

Diplomarbeit

Recyclingkonzept Baurestmassen

Aufbereitung von Baurestmassen zu verkaufsfähigen Produkten

erstellt am

**Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und
Entsorgungstechnik**

Vorgelegt von:
Andreas Schmid
m0335218

Betreuer:
Mag. Dr. Wolfgang Staber, MBA (GM)

Leoben, 30.06.2008

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe.

DANKSAGUNG

Ich danke besonders der Familie Meier, Wido, Doris bzw. Wido junior und den Mitarbeitern Andreas Höllwarth, Jesus Manuel Ramos, Werner Büchel und Sandro Büchel für die freundliche Unterstützung während meiner Zeit in Liechtenstein. Ich wurde bei jeglichen Problemen tatkräftig unterstützt und habe für die Diplomarbeit sehr viele Dinge erfahren, welche man selbst nie sehen bzw. finden würde. Ich wünsche allen eine schöne Zeit und vor allem Gesundheit im Leben und bei der Arbeit. Weiters hoffe ich, dass die Dinge welche wir gemacht haben für die Weiterführung des Kieswerkes positiv dienen, um zum Einen mit neuen Produkten wieder einen Vorsprung gegenüber der Konkurrenz zu haben und zum Anderen am Markt konkurrenzfähig zu bleiben.

„Menschen mit neuen Ideen gelten solange als Spinner, bis sich die Sache durchgesetzt hat.“ (Mark Twain)

Zudem möchte ich mich bei allen meinen Freunden in Leoben bedanken und vor allem bei meiner eigenen Familie, denn es war nicht selbstverständlich ein derartiges Studium für mich zu finanzieren. Außerdem bedanke ich mich bei Herrn Dr. Wolfgang Staber für die Betreuung während der Durchführung dieser Arbeit und die gewissenhafte Durchsicht meiner Diplomarbeit.

„Museen bewahren die Vergangenheit.“

Recycling bewahrt die Zukunft.“ (Theodor W. Adorno)

Alles Gute und Glück Auf!

Andreas Schmid



Kurzfassung

Mineralische Bauabfälle

Die folgende Diplomarbeit beschäftigt sich mit einem Kieswerk in Liechtenstein. Es werden dort unter anderem durch Waschvorgänge verkaufsfähige Produkte hergestellt. Mit dem Wandel der Zeit wurden auch vermehrt Baurestmassen angenommen, doch wurde nie überlegt, inwiefern diese Sekundärrohstoffe weiterverwendet werden können. Im Sommer 2007 hat der Betrieb begonnen, sich mit den mineralischen Bauabfällen zu beschäftigen und einige Versuche im Betrieb durchgeführt. Es wurde Mischabbruchgranulat hergestellt und weiters aus diesem Material in der Nassaufbereitungsanlage Recyclingkiessand produziert. Dieser Kiessand wurde für die Betonherstellung genutzt und eine Versuchsplatte im Betrieb betoniert. Es fanden auch Gespräche über eine weitere Nutzung des Mischabbruches mit einem Betonhersteller statt, doch sind noch weitere Versuche notwendig. Außerdem wurde die Kläranlage für das Schmutzwasser aus dem Prozess erweitert. Es wurde dazu ein Tank installiert, der es einerseits ermöglicht, mehr Prozesswasser zu speichern und andererseits die Saughöhe des Pumpensaugrohres zu verändern, um Energiekosten zu sparen. Der gesamte Umbau wurde bis September 2007 fertiggestellt. Pflästereiabfälle, welche zurzeit zum Betonrecycling gemischt werden, wurden ebenfalls aufbereitet. Ein großes Problem ist zurzeit der Schlammteich, welcher aufgrund des hohen Feinanteiles (Ton, Humus, ...) im Lockergestein sehr schnell gefüllt ist und dadurch auch das Aufbereiten von Aushubmaterial erschwert, da die nötigen Platzressourcen nicht vorhanden sind. Die Recyclingbranche hat zurzeit einen enormen Aufschwung erhalten und man ist gefordert durch innovative Aufbereitungskonzepte hoch qualitative Sekundärrohstoffe herzustellen. Dieser Aufgabe im Bereich Bauabfälle versucht die vorliegende Arbeit Rechnung zu tragen.

Abstract

Mineral Waste

The following diploma thesis is about a mineral processing plant in Liechtenstein. There are produced gravel and sand by washing processes. During the time they have with construction and demolition waste but they have never thought about past use.

wird nachgereicht

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 AUSGANGSLAGE.....	7
2 KIESWERK MEIER.....	8
2.1 Erzeugte Baurohstofffraktionen.....	8
2.2 Wareneingang.....	12
2.3 Abbaumethode Bergbau – Werkstoff Erde	15
2.3.1 Geologische Verhältnisse.....	15
2.3.2 Tagebautechnik.....	15
2.3.3 Lösen, Laden und Fördern	15
2.3.4 Abbautechnik.....	16
2.3.5 Standsicherheit von Lockergesteinsböschungen	17
2.3.6 Renaturierung/Rekultivierung/Nachnutzungsphase	17
2.3.7 Schlammteichwirtschaft.....	17
2.3.8 Sicherheit im Lockergesteinstagebau.....	17
2.4 Eigenschaften und Anforderungen an Kies und Sand	17
2.4.1 Geometrische Eigenschaften	18
2.4.2 Physikalische Eigenschaften	21
2.4.3 Chemische Eigenschaften.....	22
2.5 ARV Gütesicherung für Recyclingbaustoffe	23
2.6 Beschreibung der Aufbereitungsanlage	25
3 RECYCLINGKONZEPT BAURESTMASSEN	29
3.1 Adaptierung der Kläranlage	29
3.1.1 Prozesswasser	29
3.1.2 Wasserspeicher zusätzlich 50 m ³	30
3.1.3 Hauptkläranlage	32
3.1.4 Zusatztank	33
3.1.5 Betonfundament	35
3.1.6 Kieswaschschlamm	36
3.1.7 Kammerfilterpresse	39
3.2 Mineralische Bauabfälle – vom Bauabfall zum Recyclingbaustoff	42
3.2.1 Mischabbruch, Mischabbruchgranulat, Stein für Stein Qualität.....	42
3.2.2 Recyclingbeton – Tiefbaubeton für minderwertige Anforderungen	55
3.2.3 Schadstoffbelastung von Bauabfällen	82
3.2.4 Einsatz von Betonwaren mit Recyclingzuschlägen	84

3.2.5	Betonabbruch (17 01 01) wird zu Betongranulat	86
3.2.6	Pflästereiabfälle (01 04 13), Marmorplatten	90
3.3	Aufbereitung von Betonzuschlagstoffen.....	92
3.3.1	Erstklassebetonzuschlag.....	92
3.3.2	Bauschutttaufbereitung (Nassaufbereitung von Recyclingbaustoffen).....	95
3.4	Ökobilanzieller Vergleich der rezyklierten Gesteinskörnungen für den Hochbau	98
3.4.1	Systemgrenzen der Ökobilanz	98
3.4.2	Ökobilanzieller Vergleich.....	99
3.4.3	Sachbilanz	100
3.4.4	Transportszenarien für Gesteinskörnungen	101
3.4.5	Ökobilanzielle Ergebnisse	102
3.5	Projekt Nachbrecher neu	102
3.6	Rückbau bzw. mechanisierter Abbruch.....	104
3.6.1	Manueller Abbruch mit Hydraulikbaggern	104
3.6.2	Mehrmuldenkonzept.....	105
3.6.3	Sprengtechnischer Abbruch	106
3.7	Analysenergebnisse Laborversuche	106
3.7.1	Schlammanalyse	106
3.7.2	Gesteinsanalysen.....	108
4	ERGEBNISSE / DISKUSSION	111
5	ZUSAMMENFASSUNG	114
6	VERZEICHNISSE	116
6.1	Literatur.....	116
6.2	Abkürzungsverzeichnis.....	117
6.3	Tabellen.....	118
6.4	Abbildungen.....	119

1 Ausgangslage

Der Grund-Stein des Familienbetriebes Wido Meier in Liechtenstein wurde 1962 von Wido Meier sen. gelegt. Seinem Ziel getreu verrichtete er Aushub-, Planie- und Sprengarbeiten. Ein Pionier auf seinem Gebiet mit dem ersten Radlader im Land Liechtenstein.

1978 erfolgte die Umwandlung des Betriebes in eine Aktiengesellschaft. 1979 wurde die erste Aufbereitungsanlage Liechtensteins für stark erdhaltiges Rohmaterial in Betrieb genommen. 1994 fand die Übernahme der Geschäftsführung durch Wido Meier jun. statt. Im Jahr 2004 wurde die Wido Meier AG in eine Wido Meier Anstalt umgewandelt.

Mittlerweile hat sich das Unternehmen auf die Kernkompetenzen

- Produktion, Handel und Lieferung von Kies-, Sand-, Splitt- und Schotterprodukten,
- Baustoffrecycling und
- Vermietung der mobilen Brech- und Siebanlagen spezialisiert.

Das Unternehmen ist SQS (Schweizer Qualitätsmanagementsystem) zertifiziert, um die hohen Qualitätsanforderungen an Baurohstoffe besser erfüllen zu können. Die hochqualitativen Rohstoffe finden am meisten Verwendung in der Betonproduktion bzw. als Strassenbaumaterial.

Um in Zukunft konkurrenzfähig zu bleiben werden neue Einsatzgebiete für die aufbereiteten Baurestmassen gesucht. Weiters werden die Kernkompetenzen des Betriebes neu ausgerichtet, um sich auf die „sinnvollen“ Geschäftsbereiche zu konzentrieren.

Die Zielsetzung dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Unternehmenskonzeptes für die Aufbereitung von Baurestmassen für die Firma Meier. Darauf sind nachfolgende Punkte sicherlich zu bedenken:

- Sammlung von Baurestmassen am Standort Schaan mit den Kapazitäten für die Lagerung bzw. Aufbereitung
- Verwertungswege und Einsatzmöglichkeiten für Baurestmassen
- Technische Notwendigkeiten bzw. Adaptierungen auf der Anlage für das Baurestmassenrecycling
- Kostenbetrachtung für das Recycling

2 Kieswerk Meier

Einleitend wird in der folgenden Abbildung 1 das Kieswerk Meier im Jahr 2007 gezeigt, um sich vorzustellen, in welcher Region diese Arbeit stattgefunden hat bzw. welche Platzbedürfnisse ein Kieswerk mit den gesamten Lagerflächen einnimmt.

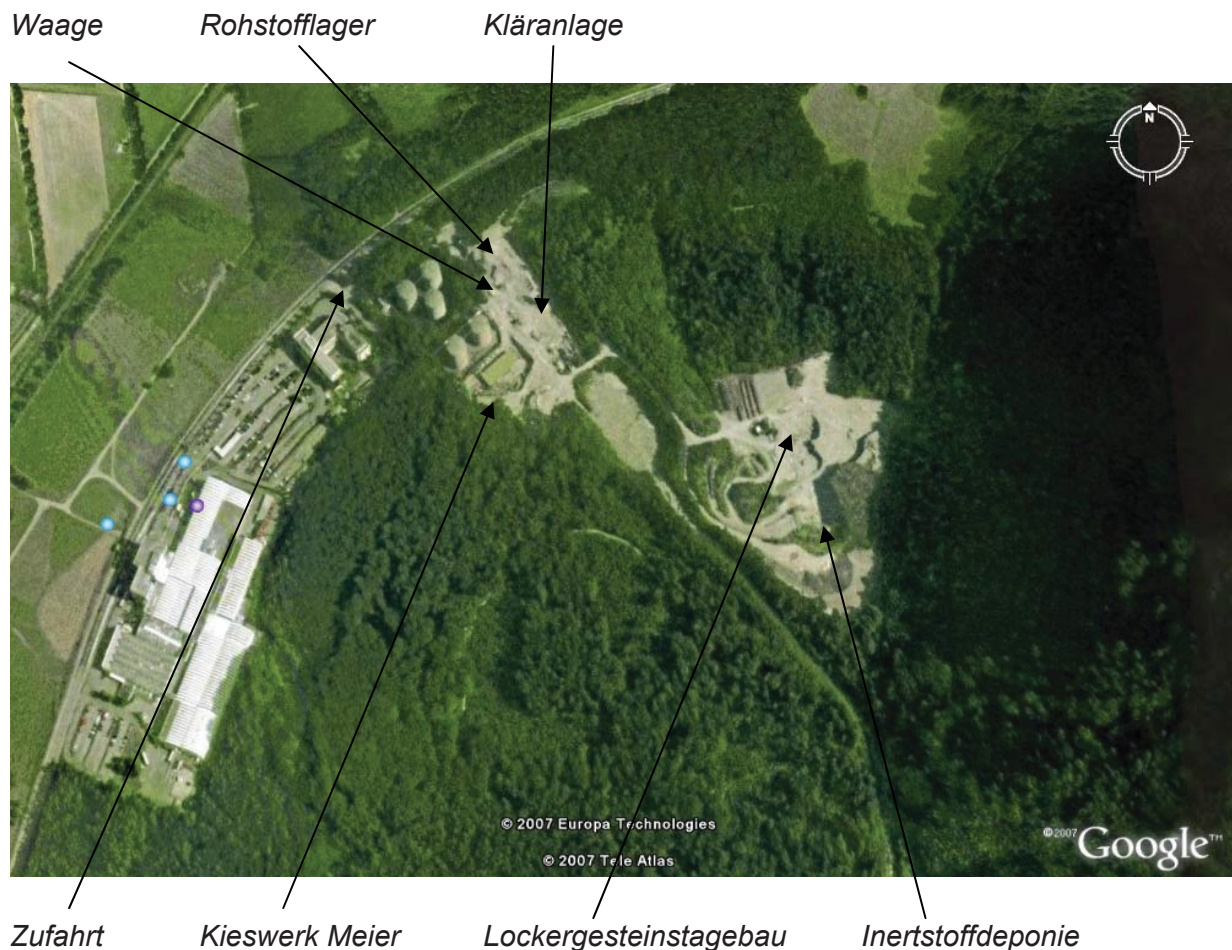


Abbildung 1: Kieswerk Meier am Standort Schaan [1]

Die folgenden Kapitel geben eine Übersicht über das Kieswerk und auch über die momentan erzeugten Fraktionen.

2.1 Erzeugte Baurohstofffraktionen

Die folgenden Aufzählungen unterteilen die verschiedenen Körnungen und Komponenten in Gruppen, wie Koffer- und Fundationsmaterial, Sande, Komponenten und Gemische, Auffüll- und Schleißmaterial, Sondermaterialien und Recyclingmaterial. Nachfolgende Abbildung 2 zeigt beispielhaft einige dieser Fraktionen.



Abbildung 2: Erzeugte Fraktionen

- **Koffer- und Fundationsmaterial**

Kiessand I 0/63

Kiessand I ist ein natürliches, frostsicheres, körniges Materialgemisch, gleichwertig wie Brechsotter und für Schichtstärken bis 60 cm geeignet.

Verwendung: Fundations-, Schleiß-, Tragschicht, Straßen und Bahnbau

Kiessand II B 0/80

Kiessand II B entspricht den bautechnischen ARV-Anforderungen (Aushub-, Rückbau und Recyclingverband Schweiz) bezüglich stofflicher Zusammensetzung als Sekundärbaustoff und ist für Schichtstärken bis 100 cm Einbau geeignet. Foundationsschichten haben eine lastenverteilende Funktion.

Verwendung: Fundations-, Schleiß-, Tragschicht, Straßen und Bahnbau

Straßenkies 0/18

Straßenkies 0/18 entspricht dem Planiekies. Es ist ein natürliches, frostsicheres, körniges Gesteinsmaterial. Dieses Produkt eignet sich für Schichtstärken bis max. 5 cm Einbau.

Verwendung: Planiearbeiten, Feinplanie, Unterbau für Pflästerungen, Wasser- und Wegebau

Straßenkies 0/30

Straßenkies 0/30 weist dieselben Eigenschaften wie Straßenkies 0/18 auf, eignet sich jedoch für Schichtstärken bis zu 10 cm Einbau.

Verwendung: entspricht Straßenkies 0/18, Unterschichten

- **Sande**

Natursand 0/4

Natursand ist ein Gemisch von meist mikritischen bis sparitischen Kalken. Die Komponenten sind frisch, unverwittert, meist gerundet bis kubisch.

Verwendung: Unterlagsböden (Estrich), Betonzuschlagstoffe, Gasleitungen, Pflästerei, Einsandungen, Hoch- und Tiefbau

Pflästersand 1/4

Pflästersand wird als „scharfer“ Sand bezeichnet.

Verwendung: Natursteinpflästerungen, Verbundsteinpflästerungen, Sport- und Reitplatzbau

Schlämmsand 0/1

Schlämmsand ist ein sauberer mikritisch, feinsparitischer Kalk mit Mergelkalk, Calcit- und Quarzanteilen.

Verwendung: Einschlämmungen von Verbundsteinen, Pflästerungen, Fugensand

Kabelsand < 4

Kabelsand ist ein wertvoller Reststoff aus der Kiesproduktion.

Verwendung: Kabelverlegungen, Tankeinsandungen, Einsanden von Wasserleitungen

- **Komponenten und Gemische**

Splitt 4/16 bzw. 6/16

Splitte sind kubisch gebrochene und gewaschene Komponenten. Ihr Einsatzgebiet ist sehr vielfältig.

Verwendung: Gehwege, Kunststeinpflästerungen, Gartenbau, Steingärten, Kiesanlagen, Wintersplitt

Sickergeröll 16/32 bzw. 32/63

Sickergeröll ist ohne Feinanteil, die kubischen Komponenten sind gebrochen und gerundet.

Verwendung: Drainagen, Melerationen, Sickergruben, Rundabschlüsse, Steingärten

Leitungskies 0/16

Es handelt sich hier um eine homogene Mischung mit genügend abgestuften Mengenanteilen, wodurch eine geringe Druckspannung auf das Rohr einwirkt und eine gute Lastverteilung gewährt wird.

Verwendung: Bettungsmaterial von Trinkwasserleitungen, Druckrohr- und Leitungsumhüllungen, Betonzuschlagstoff

- **Auffüll- und Schleissmaterial**

Schaanerkies 0/30 bzw. Röfikies 0/30

Schaanerkies ist ein Produkt aus dem Fürstentum Liechtenstein – eigens in Schaan entwickelt und produziert. Die Beschaffenheit dieses Produktes ermöglicht einen vielfältigen, effizienten Anwendungsbereich. Als Sekundärrohstoff nimmt Schaanerkies im Tief- und Wegebau mittlerweile eine bedeutende Position ein.

Verwendung: Planiearbeiten, Natur- und Feldstrassen, Wasser- und Wegebau

Bollensteine

Vorgrundsteine $< 1 \text{ m}^3$ und $> 1 \text{ m}^3$ sind formwild und verleihen dank ihrer faszinierenden Eigendynamik vielen Bereichen einen natürlichen aussagekräftigen Charakter.

Verwendung: Natursteinmauern, Gartenbau, Ziersteine, Steinkörbe, Bachsanierungen

- **Sondermaterialien**

Rheintal-Düngkalk

Der Schlamm aus der Abwasserreinigung wird als Düngkalk verwendet, da im Abbau Kalkgestein abgebaut wird und sich im Feinstsand dieses Material sammelt. Der Kalk (CaCO_3) wird zur Düngung für Felder und Wiesen verkauft.

- **Recyclingmaterialien**

Die Recyclingmaterialien werden im Laufe der Arbeit genauer beschrieben, da dies der Hauptbestandteil der Diplomarbeit war. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Stoffströme im Bausektor, um zu verstehen wie wichtig eine Kreislaufwirtschaft im Bereich der Mineralischen Rohstoffe ist. Es können die verschiedenen Zuschlagstoffe für den

Schwerpunkt Beton betrachtet werden. Dies ist deshalb gewählt, da sich ein Großteil dieser Arbeit mit Beton und Betonrecycling beschäftigt.

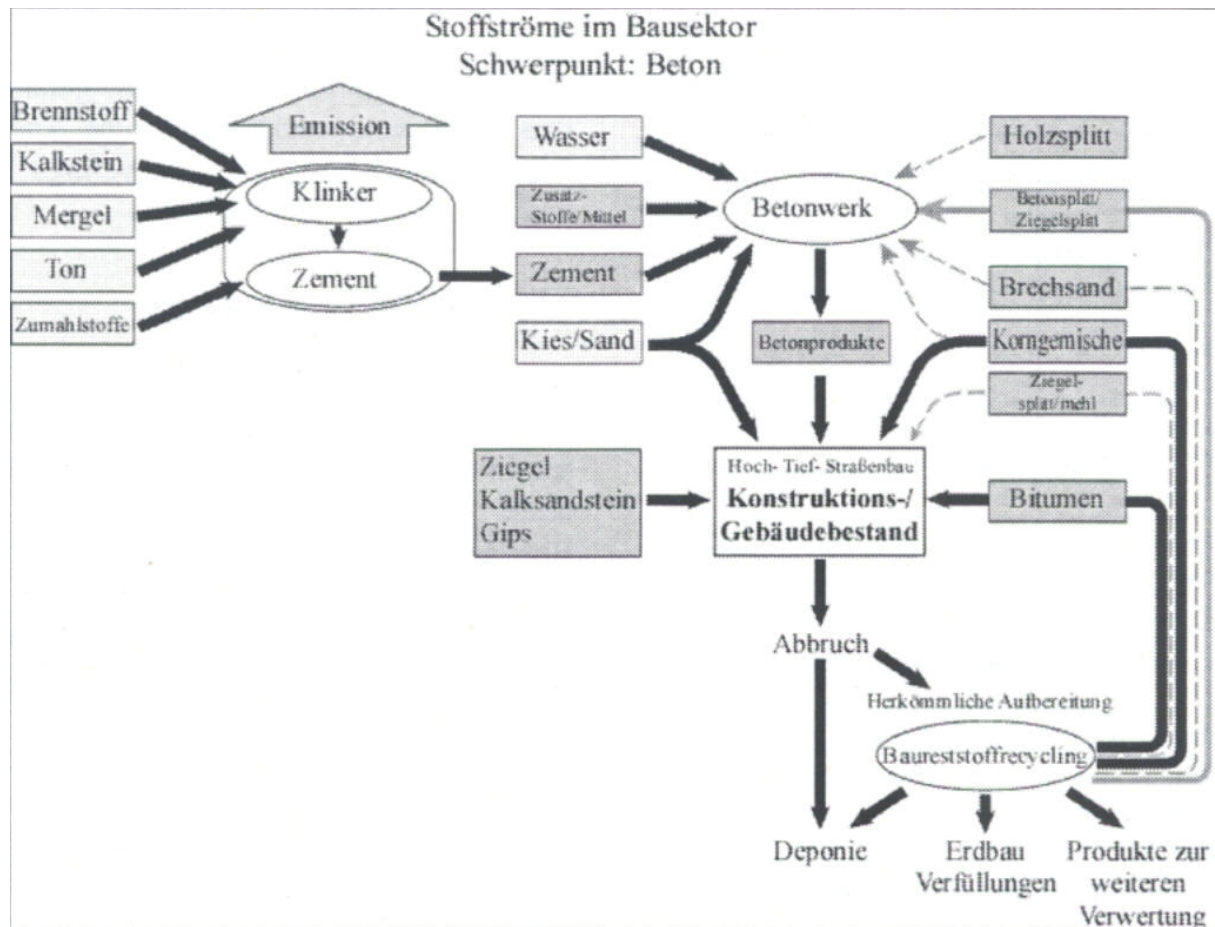


Abbildung 3: Stoffströme im Bausektor [2]

Die Arbeit beschäftigt sich im Kapitel 3 größtenteils mit den nachfolgenden Granulaten bzw. Körnungen:

- Betongranulat 0/80
- Mischabbruchgranulat 0/63
- RC-Splitt 3/6
- RC-Sand 0/4
- Recyclingbeton

2.2 Wareneingang

Eine große Herausforderung für die Diplomarbeit war wie oben schon erwähnt, aus Mischfraktionen sortenreine bzw. verkaufsfähige und qualitätsgesicherte Recyclingmaterialien zu produzieren. Der Wareneingang ist momentan noch etwas

unkoordiniert, da aus Platzgründen viele Materialien nicht sehr gut getrennt voneinander gelagert werden, was für die Weiterverarbeitung ein Problem darstellt.

- **Reglement zu Annahmebedingungen**

Im Jahr 2002 wurde ein internes Reglement zu Annahmebedingungen verfasst, welches der Vollständigkeit halber nachfolgend dargestellt ist.

Ziel und Zweck: Das Reglement soll dem Kunden dienen, seine Bauabfälle der richtigen Entsorgung zuzuführen und unsere Mitarbeiter soll es vor unsachgemäßer Handhabung bewahren.

- Grundsätzlich muss jede Anlieferung im Voraus angemeldet werden. Die Angaben über Herkunft, Eigentümer (Baustelle) und Art des Materials sind unerlässlich.
- Jeder Anlieferer wird bei der Ankunft registriert.
- Bei Ungewissheit über die Zuordnung des Materials muss die Ladung zur Kategorisierung im Beisein eines Mitarbeiters der WM Anstalt untersucht werden.
- Kontaminierte Materialien, jeglicher Art und Weise, sind strikte verboten und werden nicht angenommen. Sie sind der Weiterverarbeitung zuzuführen.
- Abfälle wie Plastik, Holz, Papier, Glas, Kunststoffe, etc. dürfen nicht abgeladen werden.
- Bei Verstößen wird das falsch abgeladene Material gesetzeskonform und gegen Verrechnung entsorgt. Wir behalten uns weitere rechtliche Schritte vor.

Grundsätzlich ist hierzu nichts einzuwenden, doch fehlen einige Erweiterungen und genaue Bestimmungen, um das angelieferte Material zu bestimmen. Zudem müssen auch in Zukunft Laboranalysen durchgeführt werden, was gerade beim Mischabbruch von Vorteil wäre. Die Untersuchungen werden im Kapitel Probenahme bzw. Analysen weiterverfolgt.

- **Betonwaren**

Die Betonwaren werden in unterschiedliche Größen bzw. Kantenlängen eingeteilt und bei Spezialgrößen, wie z.B. Probepplatten der Firma Hilti AG zur Ankererprobung, gibt es die Einteilung in Betonelemente/Pfeiler/Wände. Außerdem wird in armierten und unarmierten Beton unterschieden. Die Anlieferung der Fraktionen erfolgt in Zusammenarbeit mit einem Entsorgungsunternehmen, welches im Land Liechtenstein und in der Schweiz tätig ist. Nachfolgende Aufzählung zeigt die Einteilung in die Fraktionen:

- Unarmierter Beton < 500 mm
- Unarmierter Beton 500–1000 mm

- Armierter Beton < 500 mm
- Armierter Beton 500–1000 mm
- Betonelemente/Pfeiler/Wände
- Steinmetzmaterial

Von Pflästereibetrieben im Land Liechtenstein kommt Material von Granit- und Marmorplatten. Dieses Material ist momentan noch problematisch, doch wird im Laufe der Arbeit näher auf diesen Abfall eingegangen.

- **Mischabbruch**

Der Mischabbruch wird in vier Kategorien eingeteilt, welche von sortenreinem Material (Kategorie I) bis zum stark verschmutzten Mischabbruch (Kategorie IV) reichen. Die Kategorien des Mischabbruches sind nachfolgend angeführt:

- Mischabbruch Kategorie I
- Mischabbruch Kategorie II
- Mischabbruch Kategorie III
- Mischabbruch Kategorie IV

- **Aushubmaterial**

- Aushubmaterial Kategorie I

Darunter versteht man Aushubmaterial, welches einen geringen Anteil an abschlämmbarem und einen hohen Anteil an gesteinsartigem Material aufweist. Die maximale Kantenlänge der Körnungen von 300 mm wird nicht überschritten.

- Aushubmaterial Kategorie II

Im Wesentlichen identisch wie die Kategorie I, weist jedoch einen höheren Anteil an Verschmutzung und Verunreinigung auf, die Kantenlänge misst bis 600 mm.

- Aushubmaterial Kategorie III

Hier handelt es sich um Material, welches stark verschmutzt (bis 30 % abschlämmbare Teile) und verunreinigt ist (geringe Mengen an Wurzeln bzw. Wasen) sowie deren Kantenlänge größer 600 mm beträgt.

2.3 Abbaumethode Bergbau – Werkstoff Erde

In diesem Kapitel wird kurz auf den Bergbau eingegangen. Nachfolgende Abbildung 4 zeigt den Lockergesteinstagebau mit Lade- und Fördergeräten.



Abbildung 4: Lockergesteinstagebau

2.3.1 Geologische Verhältnisse

In der Ställawies, welche im Fussbereich des großen Schuttfächers der Forstrüfe liegt, finden sich Sedimentgesteine der nordpenninischen Flyschdecken und der oberostalpinen Lechtaldecke (hauptsächlich Hauptdolomit, Kalke und Flyschgesteine). Teilweise ist der Rüfeschutt mit Ablagerungen des Rheins verzahnt (Kiessande, oberflächennah feinkörnige Sedimente, Torfablagerungen).

2.3.2 Tagebautechnik

Im Tagebau werden jährlich 115.000 t Lockergestein gewonnen und über die Nassaufbereitung zu den am Anfang genannten Materialfraktionen weiterverarbeitet. Für den gesamten Abbauprozess ist ein Mann verantwortlich, der die Maschinen bedient und sowohl die obere Hälfte der Kieswaschanlage bis zum Steigband überwacht.

2.3.3 Lösen, Laden und Fördern

Der Abbau wird mit einem Kettenbagger mit 30 t Einsatzgewicht und einem Schaufelinhalt von 1,5 m³ geführt. Es sind vereinzelt Bermen eingezogen, welche eine Höhe von circa zehn Meter aufweisen. Der Abbau gestaltet sich schwierig, da immer wieder Schiefer- und Tonschichten zwischen den anderen Schichten eingelagert sind. Außerdem kommen Knäpper (Findlinge, Freisteine), die nur sprengtechnisch entfernt werden können in den

Schichten vor. Diese großen Steine, in Liechtenstein auch als Bollen bezeichnet, wurden durch die Ruele, das ist die Bezeichnung eines Schüttkegels eines Flusses, herantransportiert.

2.3.4 Außerordentliche Abbautechnik (Sprengtechnik)

Wie schon erwähnt, kommt es immer wieder vor, dass Freisteine zutage treten. Diese müssen anderweitig als es die gängige Abbautechnik zulässt, entfernt werden (sprengtechnisch). Da schon seit zehn Jahren keine Sprengung mehr gemacht worden ist, wurde im Zuge dieser Arbeit versucht, die Knäpper nicht mit dem Hydraulikhammer zu zerteilen, sondern sprengtechnisch zu entfernen. Es wurden Sprengbohrlöcher abgeteuft und mit Schwarzpulver geladen (etwa 40-60 g/m³ gelatinösen Sprengstoff und etwa 100 bis 150 g/m³ Schwarzpulver). Die Zündung erfolgte mit Momentzündern. Der Sprengerfolg ist auf der nachfolgenden Abbildung zu sehen. Aufgrund der schiebenden Wirkung des Schwarzpulvers erhielt man sehr schöne Mauersteine. Weitere Bilder sind im Anhang Teil IV der Arbeit ersichtlich.



Abbildung 5: Sprengerfolg der Freisteinsprengungen

Die Ladetätigkeit im Lockergesteinstagebau erfolgt mit dem Kettenbagger direkt auf einen Dreiachs-Dumper mit einer Nutzlast von 30 t. Der Transport geht über die Zufahrtsstraße zum Aufgabebunker der Kieswaschanlage. Dort angekommen wird die Ladung in den Bunker gestürzt. Es werden drei bis vier Fuhren pro Stunde gemacht. Zehn Ladespiele werden benötigt, um den Dumper zu beladen und die Ladespielzeit beträgt in etwa sechs Minuten. Dazu kommt noch die Zeit, welche der Mann benötigt, um die Maschinen zu wechseln.

2.3.5 Standsicherheit von Lockergesteinsböschungen

Der Böschungswinkel der Lockergesteinsböschung ist mit einer Neigung von 60 Grad von dem von der Gemeinde beauftragten Planungsbüro vorgeschrieben worden. Das Problem der Standsicherheit ist zum Einen der Strömungsdruck des Wassers, sowie zum Anderen die Erosion, was die Standsicherheit sehr beeinflussen kann. Die Erosion durch abfließendes Niederschlagswasser hängt von der Wassermenge und vom Widerstand des Bodens gegen Erosion und von der Fließgeschwindigkeit ab. Die Fließgeschwindigkeit wiederum ist von der Böschungsneigung abhängig und der Widerstand des Bodens von der Materialzusammensetzung (grob- oder feinkörnig). Die Böschungen wurden früher als Erfahrungswerte festgelegt, doch werden aufgrund von Böschungsversagen bei mehreren Bergbaubetrieben zunehmend Berechnungen und ständige Vermessungen vorgeschrieben. Im Kieswerk Meier wird die Böschung alle zwei Jahre von der Gemeinde Schaan im Zuge des Deponiekonzeptes mitvermessen.

2.3.6 Renaturierung/Rekultivierung/Nachnutzungsphase

Die Rekultivierung des Abbaugbietes erfolgt durch die Gemeinde Schaan, welche auf dem Gelände eine Inertstoffdeponie betreibt und deshalb die ausgehobenen Löcher wieder verfüllt. Teilweise werden die aufbereitbaren Inertstoffe beim Betrieb verarbeitet, doch passiert es ebenso, dass in die Deponie auch wertvolle Recyclingbaustoffe eingebaut werden. Hier gibt es noch einige Aufklärungsarbeit zu leisten, da dieses System (Gemeinschaft von Unternehmer und Kommune) sonst vom Ansatz her optimal wäre.

2.3.7 Schlammteichwirtschaft

Der Schlammteich ist ein großes Problem für die Firma Meier, da er immer wieder aufgrund der geänderten Abbauführung bzw. Vorgabe durch die Gemeinde immer versetzt werden muss und so hohe Aufwendungen mit sich zieht (Pumpe, Damm, Sicherheitsvorkehrungen,...). So wird in dieser Arbeit auch der Einsatz einer Kammerfilterpresse diskutiert und eventuelle Verwendungsmöglichkeiten für den Schlamm, damit auch dieser nicht mehr deponiert werden müsste.

2.3.8 Sicherheit im Lockergesteinstagebau

Es ist anzuraten, die Bermenränder mit Rundbollen abzusichern, damit die arbeitenden Maschinen nicht über den Bermenrand hinausfahren und abstürzen. Dies ist in einer Empfehlung des Fachverbandes Sand, Kies und Beton (FSKB), welche im Betrieb aufliegt, genauer beschrieben.

2.4 Eigenschaften und Anforderungen an Kies und Sand

Um die geforderten Produktqualitäten zu erreichen, müssen sämtliche Rohstoffe hohe Anforderungen erfüllen. Die Anforderungen an Kiese und Sande werden in normativen Grundlagen auf europäischer und nationaler Ebene vorgegeben. Es ist sicherlich nicht einfach, eine allgemeine Einstufung zu treffen, da die Lagerstätten sehr unterschiedlich sind.

