flüssigkeit in dunkelgelb bis tiefbraun oder schwarz sind die Zuschläge unbrauchbar. In Zweifelsfällen entscheidet die Beton-Eignungsprüfung.

#### 5.1.3.6.3 Grobe Verunreinigungen

Grobe (durch Augenschein erkennbare) Verunreinigungen wie Holzteile, Pflanzenreste, Torf, Kohle, Kunststoffabfälle u.a. dürfen nicht enthalten sein.

#### 5.1.3.6.4 Schwefelverbindungen

Der Zuschlag ist bei Verdacht, stets aber im Zuge der Erstprüfung an einer nicht zerkleinerten, erforderlichenfalls aber an einer analysenfein zerkleinerten Probe auf lösliche Sulfate, Sulfite und Sulfide zu untersuchen. Der ermittelte Gehalt an Sulfaten, berechnet als SO<sub>3</sub>, darf 0,3 M.-% des bei 105 °C getrockneten Zuschlages nicht überschreiten. Die Gefährlichkeit vorhandener Sulfide ist zusätzlich durch einen Fachmann zu beurteilen.

#### 5.1.3.6.5 Chloride

Der Anteil an wasserlöslichen Chloriden darf bei der Prüfung nicht mehr als 0,01 M.-% des Zuschlages, berechnet als Chlor, betragen.

#### 5.1.3.7 Oberflächenwassergehalt

Die Bestimmung des Oberflächenwassergehaltes von Zuschlägen erfolgt durch Trocknen von Teilproben gemäß Tabelle 9 über einer Wärmequelle (Rösten) oder durch Anzünden eines Spiritus-Zuschlag-Gemisches.

Die gewogene, feuchte Probe  $M_f$  wird in einer Blechtasse bis zur Massenkonstanz bzw. solange getrocknet, bis das Prüfgut kohäsionslos geworden ist und eine gleichmäßige helle Färbung angenommen hat. Nach dem Abkühlen wird die Trockenmasse  $M_t$  gewogen.

Der auf die trockene Masse bezogene Oberflächengehalt wird aus folgender Formel errechnet:

$$w = \frac{M_f - M_t}{M_t} \times 100 \quad \text{in M.-%}$$

Die Höchstwerte für den Oberflächenwassergehalt sind in der Tabelle 12 angegeben.

**Tabelle 12: Höchstwerte für den Oberflächenwassergehalt [11]**

Körnung	Höchstwerte Oberflächenwassergehalt
[mm]	[M.-%]
<b>Korngruppen</b>	
0/1	10
0/4	6
4/8 bis 16/32	4
<b>Korngemische mit einem Größtkorn von</b>	
4	8
8 bis 32	5

### 5.1.3.8 Kornrohichte

Unter der Kornrohichte (Stoffdichte einschließlich der Eigenporen) versteht man den Quotienten aus der Masse der Körner und dem Kornvolumen.

Die Bestimmung bei Korngruppen und Korngemischen mit einem Größtkorn bis zu 4 mm wird an einer Durchschnittsprobe durch Wasserverdrängung mit Hilfe eines Messzylinders bestimmt. Je Versuch sind etwa 500 g ( $M_k$ ) des Zuschlages zu prüfen, die aus einer größeren, bei 105 °C getrockneten Durchschnittsprobe entnommen werden. Diese Probemenge  $M_k$  wird auf 1 g genau gewogen. Nach dem Erkalten wird die Probe mindestens eine halbe Stunde lang unter Wasser gelagert, damit sie während der Volumenbestimmung kein Wasser mehr aufnimmt. Nach Entfernung des Wasserfilms auf der Oberfläche der Körner z.B. mit saugenden Gewebepapieren oder mit Warmluftstrom, werden die Körner vorsichtig in einen Messzylinder von 1.000 cm<sup>3</sup> Inhalt eingefüllt, der bis zur 500 cm<sup>3</sup>-Marke mit Wasser gefüllt ist. Luftblasen an den Zuschlagskörnern sind durch Klopfen an der Zylinderwand und Aufstoßen des Messzylinders zu entfernen.

Mit dem am Messzylinder abgelesenen Gesamtvolumen  $V$  (in  $\text{cm}^3$ ) wird die Kornrohddichte auf zwei Dezimalstellen durch folgende Formel bestimmt:

$$\rho_k = \frac{M_k}{V - 500} \quad \text{in g/cm}^3$$

Maßgebend ist das Mittel aus drei Prüfungen.

Eine weitere Möglichkeit für die Bestimmung der Kornrohddichte kann auch mit Hilfe eines Weithalspyknometers erfolgen.

Für Korngruppen und Korngemische mit einem Kleinstkorn größer als 4 mm wird anhand eines Luftgehaltprüfgerätes (LP-Topf) an einer Durchschnittsprobe durch Wasserverdrängung und Wägen nach folgendem Verfahren bestimmt:

Je Versuch sind mindestens 5.000 g ( $M_k$ ) zu prüfen. Die Vorbehandlung der Körner erfolgt wie oben. Jetzt werden aber die Körner anstatt in den Messzylinder in den Unterteil des LP-Topfes, dessen Inhalt  $I$  (in Liter) vorher genauestens bestimmt wurde. Die Masse  $M_1$  von Gefäß und Körnern wird auf 10 g genau gewogen. Anschließend wird so viel Wasser eingefüllt, dass die Körner gerade bedeckt werden. Durch Klopfen und langsames Rühren werden die an den Körnern anhaftenden Luftblasen entfernt. Danach wird Wasser bis zum Rand des LP-Topfes oder bis zur Eichmarke nachgefüllt und die Gesamtmasse  $M_2$  bestimmt.

Die Kornrohddichte wird wie folgt errechnet und ist auf zwei Dezimalstellen anzugeben:

$$\rho_k = \frac{M_k}{I - (M_2 - M_1)} \quad \text{in g/cm}^3$$

Maßgebend ist auch hier das Mittel aus drei Prüfungen.

### 5.1.3.9 Bezeichnung der Körnungen

Die Bezeichnung der Körnungen hat unter Verwendung der Symbole in folgender Reihenfolge zu erfolgen:

- Rundkörnung, Kantkörnung: RK, KK
- Verwendungsklasse: I, II, III
- Kornzusammensetzung: - Kleinstkorn, Größtkorn
  - AB, BC, AC (Sieblinienbereiche nach Abbildung 20 bis Abbildung 24)
  - 0/Größtkorn (erweiterter Sieblinienbereich)

Die richtige Bezeichnung für den hergestellten Granitsand der Fa. Freund wäre somit:

#### **KK I AB 4**

Dies bedeutet: Kantkörnung der Verwendungsklasse I, günstiger Sieblinienbereich, 4 mm Größtkorn.

### **5.1.4 Güteüberwachung**

Für die Gewinnung, Aufbereitung und Lieferung von Zuschlägen sieht die ÖNORM B 3304 die Einhaltung einer Reihe von Bedingungen vor, deren Erfüllung zur Führung des ÜA-Zeichens berechtigt. Dazu zählen:

- Leitung des Werkes (Gewinnung, Aufbereitung und Lagerung) durch einen qualifizierten Fachmann
- Funktionierende Anlagen zur Gewinnung, Aufbereitung und Lagerung normgerechter Zuschläge
- Einrichtungen zur Durchführung aller erforderlichen Prüfungen für die Eigenüberwachung der Zuschläge
- Fremdüberwachung der Zuschläge durch Prüfung einer staatlich akkreditierten Prüfanstalt
- Führung eines Lieferverzeichnisses

Von den ersten zwei Punkten ist die Fa. Fast nicht betroffen, da dies Forderungen sind, die der Aufbereiter zu erfüllen hat. Ausnahme ist lediglich die Lagerung der aufbereiteten Granitabfälle. Anders ist die Situation bei der Eigen- bzw. Fremdüberwachung und des Lieferverzeichnisses, wofür die Fa. Fast zu sorgen hat. In den kommenden Unterpunkten 5.1.4.1 bis 5.1.4.4 wird darauf genauer eingegangen werden.

#### **5.1.4.1 Lagerung**

Hier beschränkt sich die Lagerung auf jene Zeitspanne, in der die aufbereiteten Granitrückstände am Firmengelände der Fa. Fast zwischengelagert werden, bis sie zur Weiterverarbeitung zum Endverbraucher gelangen. Anforderungen für die Lagerung sind:

- Zuschläge dürfen nie auf natürlichen Boden geschüttet werden. Um sie sauber zu halten, bringt man am Lagerplatz vorher eine 10 cm starke Betonschicht mit ausreichendem Gefälle zur Entwässerung auf.
- Getrennte Korngruppen müssen nicht nur getrennt angeliefert, sondern auch getrennt gelagert werden. Lagerboxen mit ausreichender Höhe stellen die beste Lösung dar.



- Weiters darf der Lagerplatz nicht als Abladeplatz (z.B. Ölfässer) benutzt werden.

### 5.1.4.2 Eigenüberwachung

Von jeder Körnung sind an Teilproben folgende Untersuchungen erforderlich:

- Kornzusammensetzung bzw. die Anteile an Unter- und Überkorn
- Kornform
- Abschlämmbares
- Gehalt an organischen Verunreinigungen
- Oberflächenwassergehalt
- Mürbkornanteil
- Kornrohddichte

Die Eigenüberwachung sollte in den dafür zur Verfügung stehenden Einrichtungen durchgeführt werden. Jedoch ist es auch möglich die Aufgaben der Eigenüberwachung einem Prüflabor zu übergeben. Da die Fa. Fast über kein Labor verfügt, wird diese Aufgaben entweder eine Prüfstelle oder der Aufbereiter wahrnehmen müssen.

Die Häufigkeiten der Überprüfung ist in Tabelle 13 angeführt.

**Tabelle 13: Häufigkeit<sup>3)</sup> der Eigenüberwachung [11]**

Anforderungen	Häufigkeit
Oberflächenwassergehalt	1 x wöchentlich
Kornzusammensetzung	1 x wöchentlich <sup>1)</sup>
Abschlämmbares	1 x wöchentlich <sup>1)</sup>
organische Verunreinigungen	1 x monatlich <sup>2)</sup>
Mürbkorn	1 x monatlich <sup>2)</sup>
Kornrohddichte	1 x monatlich <sup>2)</sup>
Kornform	1 x monatlich <sup>2)</sup>
1) Mindestens alle 15.000 Mg 2) Mindestens alle 30.000Mg 3) Bei Verdacht auf Nichterfüllung der Anforderung sind stets Prüfungen notwendig	

Da diese Anforderungen für eine kontinuierliche Erzeugung und nicht für eine diskontinuierliche gelten, wie im Falle dieses Projektes, muss anders vorgegangen werden. Weiters ist mit einer weit geringeren Produktionsmenge von rund 500 Mg zu rechnen. Da in der Praxis diese Menge innerhalb eines Tages in einer stationären Anlage aufbereitet ist, wird man unmittelbar nach der Aufbereitung der Granitabfälle zu Zuschlag eine Überprüfung durchführen. Die nächste Prüfung wird wieder erst bei einer neuerlichen Aufbereitung erfolgen.

#### **5.1.4.3 Fremdüberwachung**

Zusätzlich zur Eigenüberwachung ist eine Fremdüberwachung durch eine akkreditierte Prüfstelle notwendig. Hierzu ist ein Überwachungsvertrag abzuschließen.

Vor Aufnahme der Fremdüberwachung hat die Prüfanstalt im Rahmen einer Erstprüfung zu beurteilen, ob die zur Lieferung vorgesehene Gesteinskörnungen geeignet sind.

Die fremdüberwachende Prüfanstalt muss mindestens zweimal im Jahr durch unangemeldeten Besuch folgende angeführten Kontrollen durchführen:

- Einsichtnahme in die Aufzeichnungen und Beurteilung der Ergebnisse der Eigenüberwachung
- Kontrolle des Lieferverzeichnisses
- Einsichtnahme in die Lieferscheine
- Stichprobenartige Überprüfung des Zuschlages

Auch hier wird die Häufigkeit der Fremdüberwachung an die Produktion des Granitabfalles zu Zuschlag angepasst werden müssen, da die obige Regelung für eine kontinuierliche Erzeugung gilt.

#### **5.1.4.4 Lieferverzeichnis**

Das Lieferverzeichnis muss für jede Lieferung folgende Daten anführen:

- Gewinnungstätte
- Bezeichnung der Körnung
- Kornrohddichte
- Oberflächenwassergehalt
- Normkennzeichnung, fremdüberwachende Prüfanstalt

Die Gewinnungsstätte ist im Fall des Projektes die Fa. Fast, da dieses Unternehmen für die Qualität des Produktes haftet.

### 5.1.5 Bewertung des Granitsandes 0/3 zu den Anforderungen der ÖNORM B 3304

Um den hergestellten Granitsand für seine Tauglichkeit für die Weiterverarbeitung bewerten zu können, wurden Untersuchungen gemäß der ÖNORM B 3304 durchgeführt. In der nachfolgenden Tabelle 14 sind die Prüfergebnisse mit den einzelnen Anforderungen aufgelistet.

Die letzte Spalte der Tabelle „Zukünftige Bewertung“ sollte den Eindruck vermitteln, wie sich die Prüfergebnisse in der Zukunft entwickeln könnten. Das „+“ - Symbol bedeutet, dass die derzeitigen Anforderungen auch in der Folgezeit eingehalten werden, das „-“ - Symbol weist auf eine Verschlechterung der Güteeigenschaften hin.

**Tabelle 14: Bewertung des Granitsandes anhand der ÖNORM B 3304**

Güteeigenschaften	Anforderung	Prüfergebnis	Zukünftige Bewertung
Kornform (I:d > 3)	≤ 20 M.-%	9,8 M.-%	+
Oberflächenbeschaffenheit	sauber, krustenfrei	Anforderung erfüllt	+
Festigkeit	≤ 5 M.-% Mürbkorn	< 1 M.-%	+
Frostbeständigkeit	≤ 5 M.-% Mürbkorn	< 1 M.-%	+
Kornzusammensetzung	lt. Grenzsieblinie AC 4	AB 4	k. A.
Schädliche Bestandteile:			
Abschlämbbares	≤ 4 M.-%	< 1 M.-%	k. A.
Organische Verunreinigungen	keine Färbung der 3%igen Natronlauge	Anforderung erfüllt	+
Grobe Verunreinigungen (Holz, Pflanzenreste, etc.)	keine Verunreinigung	geringfügige Spuren von Pflanzenresten	+
Schwefelverbindungen	≤ 0,3 M.-%	k. A.	+
Chloride	≤ 0,01 M.-%	k. A.	+
Oberflächenwassergehalt	≤ 8 M.-%	5,6 M.-%	+
Kornrohichte	---	2,63 g/cm <sup>3</sup>	---

Da die Kornzusammensetzung einer Körnung vom Funktionsbild einer Aufbereitungsanlage bzw. von der Type des Brechers abhängig ist, sind derzeit keine Angaben möglich. Dasselbe gilt auch für das Abschlämbare, welches in unserem Fall als Steinmehl anfällt.