Im Folgenden Kapitel werden einige grundlegende Anforderungen an Sande und Kiese diskutiert. Das folgende Analysenflussdiagramm zeigt die Einstufung einer Lagerstätte auf verschiedene Parameter:

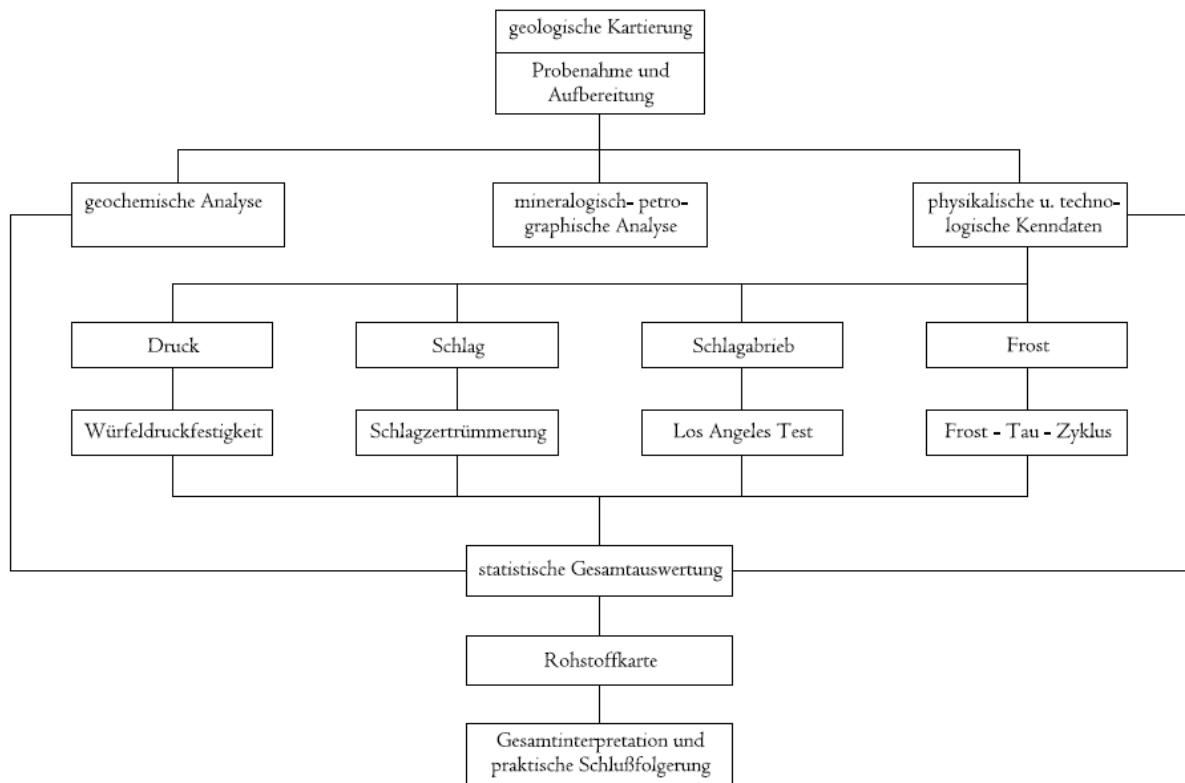


Abbildung 6: Analysenflussdiagramm [3]

2.4.1 Geometrische Eigenschaften

Die geometrischen Eigenschaften werden mit dem Begriff Kornform und Korngröße für ein Einzelkorn und Korngrößenverteilung und Packungsdichte für das Gemenge ausgedrückt. Diese Eigenschaften sind speziell bei Aufbereitungsvorgängen sehr stark beeinflussbar. So gibt es auch viele unterschiedliche Parameter zur Einstufung eines Einzelkorns. In der folgenden Abbildung sind verschiedene Parameter aufgezeigt [4, S. 159].

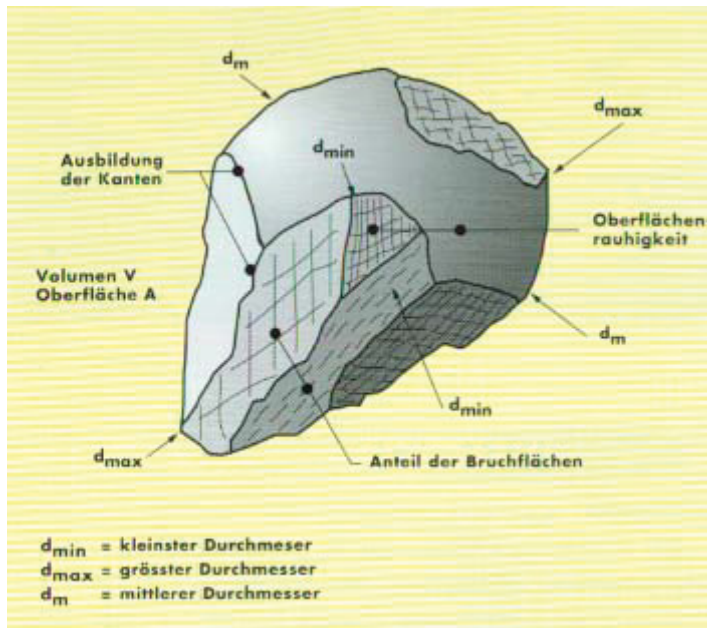


Abbildung 7: Parameter eines Einzelkornes [4, S. 158]

Diese Parameter werden allgemein mit Siebkurven bzw. Korngrößenverteilungen zusammengefasst, da es sehr schwierig ist, alle Parameter gesondert zu erfassen. Ein Korn mit der Größe d_1/d_2 [mm], gehört zu dieser Fraktion, wenn es durch das Sieb mit der Öffnungsweite d_2 durchfällt und auf dem Sieb mit der Öffnungsweite d_1 liegenbleibt. So ist der mittlere Durchmesser des Kornes zwischen d_1 und d_2 , also d_m [4, S. 159].

$$\text{Korngröße } d_1/d_2 \rightarrow d_1 \leq d_m \leq d_2 \text{ [mm]} \quad (1)$$

Für eine Korngrößenbestimmung wird hier normalerweise die ISO-Siebreihe R 20 mit dem Faktor $k = d_i + 1/d_i = 10^{1/20}$ verwendet, bei der jedes dritte oder sechste Sieb dieser Reihe genügt. Siebe feiner als 0,063 mm werden meist nicht mehr verwendet, da hier eine zuverlässige und vollständige Siebung nur mit großem Aufwand möglich ist. Hierzu wird die Sedimentation eingesetzt oder sogar eine Laserdiffraktometrie. Aus diesen Siebreihen kann dann eine Korngrößenverteilung als volumenmäßiger Anteil der einzelnen Körner am Gemenge verstanden werden [4].

Die Kornform werden die Durchmesserhältnisse und der Anteil der Bruchflächen an der Gesamtoberfläche ermittelt. Bei der Ermittlung der Durchmesserhältnisse teilt man die Körner aufgrund des Verhältnisses von d_{max}/d_{min} in kubische und nichtkubische und aufgrund des Verhältnisses d_{min}/d_m in plattige und nichtplattige Körner ein. Diese beiden Unterteilungen sind unabhängig voneinander und könne aber trotzdem gebraucht werden, weil die Verhältnisse d_{min}/d_m und d_m/d_{max} bei Zuschlagkörnern nicht stark voneinander abweichen und somit gilt [4, S. 160]:

$$d_{min}/d_{max} \approx (d_{min}/d_m)^2 \quad (2)$$

Als Beurteilungskriterium dient nicht der Mittelwert und die Streuung, sondern der massenmäßige Anteil der plattigen bzw. nicht kubischen Körner an der Gesamtfraktion. Nichtkubische Körner werden durch direktes Messen der Durchmesser von Einzelkörnern bestimmt. Die Grenze zwischen kubischen und nicht kubischen Körnern wird in der Schweiz mit $d_{\max}/d_{\min} = 2,5$ angegeben. Die Einstufung von plattigen Körnern wird durch Klassierung mit Sieben mit quadratischen Lochweiten (d_q) nach ihrem mittleren und durch Parallelstabsiebe (d_p) nach ihrem kleinsten Durchmesser durchgeführt [4, S. 160].

$$d_p/d_q = d_{\min}/d_m \quad (3)$$

Der Massenanteil des Durchgangs durch ein Parallelstabsieb mit Öffnung d_p an einer engeren Fraktion d_{q1}/d_{q2} ist der Anteil an plattigen Körnern. Die Grenze zwischen plattigen und nicht plattigen Körnern ist bei $d_{\min}/d_m = 0,5$ bis $0,625$. Dies kann in der nachfolgenden Abbildung betrachtet werden [4, S. 161].

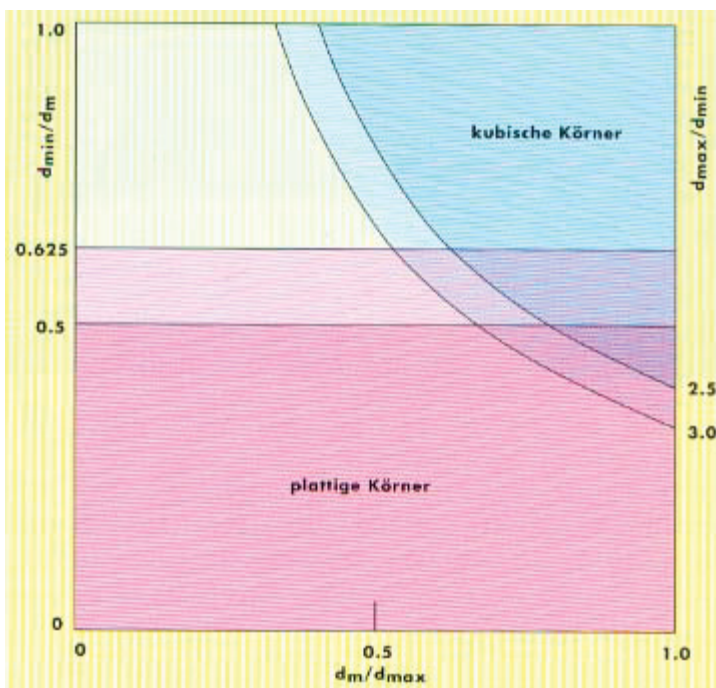


Abbildung 8: Kornform, Durchmesserbeziehungen, Definitionsbereiche [4, S. 158]

Wenn man die Bruchflächen betrachtet, so kann man die Körner in die Klassen Brechkorn, Rundkorn oder teilweise/gerundetes Korn einstufen. Die Einteilung des Flächenanteils erfolgt meist mit dem Auge in vollständig gebrochene ($\leq 20\%$ Abrollflächen) Brechkörner und in nahezu vollständig gerundete ($\geq 80\%$ Abrollflächen) Rundkörner möglich. Die Packungsdichte von Körnern wird nur kurz angesprochen, da diese im Kapitel Betonzuschlag weiter behandelt wird. Hierbei kann der Volumenanteil α des Zuschlags im Haufwerk oder die Porosität n verwendet werden. Durch die Rohdichte des Haufwerkes ρ_R und der (Roh)dichte der Einzelkörner ρ kann die Packungsdichte bestimmt werden [4, S.161].

$$\alpha = \rho_R / \rho = 1 - n \quad (4)$$

$$n = (\rho - \rho_R) / \rho \quad (5)$$

Die Packungsdichte kann über die Korngrößenverteilung beeinflusst werden, doch gibt es keine allgemeingültige ideale Siebkurve (z.B. Fuller Kurve), sondern sieht dies für jeden Zuschlagstoff anders aus [4, S. 161].

2.4.2 Physikalische Eigenschaften

Die wesentlichsten physikalischen Eigenschaften sind die (Roh)dichte von Einzelkörnern, die Rohdichte des Gemenges, die mechanische Widerstandsfähigkeit und die Frostbeständigkeit. Die mechanische Widerstandsfähigkeit wird mit dem Los-Angeles-Versuch und mit der Zertrümmerungsprüfung ermittelt. Beim Los-Angeles-Test werden 5 Kilogramm einer Körnung 3/6 bis 22/32 mm mit 6 bis 12 Stahlkugeln in eine Mahltrommel gegeben und 500 bis 700 Umdrehungen durchgeführt. Der massenmäßige Anteil der Bruchstücke feiner als durchschnittlich 1,6 mm an der Ausgangskörnung wird als Los-Angeles-Koeffizient bezeichnet und als Maß für die Widerstandsfähigkeit eines Zuschlages gegen Schlag und Abrieb weiterverwendet. In der folgenden Abbildung kann eine Mahltrommel für diesen Versuch betrachtet werden [4, S. 161].

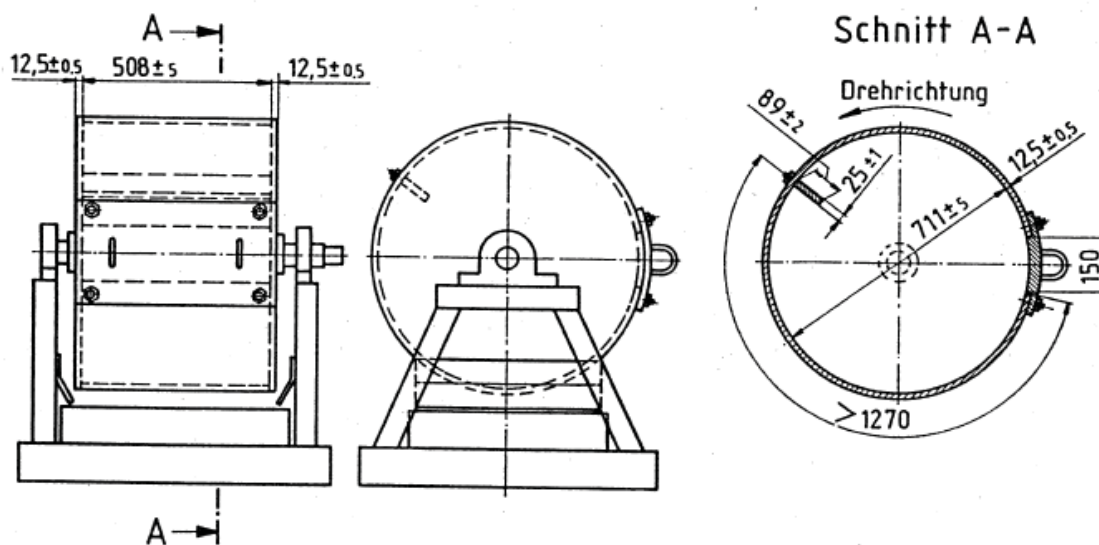


Abbildung 9: Mahltrommel für den Los-Angeles-Versuch [3]

Beim Zertrümmerungsversuch werden 10 bzw. 15 kg einer Körnung 4/6 bis 22/32 mm in einem Stahlzylinder (Durchmesser 220 mm) einer Druckkraft von 500 kN ausgesetzt. Nach dieser Belastung wird der Siebdurchgang durch Siebe mit den Öffnungsweiten W_1 (D_1) und $W_0/4$ (D_2) und somit der Zertrümmerungsgrad über nachfolgende Formel ermittelt [4, S. 163]:

$$Z = 0,21 \times D_1 + 0,47 \times D_2 \quad (6)$$

Der Polierwiderstand wird über eine Splittprobe (8/11) nach einer definierten Reibbeanspruchung, der sogenannten Polished Stone Value (PSV) ermittelt. Weiters kann die Frostbeständigkeit über petrographische Untersuchungen aufgrund von weichen und frostgefährdeten Körnern abgeschätzt werden. Bei Bahnschotter werden weitergehende Untersuchungen in Bezug auf die Frostbeständigkeit vorausgesetzt. Die Dichte bzw. Rohdichte von natürlichen Zuschlagstoffen bewegt sich zwischen 2400 und 3100 kg/m³. Mit zunehmender Porosität nehmen die Rohdichte, die Festigkeit und die Frostbeständigkeit der Körner ab und es ergibt sich über dieses Phänomen eine Beziehung, bei der die (Druck)festigkeit $f(n)$ und die Porosität der Körner beschrieben werden kann [4, S. 164].

$$f(n) = f(n=0) \cdot [(100-n)/100]^6 \quad (7)$$

mit $f(n = 0)$: Festigkeit des Feststoffes; n : Porosität in Vol.%

Die Frostbeständigkeit kann aber nicht mit der Porosität in Beziehung gebracht werden, da Zuschlagskörner nur durch Frost geschädigt werden, wenn sie über einen gewissen Grad an Wassersättigung hinausgehen. Bei gewisser Porosität reicht eine Wassersättigung lange nicht aus, um das Korn zu zerstören und deshalb kann hier keine Formel aufgestellt werden. Für Beton sei noch genannt, dass es sehr widersprüchlich ist, dass im Beton poröse Körner auf die Frost(-Tausalz) Beständigkeit einen Einfluss haben. Denn einerseits sind Schäden an Betonbauten in Form von kraterförmigen Abplatzungen über unbeständigen, nahe an der Oberfläche liegenden Zuschlagskörnern, andererseits können grobporige, an sich frostgefährdete Zuschlagskörner im Betoninnern eine Verbesserung der Frostbeständigkeit bewirken. Dies ist der Fall, da diese grobporigen Körner vollständig vom feinporigen Zement umgeben sind [4, S. 164].

2.4.3 Chemische Eigenschaften

Für die chemische Betrachtungsweise werden nur die störenden, schädlichen bzw. ungeeigneten Eigenschaften dargestellt. Dies hängt auch immer sehr stark von der Konzentration dieser chemischen Elemente oder Verbindungen im Rohstoff ab. Bei Betonzuschlagstoffen sind Stoffe, welche die Hydratation des Bindemittels beeinträchtigen (z.B. Humusstoffe), die für Stahleinlage korrosionsfördernd wirken (v.a. Chloride), die zu Treiberscheinungen führen (v.a. amorphe Kieselsäure → Alkali-Aggregat-Reaktion; Sulfate → Ettringitbildung, Gipstreiben) oder welche das Aussehen von Oberflächen beeinflussen. In der Schweiz bzw. in Liechtenstein spielt der Gehalt an Humusstoffen, Sulfaten, Glimmer, Tonmineralen, Holz und anderen Pflanzenresten eine große Rolle [4, S. 165].

Humusstoffe werden durch Vergleich einer bestimmten Menge Sand mit einer bestimmten Menge Natronlauge (NaOH) mit einer Standardfarbe abgeschätzt. Sulfate (SO₃) werden auf den Gesamtgehalt und auf den Gehalt an wasserlöslichen Bestandteilen eingeschätzt. Holz und weitere Pflanzenreste werden durch Sedimentationsversuche ermittelt. Die folgende Abbildung zeigt ein Schema eines einfachen Sedimentationsversuches. Hier kann auch eine erste grobe Abschätzung über den Tonmineralgehalt getroffen werden [4, S. 165].

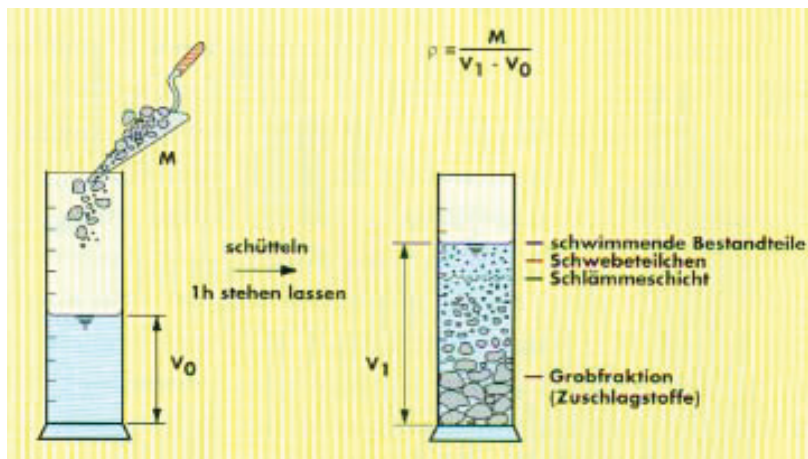


Abbildung 10: Sedimentationsversuch [4, S. 165]

Problematisch wird Holz aus Flussablagerungen, da hier die Dichte meist höher als 1.000 kg/m^3 ist. Dies war im Kieswerk beim Turbowäscher oft ein Problem, da es in den Aufbereitungsprozess gelangt und oftmals Verstopfungen in den Aufbereitungsaggregaten verursacht. Der Tonmineralgehalt wird später über Sandäquivalente und einem Absorptionstest mit Methylenblau ermittelt, da Tonminerale ein hohes Absorptionsvermögen haben [4, S. 165].

Das folgende Kapitel beschäftigt sich mit den weitergehenden Vorgaben bezüglich Baurestmassenrecycling der Baurestmassenverbände.

2.5 ARV Gütesicherung für Recyclingbaustoffe

Der Schweizer Baurestmassenverband arbeitet sehr eng mit dem europäischen und den anderen Verbänden, wie z.B. Österreichischer-Baustoff-Recycling Verband zusammen. Die Firma Meier ist Mitglied im Schweizer Verband, da dieser auch in Liechtenstein tätig ist, weil es hier keinen derartigen Verband gibt. Die Fraktionen haben in etwa die gleichen Namen wie in Österreich. Für die Baurestmassen wurde vom Schweizer Verband eine Richtlinie für die Gütesicherung für Recyclingbaustoffe erstellt. Folgend wird ein kurzer Einblick in die Richtlinie gegeben [5].

• Güte und Prüfbestimmungen für Recyclingbaustoffe als Kiesersatzmaterial

Die Grundlage für die Güteprüfungen sind die BUWAL Richtlinie für die Verwertung von mineralischen Bauabfällen (Juli 1997), VSS-Normen bzw. SIA Normen und Empfehlungen.

Die Prüfungen erstrecken sich auf [5]:

- Korngrößenverteilung
 - Größtkorn
 - Frostempfindlichkeit
 - Fließgrenze und Plastizitätsindex

- CBR-Werte
- Stoffliche Zusammensetzung
- Verunreinigungen
- Anteil an weichen Gesteinen (bei Mischabbruchgranulat)
- Laborprüfverfahren zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit (später)

Die Prüfung der Recyclingbaustoffe erfolgt ständig durch Eigenüberwachung und einmal jährlich wird ein Fremdüberwacher beigezogen, der die Einhaltung der Vorgaben überprüft. Die nächste Abbildung zeigt die Überwachung des Schweizer Fachverbandes für Sand und Kies, bei welchem der Betrieb Mitglied ist [5].



Abbildung 11: Güteüberwachung FSK

● Prüfung der Recyclingbaustoffe

Die Einteilung zur Prüfung der Recyclingbaustoffe erfolgt in bautechnische Prüfungen, umweltrelevante Prüfungen sowie die Häufigkeit der Überprüfungen [5]:

Bautechnische Prüfungen

- Korngrößenverteilungsbereich
 - Grösstkorn
 - Frostempfindlichkeit
 - Fließgrenze / Plastizitätsindex
 - CBR-Werte
- CBR Werte
- Anteil an weichen Gesteinen¹⁾
 - ¹⁾nur bei Mischabbruchgranulat (weitere Abklärungen sind erforderlich)
- Recycling von Bauschutt; Verwertung von Bauschutt, Allgemeines (SN 640 740 a)

Umweltrelevante Prüfungen

Die umweltrelevanten Prüfungen beziehen sich auf die Probenahme, Messmethode und einem Toleranzbereich für Recyclingstoffe.

Häufigkeit der Prüfungen

Die Eigenkontrolle muss pro 3000 m³ lose aufbereitetem Material bei festen Recyclingplätzen erfolgen bzw. mindestens einmal pro Jahr und für jedes Produkt.

Die Fremdkontrolle ergänzt die ständigen Eigenkontrollen und bereitet den Betrieb auf die Verleihung des Gütezeichens vor [5].

- **Bestimmungen für die Verleihung des ARV Gütezeichens für Recyclingbaustoffe**

Nach erfolgter Überprüfung der Materialien wird dem Betrieb das Gütezeichen für Recyclingbaustoffe überreicht (siehe Abbildung 11).

2.6 Beschreibung der Aufbereitungsanlage

Die Aufbereitungsanlage des Kieswerkes Meier in Schaan ist eine Nassaufbereitungsanlage, welche aus dem Grund gekauft wurde, weil das Material aus dem Lockergesteinstagebau unbedingt gewaschen werden muss, damit überhaupt verkaufsfähige Produkte erreicht werden können. Zudem ist eine Nassaufbereitung heutzutage als Vorstufe für Betonzuschlagstoffe Stand der Technik, um die hohen Qualitäten zu halten. Weiters kann man verschiedene Recyclingmaterialien mit dieser Anlage viel besser reinigen und aufbereiten. Doch ist hier immer ein Mehraufwand an verschiedenen Ressourcen, wie z.B. Wasser, Strom,... erforderlich, wie bei einer Trockenaufbereitung, bei der z.B. für die Bauschutttaufbereitung lediglich ein Windsichter als Mehraufwand zu betrachten ist.

Nachfolgende Abbildungen 12 zeigt die Nassaufbereitungsanlage bis zum Steigband. Mit den auf der Seite angeführten Nummern werden die verschiedenen Aggregate erklärt und beschrieben.

Das Material wird über den Bunker auf die Anlage aufgegeben und von dort mittels Bunkerabzugsband (10) auf das Vorsieb gefördert. Das Bunkerabzugsband kann über ein Potentiometer bezüglich Geschwindigkeit gesteuert werden. Das Material fällt auf ein Vorsieb (11), welches mit Stangensizern das Material in Körnungen größer und kleiner 0-30 scheidet. Das größere Material wird durch einen Vorbrecher (12), als Backenbrecher ausgeführt, geleitet und das Feinmaterial fällt direkt auf ein Sammelband (13a). Das gebrochene Material fällt ebenfalls auf dieses Band. Bei der Übergabestelle auf das Steigband (20), welches zur eigentlichen Nassaufbereitung führt, befindet sich ein Magnetband (14), das unerwünschte magnetische Stoffe vom Aufbereitungsprozess fernhält. Das Sammelband wäre als Option reversierbar, doch das ist nicht installiert.

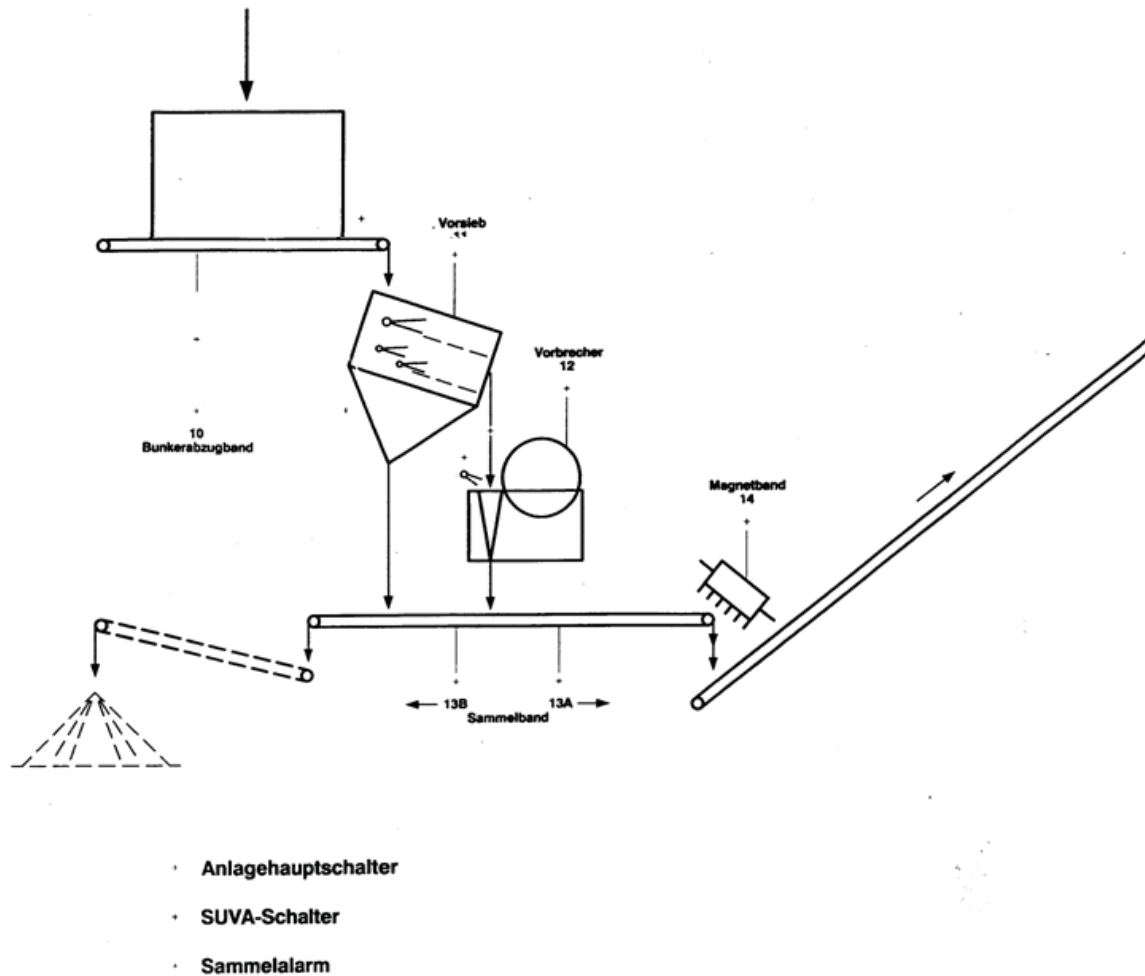


Abbildung 12: Aufbereitungsanlage bis zum Steigband

Die nächste Abbildung 13 zeigt die Aufbereitungsanlage vom Ende des Steigbandes bis zu den Körnungsboxen. Am Ende des Steigbandes befindet sich ein zweiter Magnet, diesmal ein Permanentmagnet (15), der die noch vorhandenen Nägel und Drähte herauszieht. Die Reinigung des Magneten erfolgt händisch durch Herausziehen. Das Steigband führt über eine Übergabestelle in einen Turbowäscher (21), der das Material physikalisch über Reibung aufspaltet und wäscht. Hier werden die Steine von den Sandfraktionen getrennt. Im Turbowäscher kommt das Material mit Wasser in Berührung. Beim Vorsieb (11) ist auch schon ein Schlauch montiert, doch dient dies nur zur Minimierung der Staubentwicklung und der Vorbeugung des Verklebens von Material, hat aber mit der Nassaufbereitung nichts zu tun. Das Material und der Sand werden über ein Becherwerk (22) ausgeschöpft und auf ein erstes Hauptsieb (23) aufgegeben. Das Schwimmgut, z.B. Holz, Kunststoff, Styropor, etc. im Turbowäscher wird auf ein Holzsieb (25) ausgetragen und entwässert. Das entwässerte Schwimmgut wird über ein Kunststoffrohr in Box 27 befördert. Das Wasser geht auf den Vorzyklontank.

Zurück beim Hauptsieb (23), das ein Doppeldecksieb ist, werden die Fraktionen, welche durch die Kunststoffsiebplatten eingestellt sind ausgesiebt. Die größte Fraktion fällt auf das Brecherband (30) und gelangt in den Nachbrecher der Firma Kleemann. Die mittlere Fraktion wird auf ein Reversierband (40a,b) aufgetragen. Die feinste Fraktion, der Sand wird über ein Sandsieb von Wasser befreit und in die Sandboxen aufgegeben oder in Prozentteilen bzw. gesamt auf das Sammelband (33) geschickt und zu einer Materialkörnung zugegeben, z.B. Kiessand. Das Brechgut aus dem Nachbrecher gelangt auf ein Brechgutsieb (32) und wird in zwei Fraktionen aufgeteilt. Die Mittelfraktion aus dem Hauptsieb (23) geht je nach Einstellung entweder auf das Körnungsband (41) oder direkt auf das Sammelband (33). Das Körnungsband endet auf einem Körnungssieb I (42), die Grobfraktion in Box sechs oder Freibox sieben sowie die Feinfraktion geht auf ein weiteres Körnungssieb II (43), die Grobfraktion in Box fünf, die Feinfraktion ins letzte Körnungssieb (44): Hier geht die Grobfraktion in Box vier, sowie der übriggebliebene Sand in den Vorzyklontank. Diese Stufe mit den Körnungssieben ist für die Produktion von Sickergeröll und Rundkies. Das mit Sand verunreinigte Wasser wird vom Vorzyklontank über eine Vorzyklonpumpe (51) zum Vorzyklon gepumpt, der grob gesagt in Wasser und Sand trennt. Das noch immer mit Feinsand verunreinigte Wasser geht in den Multizyklontank und wird über eine Multizyklonpumpe (52) dem Multizyklon zugeführt. Hier geht das abgeschiedene Wasser zur Kläranlage und der Sand auf die Feinsandentwässerung (53) oder nochmals auf das Sandsieb (24). Dies kann man händisch an der Anlage einstellen. Das Abwasser wird zur Kläranlage geleitet, welche im Kapitel 3 näher beschrieben wird.

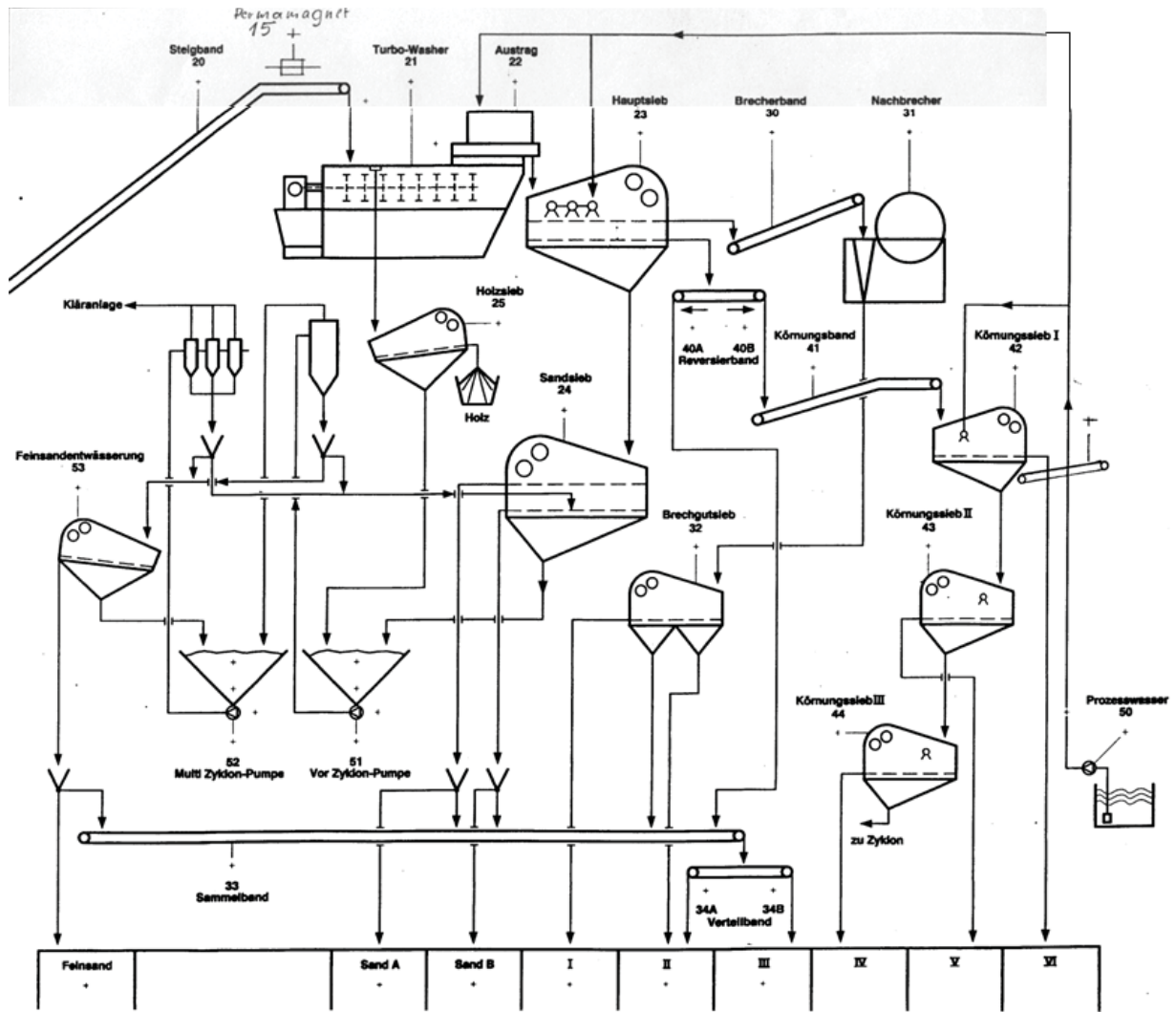


Abbildung 13: Aufbereitungsanlage vom Steigband

3 Recyclingkonzept Baurestmassen

Das Recyclingkonzept Baurestmassen gliedert sich in mehrere Teile, welche nachfolgend beschrieben werden.

3.1 Adaptierung der Kläranlage

Der erste Teil des Recyclingkonzeptes befasst sich mit dem Umbau der Kläranlage und einen Einbau eines Silos in das Schema der Kläranlage.

3.1.1 Prozesswasser

Das Prozesswasser der Aufbereitungsanlage wird über eine Prozesswasserpumpe aus einem 50 m³ Tank von der Kläranlage zum Kieswerk gepumpt und auf Turbowäscher, Hauptsieb und Körnungssieb verteilt. Düsen versprühen das Wasser auf das Material im Siebkasten. Das mit natürlichem Gefälle zur Kläranlage zurückgeleitete Wasser-Schlamm-Gemisch, wird in einen Pumpensumpf einer Schlammpumpe geleitet. Die Schlammpumpe pumpt nach Vollwerden des Pumpensumpfes das Wasser in einen großen Wassersilo, dem dosiertes Flockungshilfsmittel zur schnelleren Sedimentation zugegeben wird. Durch den ständigen Wassernachlauf wird das Überwasser direkt über eine derzeit kaputte Wasserreinigung in den Erdtank geleitet. Der sedimentierte Schlamm wird mittels Schlammabzugspumpe zum Schlammsee im Abbaugelände geleitet. Ein großes Problem derzeit ist, dass jeden Tag ungefähr 100 m³ Wasser nachgefüllt werden müssen. Es wird derzeit Wasser aus der Wasserversorgungsleitung verwendet, welches ungefähr 60 Rappen pro Kubikmeter kostet. Die Sammlung von Regenwasser von den Dächern und den befestigten Flächen mündet im Erdtank. Sollte der Regen zu stark werden, ist ein Überlauf im Erdtank eingebaut, der in ein ausgetrocknetes Bachbett mündet und wiederum in einem Auffangsee. Dieser See dient auch noch als Wasserreservoir. In der Mitte des Sees schwimmt ein Floß mit Saugstutzen für eine Pumpe. Bei großem Wassermangel kann hier auch noch Wasser entnommen werden.

Noch ein Problem ist, dass der Schlammsee nur für die Menge Schlamm gerechnet ist, der beim Abbau des Materials vom Lockergesteinstagebau anfällt. Deshalb ist es kaum möglich zu viel Bodenaushub, der teilweise besser im Bezug auf das Inhaltsmaterial ist und das Recyclingmaterial nass aufzubereiten. Die zweite Überlegung wäre eine Kammerfilterpresse für den Schlamm, um Volumen zu sparen.

Trotzdem wurden mit dem Geschäftsführer einige Überlegungen bezüglich Umbau der Kläranlage getroffen. Nach einiger Überlegungsarbeit und unzähligen Skizzen wurden die folgend beschriebenen Lösungsansätze geboren.

3.1.2 Wasserspeicher zusätzlich 50 m³

Es wurde vom Unternehmer vor einiger Zeit ein gebrauchter Silo gekauft, um noch mehr Zwischenspeicher für Wasser zu bekommen. Die nachfolgende Abbildung 14 zeigt eine Zeichnung des Silos.

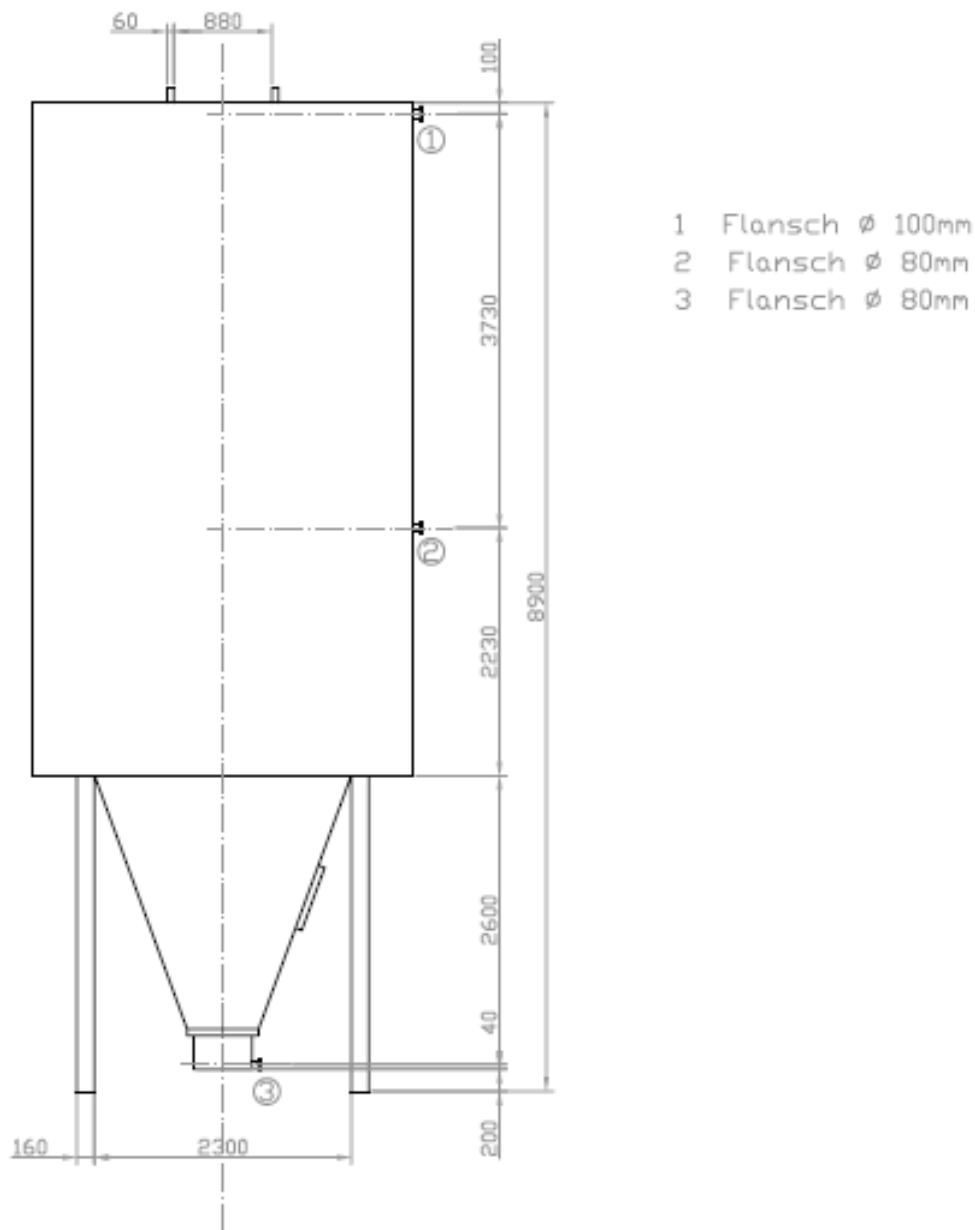


Abbildung 14: Zeichnung des Silos

Der Plan wäre gewesen, den Silo zwischen den Kläranlagentank und den Erdtank zu schalten. Aus diesem Grund wurde das Gelände vermessen, um einen maßstäblichen Plan zu zeichnen, um das Silo möglichst platzsparend einzubauen. Die Abbildung 15 zeigt den Lageplan des Kläranlagengeländes.

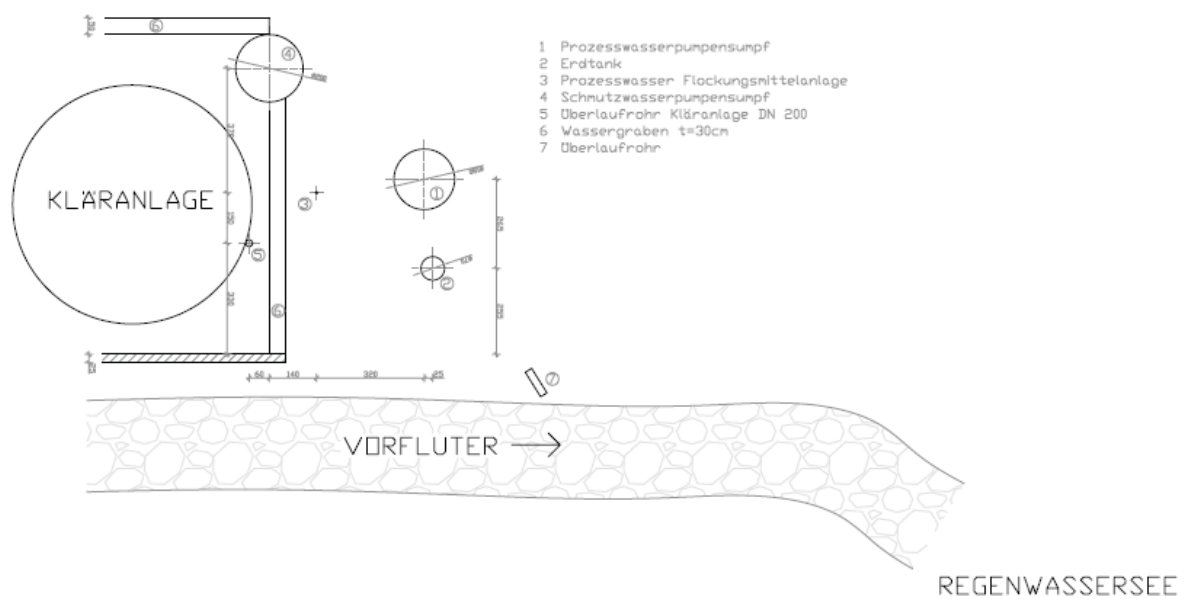
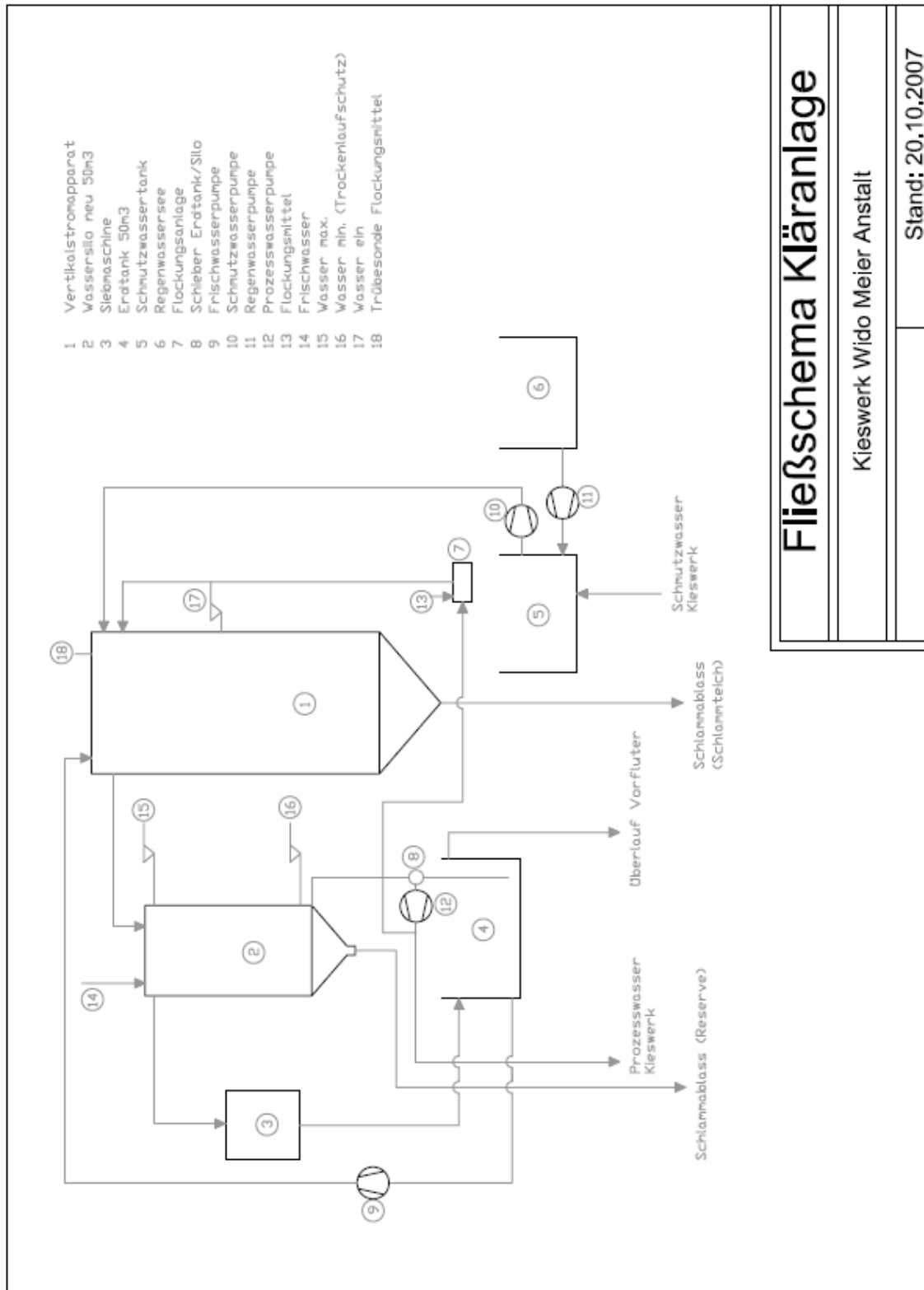


Abbildung 15: Lageplan Kläranlage

Man hat sich entschlossen, das Silo direkt mit der Pumpe zu verbinden, um dadurch die Fallhöhe auf die Pumpe zu nutzen, damit nicht mehr so tief (vom Erdtank) gesaugt werden muss und die Pumpensaugleistung dadurch herabgesetzt werden kann. So wird der Energieverbrauch der Pumpe deutlich sinken. In der nachfolgenden Abbildung 16 wird das Fließschema der Kläranlage gezeigt. Die Punkte mit Nummern sind am rechten Rand der Zeichnung beschrieben. Aufgrund des neuen Silos bedurfte es einigen Umbauarbeiten, die im Oktober abgeschlossen waren.



Fließschema Kläranlage

Kieswerk Wido Meier Anstalt

Stand: 20.10.2007

Abbildung 16: Fließschema Kläranlage

3.1.3 Hauptkläranlage

Die folgende Abbildung 17 zeigt das System des Hauptkläranlagentanks. Die Ausführung ist ein Vertikal-Stromapparat, bei dem als Bedingung die absolute Absetzgeschwindigkeit w_A

größer sein soll, als die Aufwärtsströmungsgeschwindigkeit u des Klarwassers (Klärflächenbelastung). Bei $w_A < u$ erfolgt eine Stromklassierung, wobei der Trennkorndurchmesser d_{50} (die Korngröße, von der 50 % abgeschieden werden und 50 % in der Überlauf gelangen) nach den bekannten Gleichungen für laminare Verhältnisse berechnet werden.

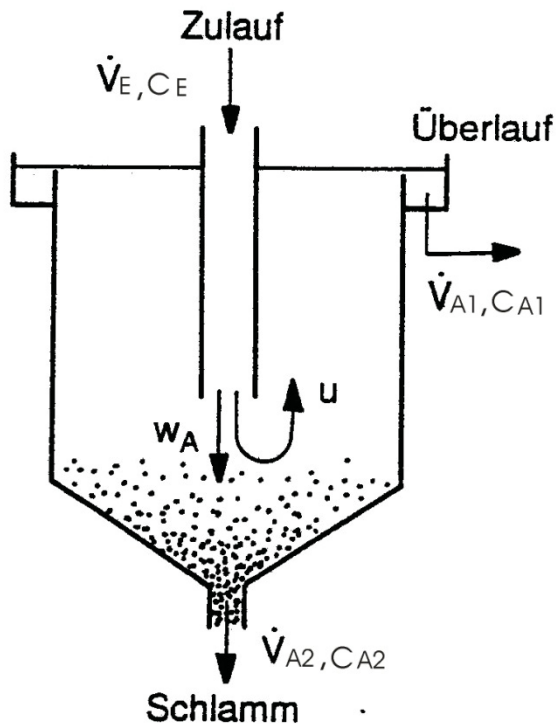


Abbildung 17: Vertikal-Stromapparat [6]

3.1.4 Zusatztank

Das Überwasser vom Silo läuft über eine Leitung hinunter zu einem umgebauten Sandsieb mit elektrischem Antrieb. Das ist damit, dass das Wasser, welches durch das Bauschutt bzw. Mischabbruchrecycling mit Störstoffen, wie Styropor oder Holz verunreinigt ist, noch einmal von den Störstoffen befreit werden kann. In letzter Zeit war es immer ein Problem, dass die Störstoffe immer in den Tanks verblieben, weil diese Stoffe auf der Wasseroberfläche schwammen. Diese Stoffe wurden zwar nie in den Wasserkreislauf des Kieswerkes aufgrund der geringeren Dichte gebracht, doch störten sie immer bei Wartungen, Kontrollen von Behörden, usw.

Das Überwasser fließt nur ab, wenn man Wasser in den Hauptkläranlage tank füllt. Damit das Überwasser in den neuen Silo fließt und später in den anderen Überlauf auf die Siebmaschine. Dies ist dann der Fall, wenn man am Abend oder am Morgen bei Nachtstrom die fehlenden Kubikmeter nachfüllt. So kann man ganz einfach steuern, wann die Reinigung der Tanks von den Störstoffen durchgeführt wird. Am neuen Silo ist beim Überlauf ein Schieber montiert, um den Füllstand über den Überlaufstutzen zu füllen, um dann nach Öffnen des Ventils mehr Strömungsgeschwindigkeit zu erreichen, damit die gesamten

Schmutzstoffe mitgezogen werden. Das Wasser, welches durch die Siebmaschine fließt und frei von Störstoffen ist, wird in den Erdtank weitergeleitet und gespeichert. Das Regenwasser fließt weiterhin in den Erdtank. Wird Wasser in der Nacht benötigt kann mit billigem Nachtstrom das fehlende Wasser mittels einer Saugpumpe in den Hauptkläranlagentank gepumpt werden. Außerdem kann aus dem See in der Nähe der Kläranlage ebenfalls Wasser in das Kläranlagensystem gespeist werden. So sollte eigentlich kein Bedarf mehr an Frischwasser benötigt werden. Hierzu kommt jedoch mindestens eine genaue tägliche Überprüfung des pH-Wertes des Wassers. Außerdem wird das gesamte Wasser, welches zur Reinigung von Fahrzeugkippern oder Radladerschaufeln anfällt, in den Erdtank gebracht. Viele Betriebe liefern nämlich z.B. Mischabbruch zum Kieswerk und müssen, um den Splitt oder den Sand nicht zu verunreinigen, vor dem Beladen des Materials ihren Kipper oder ihre Mulde waschen. Betriebseigene Maschinen müssen auch zwingend vor Beladearbeiten gewaschen werden, da sonst Verunreinigungen des Materials die Folge sind.

Die Frischwasserpumpe für das Kieswerk bleibt an Ort und Stelle im Pumpenschacht und der Silo wird einfach darüber gestellt. Dies hat die Gründe, dass zum Einen der Pumpensaugschlauch nicht so stark der Witterung im Spätherbst ausgesetzt ist (Einfriergefahr), zum Anderen steigt beim Betrieb der Pumpe immer Reibungswärme auf, welche zur Eisfreihaltung des Schlauches genutzt werden kann. Außerdem gab es in letzter Zeit nie Probleme mit Erfrierungserscheinungen der Frischwasserpumpe, da diese weit genug im Schacht verbaut ist. Zudem kann der gesamte offene Raum vom Schacht bis zum Silo mittels Folie oder Blech verkleidet werden, als Gefrier- und Personenschutz. An der konischen Seite des Silos wird ein Ablassstutzen mit Schieber montiert, um noch eventuelle sedimentierte Partikel abzusetzen und damit abzulassen. Mit dieser Methode kann ein Großteil der Frischwassermenge eingespart werden und das Kieswerk länger in die Wintermonate hinein betrieben werden. Dies Variante ist bereits gebaut worden und in Betrieb, siehe nachfolgende Abbildung 18. Die Kennlinie des Stromverbrauchs ist noch nicht verfügbar gewesen.

Sollte die Pumpe wegen Einfrieren gefährdet sein, kann man das Saugrohr in den Erdtank drehen und den Siloschlauch direkt in den Erdtank stehen lassen. Dann funktioniert die Anlage wie früher.



Abbildung 18: Kläranlage mit neuem Zwischentank

Für die Steuerung der Anlage wurde mit der zuständigen Elektrotechnikfirma ein Steuerbild ausgearbeitet, um die verschiedenen Füllstandsanzeigen in die Steuerung der vorhandenen Anlage zu integrieren. Außerdem ist für die Pumpe noch ein Pumpenschutz einzubauen, damit keine Beschädigungen der Pumpe bei leerem Silo auftreten. Der Aufwand für die Kläranlagenerweiterung war nicht sehr hoch, da die meisten Teile schon lagernd waren.

3.1.5 Betonfundament

Für den Silo wurde ein Betonfundament gemacht. Aus diesem Grund wurde die Abfüllanlage für die Recyclinggesteinskörnungen gebaut, um Recyclingbeton zu produzieren und die Betonfläche auf längere Zeit unter Druckbelastung eines Silos zu testen. Das betonierte Volumen hat in etwa Abmessungen von 5.000 x 3.500 x 300 mm. Den Aushub hat man mit Straßenkies befüllt und mit einer Ramax-Walze verdichtet. Die Bewehrung wurde aus Baustahlmatten, Körben und Abstandhaltern betriebsintern geschalt.

Am 10. September wurden das Fundament und die Platte mit Recyclingbeton betoniert. Nachfolgende Abbildung 19 zeigt ein paar Eindrücke der Arbeiten. Weitere Abbildungen sind im Anhang (Teil II: Betonierarbeiten Kläranlage) angeführt.



Abbildung 19: Betonherstellung

Die genaue Rezeptur bzw. Herstellung des Recyclingbetons wird im Kapitel Rohstoff Mischabbruchgranulat und Betonherstellung beschrieben.

Sollte die Wassermenge nicht reichen, kann immer noch ein weiterer Tank zwischengeschaltet werden. Die Wassermenge hängt natürlich stark von den Witterungsverhältnissen ab.

3.1.6 Kieswaschschlamm

Bei der Nassaufbereitung von Sand und Kies fällt immer ein Kieswaschschlamm an und stellt ein beträchtliches Abfallvolumen dar. Die Zusammensetzung des Kieswaschschlammes entspricht im Wesentlichen dem Feinstanteil der beim Aufbereitungsprozess verwerteten geologischen Kiesformationen. Die Kiesschlammmenge variiert je nach Verlehmungsgrad des Kiesvorkommens, von 2 bis 5 Gew.-% (auf das Trockengewicht bezogen) für sauberen Kies (Niederterrassenschotter) bis zu 30 bis 40 Gew.-% für sehr stark verlehnte Schotter oder kieselhaltige Moränen. Der Abbau von verlehnten Kiesvorkommen nimmt stetig zu, da der Abbau von reinem Alluvialkies immer seltener wird. Somit kann man damit rechnen, dass in naher Zukunft der Anfall von Kieswaschschlamm zunimmt. Aus ökologischen und wirtschaftlichen Gründen wird der Kieswaschschlamm zunehmend entwässert, um ihn einer nachfolgenden Verwertung bzw. Entsorgung zuzuführen. Eine Möglichkeit hierzu ist die Entwässerung mittels einer Filterpresse, welche den Restwassergehalt auf ca. 23 bis 28 Gew.-% reduziert. Dadurch wird der Schlamm stichfest und leichter handhabbar. Hierbei sollte jedoch die wirtschaftliche Seite nicht außer Acht gelassen werden [4, S. 383].

Es muss auf die Zusammensetzung der Kieswaschschlämme der Schweiz eingegangen werden, da hier schon Daten vorhanden sind und einige Untersuchungen stattgefunden

haben. Kieswaschschlämme sind sehr feinkörnige und homogene Mineralgemische, welche eine Körnung von weniger als 0,06 mm aufweisen. Es sind dort sehr feinverteilte Silikate (Quarz, Feldspäte), Karbonate (Kalzit, Dolomit) und Tonminerale (Illit, Chlorit, Montmorillonit, Kaolinit) und wurden seit dem Jahre 1987 systematisch untersucht. Die Kiesschlämme können aufgrund ihrer Tonmineral- und Karbonatverteilung regional gruppiert werden und so kann auch ein Schluss auf das Fürstentum Liechtenstein gezogen werden. In einer nachfolgenden Abbildung 20 kann die Zusammensetzung des Kieswaschschlammes aufgrund der Tonminerale betrachtet werden. Man merkt die starken Schwankungen in den unterschiedlichen Gebieten [4, S. 383].

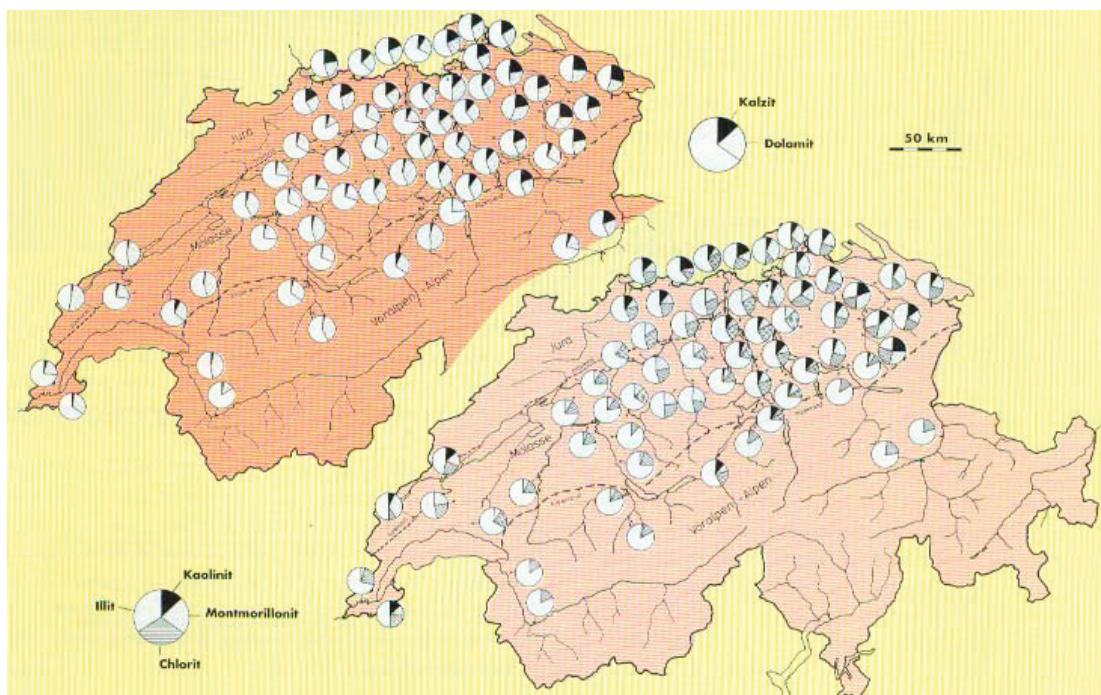


Abbildung 20: Kalzit- Dolomit- und Tonmineralgehalt in Kieswaschschlamm [4, S. 384]

Die folgende Tabelle 1 zeigt die genaue Zusammensetzung der verschiedenen Kiesschlammtypen mit der Herkunft der Region. Die regionalen Unterschiede spiegeln die quartärgeologischen Gegebenheiten sowie die Entstehungsgeschichte der Kiesformationen wider. Aufgrund der Vergletscherungsgebiete als Materiallieferant wurden unterschiedliche Gesteinsformationen sehr weit transportiert [4, S. 384].

Tabelle 1: Zusammensetzung unterschiedlicher Kiesschlammtypen [4, S. 384]

Kiesschlamm-Typ	A	B	C	D	E	F	G
Herkunft	Region	Region	Region	Region	Region	Region	Region
	Genfersee	Fribourg	Aarau/Luzern	Zürich	Zug	Chur	Bodensee
GRANULOMETRIE (Gew.%)							
Fraktion <0,002mm	32,3	45,1	28,9	10,2	35,6	10,6	20,0
0,002-0,020mm	42,0	41,8	50,3	50,3	40,1	31,4	33,3
0,020-0,063mm	10,6	12,6	17,3	23,7	17,2	29,3	28,7
0,063-0,200mm	9,1	0,5	3,5	14,2	6,9	8,5	18,0
>0,200mm	0,0	0,0	0,0	1,6	0,2	0,2	0,0
MINERALOGIE (Gew.%)							
Kalzit	56,8	47,0	27,7	37,9	38,4	20,0	28,6
Dolomit	2,4	4,4	3,9	8,3	6,4	6,1	21,9
Quarz	11,5	16,3	21,1	33,9	18,4	26,3	21,1
Albit	3	3	8	9	5	14	6
K-Feldspat	2	2	3	4	2	3	6
Tonminerale:							
Illit	13	17	20	4	18	10	10
Chlorit	4	4	4	2	4	2	2
Montmorillonit	1	1	4	<1	1	-	3
Kaolinit	2	-	-	-	2	-	1
CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG (Gew.%)							
Glühverlust	29,92	24,79	17,37	21,81	22,08	13,29	25,46

SiO ₂	23,17	32,08	42,24	43,61	36,36	49,54	33,91
Al ₂ O ₃	6,87	7,98	11,24	4,13	9,12	12,08	6,86
Fe ₂ O ₃	2,65	2,85	4,49	1,47	3,43	5,07	2,84
TiO ₂	0,33	0,33	0,50	0,26	0,42	0,50	0,31
CaO	33,37	27,78	18,73	24,02	23,32	12,85	21,95
MgO	1,59	2,11	1,93	2,91	2,99	2,97	6,93
MnO	0,06	0,07	0,12	0,06	0,08	0,15	0,09
K ₂ O	1,06	1,52	2,10	0,70	1,74	2,28	1,30
Na ₂ O	0,47	0,48	0,76	0,89	0,59	1,65	0,70
P ₂ O ₃	0,12	0,10	0,13	0,09	0,11	0,13	0,09
Total	99,61	100,09	99,61	99,95	100,24	100,51	100,44

3.1.7 Kammerfilterpresse

Vor allem die geeignete Platzfindung für den Schlammsee ist nicht immer leicht, da der Abbauplan, wie beim Punkt Abbaumethode für das Lockergestein vorgegeben ist und nicht verändert werden kann. Doch spielen beim Pressen auch die laufenden Kosten für die Kammerfilterpresse sowie die Betriebskosten für ein derartiges Projekt eine große Rolle. Da der Aufbereitungsprozess ohnehin schon sehr aufwendig ist, steht es wirtschaftlich fast nicht mehr dafür eine solche Investition zu tätigen. Mit der Weitervermarktung von Schlammprodukten wären zumindest die Kosten für das Pressen teilweise bezahlt. Vor allem wäre viel mehr Kapazität im Kieswerk für die Aufbereitung von Bodenaushub, was die Quote des Recyclings wieder in die Höhe schrauben würde. Die genauen Daten der Schlammanalyse sind am Ende des Kapitels 3 angeführt.

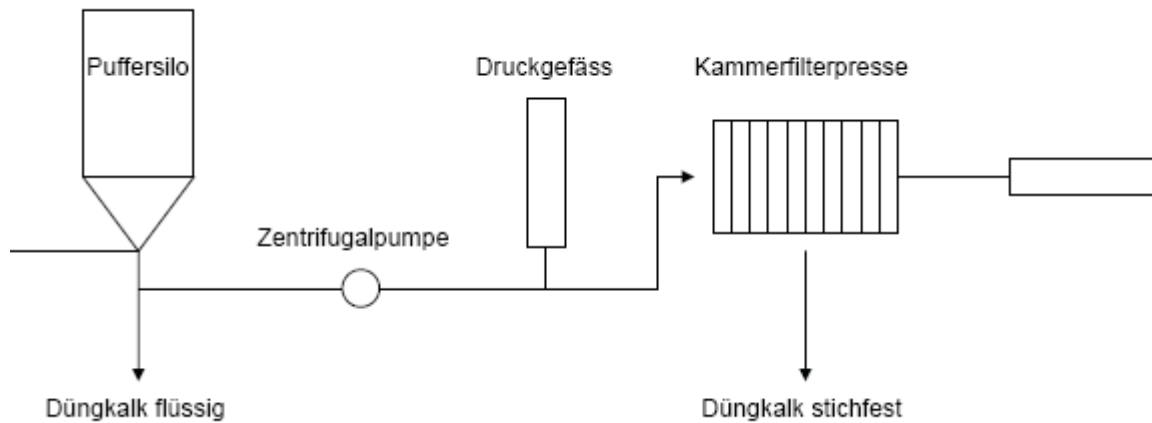


Abbildung 21: Schema für Kammerfilterpresse [7]

Die folgende Abbildung 22 gibt einen Einblick in die Größe einer Kammerfilterpresse, welche für das Kieswerk Meier benötigt werden würde. Zudem bedarf dies einiger weiterer Umbaumaßnahmen.



Abbildung 22: Kammerfilterpresse [7]

In der nachfolgenden Tabelle 2 werden grundsätzliche Verwertungsmöglichkeiten für Kieswaschschlämme erläutert. Dieses Problem beschäftigt die Betreiber von Kieswerken schon längere Zeit, da ein Schlammteich ein sehr großes raumordnerisches Problem darstellt.