Die Zeile „Grobe Verunreinigungen“ wurde deshalb in der Kategorie „Zukünftige Beurteilung“ positiv bewertet, da man dieses Problem sofort löste. Schlampereien am Lagerplatz waren der Auslöser für die geringfügigen Spuren an Pflanzenresten.

Die anderen Güteeigenschaften können aufgrund der hervorragenden technischen Eigenschaften (vgl. Tabelle 1) des Gesteines Granit mit Sicherheit positiv beurteilt werden. Weiters ist auch mit Schädlichen Bestandteilen wie Schwefelverbindungen, Chloride ebenfalls nicht zu rechnen. Schwefelverbindungen sind hauptsächlich in Gips, Schlacken und Aschen zu finden. Chloride kommen nur in natürlichen Zuschlägen vor, die etwa durch Verunreinigungen wie Düngemittel oder Rückstände von Salzstreuungen auftreten. Daher können solche Bestandteile auch für die Zukunft mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

### 5.1.6 Schlussfolgerung

Generell gilt, dass für eine uneingeschränkte Weiterverwendung des hergestellten Granitsandes 0/3 das ÜA-Einbauzeichen verpflichtend ist. Die Fa. Fast ist dann berechtigt das Einbauzeichen anzubringen, wenn das Produkt die in der Baustoffliste ÖA genannten Anforderungen erfüllt und ein Übereinstimmungszeugnis bzw. eine Übereinstimmungserklärung vorhanden ist.

Das derzeitige, für die Nachweise gemäß der Baustoffliste ÖA gültige Regelwerk ist die ÖNORM B 3304 „Betonzuschläge aus natürlichem Gestein – Begriffe, Anforderungen, Prüfungen, Lieferungen und Güteüberwachung“.

Die Einhaltung der Anforderungen sollten prinzipiell keine Probleme für den aufbereiteten Granitsand darstellen, da Granit von Natur aus als ein qualitativ hochwertiger Rohstoff zählt. Einzig und allein wie die geforderte kontinuierliche Überwachung gemäß ÖNORM B 3304 für einen einzigen Aufbereitungstag im Jahr aussieht, konnte aus jetziger Sicht noch nicht geklärt werden.

## 5.2 Einsatzmöglichkeiten der aufbereiteten Granitabfälle

In diesem Kapitel soll auf die Einsatzmöglichkeiten für Granitsand 0/3, antikisierte Platten und Trommelsteine eingegangen werden. Des Weiteren werden auch alternative Einsatzmöglichkeiten angeschnitten.

### 5.2.1 Einsatzmöglichkeit für Granitsand 0/3

Eine gezielte Verwendung für den gebrochenen Granitsand stellt der Einsatz für die Oberflächengestaltung von Betonsteinen dar. Betonsteine haben eine starke Verbreitung auf städtischen Straßen, Plätzen, Hauszufahrten, Industrieflächen, Parkplätzen, Gehwegen und Fußgängerzonen. Maßhaltigkeit, Beständigkeit und Wiederverwendbarkeit bei Aufgrabungen ergeben wirtschaftliche Vorteile. Weitere Vorteile sind ihre vielfältige Struktur, Farbgebungen, und die Gestaltung durch den Pflasterverband wodurch sie eine besondere architektonische Wirkung erlauben.

Um die Qualität der Betonsteine erheblich zu steigern, werden die Steine mehrschichtig (Kern- und Vorsatzbeton) ausgeführt. Auf den Kernbeton kommt eine Oberflächenschicht, die vor allem verschleißfest, rau, griffig, aber auch vom optischen Erscheinungsbild exzellent ist. Man bezeichnet diese Schicht als Vorsatzbeton, deren ausgewählte Zuschläge aus besonders harten, gebrochenen Gesteinskörnungen bestehen. Zu diesem Zweck wird meistens Granit verwendet der den Ansprüchen am besten entspricht.

Momentan wird der Granitsand z.B. aus oberösterreichischen, deutschen, italienischen oder tschechischen Steinbrüchen angeliefert. Durch den Einsatz von aufbereiteten Granitrückständen könnten unnötige Transporte, als auch der Verbrauch von Primärrohstoffen verringert werden.

Auch die Fa. Luiki setzt für die Veredelung der Oberfläche des Vorsatzbetons Granitsand ein, welcher derzeit aus Deutschland und Italien importiert wird. Daher konnte die Fa. Luiki als Projektpartner gewonnen werden. Nach der Projektphase verabschiedete sich die Fa. Luiki. Jedoch konnte die Fa. Ebenseer, welche ebenfalls Granitsand zur Oberflächenveredelung verwendet, als neuer Abnehmer für das aufbereitete Granitmaterial gefunden werden.

Die Erfahrungen die beide Firmen gesammelt haben, werden in den Kapiteln 5.2.1.1 und 5.2.1.2 detailliert beschrieben.

### 5.2.1.1 Umsetzung bei der Firma Luiki [3]

Hergestellt werden soll ein hochwertiger, gestrahlter Pflasterstein mit Granitvorsatz und spezifischer Farbgebung, d.h. ein Produkt, welches einem Naturstein nahe kommt, jedoch mit den Vorteilen eines Betonsteines.

#### 5.2.1.1.1 Schematischer Aufbau und Maße des herzustellenden Pflastersteines

Das im Rahmen des Projektes herzustellende Produkt entspricht dem in der Produktpalette der Fa. Luiki angebotenen Betonstein „BELVEDERE exklusiv“. Die Tabelle 15 zeigt in welchen Maßen dieser Betonstein hergestellt wird.

**Tabelle 15: Maße von „BELVEDERE exklusiv“ [3]**




	1/1 - Stein	2/3 - Stein	1/2 - Stein
			
<b>Größe [mm]</b>	218 × 190	145 × 190	108 × 190
<b>Höhe [mm]</b>	70	70	70
<b>Oberfläche</b>	mit Granitvorsatz und sandgestrahlt		

Abbildung 25 zeigt den schematischen Aufbau eines solchen Betonsteins.



**Abbildung 25: Schematischer Aufbau des Betonsteins „BELVEDERE exklusiv“ [3]**



### 5.2.1.1.2 Kernbeton

Zur Herstellung des Kernbetons wird die in Tabelle 16 dargestellte Rezeptur verwendet.

**Tabelle 16: Mischungsverhältnisse zur Herstellung des Kernbetons [3]**

<b>Kernbeton</b>	1.313 kg	0,06 - 4 Kiesunion
	772 kg	0 - 3 Wurzenberger
	942 kg	4 - 8 Kiesunion Trippl
	418 kg	Zement 275/375
	1,41 kg	LPV <sup>1)</sup>
	104 kg	Flugasche
	120 l	Wasser

1) Luftporen bildende Verflüssiger

### 5.2.1.1.3 Granit-Vorsatzbeton

Die Qualität des fertigen Pflastersteines ist stark vom dem richtigen Mischungsverhältnis der einzelnen Komponenten bei der Herstellung des Vorsatzbetons abhängig. Der Einfluss des Zuschlags ist nur schwer vorauszusagen, denn die Sieblinie lässt nur bedingt Rückschlüsse auf die Reaktion der Steinfertigungsanlage auf den verwendeten Zuschlag zu. Um die richtigen Mischungsverhältnisse möglichst schnell zu finden, ist die Erfahrung des Produktionsleiters von herausragender Bedeutung.

Insgesamt wurden sieben Versuchsreihen gefahren. Vier Versuche waren notwendig um das optimale Mischungsverhältnis zu finden. Darauf folgten drei weitere Versuche, die zur unterschiedlichen Färbung der Betonsteine dienten.

### Versuche V 1 – V 4

Tabelle 17 zeigt welche Mischungsverhältnisse ausprobiert wurden, bis die aus Sicht des Produktionsleiters optimale Zusammensetzung gefunden war. Nach den Versuchen V 1 und V 2 wurde festgestellt, dass der von der Fa. Freund gebrochene Granit zu wenig Feinanteil hat. Aus diesem Grund wurde in den Versuchen V 3 bzw. V 4 Quarzsand der Korngröße 0 - 2 mm zugegeben.

**Tabelle 17: Mischungsverhältnisse zur Herstellung des Granit-Vorsatzbetons (Versuche V 1 – V 4) [3]**

		Versuch V 1	Versuch V 2	Versuch V 3	Versuch V 4
Zement	[kg]	110	110	120	125
Zementart	GZ / WZ <sup>1)</sup>	GZ	WZ	GZ	GZ
Granit	[kg]	395	395	395	395
Quarz	[kg]	---	---	60	90
Σ Zuschlag	[kg]	395	395	455	485
Wasser	[dm <sup>3</sup> ]	39	40	41	40
Pover Plus	[dm <sup>3</sup> ]	14	14	14	14
Glanzkies	[kg]	5	5	5	5
Titaniumdioxid	[kg]	3	3	3	3

1) GZ / WZ bedeutet: Grauzement oder Weißzement

Die Zugabe des Zusatzmittels Pover Plus, einem Luftporenbildner, erhöht den Frostwiderstand des erhärteten Betons. Glanzkies dient rein zur Verbesserung des optischen Erscheinungsbildes des fertigen Pflastersteins.

### Versuche V 5 – V 7

In den Versuchen V 5 – V 7 wurde der Vorsatzbeton eingefärbt. Die Zusammensetzung des Betons entspricht dem Mischungsverhältnis für den Versuch V 4 (vgl. Tabelle 17). Verwendet wurden zwei verschiedene Zementarten: Grauzement (GZ) und Weißzement (WZ) (vgl. Tabelle 18).

**Tabelle 18: Farbgebung der Pflastersteine (Versuche V 5 – V 7) [3]**

		Versuch V 5	Versuch V 6	Versuch V 7
Farbbezeichnung		Sahara	Terracotta	Eisenoxid
Menge	[kg]	4,40	5,00	5,00
Zementart		WZ	GZ	GZ

Eisenoxid und Terracotta sind eigenständige Farben. Mit ihnen lassen sich zwei verschiedene Rottöne erzielen. Zur Herstellung des Farbtons Sahara werden die Farbtöne Gelb und Rot zu 3,96 kg bzw. 0,44 kg gemischt.

#### 5.2.1.1.4 Sandstrahlen

Das Sandstrahlen dient zur endgültigen Oberflächengestaltung der Betonsteine. Hierbei wird die Oberfläche der Steine (Vorsatzbeton) mit Sand „beschossen“ und die Betonanteile werden herausgesprengt. Die im Vorsatzbeton verarbeiteten Granitkörner und der Glanzkies sind zu erkennen und verleihen den Betonsteinen so eine optisch sehr attraktive Oberfläche.

Bevor die Betonsteine sandgestrahlt werden können, ist eine Trocknungszeit von mindestens drei Wochen einzuhalten.

#### 5.2.1.1.5 Hergestellte Betonsteine

In diesem Abschnitt sind die in den einzelnen Versuchen hergestellten Betonsteine fotografisch dokumentiert.

Abbildung 26 zeigt die Oberfläche eines Betonsteines aus dem Versuch V 1 nach dem Sandstrahlen. Wie man erkennen kann, ist die Oberfläche sehr unregelmäßig, mit verhältnismäßig großen Löchern. Ein solcher Stein kann nicht verkauft werden.



**Abbildung 26: Versuch V 1 [3]**

Abbildung 27 zeigt die Oberfläche eines Betonsteines aus dem Versuch V 2 nach dem Sandstrahlen. Die Oberfläche zeigt eine gleichmäßige Struktur, keine großen Löcher. Die einzelnen Granitkörner sowie der Glanzkies sind gut zu erkennen und ergeben so ein optisch ansprechendes Produkt.



**Abbildung 27: Versuch V 2 [3]**

Abbildung 28 zeigt die Oberfläche eines Betonsteines aus dem Versuch V 3 und ist ähnlich zu bewerten wie der Stein aus Versuch V 1 (vgl. Abbildung 26).



**Abbildung 28: Versuch V 3 [3]**

Abbildung 29 zeigt die Oberfläche eines Betonsteines aus dem Versuch V 4. Dieser Stein ist ebenfalls ein optisch ansprechendes Produkt ähnlich wie der Stein aus Versuch V 2 (vgl. Abbildung 27).





**Abbildung 29: Versuch V 4 [3]**

Abbildung 30 zeigt die Oberfläche eines Betonsteines aus dem Versuch V 5. Die Vorsatzbetonzusammensetzung basiert auf jene des Versuches V 4 (allerdings wurde statt Grauzement Weißzement verwendet) und wurde zusätzlich eingefärbt (Farbmischung Sahara). Er ist qualitativ noch höher einzuschätzen als die Steine aus den Versuchen V 2 und V 4 und stellt ein absolut verkaufsfähiges Produkt dar.



**Abbildung 30: Versuch V 5 [3]**

Abbildung 31 zeigt die Oberfläche eines Betonsteines aus dem Versuch V 6. Auch er basiert auf der Vorsatzbetonzusammensetzung des Versuches V 4 und wurde zusätzlich eingefärbt (Farbton Terracotta). Es sind relativ große Einschlüsse zu erkennen. Versuch V 6 stellt ein nicht verkaufsfähiges Produkt dar.



**Abbildung 31: Versuch V 6 [3]**

Abbildung 32 zeigt die Oberfläche eines Betonsteines aus dem Versuch V 7. Er basiert genau wie auch die Steine aus den Versuchen V 5 und V 6 auf der Vorsatzbetonzusammensetzung des Versuches V 4. Er wurde mit Eisenoxid eingefärbt. Wie Versuch V 5 stellt auch Versuch V 7 ein verkaufsfähiges Produkt dar.



**Abbildung 32: Versuch V 7 [3]**

### 5.2.1.2 Umsetzung bei der Fa. Ebenseer

Hergestellt werden soll ein hochwertiger, feingestrahler bzw. gestockter Betonstein mit Granitvorsatz, jedoch ohne Färbung des Vorsatzbetones.