Tabelle 2: Verwertungsmöglichkeiten von Kieswaschschlamm [4, S. 385]

Kiesschlamm-zustand	Verwertungsmöglichkeit	Literatur	Bemerkungen
Dünnflüssig (Kiesschlamm unbehandelt)	-Mineralisierung von Böden, insbesondere Waldböden		Hohe Transportkosten
Dickflüssig (Kiesschlamm flockuliert)	-Mineralischer Zusatz zu stark organischen Böden oder organischen Abfälle(klärschlamm) -Dichtungsmaterial für Mülldeponie (mit und ohne Bentonit) -Geotechnische Barriere (Grundwasserregulierung, Geothermie, Deponien, Altlasten)	Tillmanns(1982,1984) SIA-Zeitung(1983) de los Cabas(1994)	Dosierung begrenzt, Mischschwierigkeiten Adsorption von Schwermetallen durch Tonminerale Enthält noch viel Wasser, wenig standfest
Stichfest (Kiesschlamm flockuliert und zweite Entwässerungsstufe)	-Dichtungsmittel für Mülldeponien -Rohstoffkomponente bei der Herstellung von grobkeramischen Produktionen -Material für den Strassenunterbau nach Stabilisierung mit CaO und Zement -Rohmaterial für den Lehmbau	Mumenthaler(1979) Peters et al.(1982) Mumenthaler et al. (1987) Fetz(1974) Laquerbe(1982) Fedi et al.(1982) Hugi(1983)	Einsatzmöglichkeiten in der Schweiz fraglich
Granuliert,getrocknet	-Substrat und Füllstoff für chemische Produkte -Adsorptions- und Neutralisierungsmittel für Filteranlagen		
Aktiviert (schnellbrand bis ca. 900°C)	-Stabilisierungsmittel im Strassenbau(ähnlich CaO oder Zement),gemahlen -Adsorptions- und Neutralisierungsmittel für Filteranlagen, granuliert oder gemahlen -hydrothermal härtendes Bindemittel, gemahlen -hydraulisch härtendes Bindemittel, gemahlen	Mumenthaler(1979) Iberg et al. (1983) Mumenthaler et al. (1987)	
Getrocknet, gemahlen	-Rohstoffkomponente für die Zementherstellung	Bayer et al.(1983)	

	-Rohstoffkomponente für Sinterkeramik(feinkernik)		
	-Rohstoffkomponente für geschäumte Leichtbaustoffe	Bayer et al.(1983)	
Getrocknet, stückig	-Rohstoffkomponente für Mineralglasfasern	Bayer et al. (1983)	

- **Versatzmaterial untertage**

Da von der Firma Meier nicht sehr weit entfernt ein untertägiger Bergbaubetrieb ist, kam man auf die Idee, den Schlamm als Bergversatz zu verwenden. Der Bergbaubetrieb ist noch sehr jung und hat momentan noch keine alten Strecken zum Versetzen. Dies wäre eine Möglichkeit, welche in Österreich z.B. für Filterstäube im Bergbau Breitenau angewendet wird, bei der die Filterstäube und ebenfalls auch Schlämme mit Zement stabilisiert und in den Berg verpumpt werden.

- **Einsatz als Rheintal-Düngkalk mit direkter Zustellung**

Die Zustellung des Kalkes mittels Hochdruckfass zur direkten Vermischung mit Gülle für die Landwirtschaft im Güllekasten wäre eine Option. Denn bisher wurde der Kalk fast immer abgeholt und mittels Spezialgüllefass direkt auf das Feld verbracht. Mit der Vermischung mit Gülle könnte vielleicht ein besserer Absatz erzielt werden. Ein Problem dabei ist, dass das Gebiet um Liechtenstein schon sehr kalkhaltige Böden besitzt.

- **Kalk als Kompostzuschlag für die Kompostierung**

Eine weitere Überlegung könnte auch in Absprache mit der Gemeinde Schaan der Zuschlag von Schlamm zum Kompost an der eigenen Kompostieranlage sein. Dies hängt von den Mineralien im Schlamm ab und kann nur aufgrund von genauen Analyseergebnissen ermittelt werden.

3.2 Mineralische Bauabfälle – vom Bauabfall zum Recyclingbaustoff

Seit geraumer Zeit macht diese Fraktion vielen Betrieben große Sorgen. Unzählige Versuche wurden unternommen, um solche Materialien besser aufzubereiten und als Sekundärrohstoff zu verkaufen. Das folgende Kapitel befasst sich mit Mischabbruch und später wird der Betonabbruch behandelt.

3.2.1 Mischabbruch, Mischabbruchgranulat, Stein für Stein Qualität

Im folgenden Kapitel wird vom Mischabbruch der ganze Produktkreislauf besprochen und die verschiedenen Stufen bzw. Versuche im Betrieb genauer beschrieben.

- **Was ist Mischabbruchgranulat?**

Mischabbruchgranulat ist zerkleinertes, gemischtes Rückbaumaterial (Beton, Backstein, Kalksandstein, Naturstein, etc.), das in einem Aufbereitungsprozess sortiert und von Fremdstoffen gereinigt wird. Die Zusammensetzung des Mischabbruchgranulates ist in der Schweiz und in Liechtenstein über die Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle des BAFU (Bundesamt für Umwelt) verbindlich festgelegt. Der Anteil an Kiessand, Betonabbruch oder Mischabbruch muss mindestens 97 % betragen und der Gehalt an Ausbauphosphat darf höchstens 3 %, von Gips 1 %, Glas 1 % und 0,3 % Fremdstoffe, wie z.B. Holz nicht überschreiten. Dies wird in der folgenden Tabelle des ARV-Verbandes noch einmal anschaulich gezeigt [8]:

Tabelle 3: Qualitätsanforderungen an Mischabbruchgranulat [8]

Recyclingbaustoff	Ausbauphosphat	Kiessand	Betonabbruch	Mischabbruch	Fremdstoffe
Mischabbruchgranulat	3	97			0,5 ohne Gips + 1 % Gips

- **Verwendungsmöglichkeiten für Mischabbruchgranulat**

Das Mischabbruchgranulat kann in loser Form, als Granulat, mit Deckschicht eingesetzt werden. Die nachfolgende Tabelle 4 geht auf die Verwendungsmöglichkeiten genauer ein.

Tabelle 4: Verwendungsmöglichkeiten von Mischabbruchgranulat [8]

Recyclingbaustoff	Einsatz in loser Form		Einsatz in gebundener Form	
	Ohne Deckschicht	Mit Deckschicht	Hydraulisch gebunden	Bituminös gebunden
Mischabbruchgranulat	Verwendung nicht zugelassen	Verwendung möglich	Verwendung möglich	Verwendung nicht zugelassen

Mischabbruchgranulat darf in loser Form in Grundwasserschutz-zonen und -arealen nur mit Bewilligung (Baubewilligungsverfahren, Baufreigabe, Projektbewilligung, etc.) der zuständigen Fachstelle verwendet werden [8].

Beim Einbau darf die Schichtstärke von Mischabbruchgranulat eine Schichthöhe von 2 m nicht überschreiten. Der Einbau von Mischabbruchgranulat bei Dämmen oder

Geländeaufschüttungen ist verboten. Mischabbruchgranulat darf bei Verwendungen, bei denen direkter Kontakt mit dem Grundwasser erfolgt, nicht eingebaut werden [8].

- **Weitere Verwendungsmöglichkeiten**

Kein Magerbeton ohne Mischabbruchgranulat ist der Ausruf des Recyclingverbandes der Schweiz. Das umweltschonende Mischabbruchgranulat kann konventionelle Baumaterialien in vielen Fällen ohne Qualitätseinbußen ersetzen. Es findet vor allem in Form von klassifiziertem Recyclingbeton, in Fundations- und Sauberkeitsschichten Verwendung. In gebundener Form wird Mischabbruchgranulat ausschließlich als Recyclingbeton eingesetzt [8].

- **Annahmepreise**

Der Annahmepreis von Mischabbruch variiert zwischen 14 und 16 sfr. pro Kubikmeter. Die Aufbereitung pro Kubikmeter kostet derzeit ungefähr 6 sfr. Der Verkaufspreis beträgt circa. 6 bis 10 sfr. je nach Aufbereitungsaufwand des Mischabbruchgranulates.

- **Ausgangsmaterial**

Der Mischabbruch in der Wido Meier Anstalt wird in der Nähe des Abbaugbietes zwischengelagert und von Zeit zu Zeit zu einem verkaufsfähigen Recyclingprodukt weiterverarbeitet. Schätzungsweise lagen bis zum 22.07.2007 zweitausend Kubikmeter an Mischabbruch auf Lager. Nachfolgende Abbildung 23 zeigt den angelieferten Mischabbruch, um zu sehen, mit welchen Vermischungen hier zu rechnen ist.



Abbildung 23: Mischabbruch

Die Annahme des Mischabbruches erfolgt in vier Kategorien, wobei Kategorie eins sortenreines Material und Kategorie vier ein stark verschmutzter Mischabbruch ist, der unabdingbar händisch vorsortiert werden muss, um starke Verschmutzungen nicht in den Aufbereitungsprozess einzubringen. Der Mehraufwand schlägt sich natürlich im Annahmepreis nieder.

Im Großen und Ganzen ist der Mischabbruch relativ sauber, da durch diese Einstufung und Vorkontrolle beim Eingang an der Waage etwaigen Verschmutzern vorgebeugt wird. Noch anzumerken ist, dass der Mischabbruch der Kleinanlieferer teilweise schmutziger ist, als jener der Großanlieferer.

Mit der Nachsiebanlage, die an die Prallmühle angebaut wurde, hat man noch nie Mischabbruch aufbereitet und so wurde der Versuch gestartet.

○ **Versuch 1:**

Am 22.08.2007 wurde mittels firmeneigener Prallmühle ein Bauschutttaufbereitungsversuch gefahren. Die Aufgabe erfolgte mit einem Bagger mit 30 t Einsatzgewicht, mit Tieflöffelausrüstung und einer Schaufelgröße von 1,5 m³. Der Abtransport des Materials wurde mit einem Radlader mit 20 t Einsatzgewicht durchgeführt und auf die Halde gestürzt. Die Prallmühle wurde mit einer Vorabsiebung 0-30 mm und einem Vorabsiebungsband ausgestattet, die angeschlossene Siebmaschine, welche erst seit Juni in Betrieb ist, mit einem 0-60 mm Metallsieb. Das Überkorn wurde auf ein Überkornband geführt und auf einen separaten Haufen gestürzt. Außerdem war ein Magnetabscheider wegen dem großen Eisenanteil im Mischabbruch in Betrieb. Bei diesem Versuch waren zwei Personen anwesend.

Die Leistungsaufgabegrenze lag bei 60 Baggerschaufeln mit 1,5 m³ pro Stunde, was einem Wert von 90 m³ entspricht. Die gebrochene Materialkörnung 0-60 mm war annähernd frei von Fremdstoffen, wie z.B. Holz, Kupferkabel, Kunststoffe. Die nicht vermeidbaren Fremdstoffe in der Materialkörnung 0-60 mm wurden händisch aussortiert und in eine Absetzmulde geworfen. Am Haufen wurden nach dem Stürzen ebenfalls Verunreinigungen sichtbar, welche ich ebenfalls, so es die Zeit erlaubte entfernte. Die meisten Fremdstoffe fand man im Überkorn. Hier kann man während dem Betrieb der Maschine nicht sortieren, da hier aufgrund der Steinschlaggefahr erhöhte Unfallgefahr besteht. Diese Fremdstoffe entfernte man alle zwei Stunden händisch. Mithilfe des Radladers wurde der Haufen gewendet, damit annähernd alle Verunreinigungen entfernt werden konnten. Außerdem hat man beim Stillstand der Maschine die Materialkörnung 0-60 mm am Haufen für die Zwischenlagerung bis zum Verkauf händisch nachsortiert.

Auffallend war auch, dass das gesamte Styropor, welches teilweise in Wärmedämmungen enthalten ist, unter dem Überkornband ausgetragen wurde. Dies könnte auf die hohe Luftgeschwindigkeit über der Siebmaschine und durch das Seitenaustragsband, welches das Material auf das Überkornband befördert, zu erklären sein.

Das vorabgesiebte Material ist ohneweiters als Feinplaniematerial verwendbar. Zudem kann dieses Material als Splitt und Brechsand weiterverarbeitet werden. Das Überkorn wurde nach dem Aussortieren wieder aufgegeben. Diese Materialfraktion wäre aber wiederum als sofort verkaufsfähiges Produkt verwendbar. Nach etwa sechs Stunden Maschineneinsatzzeit war eine Eisenabsetzmulde gefüllt und der Versuch wurde mit positivem Abschluss beendet. Anzumerken wäre noch, dass es unabdingbar ist, das Material händisch auf Sichtkontrolle nachzusortieren, um die geforderten normativen Materialqualitäten zu erreichen.

Die Materialien wurden auch materialtechnologisch überprüft und es wurden Probenahmen durchgeführt. Das Probenahmeprotokoll und die Siebkurve können nachfolgend (Abbildungen 24 und 25) eingesehen werden. Des Weiteren zeigt Abbildung 26 Mischabbruchgranulat 0/60 mm vom ersten Aufbereitungsversuch.

Materialprüfung - Korngrößenverteilung/Siebverfahren

Sieb (mm)	Rückstand (g)
63	Ø
31.5	3448
16	3427
11.2	1035
8	765
6.3	441
4	619
2	537
1	517
0.5	458
0.25	342
0.125	255
0.063	52
< 0.02	
Total	

		Uhrzeit/Sonstiges
Materialbezeichnung:	MISCHABBRUCHGR. 0/63	
Materialprobe entnommen am:	24.09.2007	
Entnahmeort:	DKPOT	
Prüfdatum/Labor:	25.09.	
Behälter (Tara):	/	
Material nass:	/	
Material trocken:	/	

Laborant: SCHMID RAMOS

FREMDSTOFFE 40g

Faustregel: Grösse in mm x 2 / 10 = kg zum Messen
 Probeentnahme: diagonal vom Haufen, ...

Wido Meier Anstalt Kies Schotter Recycling

Abbildung 24: Probenahmeprotokoll Mischabbruchgranulat 0/63 mm

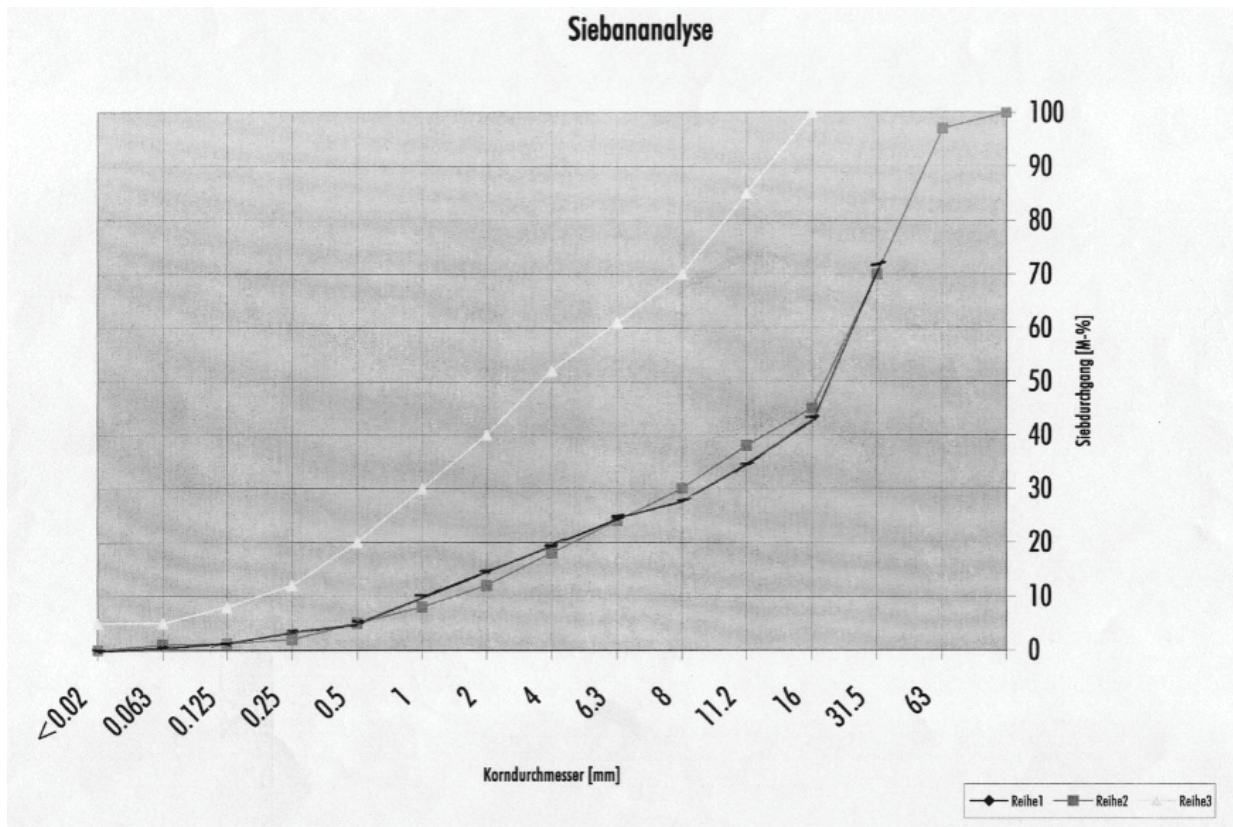


Abbildung 25: Korngrößenverteilung des Mischabbruchgranulates 0/60 mm



Abbildung 26: Mischabbruchgranulat 0/60 mm

- **Versuch 2:**

Am 7. September 2007 wurde ein erneuter Aufbereitungsversuch durchgeführt, wobei hier anstatt des 0-60 mm Siebes ein 0-80 mm Sieb eingebaut wurde. Das Wechseln des Siebes,

welches dreigeteilt ist, dauert ungefähr eine Stunde. Dazu hat man das Rückführband eingeklappt, sodass das gesamte Überkorn nochmals durch den Brecher geführt werden muss.

Ein Nachteil war, dass die im Kreis geführten Kunststoffe, welche immer wieder durch den Brecher mussten, im Sieb nicht durchfielen, sich anhäuferten und so den Aufbereitungsprozess sehr störten. Die Holzabfälle, welche bei diesem Material sehr häufig vorkamen, wurden in der Prallmühle durch die ständige Kreislaufführung kleingeteilt und wurden dann durch das Austragsband 0-80 mm in das Mischabbruchgranulat 0-80 mm ausgetragen. So musste man nach einiger Zeit umstellen, und das Überkornband schwenken.

Im Vergleich zum Mischabbruchgranulat 0-60 mm war dieses Material teilweise sehr durch Fremdstoffe verschmutzt und so war sehr viel händische Klubarbeit nötig, um die Qualitätsansprüche zu erreichen.

Sortiert wurde einfach mit Plastikkübeln. Doch mit zwei Maschinenführern, zuständig für Bagger, Prallmühle und Radlader, kann man niemals den Großteil dieser Fremdstoffe ausscheiden, was zu Qualitätseinbußen führt und oft auch der Grund ist, dass ein derart verschmutztes Material nicht verkauft werden kann.

Der Durchsatz war beim Versuch zwei relativ hoch. In der Zwischenzeit wurde am Austragsband für die Fraktion 0-80 mm eine Waage eingebaut, welche die Tonnage am Band wog. Ein Problem ist, dass die vorabgesiebten Fraktionen mit dieser Waage nicht erfasst werden können und die Gesamtmenge eigentlich nur geschätzt werden konnte. Zudem waren in jenem Material sehr viele Strohmatteenteile, eventuell von Dämmungen alter Häuser und Heraklithfäden. Diese Fremdstoffe sind fast alle durch das Vorsieb über das Vorabsiebband in das Feinmaterial 0-30 mm ausgetragen worden, was hierbei kein Problem ist, da dies bei der nachfolgenden Nassaufbereitung in RC Splitt und RC Sand leicht herausgeschieden werden kann. Die Gesamtmenge an der Wiegeeinrichtung betrug 270 t in vier Stunden inklusive Maschinenstopp bzw. händische Nachsortierungszeit. So kann die Gesamtmenge auf ungefähr 450 t geschätzt werden.

Die Probenahme erfolgte am 24.09.2007 ab Depot Mischabbruchgranulat 0/63. Die Probenahme wurde durchgeführt und das Material dann nach einer Trocknung abgesiebt. Das Probenahmeprotokoll sowie die Kornverteilungskurve kann folgend eingesehen werden (Abbildungen 27 bzw. 28).

Materialprüfung - Korngrößenverteilung/Siebverfahren

Sieb (mm)	Rückstand (g)
80	8
63	808
31.5	6037
16	2345
11.2	815
8	583
6.3	466
4	270
2	393
1	301
0.5	383
0.25	173
0.125	84
0.063	
< 0.02	
Total	
	Uhrzeit/Sonstiges
Materialbezeichnung:	MISCHABBRUCHGP. 0/80
Materialprobe entnommen am:	24.09.2007
Entnahmeort:	DEPOT
Prüfdatum/Labor:	25.09.2007
Behälter (Tara):	
Material nass:	
Material trocken:	
Laborant:	SCHMID/RAMOS
<p style="font-size: 1.2em; margin: 0;">FREMDEST. <u>100g</u></p>	

Faustregel: Grösse in mm x 2 / 10 = kg zum Messen
 Probeentnahme: diagonal vom Haufen, ...

Wido Meier Anstalt Kies Schotter Recycling

Abbildung 27: Probenahmeprotokoll Mischabbruchgranulat 0/80 mm

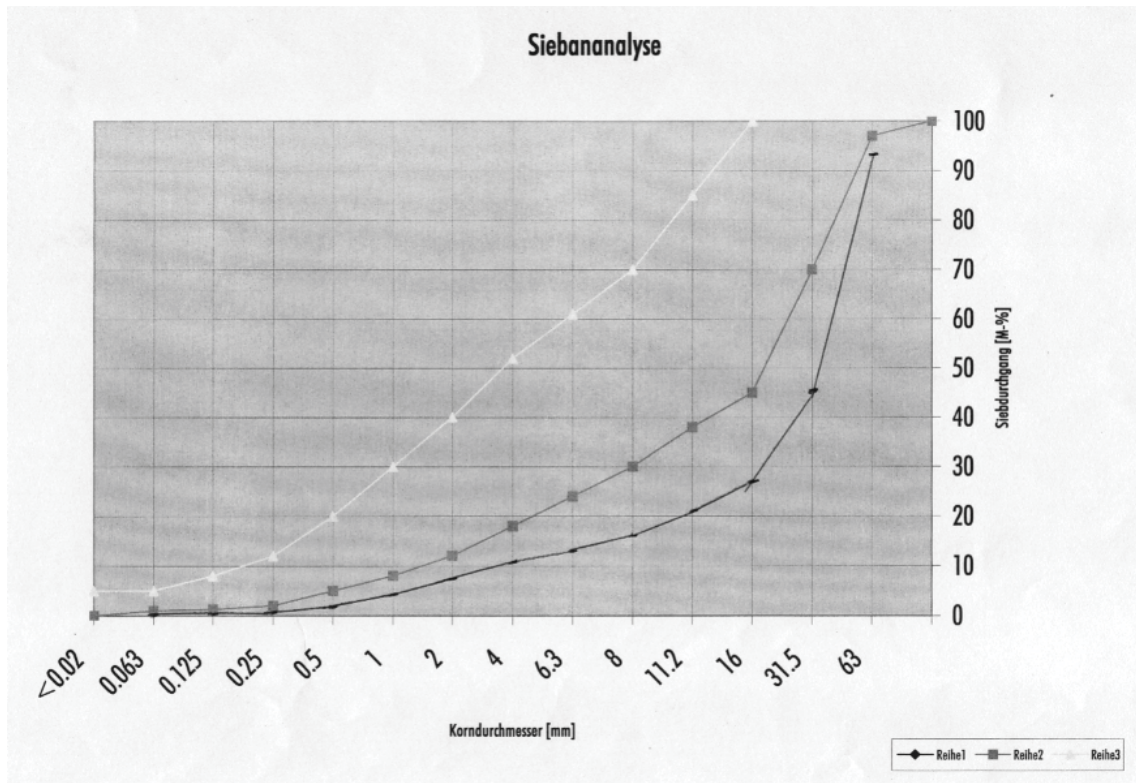


Abbildung 28: Korngrößenverteilung 0/80 mm

- **Sortierkabine**

Um die Ansprüche an Recyclingprodukte zu erreichen, sollte eine nachfolgende Sortierung angeschlossen werden. Am Markt sind mehrere Systeme erhältlich, doch sollte man sich hier überlegen, eine flexible Lösung zur schnellen Überstellung zu installieren. Denn das händische Klauen der Maschinenführer während dem Betrieb kann niemals die Qualitätsansprüche an ein solches Material erlauben. Da die Nachsiebanlage der Prallmühle schon hakenabrollsystemmobil aufgebaut ist, wäre es zu überlegen ein derartiges System, wie es sich am Markt schon längere Zeit bewährt hat, zu installieren [9].

Eine Möglichkeit wäre z.B. eine Container-Handsortieranlage, welche klein, kompakt und auf einen Abrollrahmen montiert ist zu verwenden. Dieses System könnte auch für andere Sortierarbeiten, z.B. direkt auf der Baustelle für kontrollierten Rückbau eingesetzt werden, um die Feinfraktionen von den Grobfraktionen schon direkt an Ort und Stelle zu trennen, da bei diesem Gerät ein Fingersieb oder Lochblech für Körnungen von 20-90 mm eingebaut werden kann. Dies wäre auch schon deswegen ein Vorteil, um mehr Durchsatz in der Sortieranlage erreichen zu können, da man die Feinfraktionen bezüglich Verschleißerscheinungen nicht in die Prallmühle einträgt bzw. die Feinfraktionen am Ende des Aufbereitungsprozesses gezielt steuern kann. Zudem erzeugt der Prallbrecher einiges an Feinkorn bei der Zerkleinerung, welches sonst mengenmäßig zu viel im Produkt, z.B. im Mischabbruchgranulat, anfällt [9].

Nachfolgende Abbildung 29 zeigt das System im Einsatz. Unter dem Aufgabetrichter ist das Hauptaustragsband zu sehen, welches auf die rechte Seite ragt, auf der linken Seite das Feinkornband, welches nach Option auch blindgeschaltet werden kann. Auf der Seite sind jeweils zwei Trittroste für das Bedienpersonal zu sehen [9].



Abbildung 29: Container Handsortieranlage bei der Papiersortierung [9]

Eine weitere Abbildung 30 zeigt die verladene Handsortieranlage auf einem Hakenabrollfahrzeug.



Abbildung 30: Handsortieranlage am LKW [9]

Bei diesem Thema ist aber auch auf das Merkblatt des Fachverbandes Schweizer Kies- und Betonwerke zu verweisen. Hier werden einige Maßnahmen für den Arbeitnehmerschutz angesprochen, wie z.B. Schutzimpfungen, persönliche Schutzausrüstung, usw. [10].

- **Schlussbemerkung**

Beim Verkauf des Mischabbruchgranulates ist die Überzeugungsarbeit noch sehr wichtig, damit die Akzeptanz für diese Produkt steigt, da viele potentielle Abnehmer noch nicht sehr von diesem Produkt überzeugt sind. Bei der Wido Meier Anstalt wurde gerade im September ein großer Auftrag mit diesem Produkt ausgeführt. Nach einem Hausabbruch bei der Firma Ivoclar Dental wurde der Mischabbruch bei der Firma Wido Meier zwischengelagert und als Gegentransport, um Leerfahrten mit dem LKW zu vermeiden, Mischabbruchgranulat zur Baustelle transportiert. Hier wurde richtiges Recycling im Gegenlauf gemacht.

- **Weiterverwendung von ausgeschiedenen Stoffen**

Es wird in den darauffolgenden Punkten genauer auf die Abfallfraktionen und deren weitere Verwertung bzw. Entsorgung eingegangen. Neben den Abfallfraktionen sind die jeweiligen Abfallnummern, wie sie in der Schweiz gültig sind, angeführt.

- **Sperrmüll (Kehrricht) (20 03 07)**

Unter dieser Fraktion fallen Teppichreste, Dämmmaterialien, Folien, Flaschen, etc. Momentan wird das gesamte Material in einer Absetzmulde gesammelt und zur Kehrrichtverbrennungsanlage nach Buchs geliefert. Für die Mulde werden ein Tonnenpreis und ein Pauschalabholpreis verrechnet. Die Mulden sind Eigentum der Wido Meier Anstalt. Die folgende Abbildung 31 zeigt eine Absetzmulde mit Baustellenabfall (Kehrricht):



Abbildung 31: Kehrricht

- **Eisenschrott (19 10 01)**

Der Eisenschrott (vgl. Abbildung 32) wird direkt zum Schrotthändler geliefert und dort mittels Schrottschere stückig gemacht und der Wiederverwertung zugeführt. Diese Fraktion ist von der Marktsituation des Schrottpreises abhängig, sollte aber im schlechtesten Fall kostenlos entleert werden können.



Abbildung 32: Eisenschrott

- **Altholz (17 02 01)**

Da sehr viel Altholz anfällt, wäre zu überlegen, dieses Material einer separaten Weiterverwertung zuzuführen. Das Holz ist eigentlich nur unbehandeltes Altholz von Schalungen bzw. Zwischentrabeböden. Man könnte dieses Holz mit einer kleinen Shredderanlage in Hackgut weiterverarbeiten oder als getrennte Fraktion sammeln und verbrennen, da der Holzanteil bis jetzt im Baustellenabfall sehr viel Platz benötigt. Vielleicht wird die Hackgutfeuerung auch in Liechtenstein einmal ein Thema.

Zur Holzaufbereitung könnte eine Einwellenzerkleinerungsanlage eingesetzt werden, um Hackgut für Kleinfeuerungsanlagen herzustellen. Grobzerkleinerung könnte mittels Schneckenverdichter, z.B. für Industriehackgut, etc. geschehen. Außerdem wäre eine Volumsminimierung um Transporte zu sparen auch für den Baustellenabfall geeignet. Diese Schnecke bricht sogar Palettenholz zusammen.

- **Weiterverwendung des Überkorns größer 60 bzw. 80 mm**

Das Überkorn wird entweder nach erfolgter Handverlesung nochmals auf der Anlage aufgegeben bzw. als Sickergeröll verkauft. Die Entscheidung hängt von den Anteilen der verschiedenen Korngemische im Überkorn ab.

- **Weiterverarbeitung von vorabgesiebttem Material 0-30 mm**

Hier wird folgend auf die Weiterverwendung des vorabgesiebten Materials eingegangen. Das meist mit Dämmstoffresten (z.B. Heraklith oder Styropor) verunreinigte Material muss einem weiteren Aufbereitungsschritt zugeführt werden, um die optisch sichtbaren Störstoffe zu entfernen.

- **Recyclingsplitt**

Der RC Splitt wurde durch die Aufbereitungsanlage geschickt. Das Problem beim RC Material 0-30 mm ist, dass zu viele Feinanteile dabei sind und beim Waschvorgang sehr viel Sand entsteht. Aufgrund dieser Sandmenge kann die Pumpe des Vorzyklons derartige Sandmengen nicht mehr schlucken und verstopft. Darum hat man das RC-Material mit grobem Aushub am Dumper im Verhältnis 1:3 gemischt und so am Hauptaufgabebunker aufgegeben. Auch kann das Überkorn der mobilen Aufbereitungsanlage mit dem Feinkorn vermischt werden und nach erfolgter Handverlesung aufgegeben werden.

- **Recyclingbrechsand**

Der Sand kann entweder separat gebunkert oder dem Material in verschiedenen Prozentsätzen zugegeben werden. Dieses Material könnte für die Betonherstellung vorteilhaft sein.

- **Aufbereitungskosten**

Ein weiterer Faktor ist, dass Recyclingbaustoffe zumindest billiger sein müssen als der Erstklasserohstoff. Dies ist ein großes Problem, da man bei stark verschmutzten Abfällen sehr viel Aufbereitungsaufwand hineinstecken muss, um die Reinheiten zu erfüllen, welche für diese Materialien erwünscht sind. Theoretisch kann man jede Verschmutzung entfernen, doch man muss die Wirtschaftlichkeit und die Kosten bzw. auch die Qualitätseinbußen miteinander vergleichen.

3.2.2 Recyclingbeton – Tiefbaubeton für minderwertige Anforderungen

In diesem Kapitel wird über die Anwendung von Recyclingbeton gesprochen, um den Stoffkreislauf zu schließen. Es wird grundsätzlich zwischen zwei Arten von Recyclingbeton unterschieden, zum Einen klassifizierter Recyclingbeton und zum Anderen nichtklassifizierter Recyclingbeton. Diese beiden Arten von Betonen werden nachfolgend noch weiter unterschieden [4, S. 393].

- **Situation in der Schweiz**

Recyclingbeton kann grundsätzlich aus Mischabbruchgranulat oder Betongranulat hergestellt werden. Das große Problem ist hierbei immer die Herkunft und die Zusammensetzung des Materials bzw. etwaige Kontaminationen. Daher ist es unabdingbar, dass schon bei der Eingangskontrolle eine genügende Güteüberwachung geschieht, damit die immer höher steigenden Güteanforderungen an mineralische Betonzuschlagkörnungen zu Genüge erfüllt

werden können. Im Kieswerk Meier geschieht dies an der Waage, was jedoch nicht immer zufriedenstellend durchgeführt wird.

Recyclingmaterialien können ohne kontrollierte Eigenschaften für mindere Betone verwendet werden, wie z.B. [11]:

- Unterlagsbeton/Sauberkeitsschicht
- Füllbeton
- Hüllbeton
- Böschungssicherung bei Baugruben

Natürlich will man immer mehr auch Betone für garantierte Qualitätseigenschaften aus Recyclingmaterialien verwenden. Öffentliche Bauträgergesellschaften fordern zunehmend Recyclingbetone auch als Konstruktionsbeton einzusetzen. Dem Einsatz von Recyclingbeton aus Mischgranulat bzw. Betongranulat steht einige Skepsis und Unsicherheit in materialtechnologischer und ingenieurstruktureller Hinsicht gegenüber [11].

Die nachfolgende Abbildung 33 zeigt, dass alleine in der Schweiz mit einem Anstieg von Betonabbruch um ca. 40 % und von Mischabbruch um ca. 30 % zu rechnen ist. Es werden enorme Mengen an diesen Stoffen erwartet, welche sinnvoll wieder in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden müssen, um Ressourcen zu sparen und daraufhingehend Deponievolumen so gering wie möglich zu halten [11].

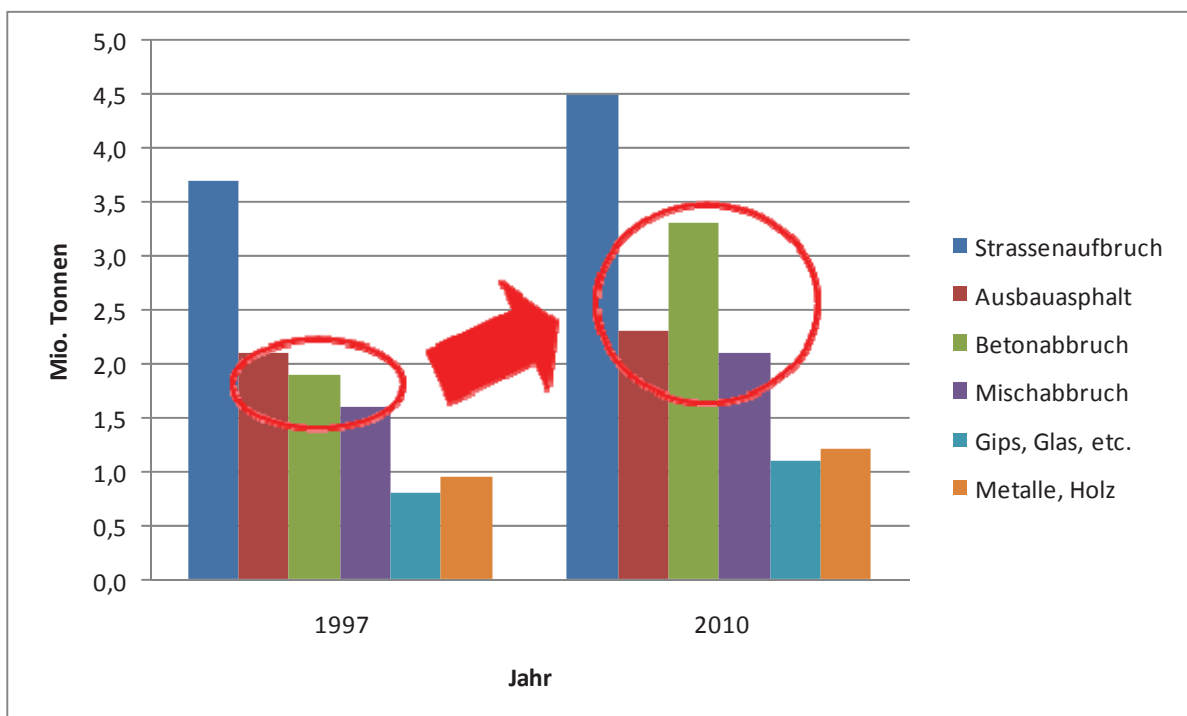


Abbildung 33: Mengenangaben der Bauabfälle für die gesamte Schweiz [11]

Normative Vorgaben erschweren weiters den Einsatz von Recyclingbeton. So empfiehlt die Schweizer Norm SIA 162/4, Recyclingmaterial mit einem Anteil an Mischabbruch (Backstein, Ziegelschrot, Kalksandstein usw.) grösser als drei Massenprozent nur als Gesteinskörnung für nicht klassifizierten Beton einzusetzen [12].

Die Verfügbarkeit der Baurohstoffe ist zurzeit sehr hoch und deshalb wird in der momentanen Situation der Einsatz von Recyclingbaustoffen gering sein, da die Rohstoffe z.B. aus dem Ausland billig zugekarrt werden können.

- **Was ist Recyclingbeton**

Wie oben schon erwähnt, wird Recyclingbeton aus Betongranulat bzw. Mischabbruchgranulat oder auch mit Material aus der Bodenwäsche hergestellt. Betongranulat wird aus mindestens 95 % aus Kies-Sand und Betonabbruch, Mischabbruchgranulat aus einem Gemisch von Betongranulat, Backsteinschrot, Ziegelschrot und künstlichem Kalksandstein produziert [12].

Beim Material aus der Bodenwäsche wird Bodenaushub (Kies-Sand) durch eine physikalisch chemische Aufbereitung hergestellt. Dieses Material ist mit einem Erstklassenmaterial (Primärmaterial) vergleichbar [12].

Die Schweizer Norm SN EN 206-1 bezeichnet Betone als Recyclingbetone, wenn der Beton mindestens aus 25 Massenprozent aus Betongranulat bzw. Mischabbruchgranulat besteht. Dies ist im Sinne der BUWAL-Richtlinie von 1997 für die Verwertung von mineralischen Bauabfällen [12].

Für die Herstellung von Recyclingbeton benötigt man die technologischen Eigenschaften eines Granulates, was durch die unterschiedliche Herkunft sehr variieren kann. Die Haupteinflussfaktoren auf das Granulat sind wie eben schon gesagt die Herkunft des Abbruchmaterials (z.B. Hoch-, Tief- bzw. Ingenieurbauwerke) und der Aufbereitungsprozess (trocken bzw. nass) [12].

Die nachfolgende Abbildung 34 zeigt einige Probenzusammensetzungen und daraus resultierende Schwankungen in den Proben.

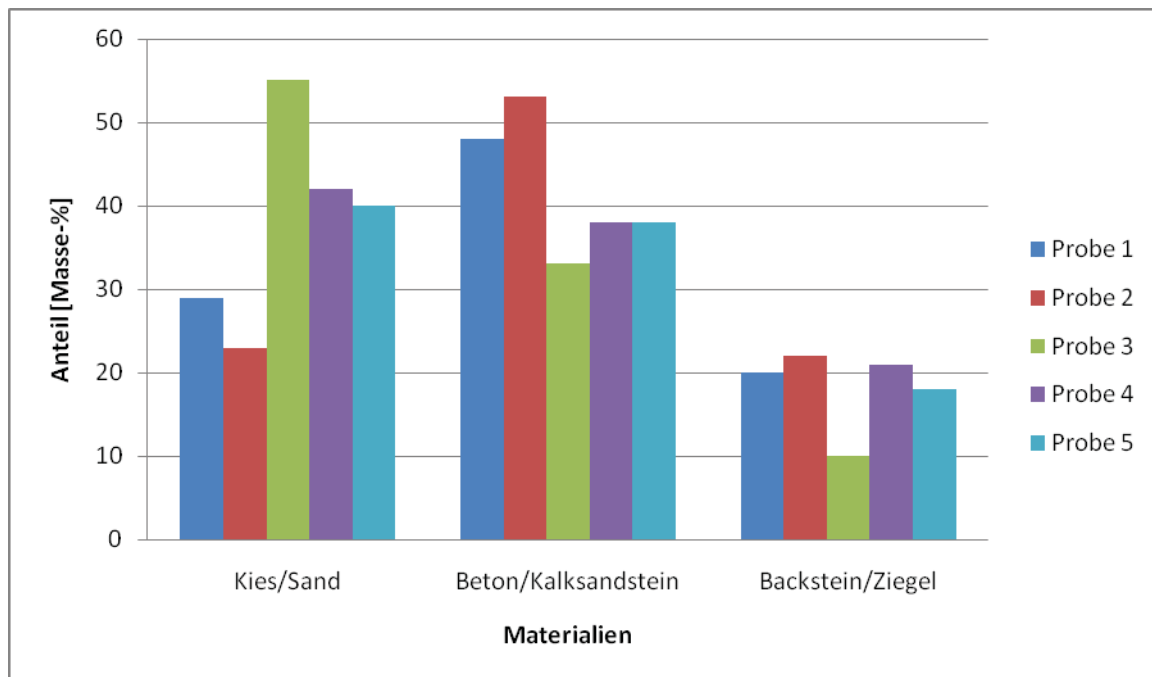


Abbildung 34: Schwankungen in der stofflichen Zusammensetzung von Mischabbruch [11]

Es ist daher eine hohe Varianz (Streuung) bei den Betoneigenschaften gegeben. Diese Schwankungen beeinflussen die Frisch- und Festbetoneigenschaften.

Durch die Art des Aufbereitungsprozesses des Materials werden die Kornform und die Korngrößenverteilung immens beeinflusst. Kies-Sand Primärrohstoff hat einen hohen Anteil an kubischen Körnern mit gerundeter Oberfläche. Recyclinggranulate haben einen hohen Anteil an nichtkubischen Körnern mit kantiger Oberfläche, was sich auf den Hohlraumgehalt in loser Schüttung des Materials auswirkt, welcher mit 36-40 Vol.-% wesentlich höher ist als ein natürlicher Kies-Sand z.B. aus dem Schweizer Mittelland (ca. 24-27 Vol.-%) [4, S. 394].

Durch den höheren Hohlraumgehalt wegen der hohen Porosität wird für den Beton ein höherer Zement- und Wasseranteil benötigt, der über die Rohdichte des Ausgangsgranulats sehr einfach bestimmt werden kann (Rohdichte klein, mehr Wasser wird benötigt) [4, S. 394].

- **Klassifizierter Recyclingbeton**

Gemäß der SIA Norm 162/4 wird klassifizierter Recyclingbeton aus Betongranulat mit oder ohne Zusatz von natürlichen Zuschlägen hergestellt. Die Eigenschaften wurden in einigen Laborversuchen geprüft. Es sind einige Qualitätseinbußen von Recyclingbetonen gegenüber Normalbeton zu erwarten, da sehr hohe Anteile an Feinstmörtel der Fraktion 0-4 mm enthalten sind. Natürliche Zuschlagstoffe weisen geringere Porositäten, ein höheres spezifisches Gewicht und höhere Widerstandsfähigkeiten gegenüber mechanischen Einwirkungen auf (Druck, Bruch, Abrieb). Diese Unterschiede können durch Substitution des Anteils von 0-4 mm durch Natursand 0-4 mm stark vermindert werden. Die nachfolgende Abbildung 35 zeigt die Eigenschaften von Normalbeton und klassifiziertem Recyclingbeton. Hierbei sind in verschiedenen Bereichen einige Qualitätseinbußen zu erwarten, doch

können durch den schon vorher angesprochenen Einsatz von Natursand 0-4 mm diese negativen Eigenschaften stark vermindert werden. Die Druckfestigkeit des Recyclingbetons ist aufgrund des Mörtelbestandteils des Betongranulates geringer als beim vergleichbaren Beton mit Normalzuschlag. Das Formänderungsverhalten ist aufgrund der erhöhten Feinstmörtelmenge im Granulat und der etwas höheren Zementleimenge in Bezug auf das Kriech- und Schwindverhalten deutlich zunehmend. Der Elastizitätsmodul (E-Modul) von Recyclingbeton ist tiefer und ist von den E-Modulen des Feinstmörtels und der Körnung 4-32 mm abhängig [4, S. 393].

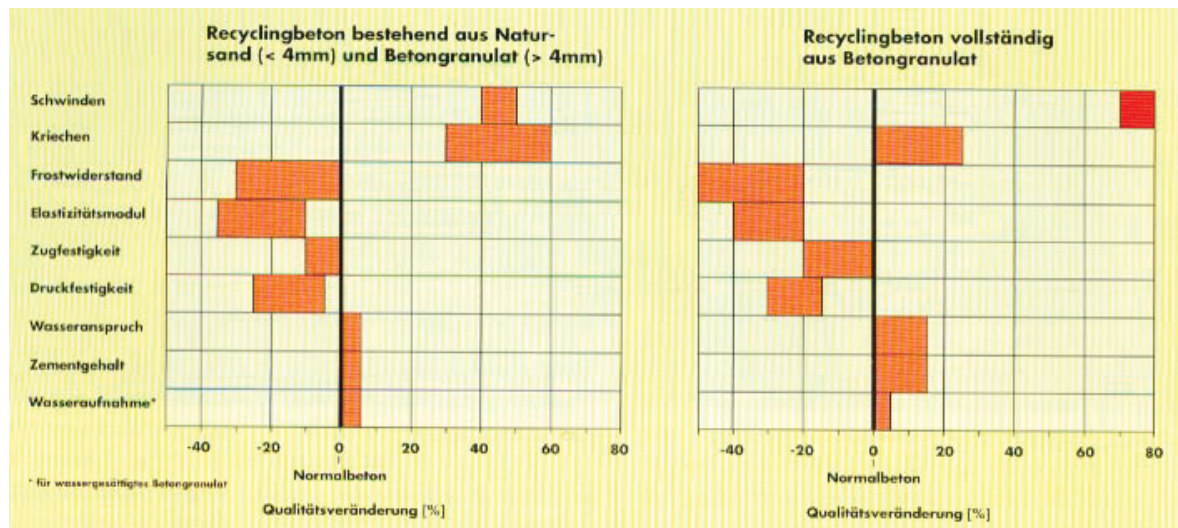


Abbildung 35: Qualitätseinbußen von Recyclingbeton gegenüber Normalbeton [4, S. 394]

Klassifizierter Recyclingbeton wird bei Anforderungen, bei denen hohe Festigkeiten oder besondere Eigenschaften zu erfüllen sind, ohne Zugabe von natürlichen Zuschlagstoffen und besonderen Rezepturen nur schwer zu erfüllen. Es sind für den industriellen Einsatz eines solchen Betones sehr viele Laborversuche notwendig [4, S. 394].

- **Nichtklassifizierter Recyclingbeton**

Bei dieser Art des Recyclingbetons werden keine besonderen Qualitätseigenschaften verlangt. Das anfallende Betongranulat kann ohne entsprechende Aufbereitung und Ersatz von Feinanteilen verwendet werden. Diese Betone werden beispielsweise als Unterlagsbeton, Sauberkeitsschichten, Füll- und Hüllbeton, Überbeton oder Böschungssicherungen eingesetzt. Die folgenden Kapitel gehen auf den speziellen Einsatz von Recyclingbeton aus Mischabbruchgranulat ein und es wurde dazu auch ein Recyclingbetonversuch durchgeführt.

- **Situation in Liechtenstein**

In Liechtenstein gibt es in der unmittelbaren Nähe vier Betonwerke, welche Erstklassebeton herstellen. Es ist nie darauf angedacht worden, derartigen Beton mittels Recyclingstoffen zu produzieren. Dies war auch der Grund, dass man kein Betonwerk gefunden hat, welches diesen Beton aus eigens hergestelltem Material gemischt hätte. Dennoch hat man sich

entschlossen das Recyclingbetonprojekt nicht aufzugeben, sondern den Beton selbst zu machen, um keinen Erstklassebeton nehmen zu müssen. Der Beton war für das Fundament des Wassersilos für die Erweiterung der Kläranlage vorgesehen. Aufgrund von Expertenmeinungen aus der Betonbranche sollte es möglich sein, dass wir den Beton in einem Betonmischwagen durch Zugabe der Komponenten herstellen könnten.

Es wurde aus diesem Grund eine Betonmischwagenverladung aus einem alten Aufgabebunker gebaut. Der Austrag wurde mit einem Förderband gestaltet, das direkt auf die Aufgaberinne des Mischwagens führte. Dies war die Grundlage für die ersten Betonversuche. Die Wiegung des Materials erfolgte mittels kleiner Radladerschaufel über die Brückenwaage und der Zement wurde sackweise direkt auf das Förderband gegeben. Die beiden Komponenten wurden in der Trommel vermischt und das Wasser mittels Durchflusszähler aus dem Wasserwerk genau, nach errechnetem W/Z-Wert. Dies war vielleicht ein höherer Aufwand als gleich einen Erstklassebeton zu nehmen, natürlich ist auch die Mischungsqualität nicht so hoch wie bei einem stationären Betonwerk, doch der Erfolg lässt sich zeigen. Man hat das auch deswegen getestet, da RC-Beton sicherlich nur für geringere Anforderungen verwendet werden kann und die Mischungsqualität nicht aufs Gramm passen muss; man denke z.B. an Beton zum Einbetten eines Rohres, wie nachfolgend gezeigt wird. Doch darf man sich auch nicht mit minderwertigen Anwendungen für RC-Beton zufrieden stellen, sondern muss Möglichkeiten und Anwendungen für derartige Betone schaffen bzw. ausprobieren.

- **Anforderungen an Körnungen als Betonzuschlag**

Das Grundgerüst für die Herstellung von Betonen bilden die Gesteinskörnungen. Mengenmäßig bilden diese den Hauptanteil des Betons. Die Gesteinskörnungen bestimmen in geringem Maße die Eigenschaften des Betons, allerdings nicht so stark, wie man aufgrund des Volumenanteils im Beton annehmen würde [12].

Im Folgenden werden ein paar Eigenschaften genannt [12]:

- Festigkeit des einzelnen Kornes
- Oberflächenbeschaffenheit und Geometrie
- Rohdichte
- Witterungsbeständigkeit
- Mineralogische und chemische Beschaffenheit
- Korngrößenverteilung
- Gehalt an Verunreinigungen

Die nachfolgende Abbildung zeigt einige geometrische Eigenschaften der Gesteinskörnungen, wie Kornform, Kantigkeit und Oberflächenbeschaffenheit.

Geometrische Eigenschaften

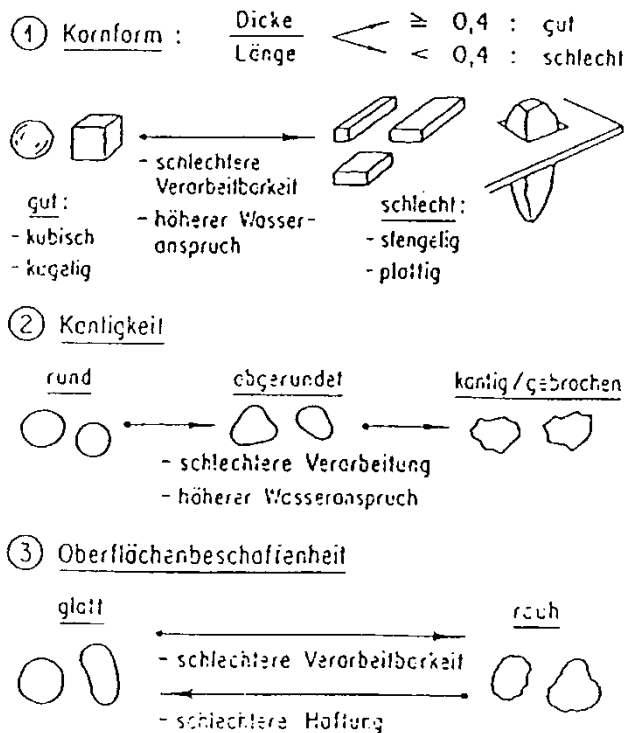


Abbildung 36: Geometrische Eigenschaften von Körnern [12]

o **Kornzusammensetzung**

Laut der SN EN 12620, welche integrierender Bestandteil der SN EN 206-1 ist, unterscheidet man in der Praxis vier Gesteinskörnungen [12]:

- Grobe Gesteinskörnung
- Feine Gesteinskörnung
- Natürlich zusammengesetzte Gesteinskörnung 0/8 mm
- Korngemisch

Die Gesteinskörnungen werden mit der Bezeichnung d/D beschrieben, wobei d der kleinste Durchmesser und D der größte Durchmesser [mm] ist. Das Verhältnis von D/d muss immer größer gleich 1,4 sein [12].

o **Körnungsziffer**

Mit der Körnungsziffer erfasst man die Kornabstufung bzw. den Feinheitsgrad einer Gesteinskörnung rational. So kann man bei der Berechnung die Korngrößenverteilung in die Berechnung miteinbeziehen. Die Körnungsziffer einer Kornverteilung wird durch Addition der prozentualen Rückstände auf den Sieben im Bereich von 0,25 bis 63 mm und Division der gebildeten Summe durch 100 errechnet [12].

Die nachfolgende Abbildung 37 zeigt ein Beispiel zur Bildung der Körnungsziffer einer Korngrößenverteilung.

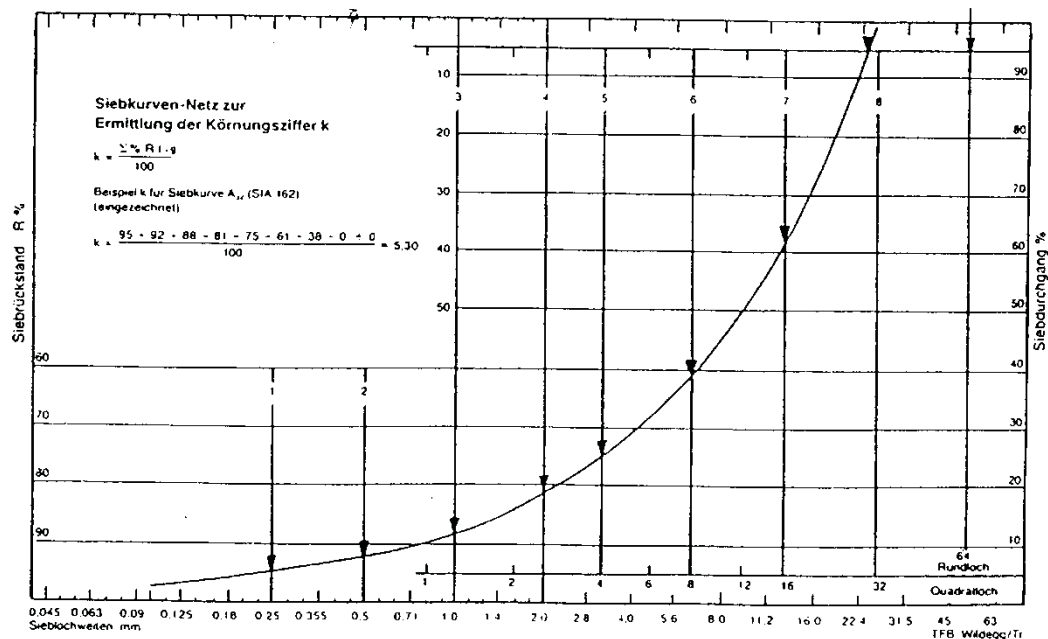


Abbildung 37: Bestimmung der Körnungsziffer [12]

Die spezifische Oberfläche nimmt bei feiner werdenden Körnungen zu und somit steigt auch der Wasseranspruch einer Körnung. Die Körnung lenkt den gesamten Weg des Betons bis zum Einbau und eventuellen späteren Problemen [12].

○ Mehlkorn und Feinstsand

Der Kornanteil unter 0,125 mm wird mit dem Zement zusammen und etwaigen anderen Zusatzstoffen als Mehlkorn bezeichnet. Das Mehlkorn wirkt im frischen Beton als Schmiermittel und ist für die Verarbeitbarkeit eines Betons von besonderer Bedeutung. Andererseits erhöht sich bei zu hohem Gehalt an Mehlkorn der Wasseranspruch der Mischung [12].

Nachfolgende Tabelle 4 zeigt die Richtwerte für den Mehlkorngesamtgehalt in einer Gesteinskörnung in Abhängigkeit des Größtkorns. Die Zementzugabewerte für diese Tabelle gehen von etwa 300 kg/m³ aus. Geht die verwendete Zementmenge darüber hinaus, muss man den Mehlkorngesamtgehalt auch entsprechend erhöhen [12].

Der Feinstsand bezeichnet die Körnungen von 0,125 bis 0,250 mm. Es muss hier beachtet werden, dass viele Sandvorkommen gerade in diesem Bereich einen hohen Anteil aufweisen, jedoch im Mehlkornbereich keine bzw. wenig Komponenten aufweisen [12].

○ Prüfung der Korngrößenverteilung Schulungszentrum TFB Veranstaltung 4231/32 Referat 3

Probenahme:

Die Probenahme ist in der Norm SIA 162/1 Betonbauten/Materialprüfung näher beschrieben. Eine repräsentative Probenahme ist für ein aussagekräftiges Ergebnis von größter Wichtigkeit [12].

Begriffsbestimmungen [12]:

Die Einzelprobe ist die aus dem zu beurteilenden Material entnommene einzelne Probe. Die Einzelproben dürfen die folgende Mindestmasse nicht unterschreiten (siehe Tabelle 5):

Tabelle 5: Korndurchmesser zu Probemenge

Maximaler Korndurchmesser der Zuschläge [mm]	8	16	32	63
Minimale Probemenge [kg]	2	5	15	25

Die Sammelprobe entsteht durch Vereinigung und gründliches Mischen der Einzelproben. Sie muss mindestens das 1,5-fache der für die vorgesehenen Prüfungen notwendigen Probemenge betragen. Als Laborprobe wird die an die Prüfstelle geschickte Materialprobe bezeichnet. Sie entspricht in der Regel der Sammelprobe. Die Analysenprobe ist die für eine Einzelprüfung erforderliche Probemenge. Sie wird durch Probenteilung im Labor hergestellt [12].

Probenahme ab Depot

Da Mineralstoffe sehr leicht zu Entmischungen neigen, liegen die größeren Komponenten aufgrund ihrer Dichte immer am Fuße eines Hafens. Deshalb müssen Einzelproben immer in verschiedenen Höhen gezogen werden, vorzugsweise bei einem Viertel, der Hälfte und drei Vierteln der Höhe entnommen werden [12].

Die nachfolgende Abbildung 38 zeigt die Probenahme ab Depot gemäß der Norm SN 670 800c:

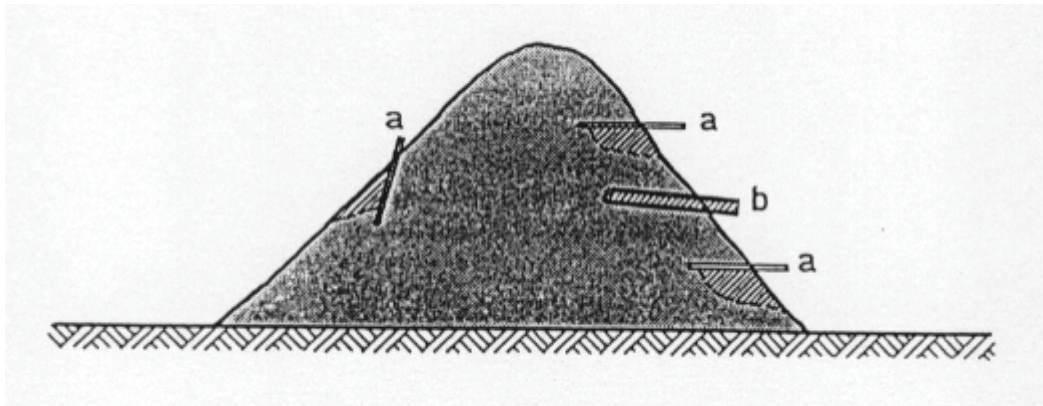


Abbildung 38: Probenahme ab Depot [12]

Probenahme ab Förderband

Die Probenahme ab Förderband funktioniert mittels Schablone. Nach dem Abschalten des Förderbandes wird eine Schablone aufgesetzt und mittels Schaufel und Besen das Material abgezogen. Dieser Vorgang wird mehrmals wiederholt [12].

Die nachfolgende Abbildung 39 gibt einen Einblick in die Probenahme ab Förderband.

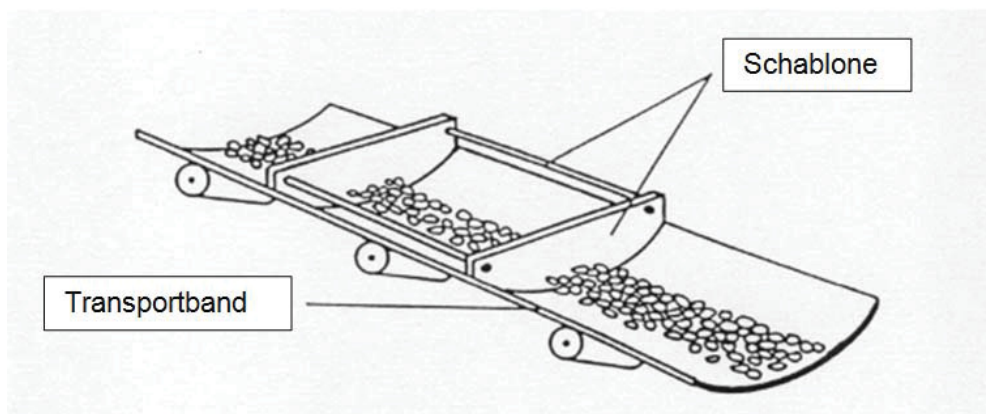


Abbildung 39: Probenahme ab Förderband [12]

Probenahme ab Lastwagen

Bei der Probenahme ab Lastwagen soll die Entnahme aufgrund der Entmischung während des Transportes entweder vor dem Beladen oder nach dem Entladen gezogen werden. Bei der ausnahmsweisen Entnahme von Proben ab Lastwagen soll wie folgt vorgegangen werden [12].

Bei Mineralstoffgemischen bis 11 mm oder Einzelkörnungen sind Einzelproben an fünf Stellen gemäss der nachfolgenden Abbildung zu ziehen und zu einer Sammelprobe zu vereinigen. Bei Mineralstoffgemischen bis 32 mm kann gleich vorgegangen werden, sofern das Material nicht entmischt erscheint. Bei gröberen Mineralstoffgemischen und entmischten Materialien ist eine Probenahme ab Lastwagen unzulässig [12].

Reduktion der Probemenge

Wenn die Sammelprobe auf ein gewünschtes Maß reduziert werden muss, ist die Viertelmethode gemäß Norm SN 670 800c anzuwenden. Die nachfolgende Abbildung 40 zeigt die schematische Darstellung des Vorgehens bei der Viertelmethode [12].

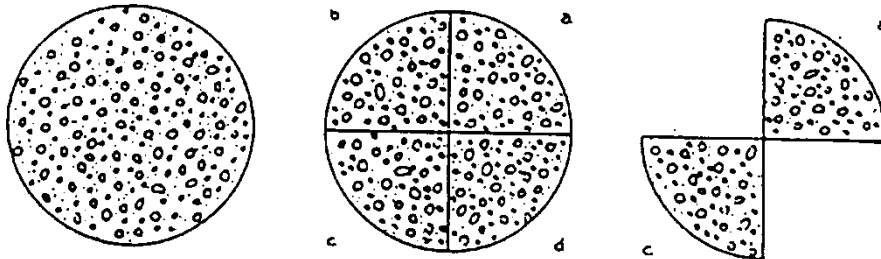


Abbildung 40: Schematische Darstellung der Viertelmethode

Probenbezeichnung

Für eine nachvollziehbare und unverwechselbare Probenahme müssen unbedingt folgende Angaben in Bezug auf die Probe gemacht werden [12]:

- Art der Probe
- Probenahmeort bzw. Entnahmestelle
- Datum und Zeit
- Probenehmer
- Vorgesehene Untersuchungen
- (Auftraggeber)

Wassergehalt

Der Wassergehalt einer Probe spielt eine bedeutende Rolle für die nachfolgende Betonqualität. Der Wassergehalt wird mit einer Menge von circa 200 mal dem Durchmesser des Größtkornes verwendet [12].

Diese Probemenge wird in ein Gefäß mit bekannter Masse gegeben und gewogen. Danach kann man das Gefäß in den Trockenschrank bei 110 °C stellen und so bis zur Gewichtskonstanz trocknen. Das Gefäß mit der Probe wird dann wieder gewogen. Nachfolgende Formel zeigt die Berechnung des Wassergehaltes [12].

WFeuchtmasse

W_d Trockenmasse

w.....Wassergehalt in % der Trockenmasse

- **Zusammenstellung von Gesteinskörnungen**

Bei der Zusammenstellung einer Gesteinskörnung ist es wichtig, dass eine möglichst hohe Packungsdichte erreicht wird, um so wenig wie möglich Zementleim zu verbrauchen. Hier muss man ebenfalls Kompromisse eingehen, da eine grobkörnige Gesteinskörnung schwer verarbeitbar ist, jedoch eine feinkörnige Gesteinskörnung mehr Zementleim aufgrund der spezifischen Oberfläche benötigt. Es muss daher immer wieder eine Kornzusammensetzung verändert werden, um die optimalen Werte zu erreichen. Die Sieblinienbereiche werden nach der SN EN 12620 vorgegeben. In der folgenden Abbildung 41 und der weiteren Tabelle 6 wird ein Beispiel von Siebkurven zu vier verschiedenen Kornklassen gegeben, welche in einer Summenkurve zusammengefasst werden können.

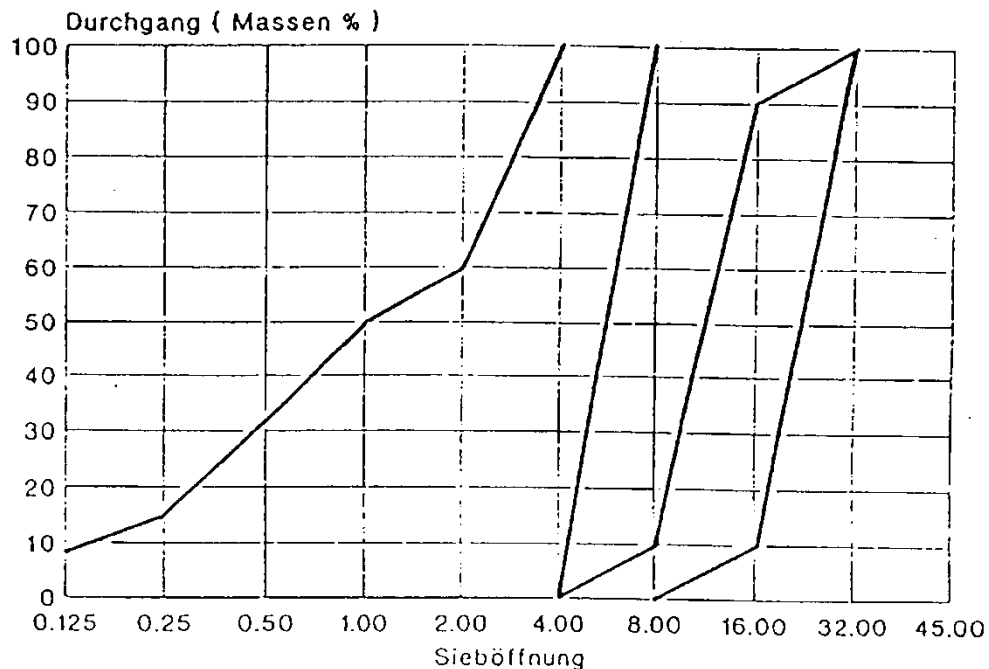


Abbildung 41: Sieblinien der Korngruppen 0/4, 4/8, 8/16/ 16/32 als Beispiel

Tabelle 6: Siebdurchgang [M-%] für die Sieblinien

Korngruppen	Siebdurchgänge [%] in Abhängigkeit der Sieböffnungen								
	0,125	0,25	0,50	1,0	2,0	4,0	8,0	16,0	32,0
0/4 mm	9	15	32	50	60	100	100	100	100
4/8 mm						0	100	100	100
8/16 mm						0	10	90	100
16/32 mm							0	10	100

- **Mischungsentwurf**

Für die Zusammensetzung eines Betons verwendet man die sogenannte Stoffraumrechnung, welche sich auf das Volumen eines Würfels mit 1 m³ bezieht. Für die Berechnung verwendet man die folgende Gleichung [12]:

$$Z/\rho_z + W/\rho_w + G/\rho_{RG} + F/\rho_f + P = 1000 \text{ [dm}^3\text{]} \quad [8]$$

Die verschiedenen Buchstaben bedeuten, wie folgt erklärt:

Z	Zementmenge [kg/m ³]
W	Wassermenge [kg/m ³]
G	Gesteinskörnung [kg/m ³]
F	Zusatzstoffmenge [kg/m ³]
P	Luftporengehalt oder –raum [dm ³ /m ³]
ρ_z	Dichte des Zementes [kg/dm ³]
ρ_w	Dichte des Wassers; Voraussetzung 1 [kg/dm ³]
ρ_{RG}	Kornrohdichte der Gesteinskörnung [kg/dm ³]
ρ_f	Dichte des Betonzusatzstoffes [kg/dm ³]

In der nachfolgenden Abbildung 42 werden die verschiedenen Stoffraumanteile in 1 m³ Beton schematisch dargestellt.

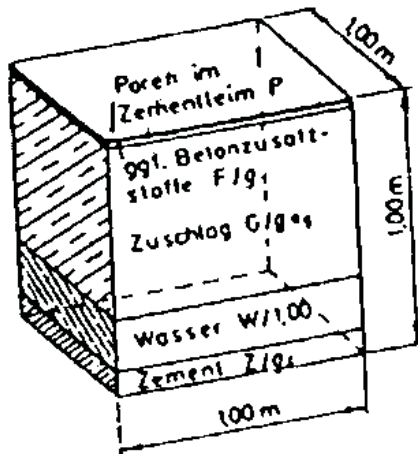


Abbildung 42: Schematische Darstellung der Stoffraumanteile in 1 m³ Beton [12]

Die nachfolgende Tabelle 7 zeigt Richtwerte für Ausgangsstoffe für den Mischungsentwurf. Dies dient nur zur Orientierung, um eine Abschätzung zu erhalten [12].