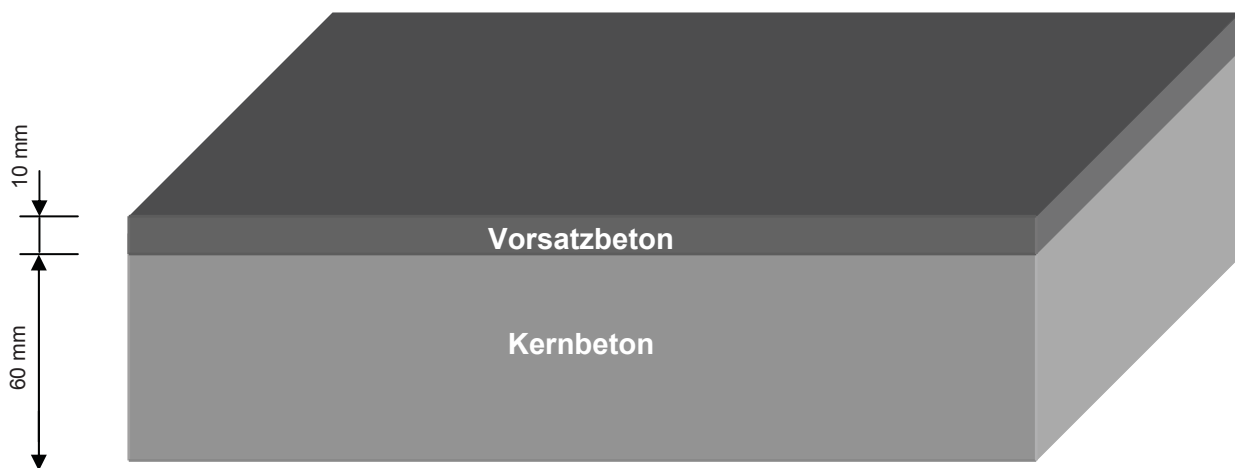
#### 5.2.1.2.1 Schematischer Aufbau und Maße des herzustellenden Pflastersteines

Das im Rahmen des Projektes herzustellende Produkt entspricht dem in der Produktpalette der Fa. Ebenseer angebotenen Betonsteinen „arte pflaster“ bzw. „arte pflaster gestockt“. Die Tabelle 19 zeigt in welchen Maßen dieser Betonstein hergestellt wird.

**Tabelle 19: Maße von „arte pflaster“ bzw. „arte pflaster gestockt“**

	Kleinquadrat	Kleinrechteck	Quadrat	Rechteck
	□	▭	□	▭
<b>Größe [mm]</b>	120 × 120	120 × 180	180 × 180	180 × 240
<b>Höhe [mm]</b>	70	70	70	70
<b>Oberfläche</b>	mit Granitvorsatz feingestrahlt bzw. gestockt			

Abbildung 33 zeigt den schematischen Aufbau der Betonsteine.



**Abbildung 33: Schematischer Aufbau des Betonsteins**



### 5.2.1.2.2 Kernbeton

Auf die genaue Angabe der Rezeptur des Kernbetons wurde verzichtet, da diese für die spätere Beurteilung des Betonsteines selbst nicht ausschlaggebend ist.

### 5.2.1.2.3 Granit-Vorsatzbeton

Um das richtige Mischungsverhältnis für den Vorsatzbeton zu finden wurden vier Rezepturen ausprobiert, wofür Betonsteine per Hand angefertigt wurden. Für die maschinelle Fertigung entschied man sich schließlich für zwei Rezepturen mit deren Mischungsverhältnis laut Tabelle 20 gearbeitet wurde.

**Tabelle 20: Mischungsverhältnisse zur Herstellung des Granit-Vorsatzbetons (Versuche V 1 – V 3)**

		Versuch V 1	Versuche V 2 & V 3
Zement	[kg]	120	108
Zementart	GZ / WZ <sup>1)</sup>	GZ	WZ
Granit	[kg]	258	137
Quarz	[kg]	---	137
Dolomit 1/3	[kg]	96	151
Basalt 2/4	[kg]	83	---
Σ Zuschlag	[kg]	437	425
Wasser	[dm <sup>3</sup> ]	31	27
Glanzsplitt	[kg]	---	30
Zusatzmittel	[kg]	1	1

1) GZ / WZ bedeutet: Grauzement oder Weißzement

Insgesamt werden drei Versuchsreihen durchgeführt. Wie man erkennen kann, besitzen die Versuchsreihe V 2 und V 3 dieselbe Rezeptur, jedoch wird die Oberfläche des Vorsatzbetons unterschiedlich behandelt. Versuchsreihe V 2 wird feingestrahlt, während die Versuchsreihe V 3 gestockt wird. Die Versuchsreihe V 1 wird ausschließlich nur gestockt.

Auf eine Einfärbung des Vorsatzbetons wollte man gänzlich verzichten, da man die Naturtöne der einzelnen Gesteinskörnungen in den Vordergrund bringen will.

#### **5.2.1.2.4 Feinstrahlen bzw. Stocken**

Die endgültige Oberflächengestaltung der Betonsteine wird durch Feinstrahlen oder Stocken gewonnen.

Beim Feinstrahlen wird die Oberfläche des Vorsatzbetons mit winzigen Stahlkugeln feingestrahlt. Die Oberfläche wird damit ganz leicht aufgeraut und es entsteht eine angenehm sanfte Oberflächenstruktur.

Eine gestockte Oberfläche entsteht durch Steinbearbeitung mit kleinen Metallhämmern. Die Metallhämmer weisen viele pyramidenförmige Erhebungen auf, die dem damit bearbeiteten Werkstück eine punktförmig geraute Oberfläche verleihen. Je nach ihren Einsätzen bzw. nach dem Abstand ihrer Spitzen wird die Oberfläche grob oder fein durch Hiebe senkrecht zur Fläche weiterbearbeitet und verleihen dem Vorsatzbeton somit einen Natursteincharakter.

Bevor die Oberfläche der Betonsteine bearbeitet werden kann, muss eine Trocknungszeit von mindestens drei Wochen eingehalten werden.

#### **5.2.1.2.5 Hergestellte Betonsteine**

Auch hier sollen die einzelnen Versuche der hergestellten Betonsteine fotografisch dokumentiert werden.

Abbildung 34 zeigt einen fertigen Betonstein aus der Versuchsreihe V 1 (Grauzement, gestockte Oberfläche). Wenn man die Oberfläche in Detailansicht genau ansieht, so kann man erkennen, dass das Gestein durch den Grauzement überhaupt nicht zum Vorschein kommt. Somit fiel der Stein in der Beurteilung durch.



**Abbildung 34: Versuch V 1 (links Gesamtansicht, rechts Detailansicht)**

Abbildung 35 zeigt die Oberfläche eines Betonsteines aus der Versuchsreihe V 2. In dieser Versuchsreihe wurde Weißzement verwendet und die Oberfläche wurde anschließend feingestrahlt. Das Ergebnis ist ein sehr zufriedenstellendes. Die Oberfläche ist eben und schön strukturiert.



**Abbildung 35: Versuch V 2 (links Gesamtansicht, rechts Detailansicht)**

Die nächste Abbildung 36 zeigt die Oberfläche eines Betonsteines aus der Versuchsreihe V 3. Zwar wurden diese Steine aus der gleichen Betonrezeptur wie die Versuchsreihe V 2 hergestellt. Im Gegensatz zur Versuchsreihe V 2, wurde hier die Oberfläche gestockt. Das Erscheinungsbild dieser Betonsteine ist genauso ein zufriedenstellendes, als jenes der Versuchsreihe V 2.





**Abbildung 36: Versuch V 3 (links Gesamtansicht, rechts Detailansicht)**

### 5.2.1.3 Technische und optische Anforderungen

Neben den Forderungen der ÖNORM B 3304 für das aufbereitete Granitmaterial (vgl. Kapitel 5.1.3), werden zusätzlich an den fertigen Betonsteinen technische aber auch optische Forderungen gestellt, die durch den eingesetzten Granitsand beeinflusst werden können.

#### 5.2.1.3.1 Technische Anforderungen

Die technischen Anforderungen von Betonsteinen werden in der ÖNORM B 3258 „Vorgefertigte Betonerzeugnisse zur Befestigung von Verkehrsflächen“ geregelt.

Folgende Güteeigenschaften sind für Betonsteine laut Norm einzuhalten, wobei hinzu gefügt werden muss, dass für die Einsetzbarkeit des Granitsandes 0/3 die Frost-Tausalz-Beständigkeit und der Schleifverschleiß ausschließlich entscheidend sind [21]:

- **Abmessungen:** Die zulässige Abweichung des Istmaßes vom Sollmaß darf in Länge und Breite höchstens  $\pm 3$  mm, in der Dicke  $\pm 4$  mm betragen.
- **Spaltzugfestigkeit:** Die Spaltzugfestigkeit darf im Mittel  $5 \text{ N/mm}^2$  nicht unterschreiten. Einzelwerte dürfen nicht  $\leq 4 \text{ N/mm}^2$  sein.
- **Frostbeständigkeit:** Vorgefertigte Betonerzeugnisse gelten als frostbeständig, wenn sie aus frost- und witterungbeständigem Beton gemäß ÖNORM B 4710-1 „Beton Teil 1 – Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis“ hergestellt werden, der den Anforderungen für einen Nachweis am Frischbeton entspricht.

➤ Frost-Tausalz-Beständigkeit [22]:

Die Frost-Tausalz-Beständigkeit ist nach ÖNORM B 3306 „Prüfung der Frost-Tausalz-Beständigkeit von vorgefertigten Betonerzeugnissen“ nachzuweisen. Die Prüfung besteht aus einem 25maligem Frost-Tau-Wechsel, wobei während der gesamten Prüfungsdauer eine dreiprozentige Kochsalzlösung auf der waagrecht eingerichteten Prüffläche steht. Die Proben werden für jeden Frost-Tausalzwechsel 16 Stunden bei  $-18\text{ °C}$  bis  $-22\text{ °C}$  und anschließend 8 Stunden lang bei  $+15\text{ °C}$  bis  $+22\text{ °C}$  luftgelagert.

Bei der Prüfung sind jene Kriterien ausschlaggebend:

- Veränderung der Oberfläche (z.B. schalenförmige Abwitterung)
- die Tiefe der größten und der mittleren Abwitterung in mm
- ein etwaiges Sichtbarwerden von Zuschlagkörnern

Ein Betonerzeugnis gilt als beständig für Frost und Tausalz, wenn die Prüffläche nach der hier beschriebenen Prüfung ohne Veränderung oder höchstens fein genarbt ist. Unter fein genarbt versteht man, wenn der Feinmörtel höchstens 1 mm abgewittert ist und nur einzelne Zuschlagkörner bis zu einer Korngröße von höchstens 4 mm freiliegen.

➤ Schleifverschleiß [23]:

Der Schleifverschleiß ist nur dann nachzuweisen, wenn infolge der voraussichtlichen Verwendung erwartet werden kann, dass die Widerstandsfähigkeit gegen Abrieb von Bedeutung ist.

Der Schleifverschleiß ist im trockenen Zustand nach der ÖNORM B 3126 Teil 2 „Prüfung von Naturstein und von anorganischen Baustoffen – Verschleißprüfung – Schleifscheibenverfahren nach BÖHME“ zu bestimmen. Die Prüfung wird an einer quadratischen Platte mit 7,1 cm Kantenlänge (entspricht einer Prüffläche von  $50\text{ cm}^2$ ) vorgenommen. Grundsätzlich ist jene Fläche zu prüfen, die bei der Verwendung dem Verschleiß ausgesetzt ist. Für das Trockenverfahren sind die Proben bei  $105\text{ °C}$  zu trocknen. Die schleifende Beanspruchung entsteht durch eine waagrecht rotierende Metallscheibe, auf die das Normschleifmittel Korund gebracht wird. Bei den Umdrehungen der Scheibe wird an der Probe, die auf die Scheibe gedrückt wird, Abrieb erzeugt. Nach 22 Umdrehungen werden Probe und Schleifscheibe vom Abrieb gesäubert, neues Schleifmittel aufgebracht und die Beanspruchung wiederholt. Nach 16 solcher Perioden ist die Prüfung beendet. Der Gewichtsverlust der Probe wird über die zuvor ermittelte Rohdichte der Probe in Volumenverlust umgerechnet. Der Verschleiß wird dann in  $\text{cm}^3$  je  $50\text{ cm}^2$  Prüffläche angegeben. Zusätzlich kann auch die Dicke der abgenutzten Schicht gemessen werden.

Der größte zulässige Schleifverschleiß der Nutzfläche darf  $\leq 15\text{ cm}^3/50\text{ cm}^2$  betragen.

Je nach Erfordernis können die Erzeugnisse in vier Verwendungsklassen (A, B, C, D) eingeteilt werden. Welche Anforderungen für die jeweilige Verwendungsklasse von Nöten sind, werden in der nachfolgende Tabelle 21 angeführt.

**Tabelle 21: Verwendungsklassen [21]**

Verwendungsklasse	Güteeigenschaften
A	frostbeständig
B	frost-tausalz-beständig
C	frostbeständig und erhöht widerstandsfähig gegen mechanische Angriffe
D	frost-tausalz-beständig und erhöht widerstandsfähig gegen mechanische Angriffe

### Prüfergebnisse

Da die Fa. Ebenseer von der Versuchsreihen V 2 und V 3 am meisten begeistert war, entschloß sich die Betriebsleitung die Versuchsreihe V 3 „arte pflaster gestockt“ einer technischen Prüfung durch eine akkreditierte Prüfanstalt zu unterziehen. Die Prüfung wurde von der Bautechnischen Versuchs- und Forschungsanstalt Salzburg durchgeführt.

Prüfauftrag war die Prüfung der Frost-Tausalz-Beständigkeit nach ÖNORM B 3306 und des Schleifverschleißes von vorgefertigten Betonsteinen nach ÖNORM B 3258.

Die Prüfergebnisse lauten folgend [24]:

- Frost-Tausalz-Beständigkeit: geringfügige Abwitterung < 1mm
- Schleifverschleiß nach BÖHME: 18,3 cm<sup>3</sup>/50 cm<sup>2</sup>

Die Beurteilung der Versuchsreihe V 3 „arte pflaster gestockt“ lautet folgendermaßen [24]:

Die Anforderung an Schleifverschleiß nach ÖNORM B 3258 von  $\leq 15 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$  wurde

**NICHT ERFÜLLT**

Die geprüften Betonsteine sind nach ÖNORM B 3306

**FROST-TAUSALZ-BESTÄNDIG**

Tabelle 22 zeigt die Einzelergebnisse und das daraus resultierende Gesamtergebnis aus der Verschleißprüfung nach BÖHME (BÖHME trocken).



Tabelle 22: Einzelergebnisse mit Gesamtergebnis aus der Verschleißprüfung [24]

Proben Nr.		1	2	3	Anforderungen ÖNORM B 3258
Abmessungen [mm]	Länge	70,7	70,6	70,4	---
	Breite	70,2	70,0	70,0	---
	Höhe	61,2	60,3	61,4	---
Rohdichte der Verschleißschichte [g/cm <sup>3</sup> ]	Einzelwerte	2,221	2,188	2,213	---
	Mittelwert	2,21			---
Schleifverschleiß [cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup> ]	Einzelwerte	18,65	19,64	16,69	≤ 15
	Mittelwert	18,3			≤ 15
Dickenverlust [cm]	Einzelwerte	0,370	0,390	0,330	---
	Mittelwert	0,363			---

### Probleme

Die Probleme für das schlechte Abschneiden beim Schleifversuch an der Versuchsreihe V 3 muss nicht unbedingt am Granitsand liegen. Im Gegenteil, der Betriebsleiter der Fa. Ebenseer vermutet eher, dass das optimale Mischungsverhältnis noch nicht gefunden wurde d.h. dass die Feianteile im Zuschlagmaterial zu hoch sind und der mengenmäßig hohe Anteil an Dolomit (ca. 36 M.-%) im Gesamtzuschlag der als „weiches“ Gestein gilt, schuld am schlechten Ergebnis ist. Zum Vergleich: Dolomit hat eine Härte von 3,5 - 4 nach der Mohs'schen Härteskala, Granit hat eine Härte von 6 - 8. Ein weiteres Indiz ist, dass die Ursache der Dolomit sein könnte, sind die generellen schlechteren Werte für Dolomit als Festgestein zum Granit. (vgl. Tabelle 1)

Zwar könnte man trotz dieses Ergebnisses den Betonstein unter der Verwendungsklasse B (frost-tausalz-beständig) verkaufen. Trotzdem ist man bemüht ein geeigneteres Mischungsverhältnis zu finden, um den Stein uneingeschränkt auf den Markt bringen zu können. Weitere Versuche sind im laufen.