Tabelle 7: Richtwerte für Dichten der Ausgangsstoffe für den Mischungsentwurf

Dichte von Zement		[kg/dm³]
Portlandzement	CEM I	3,10
C₃A-armer Portlandzement (erhöhte Sulfatbeständigkeit)	(CEM I)	3,22
Portlandhüttenzement	CEM II/A ((B)-S)	3,04
Hochofenzement	CEM III	3,00
Puzzolanzement	CEM IV	2,93
Dichte von Betonzuschlagstoffen		[kg/dm³]
Steinkohlenflugasche		2,20 bis 2,70
Trass		2,30 bis 2,50
Quarzmehl		2,65
Kalksteinmehl		2,70 bis 2,90
Kornrohichte von Normalzuschlägen		[kg/dm³]
Kiessand		2,60 bis 2,70
Dichter Kalkstein		2,70 bis 2,80
Erstarrungsgesteine		2,60 bis 3,10

Aufgrund der SN EN 206-1 müssen Mindestanforderungen an Beton gestellt werden. Dies wird mithilfe der anschließend gezeigten Tabelle 8 durchgeführt.

Tabelle 8: Mindestanforderungen an Beton mit der Gesteinskörnung $D_{\max}32$

Anforderungen an	Expositionsklassen											
	Durch Karbonatisierung verursachte Korrosion				Durch nicht aus Meerwasser stammenden Chloride verursachte Korrosion				Frostangriff			
	XO	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4
Maximaler w/z-Wert [-]		0,65	0,65	0,60	0,50	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50	0,45
Mindestzementgehalt ^{a)} [kg/m ³]		280	280	280	300	300	300	320	300	300	300	340
Mindestluftgehalt [Vol.-%]											3 ^{b)}	
Prüfungen						SIA 262/1, Anhang A: Wasserleitfähigkeit				SIA 262/1, Anhang C Frost-Tausalz-Widerstand		
							SIA 262, Anhang B Chloridwiderstand					
Andere Anforderungen									SN EN 12620:2002 enthält Anforderungen an die Gesteinskörnungen			
Zulässige Zementarten ^{c)}	CEM I	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	CEM II/A-LL	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	CEM II/A-M (D-LL)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	CEM II/B-LL ^{d)}	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
	CEM II/A-D	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	CEM II/A-S	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	CEM III/A	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
	CEM III/B	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	CEM II/A-M (V-LL) ¹⁾	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	CEM II/B-M (V-LL) ¹⁾	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
CEM II/B-T	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	

- Ohne Anrechnung von Zusatzstoffen.
- Wird vom Ausschreibenden Beton ohne oder mit weniger künstlich eingeführten Luftporen bestellt, gelten bis auf den Mindestluftgehalt alle Anforderungen an die Zusammensetzung des Betons für die Expositionsklasse XF 4.
- „+“ bedeutet Verwendung zulässig; „-“ bedeutet Verwendung nicht zugelassen.
- Die Mindestzementgehalte sind um 20 kg/m³ zu erhöhen.
 - Hersteller: Holcim (Schweiz AG), gemäß Entscheid der S-Cert AG, Schweizerische Zertifizierungsstelle für Bauprodukte, vom 07.10.2005.
 - Hersteller: Holcim (Baden-Württemberg) GmbH, gemäß Entscheid der S-Cert AG, Schweizerische Zertifizierungsstelle für Bauprodukte, vom 07.10.2005.

• Recyclingbetonschotter aus Mischabbruchgranulat

Ein Grund zur Veranlassung dieses Projektes war auch die Akzeptanz von Recyclingstoffen zu steigern. Dies kann nur erreicht werden, wenn man selbst zu derartigen Materialien eine positive Einstellung mitbringt.

Im Zuge des Umbaus der Kläranlage bot sich dann eine hervorragende Gelegenheit, um einen eigenen Betonschotter zu produzieren und einzusetzen.

• Spezifische Rohdichte von Mischabbruchgranulatbetonschotter

Für den Mischungsentwurf bei der Betonherstellung ist es von großer Bedeutung die Rohdichte zu kennen, um ein korrektes Ergebnis zu bekommen. Eine weit verbreitete Methode zur Bestimmung der Rohdichte ist der Pyknometerversuch, bei dem einfach das verdunstete Wasser gewogen wird und über die Bedingung Dichte, Masse und Volumen

ermittelt werden kann. Von der technischen Universität Darmstadt wurde 1997 eine Trennapparatur zur schnellen Bestimmung der Rohdichte entwickelt. Diese Maschine kann bei der Betonherstellung zur chargenweisen Untersuchung der Rohdichte von Granulaten herangezogen werden [13].

Nach der Rohdichte unterscheidet man Schwerbeton (über $2,8 \text{ t/m}^3$), Normalbeton ($2,0$ - $2,8 \text{ t/m}^3$) für den Tief-, Wasser- und Hochbau sowie Leichtbeton (unter $2,0 \text{ t/m}^3$) mit hohem Gehalt an Luftporen, die durch leichte Zuschlagstoffe (Blähschiefer, -ton) eingebracht oder durch Gasblasen künstlich erzeugt werden [13].

Dies ist gerade beim Mischabbruchgranulat ein wichtiger Punkt, da hier die Abbruchbestandteile mit einer kleinen Rohdichte mehr Wasser saugen, welches für die Betonrezeptur berücksichtigt werden muss. Ausschließlich mit einer schnellen Methode (siehe Abbildung 43) wird es möglich sein, die Körnungsdichten einzustufen, um in Zukunft mehr Recyclingbaustoffe zu verwenden. Die Festigkeit einer Körnung mit hoher Rohdichte ist höher als einer Körnung mit geringer Rohdichte. Der Einfluss auf die Festigkeit kann aus dem Kapitel Einbau Setzmaschine entnommen werden, da hier verschiedenen Dichten aufgrund Abtrennung verändert werden können [13].

- **Apparatur zur Rohdichtentrennung**

Die nachfolgende Abbildung 43 zeigt die Apparatur zur Rohdichtentrennung. Wasser wird von einer Pumpe (1) durch ein Rohr mit Durchflussregulierung gepumpt (2), gelangt in ein Steigrohr und trifft auf eine Lochscheibe (4). Das Wasser wird über der Lochscheibe verwirbelt (5) und bekommt nach der Auflösung der Wirbel eine annähernd gleiche Strömungsgeschwindigkeit über dem Rohrquerschnitt. Nun wird durch den Einfülltrichter eine Fraktion eingefüllt. Es ist wichtig, dass lediglich Bestandteile einer Fraktion eingefüllt werden, damit die Apparatur nicht nur nach der Größe der Bestandteile trennt. Jetzt entscheidet sich (6), ob das Korn aufschwimmt und in das Sieb (7) gelangt, oder in der Apparatur verweilt. So können Proben in verschiedene Bereiche der Einzelrohddichten getrennt werden [13].

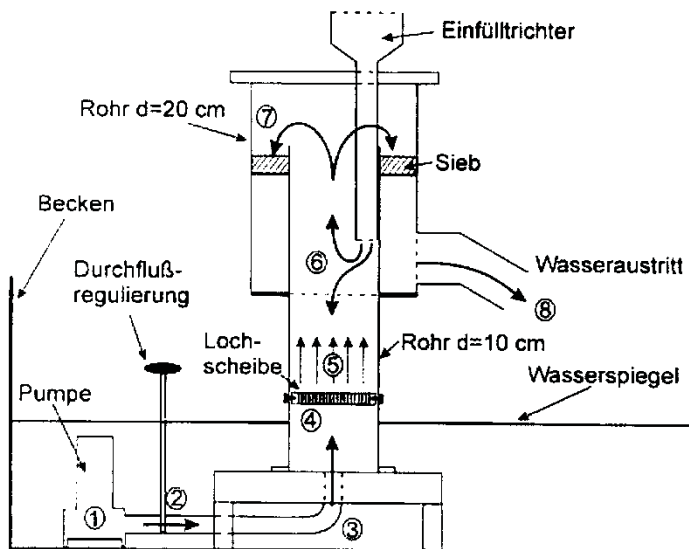


Abbildung 43: Apparatur zur Rohdichtentrennung [13]

Eine zusätzliche Abbildung 44 zeigt die Rohdichteschwankungen in Bezug auf die Rohdichte. Man sieht deutlich die unterschiedliche Zusammensetzung verschieden beprobter Recyclingzuschläge [13].

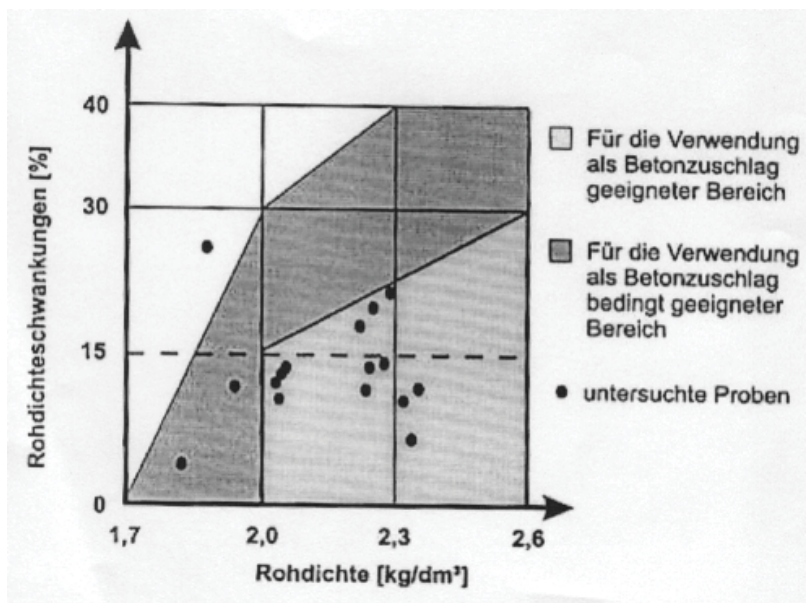


Abbildung 44: Beurteilung von Recyclingzuschlägen mittels Rohdichtentrennapparatur [13]

- **Mischvorgang im Transportbetonmischwagen**

Die Trockenverladung ist eine anerkannte Methode, um minderwertigere Betone herzustellen.

Bei der Trockenverladung werden die Gesteinskörnung, Zement und gegebenenfalls Zuschlagstoffe direkt in die Mischertrommel über den Einfüllstutzen eingefüllt. Das

Anmachwasser wird entweder direkt zugegeben oder über den fahrzeugseitigen Tank eingespeist. Die Dosierung erfolgt über Wasserdurchlaufzähler [12].

Nach der Schweizer Norm SN EN 206-1 bezeichnet man einen Betonmischwagen als ein Fahrzeug, auf dessen Fahrgestell eine Mischertrommel mit hydraulischem Eigenantrieb montiert ist. Der Mischwagen muss in der Lage sein, einen gleichmäßig gemischten Beton herzustellen und auszuliefern [12].

Im Prinzip ist der Fahrmischer ein Freifallmischer (siehe Abbildung 45), bei dem durch Einbauten in der Trommel das Material beim Drehen hochgehoben wird und durch die Schwerkraft wieder herunterfällt. Das Mischen ist während der Fahrt bei kleinerer Drehzahl, als auch auf der Baustelle bei hohen Drehzahlen möglich. Für untergeordnete Betonanwendungen genügt die Art der Trockenverladung, doch für hochqualifizierten Beton ist die Mischwirkung jedenfalls zu gering. Ein weiteres Problem ist die Mischzeit, da diese ohne Computer nicht genau feststellbar ist [12].



Abbildung 45: Fahrmischer

Fahrzeugeinsatz für Transportbeton

Für den Transport der Betone gibt es mehrere verschiedene Fahrzeugtypen, welche zum Einsatz kommen. In Ausnahmefällen oder für minderwertige Anwendungen wird Beton mit Kipperfahrzeugen oder Kleinfahrzeugen transportiert. Sonst kommt der Betonmischer oder ein Mulden bzw. Birnenaufbau zum Einsatz [12].

Muldenfahrzeuge sind viel flexibler einsetzbar, z.B. auch als Asphaltbirne. Doch gibt es Anwendungen, bei denen Betonmischer unbedingt zum Einsatz kommen müssen, wie z.B. [12]:

- Zusatzmittel werden erst auf der Baustelle zugegeben
- Lange Transportzeiten, speziell bei warmem Wetter
- Transport eines entmischungsgefährdeten Betons

Ein weiterer Vorteil für Muldenfahrzeuge ist auch, dass der Beton sehr schnell im Werk verladen werden kann, was beim Betonmischer einige Zeit in Anspruch nimmt. Jedoch kommt in der heutigen Zeit immer mehr der Betonmischer mit Rührwerk als Transportmedium zum Einsatz. Zudem wird zunehmend der Beton auf der Baustelle mittels Krankübeln oder Pumpen weiter umgeschlagen und dann eingebaut [12].

Bezugnehmend auf die gültigen Gesamtgewichte in der Schweiz, welche auf die EU-Gewichte angeglichen wurden, lassen sich mit Vierachsfahrzeugen Maximalgewichte von 32 t und bei Fünfachfahrzeugen von 40 t erreichen. Dies ist bei der optimalsten Ausnutzung der Gewichte etwa 9 m³ pro Fuhre [12].

Außerdem dürfen bestimmte Betone laut der Schweizer Norm SN EN 206-1 nur mit Mischfahrzeugen mit Rührwerk transportiert werden. Bei der Reinigung ist der Mischwagen etwas problematischer als das Muldenfahrzeug. In den Mischfahrzeugen bleiben etwa 0,25 m³ Beton haften, bei Muldenfahrzeugen etwa 0,05 m³. Mischfahrzeuge mit Rührwerken benötigen für die Reinigung etwa 600 bis 800 Liter Wasser. Danach muss die Trommel mit dem Waschwasser 5 Minuten rotieren. Nach der Entleerung kann die eigentliche Reinigung mit einem Hochdruckreiniger erfolgen [12].

- **Recyclingbetonversuch für nichtklassifizierten Beton**

Am Montag den 10. September hat man die Betonplatte für den Wassertank neu betoniert. Die Verladung erfolgte mit der selbstgebauten Betonverladestation auf einen Betonmischwagen. Der Mischaufbau des Betonmischers war auf ein Vierachs-Fahrgestell montiert, wobei am Fahrzeug ein Hakengerät montiert war und der Mischeraufbau als Container aufgezogen werden konnte. Der eingesetzte Mischwagen ist in Abbildung 46 zu sehen.



Abbildung 46: Mischwagen mit Verladestation

Für das Projekt mit dem Recyclingbeton wurde eigens ein Betonschotter produziert, bei dem eine Korngröße 0-30 mm ausgesiebt wurde. Das Ausgangsmaterial wurde aus 1/3 Vorabsiebmaterial 0-30 mm aus dem Ziegelrückbau (Prallbrecher) und 2/3 verwertbarem Aushubmaterial hergestellt. Die Rohdichte des Aushubmaterials war bei $1,48 \text{ kg/dm}^3$. Der gesamte Sandanteil wurde mit dem Rückführband wieder zur Gesteinskörnung dazugemischt. Die Rohdichte des Betonschotters war nicht bekannt und wurde nur geschätzt. Nachfolgende Abbildungen 47 und 48 zeigen das Ergebnis der Aufbereitung des Materials als Probenahmeprotokoll und Korngrößenverteilung.

Materialprüfung - Korngrößenverteilung/Siebverfahren

RC - Betonschotter 0/30
2% Feinheit

Sieb (mm)	Rückstand (g)
63	—
31.5	Ø
16	766
11.2	533
8	798
6.3	608
4	945
2	970
1	825
0.5	356
0.25	46
0.125	9
0.063	6
< 0.02	5
Total	

	Uhrzeit/Sonstiges
Materialbezeichnung:	<i>RC - Betonschotter</i>
Materialprobe entnommen am:	<i>24.09.2007</i>
Entnahmeort:	<i>25.09.2007</i>
Prüfdatum/Labor:	<i>DBPOT</i>
Behälter (Tara):	<i>✓</i>
Material nass:	<i>✓</i>
Material trocken:	<i>✓</i>

Laborant:	<i>SCHMID/RAMOS</i>
-----------	---------------------

Faustregel: Größe in mm x 2 / 10 = kg zum Messen
 Probeentnahme: diagonal vom Haufen, ...

Wido Meier Anstalt Kies Schotter Recycling

Abbildung 47: Probenahmeprotokoll Recyclingbetonschotter 0/30

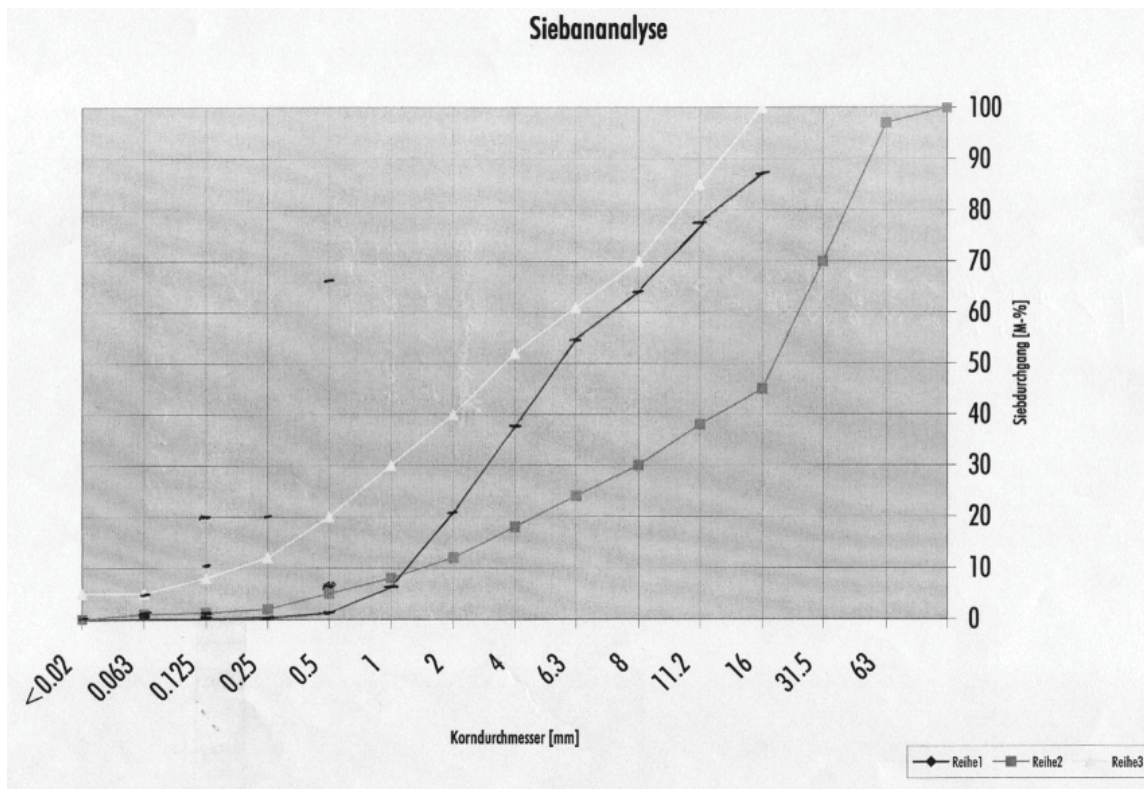


Abbildung 48: Korngrößenverteilung Recyclingbetonschotter 0/30

Die Verwiegung des Materials wurde mit dem Radlader auf der Brückenwaage durchgeführt und die Zugabe des Zementes erfolgte direkt auf das Förderband. Die Wassermenge wurde mittels Wasserzähler aus dem Wasserwerk gemessen.

Der Betonbedarf fest wurde mit $5,3 \text{ m}^3$ ermittelt. Der Auflockerungsfaktor wurde mit 1,2 angenommen, was einen Betonbedarf von $6,36 \text{ m}^3$ ergibt.

- **Zement**

Der Zement wurde von der Firma Holcim geliefert. Es handelte sich dabei um das Produkt Normo 4. Das genaue Datenblatt kann im Anhang eingesehen werden.

- **Durchführung**

Nachfolgende Tabellen 9 und 10 zeigen die Werte von der Durchführung der Mischversuche.

Tabelle 9: Mischungsdaten RC-Beton

Mischung	Kies-charge	Brutto	Tara	Netto	m ³	mischen	Wasser	mischen
1	1	20920	1896 0	1960	1,324	4 min trocken	130 Liter	6 min
	2	20860	1896 0	1900	1,283			
2	3	20920	1896 0	1960	1,324	6 min trocken	240 Liter	10 min
	4	21000	1896 0	2040	1,378			
	5	20320	1896 0	1360	0,918			
Summe					6,227	10	370	

Tabelle 10: Wasserzugabe RC-Versuch

Wasserzugabe	Zeit	Wassermenge	Mischen
1	08:51	100 l	5 min.
2	08:54	90 l	3 min.
3	09:06	60 l	4 min.
4	09:15	60 l	3 min.
5	09:27	60 l	3 min.
Summe		370 l + 370 l	18 min + 16 min.
Gesamt		740 l	34 min.

Der Mischbeginn war um 07:40 und um 08:24 wurde die Materialbefüllung beendet. Der Wasserbedarf betrug 118,84 Liter/m³ und Zement wurden 240,89 kg/m³ verwendet.

Das Zement – Kiesgemisch konnte im Mischwagen problemlos gemischt werden, doch benötigt man einen großen Zeitaufwand. Die Verarbeitbarkeit war mühsam, da der Beton recht schnell zieht weil kein Verzögerer und Betonverflüssiger zugesetzt worden ist.

Nachfolgende Abbildung 49 zeigt wie fest der Beton beim Einbau schon war. Das Loch des Rüttlers war noch lange später zu sehen, was auf mangelndes Fließverhalten zurückzuführen ist.



Abbildung 49: Betonplatte mit Loch des Rüttlers

- **Arbeitsaufwand und Kosten**

Der Arbeitsaufwand für diesen Versuch betrug vier Mann vom Kieswerk und einen Mann zusätzlich zur Bedienung des Mischwagens. Die Kosten für den Versuch werden in folgender Tabelle 11 aufgelistet.

Tabelle 11: Arbeitsaufwand und Kosten

Art	Menge	Kosten/Einheit [sfr.]	Preis [sfr.]
Trax	1 h	125	125
LKW/Mischer	4 h	118	472
Zement	1500 kg	5,65	339
Wasser	750 l		1
Betonkies	6,2 m ³	18 /m ³	111,6
Mannstunden	20 h		770
Summe			1818,6

Somit betrug die Herstellung eines Kubikmeters Recyclingbetons 343 sfr. Dies ist nicht zu vergleichen mit anderen Preisen, da es nur ein Versuch war und bei modernen Mixern nur eine Bedienungsperson nötig ist.

- **Abwasser**

Es gibt in Betonwerken drei Arten von Abwässern [12]:

- Brauchwasser des Personals (WC, Dusche, Handreinigung,...)
- Regenwasser und Wasser aus der Reinigung aus Plätzen
- Waschwasser aus der Transportfahrzeugreinigung

- **Brauchwasser des Personals**

Dieses Wasser muss in das öffentliche Kanalisationsnetz eingeleitet werden. Gibt es kein öffentliches Netz, muss das Wasser in eine Klärgrube geleitet werden, wie es bei der Firma Meier der Fall ist. Dieses Schmutzwasser wird von Zeit zu Zeit ausgepumpt. Eine weitere Alternative wäre eine eigene Abwasserreinigungsanlage [12].

- **Regenwasser und Wasser aus der Reinigung von Plätzen**

Die gesammelten Wässer aus Dächern und asphaltierten Straßen im Werksgelände weisen sowohl schwankende pH-Werte, als auch schwankende Anteile an absetzbaren Stoffen auf. Die gemessenen pH-Werte liegen laut einer Studie bei 8 und 11. Die Verwendung derartiger Wässer als Anmachwasser ist problemlos [12].

○ **Waschwasser aus der Transportfahrzeugreinigung**

Hier geht es eigentlich nur um die Reinigung der Transportfahrzeuge im Inneren der Trommel und nicht um die Reinigung des gesamten Fahrzeuges mit Shampoo oder anderen Reinigern. Für diese Art der Reinigung müssen spezielle Waschplätze vorhanden sein. Bei der Trommel- bzw. Muldenreinigung fällt ein Schlamm-Wassergemisch mit Feststoffanteilen von 8 bis 12 % und pH-Werten zwischen 10 und 12,5. Ein Einleiten in die Kanalisation des Schlamm-Wassergemisches nach erfolgter Sedimentation der Feststoffe wäre nur nach einer erfolgten Neutralisation möglich. Somit liegt es nahe, dass dieses Gemisch wieder für den Betonprozess verwendet wird. Die Trennung in Grob- und Feinanteile erfolgt in einer Waschtrommel oder -schnecke bei Trennschnitten zwischen 0,5 und 1 mm. Die gewaschenen Grobanteile werden separat ausgeschieden und können wiederverwendet werden. Das Waschwasser mit den Feinanteilen wird in Behältern zwischengelagert und immer in Bewegung gehalten, was mit Rührwerken geschieht, damit keine Sedimentation der Feinanteile erfolgt. Für das Funktionieren dieses Systems muss die Konzentration der Feststoffe im Waschwasser bei etwa 8 bis 12 % liegen. Es lässt sich zudem Rücknahmbeton aus Fehllieferungen, welcher nicht verwendet werden konnte, auszuwaschen. Man muss nur auf die Kapazität der Restbeton-Auswaschanlage achten. Das Grundprinzip des Auswaschens ist die Trennung des Zementleims von der Gesteinskörnung. Grobe Gesteinskörnungen sind in der ersten Waschstufe relativ leicht auszuwaschen, doch das Problem liegt in der spezifischen Oberfläche der Sandfraktionen. Die Schmutzstoffe lagern sich an der Oberfläche des Sandes an und diese müssen daher in einer zweiten Waschstufe entfernt werden. Nachfolgende Abbildung 50 zeigt das Schema einer Restbeton-Auswaschanlage mit Waschschnecke. Man kann die Aufgabe mit der Auswaschschnecke erkennen, das Feststoffdepot und den Wasserbassin zur Zwischenspeicherung. Erfahrungsgemäß ist der Wascherfolg vom Schlamm Wassergemisch als Waschwasserfüllung der Mischfahrzeuge höher als mit Frischwasser [12].

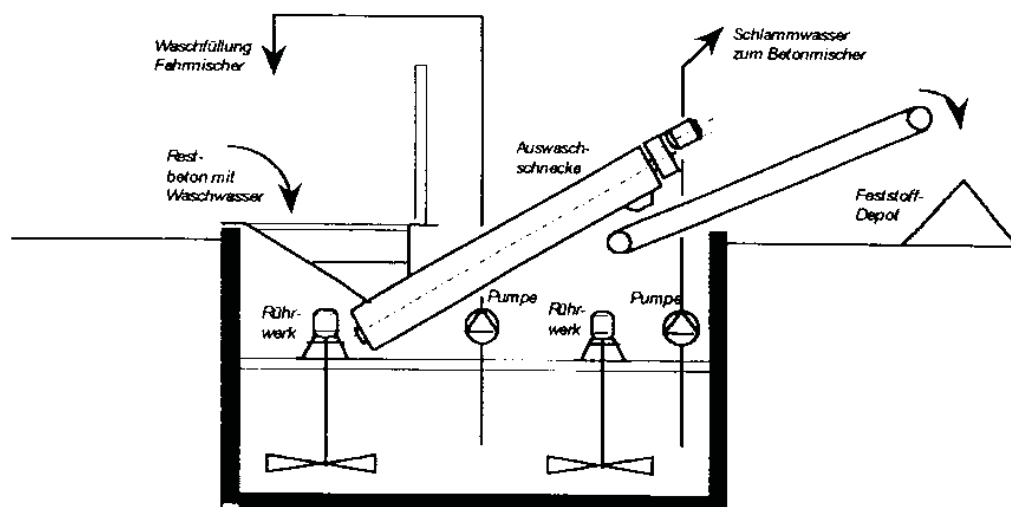


Abbildung 50: Restbeton Auswaschanlage [12]

3.2.3 Schadstoffbelastung von Bauabfällen

Für Sekundärbaustoffe werden oft Rohstoffe eingesetzt, welche durch ihren Primäreinsatz mit Schadstoffen gering kontaminiert sind. Die am weitest verbreiteten Daten finden sich über das Auslaugverhalten von Schadstoffen, bei denen sich lösliche bzw. mobilisierbare Stoffe erfassen lassen. Gesamtgehaltversuche sind aufgrund der vereinzelt Vorhandenheit als nicht repräsentativ zu erachten und somit erweisen sich Eluatversuche als Beurteilungsgrundlage für die Umweltgefährdung. In der folgenden Tabelle 12 werden die mittleren Konzentrationen einiger Schadstoffe im Eluat von Abfallstoffen dargestellt. Es dienen als Datengrundlage wiederum Daten aus der Schweiz, da der Schweizer Baurestmassenverband sehr stark forscht und das Fürstentum Liechtenstein auch bei diesem Verband mit ihren Betrieben beteiligt ist [4, S. 394].

Tabelle 12: Mittlere Konzentrationen einiger Schadstoffe im Eluat [4, S. 395]

Parameter	Einheit	RKA	RKA+B	RKB	RKB+A	BG	AG	RKP	Wand-kies	MG
pH		11,0	10,8	12,1	12,3	11,9	8,0	10,5	7,7	9,5
		10,7	10,7	12,0	12,2	11,8	8,1	10,2	7,7	9,7
Leitfähigkeit	µS/cm	415	468	2885	4175	3013	618	234	590	2336
		304	334	2200	3106	2402	403	200	630	1436
Ammonium	mg/l	0,22	0,32	0,025	0,21	n.a.	n.a.	0	0,01	n.a.
		0,12	0,16	0,010	0,10	n.a.	n.a.	0	0,01	n.a.
Nitrat	mg/l	8,70	9,30	9,05	27,6	11,8	1,42	6,72	31,40	60
		6,76	7,25	6,96	29,6	8,15	3,02	5,88	31,73	35
Chlorid	mg/l	10,12	16,0	8,32	16,8	27,6	24,3	6,73	19	60
		7,30	10,5	6,58	16,3	16,7	14,0	5,77	19,27	32
Sulfat	mg/l	49,8	81,3	9,80	4,80	8	122,3	44,9	25,6	1400
		38,0	58,0	15,2	10,95	6,3	66,5	34,73	25,27	950
TOC	mg/l	4,79	15,1	3,10	9,0	6,8	17,3	1,42	0,76	32
		2,82	9,10	1,95	5,3	4,5	9,20	1,25	0,65	17
Phenole	mg/l	0,031	0,480	0	0,312	0,024	0	0	0	0,29
		0,013	0,263	0	0,155	0,024	0	0	0	0,16
AOX	mg/l	0,102	0,105	0,009	0,011	0,027	0,088	0,012	0,007	0,08
		0,056	0,056	0,011	0,008	0,034	0,055	0,011	0,006	0,055

Gemessene mittlere Konzentrationen einiger Schadstoffe sowie pH und Leitfähigkeit im Eluat bei W/F 0,2-0,4(oberer Wert) und W/F=1-1,1(unterer Wert) in Wandkies, Recycling-Kiessand A[RKA], Recycling-Kiessand A mit Beton[RKA+B], Recycling-Kiessand B[RKB], Recycling-Kiessand B mit Asphalt[RKB+A], Recycling-Kiessand P[RKP], Asphaltgranulat[AG], Betongranulat[BG] und Mischabbruchgranulat[MG]. n.a.=nicht analysiert. Daten aus Säulenversuchen.

Quelle: Amt für Gewässerschutz und Wasserbau[AGW], Zürich , 1993.

Außerdem ergaben die Versuche, dass der pH-Wert des Eluates von besonderer Bedeutung ist. Einige Schadstoffe mobilisieren sich erst bei einer pH-Wert Änderung. Dies gilt für die

Phenole bzw. Schwermetalle, welche bei basischem oder saurem Milieu in Lösung gehen. Organische Substanzen erwiesen sich bei den Laborversuchen in Mischabbruchgranulat als problematisch, da diese als Summenparameter erfasst wurden (DOC, TOC, AOX, Phenole). Anorganische Komponenten sind Stickstoffverbindungen (Nitrat, Nitrit, Ammonium) und Sulfat. Sulfat ist deswegen ein Problem, da es oft im Mischabbruchgranulat vorhanden ist und leicht ausgewaschen werden kann. Im Speziellen ist die nachfolgende Tabelle 13 der Schadstoffgehalte im Mischabbruchgranulat gewidmet. Hierbei ist das Auslaugverhalten klarerweise vom Wasser/Feststoffverhältnis abhängig [4].

Tabelle 13: Schadstoffgehalte im Eluat von Mischabbruchgranulat [4, S. 394]

Abfallstoff						
[mg/kg]	RKA	RKB	BG	AG	RKP	MG
Nitrat	1,5	-	40	50	1	150
Chlorid	3	2	50	10	1	100
Sulfat	40	100	500	300	30	2000
TOC	2	2	50	40	0,5	30
Phenole	0,02	0,2	0,05	0,01	-	0,4
AOX	0,1	0,02	0,04	0,6	<0,01	0,3

Aus Elutionsdaten berechnete minimale Gesamtgehalte in [mg/kg] einiger relevanter Schadstoffe in verschiedenen Materialien. Die Angaben sind als Größenordnungsangaben zu verstehen. Daten aus Säulenversuchen.

AOX = adsorbierbare organische Halogenverbindungen

TOC = totaler organischer Kohlenstoffgehalt

RKA/RKB/RKP = Recycling-Kiessand A, B bzw. P

AG = Asphaltgranulat

BG = Betongranulat

MG = Mischabbruchgranulat

3.2.4 Einsatz von Betonwaren mit Recyclingzuschlägen

Im Rahmen einer Forschungsarbeit des deutschen Ausschusses für Stahlbeton wurden verschiedene Einsatzmöglichkeiten für Recyclingbeton gesucht. Es gibt verschiedene

Betonwaren, die werkseitig in hohen Stückzahlen gefertigt werden, wie z.B. Betonrohre, Pflastersteine, Fertigteile [14].

- **Betonpflastersteine mit rezyklierten Zuschlägen**

In Buchs befindet sich die Firma Frei Beton AG, welche sehr viele Betonzuschlagstoffe im Kieswerk Meier holt (Splitt 4/8 und Natursand 0/4). Die Hauptprodukte dieser Firma sind Verbundsteine für die Garten- bzw. Parkplatzgestaltung. Die Abnahmemenge dieses Betriebes ist verhältnismäßig groß (circa 5 bis 10 Sattelzüge pro Tag). Es wurden schon Gespräche geführt, dass diese Firma Probesteine macht, um den Einfluss von Recyclingkörnungen zu untersuchen.

Der Verkauf von RC-Zuschlagstoffen käme für die Firma Frei Beton AG in Frage, doch hat sich bis zum Ende dieser Arbeit keine Möglichkeit gefunden, Versuche durchzuführen. Die meisten Betonwaren werden heute meist zweischichtig hergestellt, mit Kernbeton und Vorsatzschale. Deshalb wäre es möglich im Kernbeton Sekundärmaterialien einzusetzen. An die Vorsatzschicht werden höhere Anforderungen (Sichtbeton) gestellt, da hier z.B. auch die Farbgebung einen Einfluss spielt. Außerdem wird in Betonwaren mit Vorsatzschale sandreicherer Zuschlag verwendet. Die folgende Abbildung 51 zeigt einen Schnitt durch einen Betonpflasterstein mit Kernbeton und Vorsatzschale [14].