Die Fa. Luiki hat während der Projektphase keine Prüfungen solcher Art an ihren Versuchsreihen durchführen lassen. Daher sind in diesem Fall auch keine Aussagen bezüglich der technischen Tauglichkeit dieser Betonsteine möglich.

### 5.2.1.3.2 Optische Anforderungen

Für das Aussehen eines Betonsteines gibt es zwar keine Normen, jedoch ist dies ein entscheidendes Kriterium. Anhand der Optik des Vorsatzbetons beginnt das Selektieren der Betonsteine, bevor als nächster Schritt die technischen Anforderungen überprüft werden.

Beim aufbereiteten Granitsand besteht das Problem, dass der Granit von unterschiedlichen Steinmetzbetrieben stammt und somit die verschiedensten Färbungen (rot, weiß, grau, schwarz, etc.) aufweist. Granitsand, welcher direkt aus Steinbrüchen stammt, unterliegt keinen farblichen Schwankungen. Abbildung 37 zeigt wie sehr sich der Granitsand von Steinbrüchen, von dem aus der Aufbereitung unterscheidet.



**Abbildung 37: Vergleich Granitsand vom Steinbruch (links) mit aufbereitetem Granitsand (rechts)**

Nun stellte man sich natürlich die Frage, wie sich diese Farbschwankungen an der Qualität des Erscheinungsbildes des Vorsatzbetons auswirken könnte, da sich aus wirtschaftlichen Gründen eine farbliche Trennung nicht rentieren würde.

Wie man an den fertigen Betonsteinprodukten erkennen konnte, wirkt die Farbenvielfältigkeit des Granitsandes überhaupt nicht störend. Viel wichtiger ist scheinbar das optimale Mischungsverhältnis, sprich Kornzusammensetzung, welches für das Aussehen entscheidend ist. Als weiterer wichtiger Faktor ist die nachträgliche Oberflächenbehandlung durch sand-, feinstrahlen oder stocken. Für eine gestockte Betonsteinoberfläche benötigt man weniger Füller d.h. Feinmaterial in der Kornzusammensetzung, als für eine gestrahlte. Der Grund dafür liegt darin, dass man den Natursteincharakter durch die gröbere Gesteinskörnung mehr zur Geltung bringen will.

Abbildung 38 soll einerseits nochmals den Unterschied einer gestrahlten bzw. gestockten Oberfläche verdeutlichen und andererseits zeigen, dass das Erscheinungsbild durch den Einsatz von Granitsand aus aufbereiteten Granitabfällen nicht beeinflusst wird.



**Abbildung 38: Bild oben zeigt den feingestrahltten Betonstein (links) im Vergleich zum gestockten (rechts). Bild unten zeigt davon die Detailansicht**

#### **5.2.1.4 Bedarf**

Die Fa. Ebenseer rechnet in der Anfangsphase mit einem Absatz von Betonsteinen der Art V 2 bzw. V 3 in etwa 3.000 - 4.000 m<sup>2</sup>/a. Zu diesem Zweck würden an die 17 - 22 Mg/a an aufbereitetem Granitsand 0/3 benötigt werden.

In der späteren Phase könnten sogar an die 10.000 - 20.000 m<sup>2</sup>/a verkauft werden, was einen Bedarf an 55 - 110 Mg/a entsprechen würde.



## 5.2.2 Einsatzmöglichkeit für antikisierte Platten

Wie bereits in Kapitel 4.3 erwähnt wurde, sind aus den gesammelten Granitplatten antikisierte quadratische Platten und Polygonplatten hergestellt worden. Aufgrund ihrer Beständigkeit, eignen sich die Granitplatten ideal für die Gestaltung größerer Freiflächen als ein ausdrucksvolles Pflaster. Besonders für Plätze, Gehwege, Fußgängerzonen und Hauszufahrten gewinnt diese Feststellung in jüngerer Zeit immer mehr an Bedeutung. Wie bei den Betonsteinen, liegen die Vorteile in der vielseitigen Gestaltungsmöglichkeit durch die Farbgebung und Form der Platten und durch den Pflasterverband. Auch die Gestaltung von Gartenanlagen mit Natursteinplatten erfreut sich aus diesem Grund immer größerer Beliebtheit.

Die Abbildung 39 und Abbildung 40 sollen jenen Eindruck vermitteln, welche Möglichkeiten für die Verlegung im Außenbereich offen sind.



**Abbildung 39: Verlegung antikisierter quadratischer Platten**



**Abbildung 40: Verlegung antikisierter Polygonplatten**

Aber nicht nur im Außenbereich, sondern auch im Innenbereich können die antikisierten Platten eingesetzt werden (vgl. Abbildung 41). Sie sind besonders strapazierfähig und passen nahezu zu jedem Einrichtungsstil. Auch Wandverkleidungen lassen sich mit den Platten sehr schön gestalten.



**Abbildung 41: Anwendung für den Innenbereich**

## 5.2.2.1 Technische und optische Anforderungen

### 5.2.2.1.1 Technische Anforderungen

Die technischen Anforderungen von Natursteinplatten werden in ÖNORM EN 1341 „Platten aus Naturstein für Außenbereiche – Anforderungen und Prüfverfahren“ geregelt.

Folgende Regelungen werden getroffen [25]:

- Zulässige Abweichungen der Maße
- Widerstandsfähigkeit gegen Frost-Tau-Wechsel
- Biegefestigkeit
- Abriebwiderstand
- Gleit-/Rutschwiderstand
- Aussehen und Oberflächenbeschaffenheit
- Wasseraufnahme
- Petrographische Beschreibung

Laut Definition spricht man in dieser Norm erst von einer Platte, wenn diese als Straßenbelag eingesetzt wird oder die Nennbreite > 150 mm überschreitet. Daher sind die oben angeführten Forderungen für die antikisierten Platten nicht zwingend.

Die Erklärung versteht sich darin, dass die Granitplatten in einem Größtmaß von maximal 150 x 150 mm erzeugt werden und nicht als Straßenbelag eingesetzt werden sollen. Vielmehr sollen die Granitplatten für die Gestaltung von Gärten und Hauszufahrten Verwendung finden.

Obwohl für den Verkauf der antikisierten Platten keine technischen Überprüfungen erforderlich sind, können sie mit Sicherheit ohne Bedenken im Außenbereich verlegt werden. Schon vor Jahrhunderten war das Befestigen von Wegen und Plätzen mit Granitplatten Stand der Technik, dieses aufgrund der hohen Belastbarkeit von Granit.

### 5.2.2.1.2 Optische Anforderungen

Optische Anforderungen im Sinne einer Norm gibt es für die antikisierten Platten nicht. Mit Farbvariationen und Strukturcharakteristika des Gesteines muss man bei einem natürlichen Material immer rechnen. Jedoch dürfen solche Charakteristika nicht als Fehler gewertet werden.

Besonderes Augenmerk muss auf die sorgfältige Bearbeitung durch das Trommeln bei den antikisierten quadratischen Platten geachtet werden. Abgesehen, dass keine Kanten oder Ecken ausgebrochen sein sollten, ist die Trommelzeit ein wichtiger Faktor für die Qualität der Oberfläche. Zumal die gesammelten Granitplatten meistens poliert sind, sollten die Platten ausreichend lang getrommelt werden, damit an der Oberfläche keine Reste der Politur verbleiben und diese gleichmäßiger aussieht. (vgl. Kapitel 4.3.1)

Bei den antikisierten Polygonplatten stellen sich die oben genannten Probleme nicht. Durch die kleineren Größen und verschiedenen Formen der Polygonplatten selbst, fallen Fehler anhand der Verarbeitung nicht auf. (vgl. Kapitel 4.3.2)

### **5.2.2.2 Bedarf**

Der Bedarf an antikisierten Polygonplatten und quadratischen Platten wird auf ca. 1.000 m<sup>2</sup>/a von der Fa. Fast geschätzt. Somit müssen an die 54 - 80 Mg/a Granitplatten gesammelt werden. Diese Menge kann wahrscheinlich die Fa. Fast selbst bereitstellen.

### **5.2.3 Einsatzmöglichkeit für Trommelsteine**

Eine Möglichkeit Trommelsteine einzusetzen, bietet der Garten- bzw. Landschaftsbau. Trommelsteine in verschiedenen Farben und Strukturgrößen sind ein reizvolles dekoratives Gestaltungselement für einen Steingarten. Steingärten haben eine uralte Tradition – ob in japanischen Gärten mit kunstvoll geharkten Mustern oder im englischen Cottagegarten. Das Gestaltungskonzept Steingarten ist nicht nur eine Spielart der Gartengestalter, sondern manchmal auch die ideale Lösung für alle die einen mageren und trockenen Boden haben [26].

Da die Erzeugung von Trommelsteinen eine sehr kostenintensive ist, wurden während der Projektphase insgesamt nur ca. 600 kg hergestellt. Aufgrund der geringen Menge konnte kein Steingarten angelegt werden.

Weil aus der Primärzerkleinerung eine weitaus größere Menge (ca. 10 Mg) an Bruchsteinen in der Größe von 30 - 80 mm übrig blieben, wurden diese als Alternative für die Gestaltung eines Steingartens verwendet. Abbildung 42 zeigt das Ergebnis.





**Abbildung 42: Steingarten aus Bruchsteinen**

Unabhängig davon, Trommelsteine und Bruchsteine in unterschiedliche Größen, Farben und Oberflächen eingesetzt, sind ein reizvolles Gestaltungselement für den Garten. Somit könnte sich ein Markt mit einem Potential von ca. 500 Mg/a öffnen.

Technische oder optische Anforderungen werden keine vorgegeben.

## **5.2.4 Alternative Einsatzmöglichkeiten der aufbereiteten Granitabfälle**

In diesem Kapitel sollten andere Einsatzmöglichkeiten für die Granitabfälle angeregt werden, die für das jetzige Projekt nicht umgesetzt wurden, aber für eine zukünftige Verwertung eventuell in Frage kommen könnten.

### **5.2.4.1 Anwendung als Zuschläge für Beton**

Der Ersatz traditionell verwendeter Zuschläge wie Sand, Kies aus natürlichen Lagerstätten oder Steinbrüchen soll hier kurz angeschnitten werden.

Beton ist ein künstlich hergestellter Stein, der aus einem Gemisch Zement, Zuschlag und Wasser durch Erhärten des Zement-Wasser-Gemisches (Zementleim) entsteht. Zur Erzeugung bestimmter Frisch- bzw. Festbetoneigenschaften können dem Beton Zusatzmittel, wie z.B. Verflüssiger oder Luftporenbildner und Zusatzstoffe, wie z.B. Traß oder Flugasche, zugegeben werden. [9]

Die Güte und Dauerhaftigkeit des Betons hängt von der zweckmäßigen Zusammensetzung, der einwandfreien Verarbeitung und Verdichtung und einer sorgfältigen Nachbehandlung ab. Diese Anforderungen für Beton werden in der ÖNORM B 4710-1 „Beton – Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis“ geregelt.

Da die Eigenschaften der Zuschläge wesentlich größeren Schwankungen unterliegen als die anderen Bestandteile des Betons, ist daher deren Prüfung und Überwachung besonderes Augenmerk zuzuwenden.

#### **5.2.4.1.1 Anforderungen der Granitabfälle als Zuschlag**

Anforderungen für die Granitabfälle als Betonzuschlag werden ebenfalls durch die ÖNORM B 3304 geregelt, deren Details in den vorherigen Unterpunkten besprochen wurde (vgl. Kapitel 5.1.3). Wichtig ist: Die Granitabfälle sollen genügend fest und witterungsbeständig sein, dürfen keine betonschädlichen Bestandteile enthalten, sollen eine günstige Kornzusammensetzung und eine günstige Kornform haben.

#### **5.2.4.1.2 Schlußfolgerung**

Granit gilt aufgrund seiner ausgezeichneten technischen Eigenschaften (vgl. Tabelle 1) schon immer als hochwertiger Zuschlag, weshalb er gerne in der Betonindustrie eingesetzt wird. Die gesammelten Granitrückstände würden sich sicher als Betonzuschlag eignen, jedoch könnte man mit den derzeitigen Marktpreisen für Zuschlagmaterial nicht konkurrieren, da der Markt durch billige Primärrohstoffe und Recyclingmaterialien gesättigt ist. Ein weiteres Problem sind die momentan viel zu geringen Sammelmengen.

#### **5.2.4.2 Anwendung im Straßenbau**

Der Straßenbau ist das eigentliche Einsatzgebiet aufbereiteter Recyclingbaustoffe. Generell geht man davon aus, dass die Verwendung von Recyclingmaterialien vorrangig in den ungebundenen Tragschichten (z.B. Frostschutzschicht, Schottertragschicht) bzw. im Unterbau (z.B. Dammbau) bei der Herstellung von Verkehrsflächen erfolgt.

Jedoch sollten im jetzigen Fall die gesammelten Granitrückstände für die gebundene Tragschicht (bituminöse Tragschicht) Verwendung finden und nicht für die ungebundene. Der Grund hierfür ist, dass die Verwendung für die ungebundene Tragschicht der Philosophie des „Downcyclings“ entsprechen würde und somit den Grundsätzen dieses Forschungsprojektes widersprechen würde. Die aufbereiteten Granitrückstände sollten vielmehr als Zuschlagmaterial für das Asphaltmischgut verwendet werden.

### 5.2.4.2.1 Straßenaufbau [27]

Abbildung 43 soll den generellen Regelaufbau einer Verkehrsfläche zeigen. Die Bezeichnung der Schichten des Straßenkörpers ist aus der Abbildung zu entnehmen.

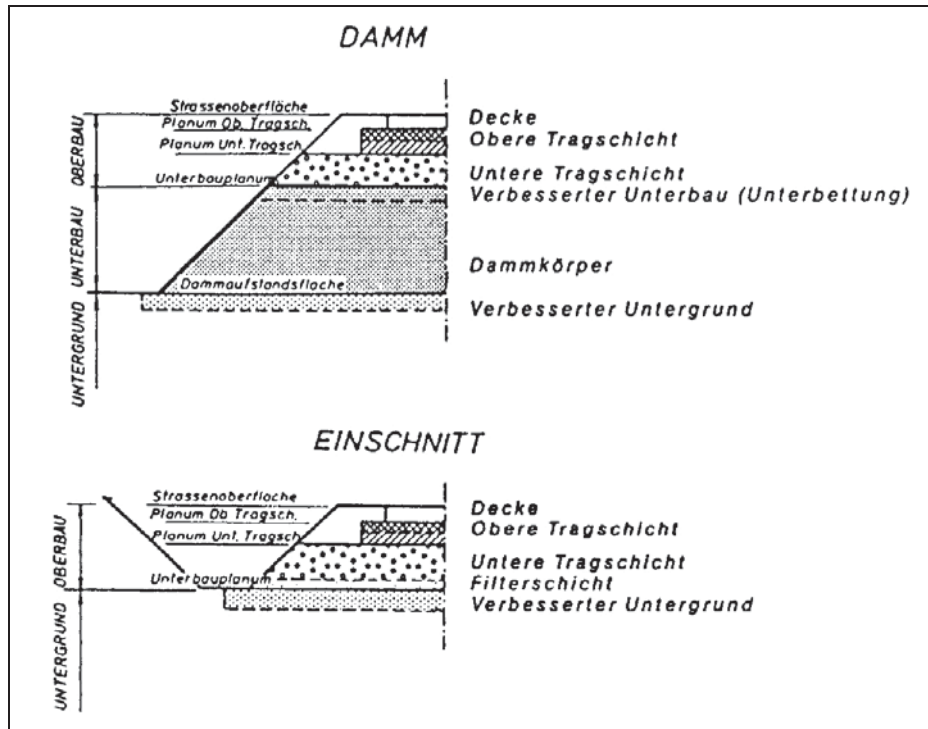


Abbildung 43: Straßenaufbau (Systemskizze) [27]

### 5.2.4.2.2 Asphalt [9]

Werden Bitumen oder bitumenhaltige Bindemittel mit Gesteinsmaterial vermischt, so nennt man diese Gemische Asphalte. Dabei gehen die beiden Stoffe eine grenzflächenaktive Verbindung miteinander ein. Diese beruht auf die Benetzung des Bitumens im flüssigen Zustand mit anschließender dauerhafter Bindung an den Gesteinsflächen.

Je nach Anteil und Auswahl seiner Komponenten lässt sich Asphalt mit unterschiedlichen Eigenschaften herstellen. Zur Aufstellung zweckmäßiger Mischrezepte ist deshalb nicht nur die Kenntnis zahlreicher Bitumen, sondern auch die der in Frage kommenden Gesteinsmaterialien nötig, welche den wesentlichen Anteil (ca. 95 M.-%) stellen.

Je nach Funktion und/oder Typ wird das Asphaltmischgut eingeteilt in [28]:

#### Asphaltbeton

Asphalt mit einer kontinuierlichen Korngrößenverteilung sowie einem Mindest- und Höchsthohlraumgehalt im verdichteten Zustand. Folgende Arten mit Kurzbezeichnung gibt es:

- Bituminöse Tragschicht: BT
- Bituminöse Tragdeckschicht: BTD
- Hochstandfeste Bituminöse Tragschicht BT HS
- Asphaltbeton (Walzasphalt): AB
- Polymermodifizierter Walzasphalt: pmAB
- Dünnschichtdecke heiß: DDH

### **Splittmatrixasphalt SMA**

Asphalt mit einer diskontinuierlichen Korngrößenverteilung (Ausfallkörnung) des gebrochenen, mit Mörtel umhüllten Gesteinsmaterials, sowie einem Mindest- und Höchsthohlraumgehalt im verdichteten Zustand.

### **Drainasphalt DA**

Asphalt mit einer diskontinuierlichen grobkornreichen Korngrößenverteilung und einem hohen Gehalt an zusammenhängenden Hohlräumen, die eine Wasserableitung ermöglichen.

### **Gußasphalt GA**

Asphalt mit kontinuierlicher, aber feinkornangereicherter Korngrößenverteilung unter Verwendung von relativ hartem Bitumen und ohne technisch relevanten Hohlraumgehalt im eingebauten Zustand.

### **Lärmindernder Dünnschichtasphalt LDDH**

Asphalt mit einer diskontinuierlichen Korngrößenverteilung und einem Mindestgehalt an zusammenhängenden Hohlräumen im verdichteten Zustand.

#### **5.2.4.2.3 Gesteinsmaterial [9]**

Die Gesteinsmaterialien, die als Zuschlag verwendet werden, sind entweder natürliche Gesteine in Form von Felsgestein, das in Steinbrüchen durch Brechen und Sieben zu Korngemischen aufbereitet wird, oder in Form von Kies und Sand, oder es handelt sich um künstliche Materialien, die industriell als Nebenprodukte entstanden sind, wie z.B. Hochofenschlacke oder Müllverbrennungssasche.

Die Qualitätsmerkmale der Gesteinsmaterialien folgen aus den unterschiedlichen Beanspruchungen, denen die Gesteine bei Herstellung, Einbau und unter dem Einfluß von

Witterung und Verkehr ausgesetzt sind. Beim Erhitzen vor dem Mischen werden die Zuschlagstoffe auf Temperaturen bis zu 400 °C gebracht. Beim Einbau beanspruchen die Bandagen der schweren Glattmantelwalzen die Körner auf Druck und die Vibrationswalzen auf Schlag. Im Straßenoberbau wirken Wasser und Frost auf die Gesteine ein. Dabei dürfen die Körner weder zerstört werden noch sich vom Bindemittel trennen. Der Verkehr erzeugt ähnliche Schlagbelastungen wie die Vibrationswalze in ständiger Wiederholung, gleichzeitig wirkt er schleifend und schiebend.

#### **5.2.4.2.4 Anforderungen [9], [28]**

Die RVS 8S.01.41 „Baustoffe – Asphalt – Anforderungen an Asphaltmischgut“ ist für die Herstellung von Asphaltmischgut für Asphaltsschichten im Oberbau von Straßen und anderen Verkehrsflächen anzuwenden.

In jedem Falle sollen die aufbereiteten Granitrückstände witterungs- und frostbeständig sein, außerdem schlagfest, druckfest, bei Heißeinbau hitzebeständig und an der Oberfläche der Befestigung (Verschleißschicht) sollen sie ausreichenden Widerstand gegen Polieren und Abrieb haben. Dazu soll eine gute Haftung zwischen Gestein und Bitumen entstehen und bestehen bleiben. Damit die Reinheit der Granitrückstände gewährleistet ist, muss die Aufbereitung der Gesteine entsprechend sorgfältig erfolgen. Es dürfen keine quellfähigen Bestandteile (organische, mergelige oder tonige) in das Mischgut geraten. Erwünscht ist gedrunenes Korn, weniger spießiges und möglichst kein plattiges. Körnungen aus gedrunenen Körnern lassen sich nämlich gut verdichten und unterliegen bei mechanischen Beanspruchungen nur geringer Kornzerkleinerung. Plattige Körner behindern den Verdichtungsvorgang und zerbrechen leicht. Als Grenze für ein gedrunenes Korn wird das Verhältnis Länge zu Dicke 3:1 herangezogen.

Tabelle 23 zeigt die Anforderungen an das Gesteinsmaterial für Tragschichten. Das anführen der Lastklasse nach der RVS 3.63 dient der Zuordnung zu den entsprechenden Kriterien. Tabelle 24 zeigt die Anforderungen an das Gesteinsmaterial für Deckschichten.

Tabelle 23: Anforderungen an das Gesteinsmaterial für Tragschichten [28]

Material/Eigenschaft Regelwerk	Lastklasse	Mischgutttyp		
		BT	BTD	BT HS
<b>Frostbeständigkeit</b> ON B 3123-3	alle LK	gem. RVS 8.01.11		
<b>Festigkeit [M.-%]</b> LA-Wert ON B 3128	S, I	≤ 30	nicht zulässig	≤ 25
	II, III	≤ 35		
	IV, V	≤ 40	≤ 30	
<b>Korngröße</b> DIN 1996-14	alle LK	gem. RVS 8.01.11		
<b>Kornform &gt; 8 mm</b> l:d > 3 [M.-%] ON EN 933-4	S, I	≤ 20	nicht zulässig	≤ 20
	II, III	≤ 30	≤ 30	
	IV, V			
<b>Kornform 4/8 mm</b> l:d > 3 [M.-%] ON EN 933-4	S, I, II	≤ 25	nicht zulässig	≤ 20
	III			
	IV, V	≤ 35	≤ 35	
<b>Brechkornanteil [M.-%]</b> RVS 11.062-II	S, I	≥ 50	nicht zulässig	≥ 50
	II, III	keine		
	IV, V		keine	
<b>Kantkornanteil [M.-%]</b> RVS 11.062-II	S, I	≥ 90	nicht zulässig	≥ 90
	II	≥ 50		
	III			
	IV, V	keine	≥ 33	
<b>Haftverhalten [%]</b> ON B 3682	S, I, II, III	≥ 85	nicht zulässig	≥ 95
	IV, V		≥ 85	
<b>Reinheit</b> ON B 3304	alle LK	gem. RVS 8.01.11		
<b>Wasserempfindliche Substanzen</b> ON B 3681	alle LK	gem. RVS 8.01.11		
<b>Wasserempfindliche Minerale</b> RVS 11.062-V	alle LK	gem. RVS 8.01.11		
<b>Sonnenbrennzerfall</b> TPMin Stb 4.2	alle LK	gem. RVS 8.01.11		

Tabelle 24: Anforderungen an das Gesteinsmaterial für Deckschichten [28]

Material/Eigenschaft Regelwerk	Lastklasse	Mischgutttyp pmAB, SMA, DDH, LDDH, AB, DA, GA					
		0/2	2/4	4/8	8/11	11/16	16/22
<b>Korngruppe</b>							
<b>Frostbeständigkeit</b> <sup>1)</sup> ON B 3123-3	alle LK	gem. RVS 8.01.11					
<b>Festigkeit [M.-%]</b> <sup>1)</sup> LA-Wert ON B 3128	S, I	≤ 20		≤ 18			
	II, III, IV	≤ 25		≤ 20			
	V	≤ 30		≤ 25			
<b>Korngröße</b> DIN 1996-14	alle LK	gem. RVS 8.01.11					
<b>Kornform l:d &gt; 3 [M.-%]</b> ON EN 933-4	alle LK	keine		≤ 15			
<b>Bruchflächigkeit</b> RVS 11.062-II	alle LK	EBK <sup>3)</sup> , EKK <sup>4)</sup>					
<b>Polierwiderstand [%]</b> RVS 11.062-IV	S, I, II	keine		≥ 50 <sup>2)</sup>			
	III			≥ 45 <sup>2)</sup>			
	IV, V			≥ 40			
<b>Haftverhalten [%]</b> ON B 3682	alle LK	≥ 85; ≥ 95 bei Verwendung von PmB					
<b>Reinheit</b> ON B 3304	alle LK	gem. RVS 8.01.11					
<b>Wasserempfindliche Substanzen</b> ON B 3681	alle LK	gem. RVS 8.01.11					
<b>Sonnenbrennzerfall</b> TPMin Stb 4.2	alle LK	gem. RVS 8.01.11					

- 1) Die Beurteilung der Frostbeständigkeit und der Festigkeit der Kornklasse 0/2 erfolgt über die Prüfung der Kornklasse 2/4 am Gesteinsmaterial gleicher Herkunft
- 2) Bei DA kann für Teilbereiche, die nicht ständig unter Verkehr stehen (z.B. Abstellstreifen), ein PSV-Wert von ≥ 40 zugelassen werden
- 3) Edelbrechkörnung
- 4) Edelkantkörnung

#### 5.2.4.2.5 Prüfergebnisse

Gegenstand der Prüfung war eine Überprüfung der Tauglichkeit für Deckschichten aus einer Gesteinskörnung von aufbereiteten Granitrückständen. Zu diesem Zweck wurde nachträglich eine Körnung der Größe 8/11 gebrochen. Die Prüfung selbst wurde von der Technischen Versuchs- und Forschungsanstalt für Festigkeits- und Materialprüfung an der Technischen Universität Graz durchgeführt.

Tabelle 25 und Tabelle 26 zeigen die Prüfergebnisse im Vergleich zu den Sollwerten.



Tabelle 25: Prüfergebnisse [29]

Eigenschaft Regelwerk		1	2	3	Sollwerte Lastklasse V
<b>Festigkeit LA-Wert</b> [M.-%] ON B 3128	Einzelwerte	35,9	36,6	35,6	≤ 25
	Mittelwert	36,1			≤ 25
<b>Kornform I:d &gt; 3</b> [M.-%] ON EN 933-4	Einzelwerte	---	---	---	---
	Mittelwert	17,31			≤ 15
<b>Haftverhalten [%]</b> ON B 3682	Einzelwerte	---	---	---	---
	Mittelwert	21,3			≥ 85

Tabelle 26: Korngrößenverteilung [29]

Sieböffnung	Durchgang	Sollwerte EBK/EKK <sup>1)</sup>	Sollwerte BK/KK <sup>2)</sup>
[mm]	[M.-%]	[M.-%]	[M.-%]
16	100,0	---	---
11,2	87,1	≥ 90	≥ 90
8	12,1	≤ 15	≤ 20
4	0,7	≤ 5	---
0,09	0,3	≤ 2	≤ 3

1) Edelbrechkorn/Edelkantkorn

2) Brechkorn/Kantkorn

Obwohl man die Prüfergebnisse mit der Lastklasse V verglich, war das Ergebnis bei weitem nicht zufriedenstellend. Zwar wusste man aus Erfahrung, dass z.B. die Ergebnisse für den LA-Wert bei Granit generell immer knapp ausfallen, jedoch mit solch einem schlechten Prüfergebnis hätte man nicht gerechnet.

#### 5.2.4.2.6 Schlußfolgerung

Aus diesem Prüfergebnis folgt die Konsequenz, dass die Granitabfälle den Anforderungen an das Gesteinsmaterial für Deckschichten nicht entsprechen und daher als Zuschlag für das Asphaltmischgut nicht eingesetzt werden können.

Der Einbau der Granitrückstände in der ungebundenen Tragschicht wäre aus Sicht dieses Ergebnisses zwar möglich, aber es entspricht einerseits nicht den Grundsätzen des Projektes „Recycling“ anstatt „Downcycling“. Andererseits herrschen in der derzeitigen Marktsituation viel zu geringe Rohstoffpreise, da ein Überschuss an Recyclingbaustoffen vorhanden ist, um überhaupt mit den Granitabfällen konkurrieren zu können.

## 6 Kosten- und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen des Granit-Recyclings

Neben den technischen Möglichkeiten mit allen positiven ökologischen Auswirkungen sind auch ökonomische Aspekte zu berücksichtigen. Das Projekt „Stoffliche Verwertung von Granitrückständen“ wird sich nur dann durchsetzen, wenn es auch wirtschaftlich sinnvoll ist. Dazu ist eine Analyse einzelner Einflußfaktoren notwendig.