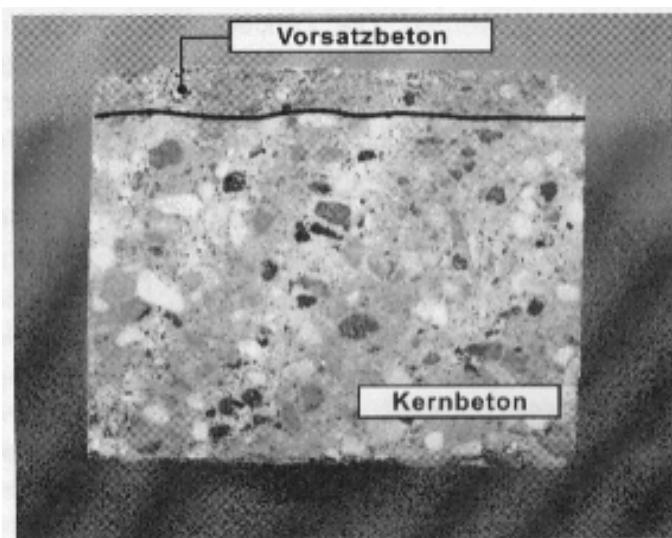


Abbildung 51: Kernbeton und Vorsatzschale [14]

- **Betonzusammensetzung**

Aufgrund mehrerer Untersuchungen der Industrie können die Mengen der Einsatzstoffe für einen Kubikmeter Beton für Pflastersteine bzw. Gehwegplatten und Bordsteine mit folgender Richtrezeptur angegeben werden [14]:

- 240 kg/m³ CEM I 42,5 R (PZ 45 F)
- 90 kg/m³ Steinkohlenflugasche

- 880 kg/m³ Sand 0/2
- 1070 kg/m³ Kies 2/8
- 105 kg/m³ Wasser

Bei unbewehrten Betonrohren und Formteilen sind höhere Anforderungen an die Grünstandfestigkeit, Stapelfestigkeit, Oberflächengestaltung und Gefügedichte gestellt. So wird noch Steinkohlenflugasche (SFA) dazugemischt [14].

• Recyclingsteine

In Deutschland wurden Steine hergestellt, mit Kernbeton zu 100 Vol.-% aus rezyklierten bzw. sekundären Zuschlägen. Dabei handelte es sich bei den Korngruppen 2/8 und 8/16 um ein Praxismisch aus einer Bauschuttzubereitungsanlage, das Betonsplitt und Betonbrechsand zuzuordnen war. Es wurden zwei Zuschläge verwendet, zum Einen ein Zuschlag aus vorwiegend Betonrecycling (99 M.-% Beton), der Betonsplitt und Betonbrechsand zuzuordnen war und zum Anderen ein zweiter Zuschlag mit einem hohen Anteil an Beton und natürlichem Zuschlag (87 bzw. 94,8 M.-%). Die mittlere Druckfestigkeit mit 59,5 N/mm² unterschritt die Anforderungen der DIN 18501 nur gering, was bei der Zusammensetzung leicht zu beheben wäre. Die Pflastersteine waren nach dem CDF-Verfahren als frosttausalzbeständig einzustufen. Die Ergebnisse wurden durch die Veränderung der Zuschlagzusammensetzung nur gering verändert. Die genauen Betonzusammensetzungen bzw. Siebanalysen sind im Buch Betonwaren mit Recyclingzuschlägen des deutschen Ausschusses für Stahlbeton ersichtlich und müssen bei Beginn der Tests mit der Firma Frei Beton AG sowieso herangezogen werden [14].

3.2.5 Betonabbruch (17 01 01) wird zu Betongranulat

Im folgenden Kapitel wird von Betongranulat der Produktkreislauf besprochen und auf einige Punkte näher eingegangen.

• Beschreibung von Betongranulat

Betongranulat besteht aus [5]:

- Kiessand + Betonabbruch (als Summe) mindestens 95 % (Kiessand bei der Betongranulatherstellung entstanden und nicht zugemischt)
- Ausbauasphalt maximal 3 % (Betongranulat, welches als Zuschlagstoff für klassifizierten Beton vorgesehen ist, darf keinen Ausbauasphalt enthalten)
- Mischabbruch maximal 2 %
- Fremdstoffe maximal 0,3 %

Nachfolgende Tabelle 14 zeigt die Zusammensetzung von Betongranulat.

Tabelle 14: Qualitätsanforderungen an Betongranulat [5]

Recyclingbaustoff	Ausbau- asphalt	Kiessand	Beton- abbruch	Misch- abbruch	Fremd- stoffe
Betongranulat	3	95		2	0,3

Die erforderliche Qualität gilt als erfüllt, wenn sich für die ausgezählten Haupt- und Nebengemengteile eine Massenprozentverteilung gemäß obiger Aufstellung ergibt.

- **Qualitätsprüfungen**

Die Prüfungen erstrecken sich für die Recyclingbaustoffe auf [5]:

1. Bautechnische Prüfungen

- Korngrößenverteilung
 - o Grösstkorn
 - o Frostempfindlichkeit
 - o Fließgrenze und Plastizitätsindex
 - o CBR-Werte
- Recycling von Bauschutt; Verwertung von Betonabbruch (SN 640 743 a)

Die Tabelle 15 zeigt das nominelle Größtkorn gemäß der Norm.

Tabelle 15: Nominelles Größtkorn bei Betongranulat [5]

Nominelles Größtkorn [mm]									Gem. VSS 670 800 c
63	45	32	22	16	11	6/8	3/4	< 1	

2. Umweltrelevante Prüfungen

- Stoffliche Zusammensetzung
- Verunreinigungen
- Laborprüfverfahren zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit

Der Abgeber von Recyclingbaustoffen bezeichnet bei jeder Lieferung deren Qualität gemäß den Definitionen dieser Richtlinie und weist den Empfänger in geeigneter Weise auf die zulässigen Verwendungsmöglichkeiten hin (Produktdeklaration) [5].

- **Verwendungsmöglichkeiten [5]:**

Betongranulat darf in loser Form, als Granulat, mit Deckschicht eingesetzt werden.

Die folgende Tabelle 16 zeigt die Verwendungsmöglichkeiten für Betongranulat genauer.

Tabelle 16: Verwendungsmöglichkeiten für Betongranulat [5]

Recyclingbaustoff	Einsatz in loser Form		Einsatz in gebundener Form	
	Ohne Deckschicht	Mit Deckschicht	Hydraulisch gebunden	Bituminös gebunden
Betongranulat	Verwendung nicht zugelassen	Verwendung möglich	Verwendung möglich	Verwendung nicht zugelassen

Betongranulat darf in loser Form in Grundwasserschutzzonen und -arealen nur mit Bewilligung (Baubewilligungsverfahren, Baufreigabe, Projektbewilligung etc.) der zuständigen kantonalen Fachstelle eingesetzt werden [5].

Betongranulat darf für Verwendungen, bei denen ein direkter Kontakt mit Grundwasser nicht auszuschließen ist, nicht eingesetzt werden. Für Damm- und Geländeaufschüttungen ist die Verwendung von Betongranulat verboten. Beim Einbau von Betongranulat darf die Schichtstärke von 2 m nicht überschritten werden. In der Regel ist ein Einsatz der Recyclingbaustoffe zu gleichen Zwecken wie bei der erstmaligen Verwendung anzustreben [5].

- **Beschreibung von Betonrecycling**

Der Schritt des Betonrecyclings wird in den nachfolgenden Punkten abgehandelt. Es werden einige Ähnlichkeiten zur Aufbereitung von Mischabbruch auftreten.

- **Aufbereitung des Materials zur Aufgabe auf die Prallmühle**

Der angelieferte Beton im Kieswerk Meier wird bei der Verwiegung in unarmierten und armierten Beton getrennt. Die Größenunterteilung erfolgt in Materialien kleiner und größer 500 mm Kantenlänge. Dies funktioniert teilweise sehr schlecht, sodass das gesamte Material untereinander gemischt wieder zwischengelagert wird. Außerdem ist der nachfolgende Aufbereitungsprozess ineffizient durch die hohe Bewehrungseisenanzahl und die langen Trennzeiten. Daraus folgen Schäden bei der Prallmühle, mit der wiederum die Vorzerkleinerung stattfindet, bezüglich Förderbandgummi, Magnetabscheider, Verstopfungen, usw. Andere Fraktionen sind noch Betonelemente und Pfeiler, welche vom Nachbarn des Kieswerkes, der Firma Hilti Befestigungstechnik mit Betonnägeln, Ankern usw. bestückt, angeliefert werden. Es sind dies auch Platten mit der Kantenlänge ca. 2000 x 1000 mm.

○ Vorbereitung des Betonabbruchs

Die Vorbereitung des Betonabbruchs zur Aufgabe auf die Prallmühle wird mit einem Kettenbagger (20 t) und einer Abbruchzange durchgeführt. Die Materialien kleiner 500 mm werden direkt weiterverarbeitet und müssen aus diesem Grund vorsortiert werden. Größere Betonbrocken müssen vorzerkleinert und die Baustahleisen entfernt werden. Die Abbruchzange pulverisiert den Betonabbruch, die Betoneisen können händisch entfernt und in eine geeignete Absetzmulde entsorgt werden. Teilweise kommt auch Material, welches nicht zum Betonabbruch gehört, da es Fehlanlieferungen gibt, oder auch ungeeignete Einstufungen erfolgt sind. Es ist ein sehr großes Gemisch an Baustoffen, da keine regelmäßige Aufbereitung des Materials erfolgt. Zudem wird auch Steinmetzmaterial dorthin gekippt, welches eigentlich mehr unter Mischabbruch fällt.

Die Sortierung des Materials in Feinanteile und Grobfractionen wird mit einem Sieblöffel bewerkstelligt. Dies ist deshalb nötig, weil die Vorbereitung des Materials mangelhaft ist und man so die ganzen Störstoffe vor der Aufgabe auf die Prallmühle wiederum aussortieren muss. Außerdem ist die Verwendung des Sieblöffels äußerst schädigend für den Bagger, da derart ruckartige Bewegungen stattfinden.

○ Aufbereitungsversuch

Die Verarbeitung des Betongranulates erfolgte wieder im gleichen Schema wie die des Mischabbruchgranulates mit der mobilen Prallmühle mit Nachabsiebung.

Nach der Zerkleinerung wurde das Material auf die Prallmühle aufgegeben und in die Fraktionen 0-30 mm, 0-70 mm, Überkorn und Eisenschrott getrennt. Das Überkornband wurde wieder geschwenkt, um die Störstoffe, welche beim Betonabbruch deutlich geringer sind als beim Mischabbruchgranulat auszuscheiden. Es sind dies Fließfetzen, Kunststoffrohrstücke, etc. Das einzige Problem sind kleine Eisenteile, wie z.B. Nägel, welche schon bei der Vorabsiebung ausgeschieden werden. Da durch den Prallbrechvorgang auch Nägel frei werden, werden sie ausgetragen und können aber durch die hohe Distanz zum Überbandmagneten nicht ausgeschieden werden und verbleiben im Produkt. Hier wäre vielleicht bei etwaigen Problemen ein zweiter Magnet, eventuell ein Permanentmagnet zu installieren.

Die gesamte Aufgabe des Materials wurde mit dem Radlader bewerkstelligt, was eine gute Vorbereitung voraussetzt, da man mit einer 3,5 m³ Schaufel nicht so gut sortieren kann, als mit einem Kettenbagger. Die Erfolge waren relativ gut, trotzdem ereigneten sich beim Betrieb einige Stopfer durch hängengebliebene Bewehrungseisen im Brecher. Im Juli wurden circa zwei Wochen nur Betongranulat mit zwei Mann (Baggerführer und Radladerfahrer) hergestellt. Hier ist niemals soviel Sortierarbeit im Nachhinein notwendig, da man schon bei der Zerkleinerung des Materials mit der Abbruchzange zu zweit ist und ein Mann nur sortieren kann. So bekommt man annähernd alle Kunststoffteile und anderen Störstoffe gut aus dem Gemisch. Die folgende Abbildung 52 zeigt das fertig aufbereitete Betongranulat.



Abbildung 52: Betongranulat 0/70 mm

- **Weiterverwendung des Materials**

Das Betongranulat 0-70 mm wird direkt verkauft und die anderen beiden Materialien Überkorn und Vorabsiebungskörnung 0-30 mm wurde zum Versuch auf die Waschanlage aufgegeben. Die Mischung Überkorn und Vorabsiebungsmaterial hat ganz gut funktioniert, damit nicht zu viel Sandfraktionen in die Anlage eingetragen werden. Die Verwertung des Eisens und die thermische Behandlung des Baustellenabfalls erfolgt wiederum durch die Firma Elkuch Recycling Center.

3.2.6 Pflästereiabfälle (01 04 13), Marmorplatten

Das größte Problem bei den Pflästereiabfällen ist, dass diese Produkte zum Einen nichts beim Betonabbruch verloren haben, zum Anderen auch noch viel zu schade sind, um als „irgendein“ Granulat verkauft zu werden. Die Zusammensetzung dieser Abfälle ist Marmor und Granit, welche bei der Verlegung von Platten bei Häusern oder öffentlichen Plätzen verwendet werden. Dieses Material gehört schon seit längerem zu den Problemmaterialien, da es einfach zu schade ist, um vermischt zu werden. Die Überlegung war, dieses Material als geschnittene Platten weiterzuverkaufen. Zu diesem Zweck hat man schon eine kleine Schneidmaschine gekauft. Doch der Nutzen-Kosten-Effekt ist nicht passend. So hat man entschieden, das Material als Marmorsplitt zu verkaufen. In Liechtenstein gibt es sehr viele kleine Gartenbauunternehmen, welche sich auf den Landschaftsbau und die Gartengestaltung spezialisiert haben. Es werden immer mehr Firmen gesucht, um diese Arbeiten zu machen.

- **Vorzerkleinerung**

Aufbereitungstechnisch ist dieses Material sehr problematisch, denn die Platten rutschen durch den Brecher oder die Prallmühle einfach quer durch und verstopfen nachfolgende Prozessstufen bzw. Förderbänder. Dieses Material kann auch nicht gemischt werden, um die Aufbereitung zu erleichtern. Wenn viele Pflasterabfälle beim Betonabbruch dabei waren, hat man einfach mehr Beton dazugemischt, um die Verstopfer z.B. beim Überkornband in den Griff zu bekommen.

Doch hier muss das Material sortenrein aufgegeben werden und nach der Prallmühle müsste ein 0-30 Sieb installiert werden, um möglichst kleine Materialstücke zu erhalten. Fehlwürfe sind bei diesem Material keine vorhanden und so kann man eigentlich von einem sortenreinem Material sprechen.

- **Weiterverarbeitung**

Die Weiterverarbeitung kann entweder mit der Nassaufbereitungsanlage erfolgen oder mit dem kleinen Backenbrecher, der vorhanden, aber noch nicht in Verwendung ist.

Mit der Nassaufbereitung kann ein gewaschener Marmorsplitt, z.B. 4-8 mm und ein Marmorbrechsand 0-4 mm produziert werden. Der Brechsand könnte wieder zum Sand aus Mischabbruchgranulat zugegeben werden oder als gewaschener, farbiger Sandkastensand Verwendung finden.

Die Lagerung des Materiales wäre sicherlich in Big-Bag-Säcken, welche ein Volumen von 1 m³ aufweisen und eine Tonne Tragkraft haben, ideal, da diese stapelbar sind. Die Abfüllung könnte mit der vorher vorgestellten Betonmischwagenverladung durchgeführt werden, da schon oft gerade von Gartenbaufirmen die Anfrage war, ob es denn nicht möglich wäre auch andere Fraktionen in Big-Bags verpackt zu bekommen.

Es wurde hierzu aus Zeitgründen noch kein Versuch gemacht, doch man ist überzeugt, dass hierbei ein ganz schöner mehrfarbiger Marmor bzw. Granitsplitt entsteht. Der Mehraufwand für die Aufbereitung für dieses Spezialprodukt steht sicherlich dafür.

Die Lagerung sollte getrennt von anderen Materialien erfolgen, um die Sortenreinheit zu gewährleisten.

Die nachfolgende Abbildung 53 zeigt ein Bild von einem Marmorsplitt, wie er in Österreich produziert und abgepackt wird.



Abbildung 53: Marmorsplitt aus Oberösterreich [15]

Außerdem könnten durch diese Verarbeitungsmethode auch mehr Pflästereiabfälle angenommen werden bzw. das Gebiet für die Sammlung gemeinsam mit einer Recyclingfirma eventuell mit Tauschmulden vergrößert werden.

3.3 Aufbereitung von Betonzuschlagstoffen

In diesem Kapitel wird grob über Aufbereitungstechnologien für Betonzuschlagstoffe gesprochen, welche wirtschaftlich auch sinnvoll, bezüglich vorhandener Infrastruktur und Mittel, im Kieswerk Meier durchgeführt werden können und es wird grundlegend auch auf die Maschinen näher eingegangen.

3.3.1 Erstklassebetonzuschlag

Das Hauptaugenmerk für den Einbau einer Setzmaschine wird auf das Abbaumaterial des Lockergesteinstagebaues gelegt. Hier finden sich immer wieder störende Schieferschichten, welche durch den Abbauprozess mit dem Hydraulikbagger nicht ausselektiert werden können.

Die Dichte des Materiales ist hierbei der wichtigste Grund für die Einstellung und die Funktion einer Setzmaschine im Aufbereitungszyklus. Der Einbau einer solchen Maschine wäre im Nassaufbereitungsprozess der Firma Meier grundsätzlich kein Problem. Der Setzprozess an sich wird schon seit Jahren in der Kohleaufbereitung verwendet, um den Kohleaustrag zu maximieren und den Bergeanteil so gering wie möglich zu halten. Im Kieswerk Meier ist der Schiefer schon seit Jahren ein großes Problem und daher konnte noch nie Erstklassebetonzuschlag verkauft werden, da dies aufgrund der Qualitätsanforderungen nicht erreicht werden kann.

Das Grundprinzip der Setzsortierung ist, dass ein Stoffgemisch pulsierend von Wasser durchströmt wird. Aufgrund der Pulsation setzt sich das heterogene Stoffgemisch nach der Dichte. Bei großen Dichteunterschieden ergeben sich ausgezeichnete Trennschärfen. Der Massendurchsatz solcher Anlagen reicht bis zu 800 t/h [16].

Die Funktion einer Setzmaschine ist am Beispiel der Alljig-Setzmaschine der Firma Allmineral (siehe Abbildung 54) folgend erklärt. Allmineral ist der bekannteste Hersteller von solchen Maschinen, auch sind die ganzen großtechnischen Versuche größtenteils auf solchen Maschinen gefahren worden [16].

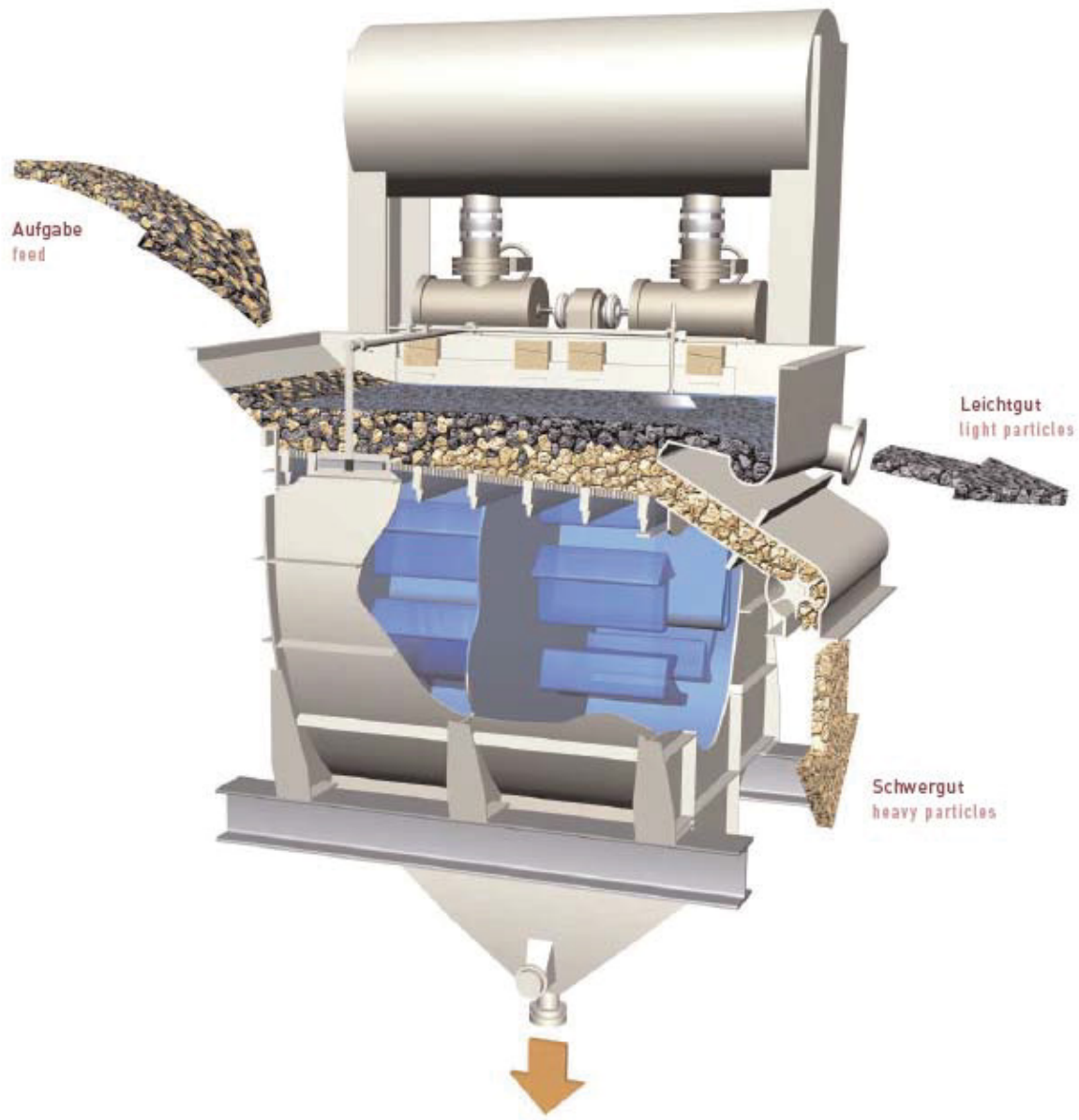


Abbildung 54: Setzmaschine [16]

Die verschiedenen nachfolgenden Maschinendaten und -eigenschaften stammen aus dem Datenblatt der Firma Allmineral [16]:

Anwendungen

Kies, Sand, Kohle, Erz, Salz, Industrieminerale, Schotter, Schreddergut, NE-Metalle, Schlacke, Bauschutt, Recycling-Materialien

Vorteile

Hohe Effizienz, niedriger Wartungsaufwand, großes Kornspektrum, hoher Durchsatz, hohe Trennschärfe, geringe Energie und Investitionskosten, Zuverlässigkeit, Bedienungsfreundlichkeit

Technologie

- luftgepulste Setzmaschine
- Drehkolbensteuerung
- Automatische Austragsregelung mit analoger Schichthöhenmessung
- Betriebsparameter während des Betriebes einstellbar
- Durchsatzleistungen von 5 bis 700 t/h je Maschineneinheit
- Körnungen von 0,1 bis 150 mm

In Alljig-Setzmaschinen wird zur Sortierung die Materialschicht von Wasser durchströmt. Durch den pulsierenden Aufstrom des Wassers wird die Materialschicht aufgelockert. Dabei vollzieht sich eine Schichtung der Körner nach ihrer Dichte. Leichte Körner gelangen an die Oberfläche des Materialbettes. Spezifisch schwerere Körner reichern sich im unteren Teil an. Alljig-Setzmaschinen sind luftgepulst. Dadurch kann die Wasserpulsation praktisch verschleißfrei erzeugt und in weiten Grenzen optimiert werden. Der zweite Grundprozeß ist das Austragen, die Abtrennung des Schwergutes aus dem geschichteten Materialbett. Dies erfolgt durch den Schwergutaustrag aus einer Vorratsschicht [16].

Zum Abtasten der Trennschicht dient ein sogenannter Schwimmer, der das Verhalten der abzutrennenden Schwergutschicht exakt simuliert. Die Schwimmersignale werden elektronisch erfasst und verarbeitet. Als Austragungsorgane werden je nach Art des Rohstoffes und der Korngröße Schwenkbetten, Bodenschieberausträge oder Zellenradschleusen eingesetzt. Die Betriebsparameter der Alljig-Setzmaschinen können während des Betriebes eingestellt und an Rohstoffschwankungen angepasst werden. Alljig-Setzmaschinen werden zur Sortierung verschiedenartigster primärer und sekundärer Rohstoffe eingesetzt. Voraussetzung hierfür ist, dass sich die Dichte der zu trennenden Stoffe unterscheidet [16].

Zusammenfassend werden noch einmal die wichtigsten Parameter genannt, welche für die Trennschärfe von Setzmaschinen entscheidend sind:

- Der Dichteunterschied im Stoffgemisch
- Die Massenanteile der einzelnen Dichtefraktionen
- Die Kornform
- Die Art der Wasserbewegung

- Die Austragsvorrichtung zum kontinuierlichen Austragen der jeweils schwersten Stoffschicht

Weiters muss überlegt werden, bei welchen Korngrößen es Sinn macht, Setzarbeit zu leisten, um verschiedene ausgewählte Zuschlagstoffe für den Beton zu veredeln.

Korngrößen

Das Hauptaugenmerk beim Setzen wird sicherlich auf die Korngrößen bis 30 mm gelegt werden. Das Aufgabegut kann Korngrößen bis zu 150 mm beinhalten, wobei an der Zellradschleuse die Korngrößen 60 mm nicht überschritten werden darf [16].

3.3.2 Bauschutttaufbereitung (Nassaufbereitung von Recyclingbaustoffen)

Es wird nachfolgend näher die Nassaufbereitung für Betonzuschlagstoffe dargelegt. Zuerst wird anhand Versuchsergebnissen aus Deutschland auf die Bauschutt-Nassaufbereitung eingegangen und später wiederum auf den Setzmaschineneinsatz.

- **Nassaufbereitung von Mischabbruch**

Die Nassaufbereitung von Mischabbruch ist nur sinnvoll, um stark verschmutzte Körnungen, wie etwa mit Heraklith oder Styropor, zu trennen. Es ist hier immer ganz logisch zu beachten, dass man mit einem relativ preisgünstigen Sekundärrohstoff arbeitet und kein Golderz aufbereitet! Doch sollte man versuchen in Bezug auf Umweltschutz und Ressourcenschonung die vorhandenen Abfälle möglichst günstig herzustellen. Doch Recyclingstoffe durchlaufen im Nassprozess den gleichen Waschprozess wie ein Primärkorn. Aber es kommt hier der vorhergehende Aufbereitungsprozess noch dazu, weil aufgrund der starken Verschmutzungen niemals direkt gleich über die Waschanlage gefahren werden kann. Weiters birgt die Nassaufbereitung eine Gefahr in den Schadstoffen, welche sich im Bauschutt angereichert haben könnten. Wie oben schon angeführt birgt Baurestmassenrecycling teilweise eine Gefahr bezüglich der Eluate im Waschschlamm. Für unseren Versuch sind tadellose Werte herausgekommen, was sicherlich noch mehrere weitere Aufbereitungsversuche mit sich birgt, um die ideale Rohdichte zu bekommen. Die nachfolgende Abbildung 55 zeigt den Mischabbruchkies, von welchem die Korngrößenverteilungskurve in Abbildung 48 schon gezeigt wurde.



Abbildung 55: Mischabbruchkies für die Betonplatte

Die Aufbereitungsanlage der Firma Meier ist sehr flexibel einstellbar. Es können die Körnungen innerhalb mehrere Minuten aufgrund der Kunststoffsiebe schnell umgestellt werden. Das Problem bei der Bauschutttaufbereitung ist, dass aufgrund der unterschiedlichen Materialien, die Anlage immer sehr genau gereinigt werden muss, da sich der Bauschutt überall ansammelt.

- **Setzmaschine zur Bauschutttaufbereitung**

Als weiterer positiver Aspekt könnte die Setzmaschine auch in der Bauschutttaufbereitung eingesetzt werden. Zur Schließung des Stoffkreislaufes im Recycling wäre es zu hoffen, dass Recyclingprodukte die Bevölkerung und die Baufachleute vermehrt zum Einsatz in der Bauwirtschaft überzeugen.

Die momentane weiterentwickelte Aufbereitung von Bauschutt im Kieswerk Meier beschränkt sich auf die Zerkleinerung mittels mobiler Prallmühle und Störstoffscheidung, wie z.B. Metalle, Holz, Kunststoffe. Das Material wird, wie schon vorher beschrieben, als Mischabbruchgranulat verkauft. Ein Versuch zu Recyclingbetonschotter wurde schon zuvor gemacht, doch sind hier die Ziegelfractionen ein großes Problem, da diese hohe Porosität haben und eventuell nur noch als Leichtbeton bzw. Ziegelsplitt oder -sand verwendet werden können. Die Kornverteilungen mit Massenverteilungen der verschiedenen Fraktionen kann im Kapitel Recycling von Mischabbruch nachgeschlagen werden.

Es wurden auch schon mehrere großtechnische Untersuchungen an heterogenem Material vom Deutschen Ausschuss für Stahlbeton im Jahre 2003 gemacht. Folgende Werte und Daten beziehen sich auf diese Versuchsergebnisse, da diese aus Zeit- und Budgetgründen im Rahmen der Diplomarbeit nicht durchführbar gewesen wären.

Die Zielsetzung der Forschungsprojekte war ein heterogenes Baustoffgemisch in zwei stofflich homogenere aufzutrennen und somit qualitativ hochwertigere Recyclingbaustoffe zu erreichen. Nachfolgende Grafik zeigt die Zielvorstellungen der Untersuchungen [17].

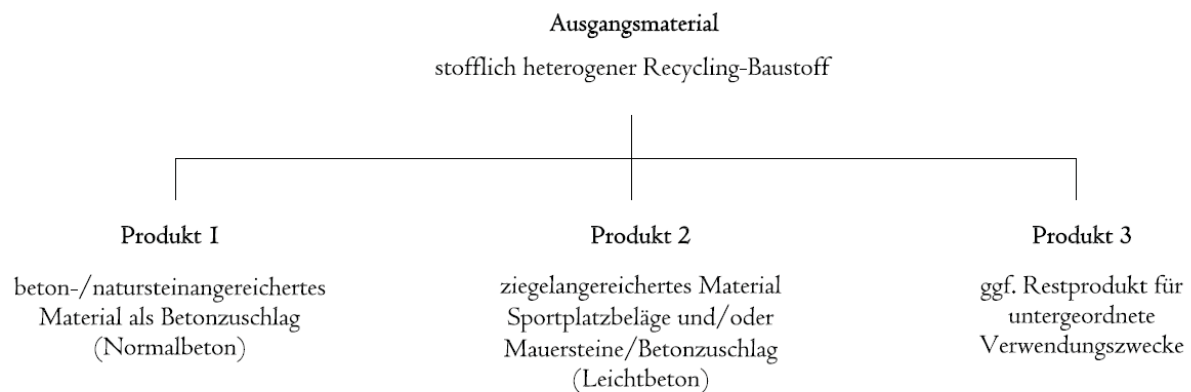


Abbildung 56: Zielvorstellungen zu den Untersuchungen „Beton als kreislaufgerechter Baustoff“ [17]

Selektiver bzw. kontrollierter Rückbau ist aufgrund der sehr heterogenen Zusammensetzung des Mischabbruchs sehr schwierig. Somit müssen Aufbereitungswege gefunden werden, um hochwertige Recyclingbaustoffe herzustellen [17].

Die Hauptkomponenten des Mischabbruchgranulates liegen bezüglich ihrer Dichte in folgenden Bereichen [17]:

- Naturstein 2,5 bis 3,0 g/cm³
- Kies 2,6 bis 2,7 g/cm³
- Beton 2,2 bis 2,5 g/cm³
- Mörtel 2,2 bis 2,4 g/cm³
- Ziegel 1,8 bis 2,4 g/cm³
- Leichtbeton 1,2 bis 1,8 g/cm³
- Bims 1,0 bis 1,4 g/cm³
- Kunststoffe 1,0 bis 1,4 g/cm³
- Sonstige Störstoffe <1,0 g/cm³

Das Problem bei den Recyclingbaustoffen sind die relativ geringen Dichteunterschiede, was eine Aufbereitung mit der Setzmaschine erschwert. Die Arbeit des deutschen Ausschusses für Stahlbeton hat diese Fragen eben geklärt, inwieweit es sinnvoll ist Recyclingbaustoffe mittels Setzarbeit zu trennen. Denn für die Schieferabtrennung und Bauschutttaufbereitung bzw. auch die Bodenaushubaufbereitung im Kieswerk Meier könnte die Setzmaschine vielfältig eingesetzt werden [17].

In Österreich produziert die Firma Deisl Beton schon seit 1993 Betonzuschlag aus Mischabbruchgranulat. Kieslagerstätten in alpinen Gebieten zeichnen sich derart aus, dass das Verhältnis von Sand zu Kies zur Verwendung als Betonzuschlag zu Ungunsten der Sandfraktion ausgebildet ist. Es besteht ein Mangel an Sand, der meist durch Zerkleinerung bzw. Mahlung von Kies zu Sand ausgeglichen werden muss. Aus diesem Grund wurde Mischabbruch zu körnigen und sandigen Fraktionen weiterverarbeitet. Die Details liegen bei der Firma Deisl Beton in Hallein vor und sind nicht Aufgabe dieser Diplomarbeit [18].

3.4 Ökobilanzieller Vergleich der rezyklierten Gesteinskörnungen für den Hochbau

Mit der Richtlinie „Beton mit rezykliertem Zuschlag“ des deutschen Ausschusses für Stahlbeton und die Norm DIN 4226-100 wurde eine Barriere gebrochen und rezyklierte Gesteinskörnungen auch im Hochbau verwendet. In der folgenden Abbildung wird der Anteil an natürlichen Gesteinskörnungen durch einen Anteil an rezyklierten Körnungen (α_R) ersetzt. Im Tiefbau wurden schon lange Recyclingkörnungen verwendet, doch als Konstruktionsbeton gab es immer Befürchtungen aufgrund verschiedener Einflussfaktoren [19].



Abbildung 57: Verwendung rezyklierter Gesteinskörnungen im Beton [19]

Der Vergleich eines Kies-Sand Betones und eines Recyclingbetons wird mittels Ökobilanz durchgeführt.

3.4.1 Systemgrenzen der Ökobilanz

Das herkömmliche Kies-Beton-Gemisch unterscheidet sich von Recyclingbeton bezüglich der Verwendung von rezyklierten Gesteinskörnungen und der Gewinnung von im Abbruchmaterial enthaltenem Eisenschrott, welcher durch die Aufbereitung ausgeschleust werden kann. In der nachfolgenden Abbildung werden die Systemgrenzen der beiden Systeme aufgezeigt [19].