### 6.1 Ökonomische Akzeptanz [13]

Die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Produkte wird unter Berücksichtigung der Prozessphasen, die die verschiedenen Kostenkomponenten (K) bzw. Erlöse (E) verursachen, in folgender Gleichung zusammengefasst:

$$K_{\text{TRANSPORT}} + K_{\text{LAGERUNG}} + K_{\text{AUFBEREITUNG}} - E_{\text{ABHOLGEBÜHREN}} = P_{\text{AUFBEREITETE GRANITRÜCKSTÄNDE}}$$

Ein wirtschaftliches Interesse wird sich nur bei den Nachfragern herausbilden, wenn gewährleistet werden kann, dass der Preis (P) der aufbereiteten Granitrückstände kleiner ist, als der für Primärmaterialien. Es gilt somit unbedingt:

$$\text{Ökonomische Akzeptanz} = \frac{P_{\text{AUFBEREITETE GRANITRÜCKSTÄNDE}}}{P_{\text{PRIMÄRMATERIAL}}} < 1$$

Die Schnittstellen der Wirtschaftlichkeit lassen sich mit der Betrachtung des Verwertungsprozesses als technologische Kette ermitteln.

### 6.2 Kosten- und Erlösbestimmung

In diesem Kapitel werden die Kosten und Erlöse für die Aufbereitung von Granitrückständen der Fa. Fast ermittelt. Die nachstehende Berechnungsgrundlage der Kosten basiert für eine Sammlung von 500 Mg/a. Wenn man sich das Fließdiagramm (vgl. Abbildung 1) aus Kapitel 2.2 heran nimmt, so gliedern sich die Massenströme folgendermaßen. Aus ca. 500 Mg Sammelgut sollen entstehen:

- ca. 55 Mg Granitsand
- ca. 55 Mg Antikisierte Granitplatten
- ca. 250 Mg Bruchsteine

Für die Anfangsphase gelten diese Produktionsgrößen als realistisch und sind auf den Bedarf der einzelnen Einsatzmöglichkeiten der Rückstände abgestimmt. Die Massendifferenz von rund 140 Mg ergibt sich daraus, dass man mehr Granitabfälle für Granitsand und Bruchsteine brechen muss, damit man auf die gewünschte Menge der einzelnen Produkte kommt. Diese Manipulationsmenge kommt aus verfahrenstechnischen Gründen zustande, da einerseits eine relativ große Menge für die Bruchsteine (grobes Material) und andererseits eine geringe Menge an Granitsand (sehr feines Material) benötigt wird. Diese Material welches somit als Überschuss anfällt, wird ebenfalls zu gezielten Kornfraktionen verarbeitet und kann ebenfalls vermarktet werden.

Die Produktion von Trommelsteinen wird nicht stattfinden. Anlass ist der zu hohe Energiebedarf, da alleine die Energiekosten für das Trommeln der Trommelsteinen rund 104,2 €/Mg betragen würden. Aus jetziger Sicht ist daher die Erzeugung von Trommelsteinen zu kostenintensiv.

Des weiteren muss darauf hingewiesen werden, dass sich alle Kosten und Erlöse exklusive Mehrwertsteuer verstehen. Die Höhe diverser Kosten beruht auf der Grundlage der Endabrechnung des FFF-Endberichtes vom 20. September 2002. Ebenfalls sind Stundenaufzeichnungen für die einzelnen Tätigkeiten durchgeführt worden. Dadurch erhält man eine relativ genaue Aufstellung der jeweiligen Kosten. Auf die Personalkosten wird ein Gemeinkostenzuschlag von 10 % angerechnet.

### 6.2.1 Transportkosten ( $K_{\text{TRANSPORT}}$ )

Da Granitabfälle in der Größenordnung von ca. 100 Mg/a bei der Fa. Fast anfallen, wird diese Menge von den 500 Mg/a abgezogen. Damit müssen ca. 400 Mg/a von den Steinmetzbetrieben gesammelt werden. Diese Menge entspricht ungefähr 40 - 80 Fuhren mit einem LKW ohne Anhänger mit einer maximalen Nutzlast von 10 Mg. Für das Be- und Entladen des LKW's werden insgesamt 2 Stunden angenommen. Wie in Kapitel 4.1.1 erklärt wurde, sollte die Entfernung der Steinmetzbetriebe  $\leq 20$  km sein. Folglich erhält man einen Transportweg von maximal 40 km (Hin- und Rückweg). Die Aufstellung der Transportkosten wird in Tabelle 27 dargestellt.

**Tabelle 27: Transportkosten ( $K_{\text{TRANSPORT}}$ )**

	Menge	Aufwand	Kosten	Kosten	Kosten
	[Mg]	[km]	[€/km]	[€]	[€/Mg]
<b>LKW-Einsatz</b>	400	1.600 – 3.200	0,9	1.440 – 2.880	3,6 – 7,2
	[Mg]	[h]	[€/h]	[€]	[€/Mg]
<b>Personaleinsatz</b>	400	80 – 160	18,6	1.488 – 2.976	3,7 – 7,4
<b>Gemeinkosten</b>					0,4 – 0,7
<b>Σ Transportkosten [€/Mg]</b>					<b>7,7 – 15,3</b>

### 6.2.2 Lagerkosten ( $K_{\text{LAGERUNG}}$ )

Hier werden die gesamten 500 Mg herangezogen. Die Lagerfläche wird als Kostenstelle nicht angeführt, da diese bereits vorhanden war und auch nicht ausgebaut wird. Geräte, wie der Gabelstapler werden nur anteilmäßig berücksichtigt, weil dieser in anderen Bereichen der Produktion Verwendung finden kann. Vollständig berücksichtigt müssen der Boxenwender, die Staplerschaufel und die Sammelboxen werden. Der Grund dafür liegt darin, dass diese Investitionen ausschließlich für dieses Projekt angeschafft wurden. Die Abschnittskosten für die Geräte ergeben sich aus den laufenden Kosten, der Abschreibungen und den Zinsen. Zu diesem Zweck wurde die kalkulierte Lebensdauer der Geräte für die Abschreibung mit acht Jahren und der kalkulatorische Zinssatz mit 5 % angenommen. Tabelle 28 gibt eine Aufstellung der Lagerkosten.

Tabelle 28: Lagerkosten

	Granit- menge	Aufwand	Kosten	Kosten	Kosten
	[Mg]	---	---	[€/a]	[€/Mg]
<b>Geräte- und Sacheinsatz:</b>					
Gabelstapler	500	---	---	582,1	1,2
Boxenwender	500	---	---	1.332,5	2,7
Staplerschaufel	500	---	---	833,4	1,7
Sammelboxen	500	---	---	2.363,8	4,7
	[Mg]	[h]	[€/h]	[€/a]	[€/Mg]
<b>Personaleinsatz</b>	500	150	17,5	2.625	5,3
<b>Gemeinkosten</b>					0,5
<b>Σ Lagerkosten [€/Mg]</b>					<b>16,1</b>

### 6.2.3 Aufbereitungskosten (K<sub>AUFBEREITUNG</sub>)

Die Aufbereitungskosten gliedern sich in:

- Kosten für das Brechen: - Granitsand  
- Bruchsteine
- Kosten für das Schneiden: - antikisierte quadratische Platten
- Kosten für das Trommeln: - antikisierte quadratische Platten und Polygonplatten

#### 6.2.3.1 Brecherkosten

Hiefür wurden zwei Angebote, jeweils für eine mobile Anlage, sowie für eine stationäre Anlage eingeholt. Insgesamt sollen 445 Mg gebrochen werden. Die übrigen 55 Mg werden zu antikisierten Granitplatten weiter verarbeitet. Es muss darauf hingewiesen werden, dass beide Unternehmen den Granitsand in der Korngröße 0/4 herstellen. Für die Weiterverarbeitung für die Betonsteine stellt diese Tatsache keine Probleme dar.



### 6.2.3.1.1 Mobile Brecheranlage

Es handelt sich dabei um die Fa. Acht Baurecycling GmbH mit Sitz in 1220 Wien und 3430 Tulln.

**Kosten:** 1.700 € für das Einrichten der Baustelle  
4,10 €/Mg für das Brechen (alle sonstigen Kosten sind in diesem Preis inkludiert)

**Aufgabe:** 445 Mg bestehend aus Primärzerkleinerung zur Herstellung der Fraktionen 32/63 und 0/32. Die Fraktion 0/32 wird in einem zweiten Arbeitsschritt (Sekundärzerkleinerung) zu den Kornfraktionen 0/4, 4/8 und 8/22 gebrochen.

**Primärzerkleinerung:** ca. 55 M.-% 32/63  
ca. 45 M.-% 0/32

**Sekundärzerkleinerung:** ca. 30 M.-% 0/4  
ca. 30 M.-% 4/8  
ca. 40 M.-% 8/22

Tabelle 29 und Tabelle 30 sollen zeigen, wie sich die einzelnen Fraktionen mengenmäßig aufteilen und sich die daraus entstehenden Kosten zusammensetzen.

**Tabelle 29: Primärzerkleinerung**

Input	Output		Kosten
[Mg]	[Mg]	Fraktion	[€]
445	245	32/63	---
	200	0/32	
<b>445</b>	---	---	<b>1.824,5</b>

**Tabelle 30: Sekundärzerkleinerung**

Input	Output		Kosten
[Mg]	[Mg]	Fraktion	[€]
200	60	0/4	---
	60	4/8	
	80	8/22	
<b>200</b>	---	---	<b>820,0</b>

Da es für die Fraktionen 4/8 und 8/22 derzeit keine Verwendung gibt, sie aber aus aufbereitungstechnischen Gründen anfallen, würde sich die Fa. Acht bereit erklären, diese Fraktionen für einen Preis von 6 €/Mg zu übernehmen. Die daraus entstehenden Erlöse werden in Tabelle 31 angegeben.

**Tabelle 31: Erlöse durch den Verkauf der Fraktionen 4/8 und 8/22**

Menge	Fraktion	Erlös	Erlös
[Mg]	[Mg]	[€/Mg]	[€]
60	4/8	6,0	360,0
80	8/22	6,0	480,0
<b>140</b>	---	---	<b>840,0</b>

Tabelle 32 gibt die Gesamtkosten für das Brechen der Granitabfälle für eine mobile Brechanlage an.

**Tabelle 32: Gesamtkosten für mobile Brecheranlage**

Aufwand	Menge	Kosten	Kosten
	[Mg]	[€]	[€/Mg]
Fixkosten	---	1.700,0	---
Primärzerkleinerung	445	1.824,5	
Sekundärzerkleinerung	200	820,0	
Erlös	140	- 840,0	
<b>Brecherkosten</b>	<b>445</b>	<b>3.504,5</b>	<b>7,9</b>

### 6.2.3.1.2 Stationäre Brecheranlage

Hier handelt sich um die Fa. Readymix Trippl Steinbruch GmbH mit Sitz in 8605 Kapfenberg.

**Kosten:** 5,0 €/Mg für das Brechen (alle sonstigen Kosten sind in diesem Preis inkludiert)

**Aufgabe:** 445 Mg ca. 20 M.-% 0/4  
ca. 20 M.-% 4/8  
ca. 20 M.-% 8/16  
ca. 40 M.-% 16/63

Tabelle 33 zeigt, wie sich die einzelnen Fraktionen mengenmäßig aufteilen und gibt die daraus entstehenden Kosten an.

**Tabelle 33: Zusammensetzung der Fraktionen**

Input	Output		Kosten
[Mg]	[Mg]	Fraktion	[€]
445	89	0/4	---
	89	4/8	
	89	8/16	
	178	16/32	
<b>445</b>	---	---	<b>2.225,0</b>

Da aber die Granitabfälle zur stationären Anlage transportiert, und die gebrochenen Fraktionen abgeholt werden müssen entstehen Transportkosten. Für diesen Transport kann der LKW mit Anhänger (23 Mg/Fuhre) verwendet werden, wodurch 20 Fuhren notwendig sind. Die Entfernung der beiden Unternehmen beträgt 33,4 km. Das Be- und Entladen des LKW's wird mit 3 Stunden angenommen. Tabelle 34 veranschaulicht die Transportkosten.

Tabelle 34: Transportkosten

	Granit- menge	Aufwand	Kosten	Kosten
	[Mg]	[km]	[€/km]	[€]
<b>LKW-Einsatz</b>	445	2.672	1,0	2.672,0
	[Mg]	[h]	[€/h]	[€]
<b>Personaleinsatz</b>	445	120	18,6	2.232,0
<b>Gemeinkosten</b>				223,2
<b>Σ Transportkosten [€]</b>				<b>5.127,2</b>

Tabelle 35 gibt die aus den einzelnen Kosten entstehenden Gesamtkosten an. Auch hier kann man mit einem Erlös von 6 €/Mg durch den Verkauf der Fraktionen 4/8 und 8/16 rechnen.

Tabelle 35: Gesamtkosten für stationäre Brecheranlage

Aufwand	Menge	Kosten	Kosten
	[Mg]	[€]	[€/Mg]
Zerkleinerung	445	2.225,0	---
Transport	445	5.127,2	
Erlös	178	- 1.068,0	
<b>Brecherkosten</b>	<b>445</b>	<b>6.284,2</b>	<b>14,1</b>

### 6.2.3.2 Schneidekosten

Von den 55 Mg Granitplatten werden ca. 25 Mg zu quadratischen Platten verarbeitet. Der Rest von ca. 30 Mg sind Polygonplatten. Die Zusammensetzung der Schneidekosten wird in Tabelle 36 angeführt.

Tabelle 36: Schneidekosten

	Granit- menge	Aufwand	Kosten	Kosten	Kosten
	[Mg]	---	---	[€/a]	[€/Mg]
<b>Geräteinsatz</b>	25	---	---	398,3	15,9
	[Mg]	---	---	[€/a]	[€/Mg]
<b>Energieeinsatz</b>	25	---	---	907,2	36,3
	[Mg]	[h]	[€/h]	[€/a]	[€/Mg]
<b>Personaleinsatz</b>	25	420	21,1	8.862,0	354,5
<b>Gemeinkosten</b>					35,5
<b>Σ Schneidekosten [€/Mg]</b>					<b>442,2</b>

### 6.2.3.3 Trommelkosten

Die Trommelkosten werden so angenommen, dass die Polygonplatten, als auch die quadratischen Platten 12 Stunden antikisiert werden. Die 55 Mg Granitplatten werden in 306 Chargen getrommelt. Für das Befüllen und Entleeren der Trommel wird mit insgesamt 3 Stunden gerechnet. Die Aufgliederung der Trommelkosten wird in Tabelle 37 dargestellt.

Tabelle 37: Trommelkosten

	Granit- menge	Aufwand	Kosten	Kosten	Kosten
	[Mg]			[€/a]	[€/Mg]
<b>Geräteinsatz</b>	55	---	---	141,3	2,6
	[Mg]	[h]	[€/h]	[€/a]	[€/Mg]
<b>Energieeinsatz</b>	55	3.672	0,7	2.570,4	46,7
	[Mg]	[Mg]	[€/Mg]	[€/a]	[€/Mg]
<b>Schleifmittel- einsatz</b>	55	42	36,3	1.524,6	27,7
	[Mg]	[h]	[€/h]	[€/a]	[€/Mg]
<b>Personaleinsatz</b>	55	918	21,1	19.369,8	352,2
<b>Gemeinkosten</b>					35,2
<b>Σ Trommelkosten [€/Mg]</b>					<b>463,4</b>

### 6.2.3.4 Zusammenstellung der gesamten Aufbereitungskosten

Die Zusammenstellung der gesamten Aufbereitungskosten für die einzelnen Erzeugnisse wird anhand der Tabelle 38 gezeigt.

**Tabelle 38: Gesamte Aufbereitungskosten der einzelnen Erzeugnisse**

Aufbereitungs- kosten	Granitsand	Bruchsteine	Quadratische Platten	Polygon- platten
	[€/Mg]	[€/Mg]	[€/Mg]	[€/Mg]
<b>Brecherkosten</b>	7,9 – 14,1	7,9 – 14,1	---	---
<b>Schneidekosten</b>	---	---	442,2	---
<b>Trommelkosten</b>	---	---	463,4	463,4
<b>Aufbereitungs- kosten Gesamt</b>	<b>7,9 – 14,1<sup>1)</sup></b>	<b>7,9 – 14,1<sup>1)</sup></b>	<b>905,6</b>	<b>463,4</b>

1) Kosten mobile / stationäre Brecheranlage

### 6.2.4 Gesamtkosten

Die aus sämtlichen Kostenstellen ( $K_{\text{TRANSPORT}}$ ,  $K_{\text{LAGERUNG}}$  und  $K_{\text{AUFBEREITUNG}}$ ) entstehenden Gesamtkosten werden in der Tabelle 39 für die jeweiligen Produkte aus den Granitrückständen zusammengefasst.

**Tabelle 39: Gesamtkosten der einzelnen Erzeugnisse**

Kostenstelle	Granitsand	Bruchsteine	Quadratische Platten	Polygon- platten
	[€/Mg]	[€/Mg]	[€/Mg]	[€/Mg]
<b>Transportkosten</b>	7,7 – 15,3	7,7 – 15,3	---	---
<b>Lagerkosten</b>	16,1	16,1	16,1	16,1
<b>Aufbereitungs- kosten</b>	7,9 – 14,1	7,9 – 14,1	905,6	463,4
<b>Gesamtkosten</b>	<b>31,7 – 45,5</b>	<b>31,7 – 45,5</b>	<b>921,7</b>	<b>479,5</b>

### 6.2.5 Erlöse durch Abholgebühren ( $E_{\text{ABHOLGEBÜHREN}}$ )

Die Erlöse durch Abholgebühren ergeben sich daraus, dass die Fa. Fast die Granitabfälle bei den Steinmetzbetrieben unter den bestehenden Entsorgungspreisen abholen will.



Die derzeit geltenden Deponiepreise (ohne Transportkosten und Containermiete) liegen im Durchschnitt bei rund 19,60 €/Mg, wobei sich der billigste Entsorger mit 10,90 €/Mg in Kärnten und der teuerste mit 35,00 €/Mg in der Steiermark liegt.

Damit entsteht für die Fa. Fast ein Erlös von etwa 7,00 - 14,00 €/Mg durch die Abholgebühr von den Steinmetzbetrieben. Auch die Fa. Fast erspart sich für die jährlich anfallenden Granitabfälle von ca. 100 Mg/a durch die eigene Sammlung die Entsorgungsgebühren von ca. 14,00 €/Mg, weshalb dies auch für die Preisermittlung der aufbereiteten Granitrückstände berücksichtigt wird. Folglich ergibt sich ein Gesamterlös für die Abholgebühr von 8,40 - 14,00 €/Mg.

### 6.3 Preisbestimmung für die aufbereiteten Granitrückstände (PAUFBEREITETE GRANITRÜCKSTÄNDE)

Der Preis für die aufbereiteten Granitrückstände wird nach der Gleichung in Kapitel 6.1 bestimmt. Die Tabelle 40 listet die daraus resultierenden Preise auf, ohne Berücksichtigung für etwaige Überprüfungskosten des Granitsandes oder branchenübliche Verkaufseinheiten für die antikisierten Platten.

**Tabelle 40: Preise für die aufbereiteten Granitrückstände (ohne Überprüfungskosten und branchenübliche Verkaufseinheiten)**

Kosten / Erlöse	Granitsand	Bruchsteine	Quadratische Platten	Polygonplatten
	[€/Mg]	[€/Mg]	[€/Mg]	[€/Mg]
<b>Gesamtkosten</b>	31,7 – 45,5	31,7 – 45,5	921,7	479,5
<b>Gesamterlöse</b>	- 8,4 – 14,0	- 8,4 – 14,0	- 8,4 – 14,0	- 8,4 – 14,0
<b>Preis</b>	<b>17,7 – 37,1</b>	<b>17,7 – 37,1</b>	<b>907,7 – 913,3</b>	<b>465,5 – 471,1</b>

Bei dem oben angegebenen Preis für Granitsand fehlen noch die Kosten für den Erhalt des ÜA-Einbauzeichens (vgl. Kapitel 5.1) Diese gliedern sich in:

- 1075,00 € für die Überprüfung der Anforderungen durch eine akkreditierte Prüfstelle (vgl. Kapitel 5.1.3), sowie
- 700,00 € für Verwaltungsabgaben für die Ausstellung eines Übereinstimmungszeugnisses an die ermächtigte Stelle.

Zusammen ergeben sich zusätzliche Kosten für den Granitsand in der Höhe von 32,3 €/Mg. Die daraus resultierenden neuen Preise werden in Tabelle 41 angeführt.

Da es nicht branchenüblich ist, dass Platten in €/Mg sondern in €/m<sup>2</sup> verkauft werden, ergeben sich auch hier neue Preise, die ebenfalls in Tabelle 41 angeführt werden.

**Tabelle 41: Preise für die aufbereiteten Granitrückstände**

	Granitsand	Bruchsteine	Quadratische Platten	Polygonplatten
	[€/Mg]	[€/Mg]	[€/m <sup>2</sup> ]	[€/m <sup>2</sup> ]
<b>Preis</b>	<b>50,0 – 69,4</b>	<b>17,7 – 37,1</b>	<b>72,6 – 73,1</b>	<b>37,2 – 37,7</b>

## 6.4 Vergleich von Preisen der aufbereiteten Granitrückstände zu den Preisen am freien Markt

Wie in Kapitel 6.1 bereits erwähnt wurde, existiert eine ökonomische Akzeptanz, wenn der Preis der aufbereiteten Granitrückstände gegenüber den Preisen für Primärmaterial < 1 ist.

Tabelle 42 soll einen Vergleich über den Preis der aufbereiteten Granitrückstände mit dem am Markt üblichen Preise schaffen.

**Tabelle 42: Vergleich P<sub>AUFBEREITETE GRANITRÜCKSTÄNDE</sub> ZU P<sub>PRIMÄRMATERIAL</sub>**

	Granitsand	Bruchsteine	Quadratische Platten	Polygonplatten
	[€/Mg]	[€/Mg]	[€/m <sup>2</sup> ]	[€/m <sup>2</sup> ]
<b>P<sub>AUFBEREITETE GRANITRÜCKSTÄNDE</sub></b>	<b>50,0 – 69,4</b>	<b>17,7 – 37,1</b>	<b>73,0</b>	<b>37,0</b>
<b>P<sub>PRIMÄRMATERIAL</sub></b>	<b>80,0</b>	<b>25,4 – 32,6</b>	<b>55,0 – 65,5</b>	<b>21,8 – 33,6</b>
<b>Ökonomische Akzeptanz</b>	<b>&lt; 1</b>	<b>&gt; 1</b>	<b>&gt; 1</b>	<b>&gt; 1</b>

Wenn man die Preise der aufbereiteten Granitrückstände mit jenen am Markt existierenden vergleicht, ist das Ergebnis weniger zufriedenstellend.

Zwar scheint es auf den ersten Blick, dass Granitsand als einziges Produkt die ökonomische Akzeptanz erreicht. Jedoch liegt die Gefahr viel mehr in den versteckten Kosten für die verpflichtenden Fremdüberwachungen und Gütezeichen. Der Preis des Primärmaterials ist jener, den die Fa. Ebenseer derzeit ihrem Lieferanten für Granitsand bezahlt.

Für die Bruchsteine ist ein direkter Vergleich derzeit nicht möglich, da derartige Bruchsteine auf dem Markt nicht existieren. Daher wurden Preise herangezogen, die für Ziersteine in der Gartengestaltung üblich sind.

Bei den antikisierten Platten ist der höhere Preis durch den Kostentreiber Trommelmühle zurückzuführen. Eine Investition in eine größere Trommelmühle würde sich längerfristig rentieren, da man die Herstellungskosten der Platten auf das Niveau der am Markt herrschenden Preise drücken könnte.

## 6.5 Schlussfolgerung

Die wirtschaftlichen Vorteile die man sich erhofft hatte, treffen bei weiten nicht den Erwartungen. Durch die momentan niedrigen Entsorgungskosten und Preise für Primärrohstoffe wird die Vermarktung der aufbereiteten Granitrückstände schwierig.

Daher ist es für die Fa. Fast derzeit wirtschaftlich am besten, die Sammlung der Granitabfälle aufzugeben und sich der Aufbereitung ihrer eigenen Granitabfälle zu konzentrieren. D.h. eine Verarbeitung der anfallenden Platten zu antikisierten quadratischen Platten und Polygonplatten scheint als sinnvoll. Wichtig wäre die Investition in eine größere Trommelmühle. Durch die Vergrößerung des Fassungsvermögens auf das Doppelte, würden sich die Trommelkosten bereits um ca. 26 % gegenüber den ursprünglichen Kosten senken. Ebenso zweckmäßig könnte die Erzeugung von Bruchsteinen sein, da diese den geringsten Aufwand verursachen.

Abzuraten ist die Produktion von Granitsand für die Betonsteinindustrie. Durch die aufwendigen Überprüfungen für die Güteüberwachung und notwendigen Gütezeichen (jetzt ÜA-Einbauzeichen, später CE-Kennzeichnung), ist es schwierig kostendeckend zu arbeiten. Man bedenke, dass ca. 50 % der Gesamtkosten des Granitsandes für Konformitätsnachweise verbraucht werden.

## 7 Diskussion

Der Grundgedanke des Projektes „Stofflichen Verwertung von Granitrückständen“ ist sicherlich der erste Schritt in die richtige Richtung. Allerdings, wie in der Kosten- und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung angeschnitten wurde, dass neben den technischen Möglichkeiten mit allen positiven ökologischen Auswirkungen auch die ökonomischen Aspekte zu berücksichtigen sind, trifft voll ins Schwarze. Durch die momentan niedrigen Entsorgungskosten und Preise für Primärrohstoffe steht der Aufwand eines für die Sammlung des Granits eigens aufgebauten Verwertungsnetzwerk nicht dafür.

Durch das gestiegene Bewusstsein hinsichtlich der Verantwortung gegenüber der Natur haben sich bereits in der Gesetzgebung niedergeschlagen. Die bestehenden Landschafts- und Naturschutzgesetze erschweren zum Teil erheblich den Eingriff in die Umwelt durch eine Inanspruchnahme von neuem Deponieraum oder Eröffnung neuer Steinbrüche. Insofern wird sicherlich der richtige Zeitpunkt kommen, wo sich ein solches Granitverwertungsnetzwerk nicht nur Unterstützung findet sondern auch rentiert. Wichtig ist nur, diesen Zeitpunkt nicht zu versäumen.

## 8 Verzeichnisse

### 8.1 Literatur

- [1] BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.): Bundes-Abfallwirtschaftsplan : Bundesabfallbericht 2001. Graz-Andritz : Weitzer & Partner, 2001. – ISBN 3-902 010-70-3
- [2] KOTSCHAN, Michael: Förderungsansuchen : Stoffliche Verwertung von Granitrückständen, FFF-Projekt Nummer 804 117. Montanuniversität Leoben, Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik, Mai/Juni 2001.
- [3] THINNES, Guy: Diplomarbeit : Stoffliche Verwertung von Granitrückständen. Montanuniversität Leoben, Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik, März 2003.
- [4] KOHLER, Guntram: Recyclingpraxis Baustoffe. 2. Aufl. Köln : TÜV Rheinland, 1994. – ISBN 3-8249-0206-0
- [5] KOTSCHAN, Michael; STABER, Wolfgang: Stoffliche Verwertung von Granitrückständen. Montanuniversität Leoben, Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik.
- [6] HASLER, Arnulf: Endbericht : Projekt Zwischenbetriebliche Verwertung von Granit – und Lackpulverrückständen auf regionaler Ebene. Karl-Franzenes-Universität Graz, Institut für Innovations- und Umweltmanagement, Juni 2000.
- [7] HAFNER, Gerhild M.: Diplomarbeit : Zwischenbetriebliche Verwertung von Granitrückständen auf regionaler Ebene. Karl-Franzenes-Universität Graz, Institut für Innovations- und Umweltmanagement, Mai 2001.
- [8] SCHERMANN, Walter: Der neue BLV Steine- und Mineralführer. 6. Aufl. München : BLV, 2002. – ISBN 3-405-16441-9
- [9] SCHOLZ, Wilhelm (Begr.); HIESE, Wolfram (Hrsg.): Baustoffkenntnis. 13. Aufl. Düsseldorf : Werner, 1995. – ISBN 3-8041-3451-3
- [10] ÖNORM B 3129 März 1991. Natürliche Gesteine : Richtwerte für die Auswahl
- [11] ÖNORM B 3304 April 1981. Betonzuschläge aus natürlichem Gestein: Begriffe, Anforderungen, Prüfungen, Lieferungen und Güteüberwachung

- [12] GEWIESE, Angela; GLADITZ-FUNK, Inge; SCHENK, Bernhard: Recycling von Baureststoffen. Renningen-Malmsheim : expert-Verl., 1994. – ISBN 3-8169-1063-7
- [13] BILITEWSKI, Bernd: Recycling von Baureststoffen. Berlin : Verl. Für Energie- und Umwelttechnik, 1993. – ISBN 3-924511-75-6
- [14] VERWALTUNG LAND STEIERMARK (Hrsg.): Einbauzeichen ÜA für Bauprodukte. Online im WWW unter URL: [www.verwaltung.steiermark.at](http://www.verwaltung.steiermark.at). Stand: November 2002
- [15] KOHLMAIER Georg: Baustoffliste dokumentiert Anforderung. Online im WWW unter URL: [www.kommunal.at](http://www.kommunal.at). Stand: Juni 2003
- [16] ÖSTERREICHISCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK: Homepage. Online im WWW unter URL: [www.oib.or.at](http://www.oib.or.at). Stand: Juni 2003
- [17] ÖSTERREICHISCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK (Hrsg.): Checkliste Gesteinskörnungen (OIB-095.3-010/02-017). Wien : November 2002
- [18] ZEMENT UND BETON HANDELS- UND WERBE-GMBH (Hrsg.): Merkblätter und Informationen der Bauberatungsstelle der österreichischen Zementindustrie und des Österreichischen Betonvereins. 27. Aufl. Wien : J.C. König & Eberhardt AG, 1993
- [19] HÄRIG Siegfried: Technologie der Baustoffe. 12. Aufl. Heidelberg : Müller, 1994. – ISBN 3-7880-7495-7
- [20] ÖNORM B 4710-1 Jänner 2002. Beton Teil 1: Feststellung, Herstellung und Konformitätsnachweis
- [21] ÖNORM B 3258 Februar 1990. Vorgefertigte Betonerzeugnisse zur Befestigung von Verkehrsflächen
- [22] ÖNORM B 3306 September 1982. Prüfung der Frost-Tausalz-Beständigkeit von vorgefertigten Betonerzeugnissen
- [23] ÖNORM B 3126 Teil 2 März 1986. Prüfung von Naturstein und von anorganischen Baustoffen – Verschleißprüfung – Schleifscheibenverfahren nach BÖHME
- [24] BAUTECHNISCHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT SALZBURG: Prüfbericht (A. Nr.: B5/907/02)



- [25] ÖNORM EN 1341 April 2001. Platten aus Naturstein für Außenbereiche – Anforderungen und Prüfverfahren
- [26] DER KIESGARTEN – GARTENGESTALTUNG MIT KIES: Online im WWW unter URL: [www.swr.de](http://www.swr.de). Stand: August 2001
- [27] RVS 3.63 Oktober 1998. Bautechnische Details: Oberbaubemessung
- [28] RVS 8S.01.41 November 2001. Baustoffe: Asphalt; Anforderungen an Asphaltmischgut
- [29] TECHNISCHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT FÜR FESTIGKEITS- UND MATERIALPRÜFUNG: Prüfbericht (2003-04-07/eus)

## 8.2 Verwendete Abkürzungen/Begriffe

a	Jahr
AG	Aktiengesellschaft
bzw.	beziehungsweise
B-VG	Bundesverfassungsgesetz
BRV	Österreichische Baustoff-Recycling Verband
ca.	Circa
CE	Communaute ´ Europeéne
cm	Zentimeter
cm <sup>2</sup>	Quadratcentimeter
cm <sup>3</sup>	Kubikcentimeter
d.h.	das heißt
DIN	Deutsche Industrienorm
dm <sup>3</sup>	Kubikdezimeter
E	Erlös
Fa.	Firma
FFF	Forschungsförderungsfonds für die gewerbliche Wirtschaft
g	Gramm
GIS	Geoinformationssystem
GK	Größtkorn
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GZ	Grauzement
h	Stunde
IED	Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik, Montanuniversität Leoben
ISO	International Standard Organization
K	Kantkorn (in Kapitel 5)
K	Kosten (in Kapitel 6)
kg	Kilogramm
KK	Kantkörnung
km	Kilometer
l	Liter
LA-Wert	Los Angeles Wert
LKW	Lastkraftwagen
LNr.	Laufende Nummer
m	Meter
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
Mg	Megagramm

mm	Millimeter
mm <sup>2</sup>	Quadratmillimeter
M.-%	Massenprozent
N	Newton
Nr.	Nummer
OIB	Österreichisches Institut für Bautechnik
ÖA	Baustoffliste
ON	Österreichische Norm
ÖNORM	Österreichische Norm
P	Preis
R	Rundkorn
RK	Rundkörnung
RVS	Richtlinien der Forschungsgesellschaft für das Verkehrs- und Straßenwesen
SFG	Steirische Wirtschaftsförderung
spez. Gew.	Spezifisches Gewicht
sog.	Sogenannt(en)
u.a.	unter anderen
usw.	und so weiter
ÜA	Übereinstimmung Austria
vgl.	vergleiche
WZ	Weißzement
z.B.	zum Beispiel
µm	Mikrometer
° C	Grad Celsius
€	Euro
Σ	Summe
%	Prozent
<	kleiner als
>	größer als
≤	kleiner gleich
≥	größer gleich

### 8.3 Tabellen

Tabelle 1 : Richtwerte von Festgesteinen [10] .....	12
Tabelle 2 : Sortierung der gesammelten Granitrückstände.....	17
Tabelle 3 : Mindestprobemenge.....	19
Tabelle 4 : Kornzusammensetzung des Granitsandes 0/3.....	20
Tabelle 5 : Zusammensetzung der einzelnen Versuchsreihen .....	28
Tabelle 6 : Zusammensetzung der einzelnen Versuchsreihen .....	31
Tabelle 7 : Zusammensetzung der Rezepturen .....	32
Tabelle 8 : Regelwerke für Gesteinskörnungen [17] .....	38
Tabelle 9 : Mindestprobemenge [11].....	41
Tabelle 10 : Zulässiger Gehalt an Über- und Unterkorn [18].....	43
Tabelle 11 : Höchstzulässiger Gehalt an Abschlämbbarem [11].....	46
Tabelle 12 : Höchstwerte für den Oberflächenwassergehalt [11].....	49
Tabelle 13 : Häufigkeit <sup>3)</sup> der Eigenüberwachung [11] .....	52
Tabelle 14 : Bewertung des Granitsandes anhand der ÖNORM B 3304.....	54
Tabelle 15 : Maße von „BELVEDERE exklusiv“ [3] .....	57
Tabelle 16 : Mischungsverhältnisse zur Herstellung des Kernbetons [3].....	58
Tabelle 17 : Mischungsverhältnisse zur Herstellung des Granit-Vorsatzbetons (Versuche V 1 – V 4) [3].....	59
Tabelle 18 : Farbgebung der Pflastersteine (Versuche V 5 – V 7) [3].....	59
Tabelle 19 : Maße von „arte pflaster“ bzw. „arte pflaster gestockt“ .....	64
Tabelle 20 : Mischungsverhältnisse zur Herstellung des Granit-Vorsatzbetons (Versuche V 1 – V 3).....	65
Tabelle 21 : Verwendungsklassen [21] .....	70
Tabelle 22 : Einzelergebnisse mit Gesamtergebnis aus der Verschleißprüfung [24].....	72

Tabelle 23 : Anforderungen an das Gesteinsmaterial für Tragschichten [28] .....	84
Tabelle 24 : Anforderungen an das Gesteinsmaterial für Deckschichten [28] .....	85
Tabelle 25 : Prüfergebnisse [29] .....	86
Tabelle 26 : Korngrößenverteilung [29].....	86
Tabelle 27 : Transportkosten ( $K_{\text{TRANSPORT}}$ ) .....	90
Tabelle 28 : Lagerkosten.....	91
Tabelle 29 : Primärzerkleinerung .....	92
Tabelle 30 : Sekundärzerkleinerung.....	92
Tabelle 31 : Erlöse durch den Verkauf der Fraktionen 4/8 und 8/22.....	93
Tabelle 32 : Gesamtkosten für mobile Brecheranlage .....	93
Tabelle 33 : Zusammensetzung der Fraktionen.....	94
Tabelle 34 : Transportkosten.....	95
Tabelle 35 : Gesamtkosten für stationäre Brecheranlage .....	95
Tabelle 36 : Schneidekosten.....	96
Tabelle 37 : Trommelkosten.....	96
Tabelle 38 : Gesamte Aufbereitungskosten der einzelnen Erzeugnisse.....	97
Tabelle 39 : Gesamtkosten der einzelnen Erzeugnisse .....	97
Tabelle 40 : Preise für die aufbereiteten Granitrückstände (ohne Überprüfungskosten und branchenübliche Verkaufseinheiten) .....	98
Tabelle 41 : Preise für die aufbereiteten Granitrückstände .....	99
Tabelle 42 : Vergleich $P_{\text{AUFBEREITETE GRANITRÜCKSTÄNDE}}$ ZU $P_{\text{PRIMÄRMATERIAL}}$ .....	99

## 8.4 Abbildungen

Abbildung 1:	Fließbild stoffliche Verwertung von Granitrückständen Juli 2001-Juni 2002	9
Abbildung 2:	Sammelboxen.....	14
Abbildung 3:	Einzugsgebiete für das Sammelsystem .....	15
Abbildung 4:	Lagerfläche (unbefestigt).....	16
Abbildung 5:	Zur Verarbeitung aussortierte Granitplatten .....	17
Abbildung 6:	Granitsand 0/3.....	19
Abbildung 7:	Sieblinie des Granitsandes 0/3.....	21
Abbildung 8:	Vergleich Grenzsieblinien mit der Sieblinie des Granitsandes .....	22
Abbildung 9:	Funktionsschema einer mobilen Anlage [12].....	23
Abbildung 10:	Funktionsschema einer semimobilen Anlage [12].....	24
Abbildung 11:	Funktionsschema einer stationären Anlage [12] .....	25
Abbildung 12:	Trommelmühle.....	27
Abbildung 13:	Abrundung nach 12 Stunden (Nr. 3, links) und 24 Stunden (Nr. 2, rechts)	28
Abbildung 14:	Abrundungsgrad im Vergleich Nero Assoluto (links) zu Serizzo (rechts) ...	29
Abbildung 15:	Deformierte Granitplatte .....	29
Abbildung 16:	Fertige Polygonplatten (links) und Platte vor dem Trommeln (rechts) .....	30
Abbildung 17:	Trommelsteine.....	32
Abbildung 18:	Einbauzeichen ÜA [14].....	34
Abbildung 19:	Korngruppe [18].....	42
Abbildung 20:	Grenzsieblinie Größtkorn 4 mm [20].....	44
Abbildung 21:	Grenzsieblinie Größtkorn 8 mm [20].....	44
Abbildung 22:	Grenzsieblinie Größtkorn 16 mm [20].....	44
Abbildung 23:	Grenzsieblinie Größtkorn 22 mm [20].....	45



Abbildung 24:	Grenzsieblinie Größtkorn 32 mm [20].....	45
Abbildung 25:	Schematischer Aufbau des Betonsteins „BELVEDERE exclusiv“ [3].....	57
Abbildung 26:	Versuch V 1 [3].....	60
Abbildung 27:	Versuch V 2 [3].....	61
Abbildung 28:	Versuch V 3 [3].....	61
Abbildung 29:	Versuch V 4 [3].....	62
Abbildung 30:	Versuch V 5 [3].....	62
Abbildung 31:	Versuch V 6 [3].....	63
Abbildung 32:	Versuch V 7 [3].....	63
Abbildung 33:	Schematischer Aufbau des Betonsteins.....	64
Abbildung 34:	Versuch V 1 (links Gesamtansicht, rechts Detailansicht).....	67
Abbildung 35:	Versuch V 2 (links Gesamtansicht, rechts Detailansicht).....	67
Abbildung 36:	Versuch V 3 (links Gesamtansicht, rechts Detailansicht).....	68
Abbildung 37:	Vergleich Granitsand vom Steinbruch (links) mit aufbereitetem Granitsand (rechts) .....	73
Abbildung 38:	Bild oben zeigt den feingestrahlteten Betonstein (links) im Vergleich zum gestockten (rechts). Bild unten zeigt davon die Detailansicht .....	74
Abbildung 39:	Verlegung antikisierter quadratischer Platten.....	75
Abbildung 40:	Verlegung antikisierter Polygonplatten .....	76
Abbildung 41:	Anwendung für den Innenbereich.....	76
Abbildung 42:	Steingarten aus Bruchsteinen .....	79
Abbildung 43:	Straßenaufbau (Systemskizze) [27] .....	81

## Anhang

### Ermächtigte Stellen [16]

Zulassungs- bzw. Zertifizierungsstellen der Länder sind zur Ausstellung von Übereinstimmungszeugnissen für jene Bauprodukte, für die in der Baustoffliste ÖA die Übereinstimmungsnachweise "E oder Z" bzw. "Z" vorgeschrieben sind, berechtigt.

Zulassungs- bzw. Zertifizierungsstellen für die Ausstellung von Übereinstimmungszeugnissen im Sinne von ermächtigten Stellen sind:

#### **Oberösterreich:**

Amt der oberösterreichischen Landesregierung, Abteilung Bau-Services Zertifizierungsstelle

Goethestraße 86

4021 Linz

Tel.: +43 (0732) 7720 12547,

Fax: +43 (0732) 7720 12966

e-mail: [Cert.Serv.Post@ooe.gv.at](mailto:Cert.Serv.Post@ooe.gv.at)

#### **Salzburg:**

Amt der Salzburger Landesregierung, Salzburg-Zert, Europäische Zertifizierungsstelle für Bauwesen

Postfach 527

5010 Salzburg

Tel.: +43 (0662) 8042 4455

Fax: +43 (0662) 8042 4191

e-mail: [eu-zert@salzburg.gv.at](mailto:eu-zert@salzburg.gv.at)

#### **Steiermark:**

Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 17a, Allgemeine technische Angelegenheiten Zertifizierungs- und Zulassungsstelle für Bauprodukte

Dipl.-Ing. Robert Jansche

Mandellstraße 38/I

8010 Graz

Tel.: +43 (0316) 877 4933

Fax: +43 (0316) 877 4689

e-mail: [robert.jansche@stmk.gv.at](mailto:robert.jansche@stmk.gv.at)

Homepage: [BAUCERT STEIERMARK](http://BAUCERT.STEIERMARK)

**Wien:**

Amt der Wiener Landesregierung, Wien Zert Zertifizierungsstelle für Bauprodukte

Rinnböckstraße 15

1110 Wien

Tel.: +43 (01) 79514 92085

Fax: +43 (01) 79514 99 8039

e-mail: [zert.bau@wien.at](mailto:zert.bau@wien.at)

Neben den oben angeführten Zulassungs- und Zertifizierungsstellen der Länder, stehen auch die folgenden zwei vom OIB ermächtigten Stellen ("E-Stellen) für bestimmte Bauprodukte, gemäß der Baustoffliste ÖA für die Ausstellung von Übereinstimmungszeugnissen zur Verfügung:

**BAU-KONFORM Zertifizierung von Baustoffen GmbH**

Hasnerstraße 36

4020 Linz

Tel.: 0043 (0732) 65 60 62

Fax: 0043 (0732) 65 60 62-6

e-mail: [office@bau-konform.at](mailto:office@bau-konform.at)

**ERMGEST Ermächtigte Stelle für Gesteinskörnungen**

Donaustraße 88

3400 Klosterneuburg

Tel.: 0043 (02243) 22 707

Fax: 0043 (02243) 38 679

e-mail: [krzemien@direkt.at](mailto:krzemien@direkt.at)