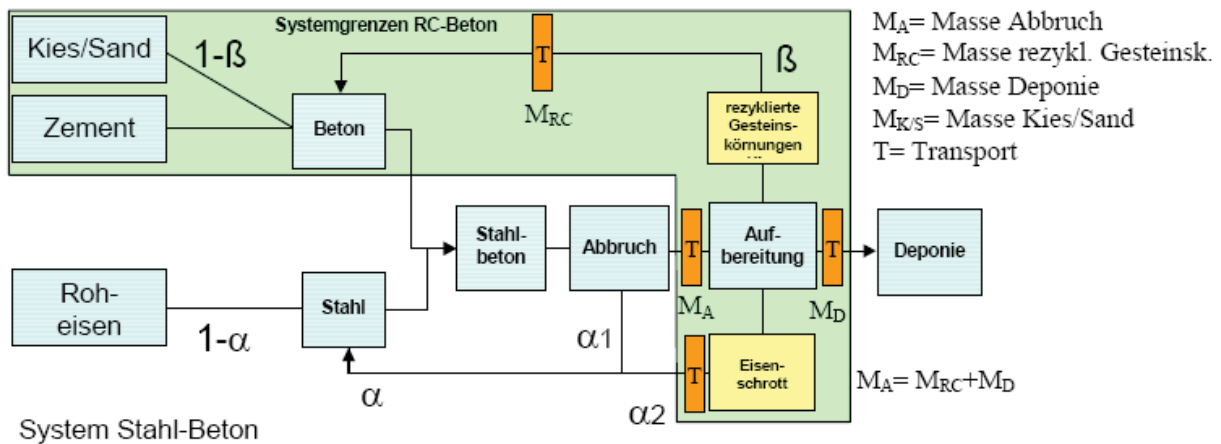


Abbildung 58: System Stahl-Beton [19]

3.4.2 Ökobilanzieller Vergleich

Für den ökobilanziellen Vergleich wurden drei erprobte Recyclingbetonkörnungen zwei Rezepturen mit natürlichen Gesteinskörnungen gegenübergestellt. Bei den Recyclingbetonen unterscheiden sich die Rezepturen bezüglich Zementgehalt und dem Anteil an rezyklierten Gesteinskörnungen. Für jede Betonklasse gibt es eine vorgeschriebene Mindestzementmenge, die aber nicht automatisch schon die zur Verarbeitung des Betons notwendige Konsistenz oder die geforderten Festbetoneigenschaften garantiert. In der Praxis gibt man häufig mehr Zement zu, um die gewünschten Verarbeitungseigenschaften einzustellen [19].

Für die natürlichen Gesteinskörnungen mit Kies wurde eine Rezeptur ausgewählt, die mit der Mindestzementmenge von 240 kg auskommt. Ergänzend wurde ein Splitt-Beton bilanziert, dessen Zementgehalt um 30 kg über der Mindestzementmenge liegt. Alle fünf untersuchten Betone besitzen die gleiche funktionelle Einheit. Sie wurde auf 1 m³ Frischbeton für den konstruktiven Bereich festgelegt und durch die Frisch- und Festbetoneigenschaften sowie den Einsatzbereich der Betone definiert [19]:

- Druckfestigkeitsklasse: C20/25 (B25)
- Ausbreitklasse: F3 (K3)
- Expositionsklasse: XC1 (Innenbauteil)

Die Sachbilanz wurde mit Prozessketten für die verschiedenen Körnungen modelliert. Die Einzelprozesse unterscheiden sich nur durch den Herstellungsprozess und den Einsatz der verwendeten Gesteinskörnungen. Der Kumulierte Energieaufwand (KEA), das Treibhauspotential (GWP) und der Verbrauch primärer mineralischer Rohstoffe (VMR) wurden als Indikatoren ausgewählt. Der KEA wird als Leitindikator für energiebedingte Umwelteffekte angesehen, doch auch das Treibhausgaspotential wurde wegen der Entsäuerungsreaktion des Kalksteins bei der Zementherstellung ausgewiesen [19].

3.4.3 Sachbilanz

Die Ergebnisse der Sachbilanz sind in der folgenden Abbildung 59 dargestellt. Recyclingbeton hat einen geringeren Verbrauch primärer mineralischer Rohstoffe als Beton mit natürlichen Gesteinskörnungen. Natürlich benötigt man für Recyclingbeton eine erhöhten Zementeinsatz, doch ist dies gegenüber dem Einsatz von primären mineralischen Rohstoffen (VMR) im Vergleich zu den natürlichen Gesteinskörnungen relativ klein (Faktor 1,6 beim Durchschnittszement). Die Einsparung an primären mineralischen Rohstoffen variiert bei RC-Beton je nach Anteilen an Gesteinskörnung und Zementgehalt zwischen 24-44 M-% gegenüber dem Kies-Beton. Im gewählten Systemrahmen haben die RC-Betone leicht bis deutlich höhere KEA- und GWP-Werte als der Kies-Beton [19].

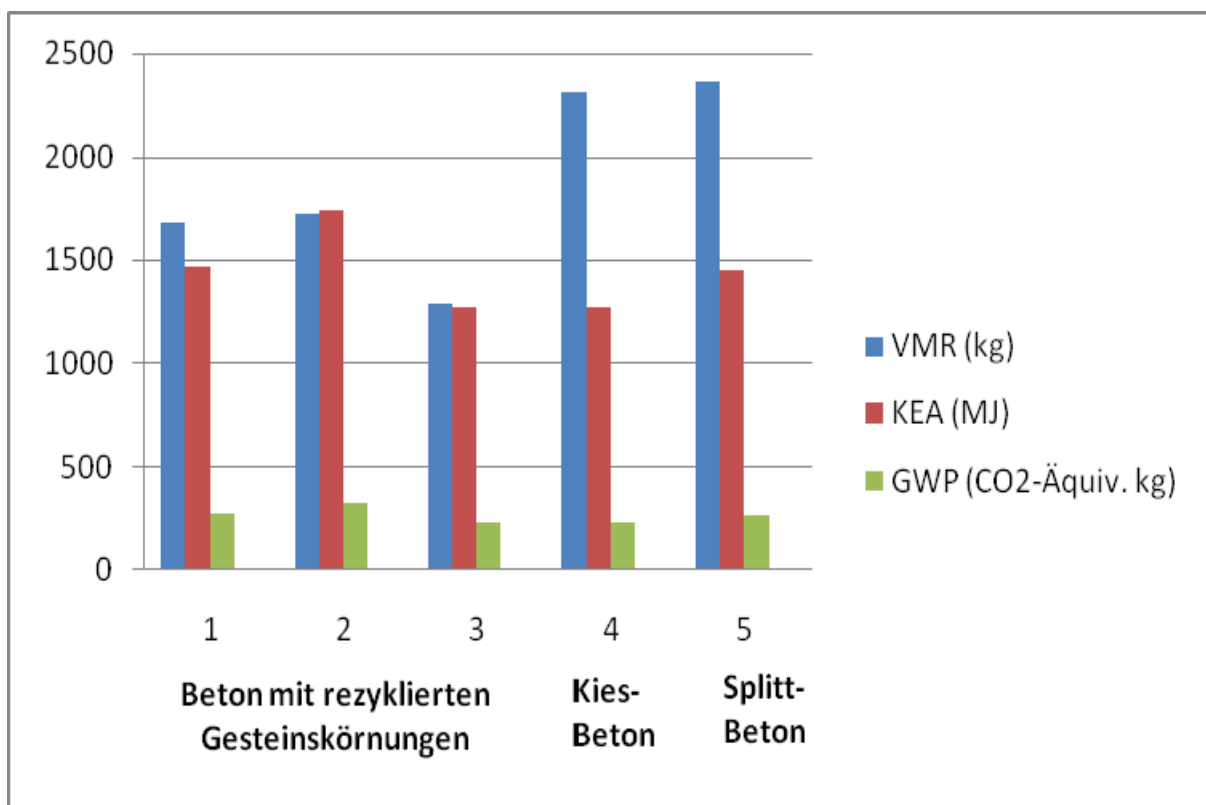


Abbildung 59: Ergebnisse des ökobilanziellen Vergleichs [19]

Diese erhöhten Werte lassen sich auf den erhöhten Zementeinsatz schließen. Nennenswerte Anteile (ca.-Werte) der einzelnen Prozesse an den Treibhausgas-Emissionen (GWP) für den Kies-Beton in Abbildung 4 sind: 95 % durch Zementherstellung, 2 % durch Erzeugung der RC-Körnung, 1 % durch Erzeugung von Kies/Sand, je 1 % durch Transporte der RC-Körnung (20 km), Kies/Sand (20 km) und Flugasche. Wenn man die Recyclingbetonherstellung optimieren möchte, kann man den Zementgehalt durch Zugabe von Flugasche bzw. Betonverflüssiger einen ähnlichen Effekt wie durch mehr Zement erreichen [19].

3.4.4 Transportszenarien für Gesteinskörnungen

Da die Verfügbarkeit von Kies und Sand in einigen Regionen sehr begrenzt ist, müssen diese Körnungen über weite Transportdistanzen angeliefert werden. Recyklierte Gesteinskörnungen sind im Gegenzug regional überall verfügbar. Wenn die Transportentfernung von Kies (d_{Kies}) gegenüber der Transportentfernung der rezyklierten Gesteinskörnung (d_{RC}) steigt, können sich in Bezug auf die Indikatoren KEA und GWP die Bedingungen so verändern, dass der Recyclingbeton selbst aufgrund erhöhter Zementgehalte gesamtökologische Vorteile in Bezug auf alle drei Indikatoren (KEA, GWP, VMR) bringt. Diese Behauptung wurde aufgrund verschiedener Parameter (Anteil rezyklierter Gesteinskörnungen im RC-Beton, Transportentfernung der RC-Gesteinskörnung, Transportmedium der Gesteinskörnung, Wasseranspruch bzw. Zementgehalt RC-Beton) für den Grenzzustand $\text{GWP Kies-Beton} = \text{GWP RC-Beton}$ als break-even point (Grenzentfernung) für den Kiestransport zum Betonwerk erstellt. Die folgende Abbildung gibt einen Einblick in die Grenzentfernung [19].

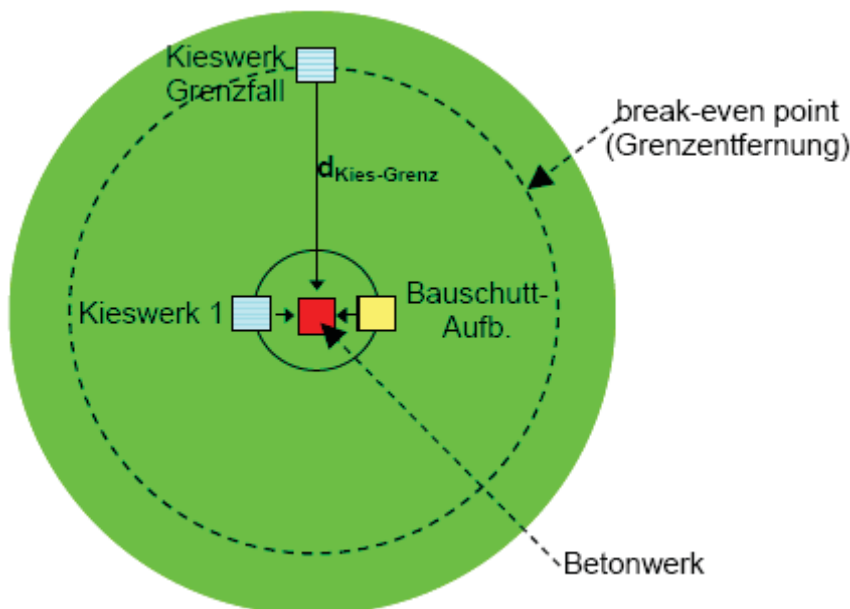


Abbildung 60: Grenzentfernung aus Sicht des Betonwerkes [19]

Liegt der Transport von natürlichen Gesteinskörnungen oberhalb der Grenzentfernung, ist aus ökologischer Sicht die Herstellung von Recyclingbeton zu befürworten. Ist die Grenzentfernung nicht erreicht, so muss man die Abwägung von Vorteil (Ressourcenschonung) und Nachteilen (Energieverbrauch, Treibhausgas-Emissionen) in Betracht ziehen. Aus Berechnungen geht hervor, dass die Vorteile bei minimalem Zementgehalt des Recyclingbetons (bei LKW-Transportentfernungen der rezyklierten Gesteinskörnungen von 10 km und einem Rezyklat-Anteil von 35 %) in Gebieten liegen, in denen die natürlichen Gesteinskörnungen aus größeren Entfernungen als 19 km durch LKW-Transport dem Betonwerk angeliefert werden. Wird der Zementgehalt des RC-

Betons gegenüber dem des Kies-Betons erhöht, so steigt der Wert der Grenzentfernung je nach Anteil an rezyklierten Gesteinskörnung um 6-11 km/kg-Zement an [19].

3.4.5 Ökobilanzielle Ergebnisse

Ein Vergleich der Ergebnisse dieser Studie vom Institut für Technische Chemie des Forschungszentrums Karlsruhe zeigt, dass der Verbrauch an primärer mineralischer Ressourcen (VMR) durch den Einsatz von rezyklierten Gesteinskörnungen um bis zu 44 % reduziert werden kann. Auch bei höheren Zementmengen für Beton mit rezyklierten Körnungen liegen die Ergebnisse der Bilanz bei KEA und GWP um bis zu 36 % bzw. 39 % über denen mit natürlichen Gesteinskörnungen. Ein weiterer Einfluss sind die Transportentfernungen für diese Körnungen, da in kiesarmen Gebieten rezyklierte Körnungen leichter verfügbar sind [19].

Das nächste Kapitel befasst sich mit der Kubizität der Gesteinskörnungen und dem Einbau einer neuen Nachbrechstufe. Weiters wird im Kieswerk viel Brechsand benötigt, welcher durch andere Nachbrechwerkzeuge viel leichter produziert werden kann als mit dem jetzigen Backenbrecher.

3.5 Projekt Nachbrecher neu

Da mit dem momentan installierten Backenbrecher keine exakten kubischen Körnungen erzeugt werden können, stand man vor der weiteren Überlegung zum Einbau eines neuen Brechers, mit dem gerade im Splitt bzw. Sickergeröllbereich kubische Körnungen erzeugt werden können. Die Komponenten könnten wiederum erneut zerkleinert werden. Weiters wird im Kieswerk Meier zunehmend mehr Brechsand benötigt, um als Betonzuschlagstoffzulieferer am Ball bleiben zu können.

So wurde ein alter Backenbrecher wieder aktiviert, um Körnungen schnell und unkompliziert nach Bedarf herzustellen. Aufgrund von Expertenmeinungen hat man mehrere Brechertypen überlegt, welche nachfolgend angeführt sind und diskutiert werden:

- **Dreistufiger Prallbrecher**

Am Montag den 8. Oktober 2007 hat man einen Prallbrecher der Firma Vortex in Österreich besichtigt. Es hat sich herauskristallisiert, dass diese Firma sehr viel Brechsand benötigt, um das angrenzende Betonwerk mit Brechsand zu beliefern. Nachfolgende Abbildung 61 zeigt einen Vortex-Prallbrecher. Man kann die erste, zweite und dritte Zerkleinerungsstufe mit dem Prallraum erkennen. Die zweite und dritte Zerkleinerungsstufe ist verstellbar und so kann der Brecher innerhalb kürzester Zeit spaltverstellt werden. Die Schlagleisten am Rotor sind hier ebenfalls erkennbar und sollten bei dieser Maschine aufgrund patentierter Winkelgeometrien viel abriebfester sein als andere [20].

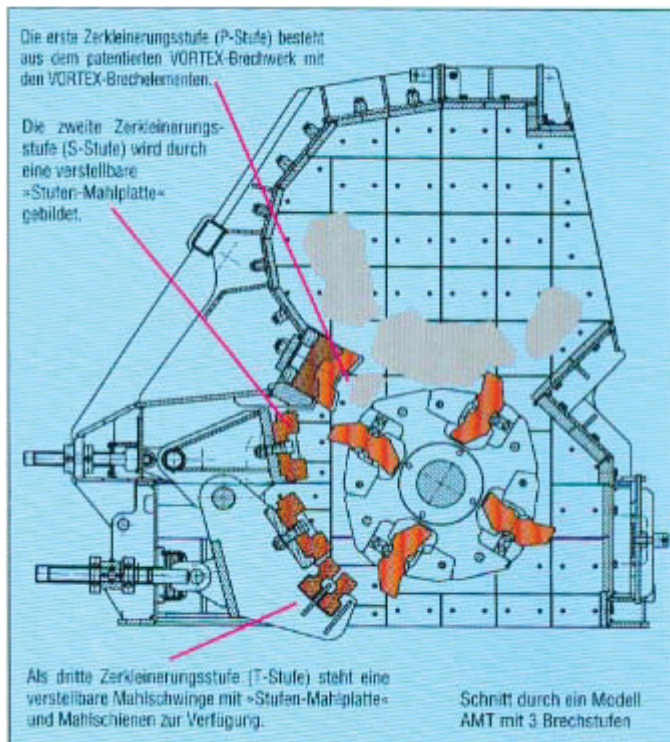


Abbildung 61: Vortex Prallbrecher [20]

Dieser Vortex Prallbrecher sollte laut dem Herstellerprospekt bieten:

- Eine neuartige Brechwerkskonstruktion mit 1- bis 4-stufiger Zerkleinerung in einem Durchgang (Meißelkörper = Stufe 1, Mahlschlitten = Stufe 2, Mahlschwinge = Stufe 3 und 4)
- Die Nachzerkleinerungsbrechwerke sind wahlweise zuschaltbar oder abschaltbar.
- Die Brechwerksverstellung erfolgt hydraulisch.
- Die Stabilisierung der Brechwerke erfolgt mittels elektronischer Sensoren und Hydraulik, vollautomatisch.
- Die flexible Einsatzmöglichkeit, z.B. für das Grobbrechen oder das Feinbrechen, erfolgt durch einfache Verstellung der Brechwerke. Dabei kann auf Wunsch ein reduzierter oder erhöhter Feinanteil im Brechgut erzielt werden.
- Durch Langsambrechen oder Schnellbrechen kann der Feinanteil im Brechgut zusätzlich beeinflusst werden.
- Die Maschinen sind weitgehend unempfindlich gegen Übergrößen im Aufgabegut.
- Die Konstruktion des Brechers ist äußerst stabil und dauerhaft.

Nachfolgend wird ein Datenblatt eines solchen Rotationsbackenbrechers gezeigt, der sicherlich für das Kieswerk Meier aufgrund der Leistung zu groß wäre, da das Kieswerk etwa 70 t/h Durchsatz hat.

Type:	RA Rotationsbackenbrecher
Anwendung:	Naturgestein / Recycling
Aufgabengröße:	bis 400 mm / bis 700 mm
Endgut:	0 - 50mm / 0 - 50 (120) mm
Leistung:	Bis 160 t / h
Einlaufgröße:	Breite von 550 - 810 mm
Rotor:	gezahnte Schlagleisten
Technologie:	gezahnte Brechbacken gegenüber Rotor, hydraulische Verstellung



Abbildung 62: Datenblatt Vortex RA Naturstein/Recycling [20]

Hier wird nur dieser eine Brecher angesprochen, da diese Firma im Kieswerk Meier eine Testanlage für die Vertretung der Schweiz einbauen wird und so aus Kostengründen diese einzige Lösung in Frage kommen wird. Natürlich gäbe es noch weitere andere Möglichkeiten für eine zweite Nachbrechstufe. Zudem werden im Sommer 2008 sämtliche Versuche mit dieser Maschine gefahren.

3.6 Rückbau bzw. mechanisierter Abbruch

Der Abbruch von Gebäuden wird immer mehr ein Thema, denn der Umweltschutz- bzw. Recyclinggedanke steigt in unserer Gesellschaft. Früher hat man Hausabbrüche irgendwo eingescharrt und verfüllt. Jeder sollte bestrebt sein, Deponieressourcen zu schonen und dadurch Rohstoffe sekundär wieder neu einsetzen.

Um eine gute Qualität bei den Recyclingprodukten zu erreichen ist es das Um und Auf, dass man schon die Abfallarten wie Mischabbruch bzw. Betonabbruch möglichst sortenrein am Recyclingbetrieb annehmen kann und deshalb wird zum Abschluss dieser Arbeit noch kurz das Thema Rückbau behandelt. Auch Bauherrn kommt das saubere Trennen auf der Baustelle zugute, denn der Entsorgungspreis macht sich hier sehr stark bemerkbar. Auch der Aufbereitungspreis liegt bei der Trennung sehr stark im „Sein oder Nicht Sein“. Denn manchmal ist es aufgrund der hohen Verschmutzung gar nicht möglich, ein Sekundärrecyclingprodukt herzustellen [21].

3.6.1 Manueller Abbruch mit Hydraulikbaggern

Früher hat man Hausabbrüche mit Gittermastkränen und Abbruchbirne durchgeführt, doch war dies äußerst ineffektiv und gefährlich. In der heutigen Zeit verwendet man für diese Art der Tätigkeit Hydraulikbagger mit extralangen Auslegern und Pulverisierern. So kann schon direkt auf der Baustelle ein kontrollierter Rückbau erfolgen, damit aus dem Abbruchmaterial auch ein qualitativ hochwertiger Sekundärbaustoff entstehen kann. Die nachfolgende Abbildung 63 zeigt einen Betonpulverisierer der Wido Meier Anstalt.



Abbildung 63: Betonpulverisierer

3.6.2 Mehrmuldenkonzept

Vom Schweizer Baumeisterverband wurde eine Richtlinie entwickelt, welche den Namen Mehrmuldenkonzept (MMK) trägt, als Grundlage diente die technische Verordnung für Abfälle vom 10. Dezember 1990. Diese ist zu vergleichen mit der Baurestmassentrennverordnung in Österreich. Die nachfolgende Abbildung 64 zeigt die verschiedenen Abfallarten nach dem Mehrmuldenkonzept.



Abbildung 64: Mehrmuldenkonzept [22]

3.6.3 Sprengtechnischer Abbruch

Bei problematischen Gebäuden ist es unerlässlich, sprengtechnischen Abbruch durchzuführen, um die Arbeitssicherheit zu erhalten bzw. die Gefährdung von Menschen auszuschließen. Für den Recyclingbetrieb wird es aber umso schwieriger, aus den Abbruchmaterialien höherwertige Sekundärrohstoffe zu erhalten. Die Firma Meier beschäftigt sich momentan nicht mit solchen Abbruchmethoden, doch könnte dies für die Zukunft noch eine Marktlücke werden, da der Betrieb vom Abbruch bis zum Qualitätsprodukt alles anbieten könnte.

3.7 Analyseergebnisse Laborversuche

In diesem Kapitel wird auf die durchgeführten Analysen eingegangen. Es konnten jedoch nur wenige Analysen durchgeführt werden, wodurch die Werte mit Vorsicht zu interpretieren sind.

3.7.1 Schlammanalyse

Die Probe wurde am Labor für Nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik mittels Königswasseraufschluss aufgeschlossen und die darauffolgende Mahlung erfolgte mittels Kugelmühle. Die nachfolgende Tabelle 17 zeigt die Werte aus dem Prüfbericht, der Bericht selbst ist im Anhang E angeführt.

Tabelle 17: Parameter aus Laborversuchen am IAE in Leoben

Parameter	Kurzbezeichnung	Messwert	Einheit	Norm
Magnesium	Mg	31200+/-400	mg/kg TS	DIN EN ISO 7980:2000
Trockenrückstand	TS	18,2	%	DIN EN 12880:2000
Gesamt organisch gebundener Kohlenstoff	TOC	1,83+/-0,18	% TS	ÖNORM EN 13137:2001
Gesamt gebundener Kohlenstoff	TC	5,18+/-0,22	% TS	ONORM EN 13137:2001
Calcium	Ca	1070+/-60	Mg/kg TS	DIN EN ISO 7980:2000

Die Ergebnisse weisen im Vergleich zu den Zusammensetzungen der Tabelle 1 der Kieswaschschlammtypen keinesfalls eine Ähnlichkeit auf. Außerdem sind keine Gesteine und Mineralien vorhanden, welche solch hohe Magnesiumgehalte bewirken könnten. Die Unterschiede könnten sich aufgrund des Flockungsmittels auswirken. Doch es gibt Schlammanalysen der Firma Meier, die nachfolgend (Tabelle 18) angeführt sind und hernach diskutiert werden.

Tabelle 18: Chemische Zusammensetzung des Kieswaschschlamms

Elemente	Probe 1 [Gew.-%]	Probe 2 [Gew.-%]	Probe 3 [Gew.-%]	Probe 4 [Gew.-%]	Probe 5 [Gew.-%]	Probe 6 [Gew.-%]
SiO ₂	35,22	34,68	36,85	35,49	35,02	37,48
Al ₂ O ₃	11,15	11,15	11,71	11,31	11,31	11,98
Fe ₂ O ₃	4,26	4,28	4,33	4,36	4,34	4,58
BaO	0,024	0,023	0,030	0,022	0,028	0,028
Mn ₂ O ₃	0,088	0,089	0,084	0,087	0,086	0,089
TiO ₂	0,508	0,502	0,521	0,485	0,504	0,527
P ₂ O ₅	0,164	0,167	0,145	0,178	0,180	0,167
CaO	14,70	14,85	15,75	14,54	15,02	15,46
MgO	8,10	8,17	6,76	7,88	8,01	6,41
K ₂ O	2,90	2,95	2,95	3,03	2,98	3,14
Na ₂ O	0,40	0,37	0,40	0,38	0,35	0,39
So ₃	0,09	0,08	0,04	0,08	0,06	0,04
Glühverlust	22,23	22,51	20,25	22,02	21,94	19,51
Summe	99,83	99,82	99,82	99,86	99,83	99,80

Wie aus der Tabelle 18 hervorgeht, ist die chemische Zusammensetzung der sechs Einzelproben sehr ähnlich. Die Tonerdegehalte (Al₂O₃) sind relativ gering.

3.7.2 Gesteinsanalysen

Am Institut für Geologie wurden einige Laborversuche am Ruffematerial durchgeführt. Die Gesteinsanalysen sind nachfolgend angeführt:

- **Dünnschliffdiskussion**

In den Dünnschliffen sind einige Gesteine, welche oben schon bei den Kieswaschschlammtypen dargestellt wurden, erkennbar. Die nachfolgende Abbildung 65 zeigt einen mikroskopierten Dünnschliff des Kalksteins.

3 unterschiedliche Gesteine:

- **dunkelgrauer Fein-Sandstein mit Calcitgängen, Chlorit, Glimmer mit Lupe sichtbar**
- **grauer Grob-Sandstein mit Calcitgängen, Gesteinsbruchstücke (Amphibolit), Glimmer (Biotit/Muskovit), Quarz, Einregelung erkennbar, Fossilien**
- **dunkelgrauer Fein- Sandstein, (viel Organic) ohne Calcitgängen, viel Glimmer**

Die Matrix von allen Gesteinen ist calcitisch aber grob (Zement), d.h. dass die Gesteine wie im Beton eingebettet sind.

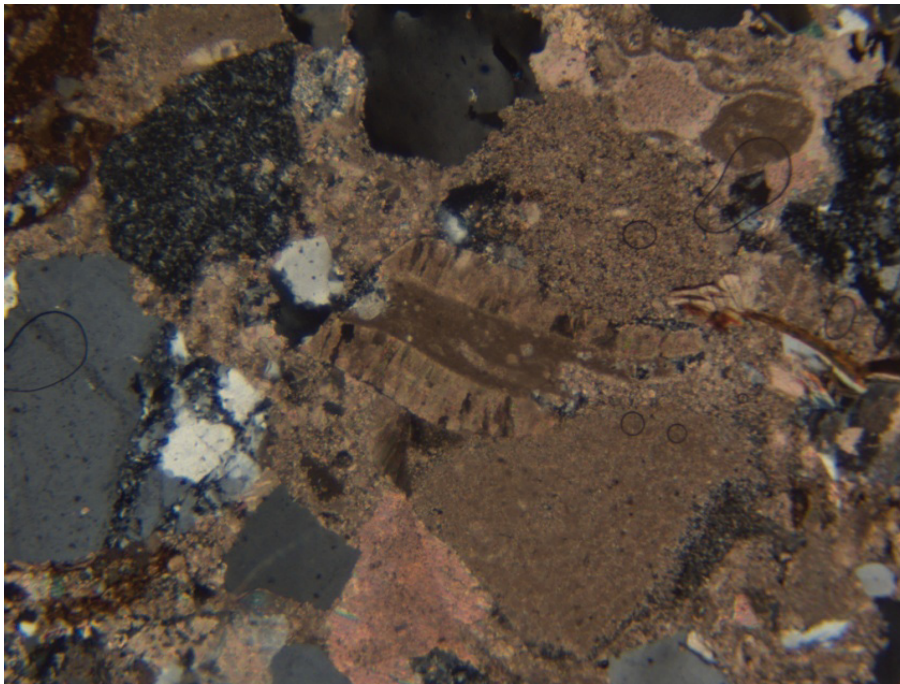


Abbildung 65: Mikroskopierter Dünnschliff

- **Röntgendiffraktometrie**

Bei der Röntgendiffraktometrie werden Röntgenstrahlen ausgesandt und auf dem Material aufgrund der Beziehung nach Bragg unterschiedlich reflektiert und gebrochen. Dies Strahlen können mittels Detektoren in unterschiedlichen Winkelanordnungen aufgenommen werden. Unterschiedliche Minerale haben differente Brechungen. Der Mineralgehalt kann so

bestimmt werden. Die Ergebnisse der Röntgendiffraktometrie (Diffraktogramme) sind im Anhang D angeführt.

- **Kalkgehalt Abbaumaterial**

Der Kalkgehalt wird mit einem Gerät für die Gesamtkarbonatsbestimmung nach Scheibler bestimmt.

Die gasvolumetrische Bestimmung des Gesamtkarbonatgehaltes beruht auf folgender druck- und temperaturabhängigen Reaktion:



Die Karbonatminerale werden mit HCl gelöst. Das Volumen des dabei entstehenden CO₂ wird mit dem Scheibler-Gerät gemessen und daraus der Karbonatgehalt errechnet. Da dieses Verfahren druck- und temperaturabhängig ist, muss vor jeder Meßreihe eine Eichmessung mit CaCO₃ p.a. vorgenommen werden.

Die folgende Tabelle 18 zeigt den durchschnittlichen Kalkgehalt des Abbaumaterials.

Tabelle 19: Kalkgehalt Abbaumaterial

Material	Karbonatgehalt [%]
Sed. Gestein	43,38
Schiefer	28,53

Anhand dieses Ergebnisses kann man sehr schön erkennen, dass das sedimentäre Gestein sehr stark Calcit zementiert ist und ebenfalls sehr häufig calcitische Gesteinsbruchstücke enthalten sind. Beim Tonschiefer erkennt man auch, dass auch hier die Fluide mit der calcitischen Fracht gewirkt haben und diesen mit Calcit angereichert haben.

4 Ergebnisse / Diskussion

Im Zuge der Arbeit in Liechtenstein wurden verschiedene Veränderungen durchgeführt, welche nachfolgend diskutiert werden:

- **Baurestmassenrecycling**

Das Baurestmassenrecycling wurde durch den Kauf der mobilen Nachsieveeinrichtung sehr erleichtert, es wurden dadurch gute Aufbereitungsversuche gefahren. Das Material entspricht den normativen Vorgaben in Bezug auf das Korn. Es müssen sicherlich noch einige Versuche durchgeführt werden, um genaue Spezifikationen zu erhalten. Der Wareneingang sollte noch stärker überwacht werden, da oft sehr starke Verunreinigungen im Material vorhanden sind. Zudem sollte ein besser abgegrenztes Labor, z.B. im alten Wiegecontainer oder in der Schaltzentrale des Kieswerkes, eingerichtet werden, damit man auch Rückstellproben aufbewahren kann, um spätere eventuelle Reklamationen des Materials zu widerlegen. Das Labor sollte unabhängig von anderen Einrichtungen des Kieswerkes betrieben werden. Die ständige Überprüfung und Reinhaltung sämtlicher Laborgeräte muss ordentlicher durchgeführt werden und es sollte dort ein Verantwortlicher ernannt werden. Die Kapazitäten für das Baurestmassenrecycling wären mit dem neuen Aufbereitungsplatz ausreichend, da die Firma Meier nicht der einzige Baurestmassenaufbereiter in Liechtenstein ist und sich die Mengen je nach Entfernung des Abbruchobjektes auf die verschiedenen Anbieter aufteilt. Somit kann keine genaue Mengenangabe vorausgesetzt werden.

- **Kläranlage mit neuem Tank**

Die neue Kläranlage ist bereits in Betrieb und nach Rücksprache mit Herrn Meier ist durch den Umbau mehr Druck auf der Anlage und die Körnungen werden beim Waschprozess sauberer. Außerdem steht mehr Wasser zur Verfügung und die Verunreinigungen werden, wie schon oben erklärt mit der Siebmaschine abgesiebt. Die Energiekosten werden zeigen, ob dieser Umbau auch auf der Energieseite effektiv war.

- **Recyclingbeton**

Der Recyclingbetonversuch hat eigentlich bestens funktioniert. Es ist angedacht mit einer kleinen mobilen Mischanlage mit Förderkübel solche Recyclingkörnungen anzubieten. Doch müssen hier noch einige Tests durchgeführt werden und mit Betonfachleuten ist eine genaue Mischung für den Beton zu ermitteln. Außerdem kann auch Konstruktionsbeton am Standort Schaan gemischt werden.

Die Firma Frei Beton AG in Buchs denkt auch an den Einsatz von diesen Recyclingkörnungen in den Verbundsteinen. Es haben erste Gespräche darüber stattgefunden und im Frühjahr 2008 gibt es wahrscheinlich die ersten Testversuche im Betonwerk.

- **Sammlung von Baurestmassen am Standort Schaan mit den Kapazitäten für die Lagerung bzw. Aufbereitung**

Die Sammlung und Lagerung der Baurestmassen erfolgt einerseits am Areal des alten Schlammteiches (Mischabbruch) und andererseits hinter dem Aufgabebunker des Kieswerkes (Betonabbruch). Es wurden Gespräche mit der Gemeinde Schaan geführt, eine Erweiterung des Kieswerkes durchzuführen, da eine zentrale Inertstoffdeponie für ganz Liechtenstein am Areal der Ruefe angedacht ist. Somit müssten noch zusätzliche Flächen für die Firma Meier zur Verfügung gestellt werden, um die großen Lockergesteinsmengen zu handhaben. Entsprechende Gespräche und Verhandlungen finden zur Zeit statt. Mit dem neuen Aufbereitungsplatz am Gelände des ehemaligen Schlammsees, können die Körnungen schön voneinander getrennt gelagert werden. Somit kann auch bei der Annahme mehr selektiert werden, da es bisher aufgrund des Platzmangels sehr schwierig war, derartige Körnungen exakt zu trennen. Das Aushubmaterial ist schon in den verschiedenen Qualitätsklassen gelagert und muss nur mehr abgeseibt werden. Die nachfolgende Abbildung 67 zeigt einen Überblick über das gesamte Areal des Kieswerkes mit dem neuen geplanten Aufbereitungsplatz bezüglich des Deponiekonzeptes. Der Aufbereitungsplatz Schlammsee alt ist momentan in Vorbereitung, da an dieser Stelle der vorherige Schlammsee installiert war.

Bodenaushubzwischenlager



Geplante Rodungsfläche Deponiekonzept neu

Aufbereitungsplatz Schlammsee alt

Abbildung 66: Kieswerk mit geplanten Flächen [1]

- **Marmorsplitt**

Die Pflästereiabfälle sollen in Zukunft mit dem alten Bachenbrecher gebrochen und in Big-Bags abgesackt werden. Es wurden schon derartige Säcke mit einer Tonne Nutzlast besorgt und übergeben. Andere Körnungen werden ebenfalls abgesackt, da die kleinen Gartenbaufirmen solche Kleinmengen in Säcken leichter handhaben können. Außerdem werden Rundkörnungen für den Gartenbau nicht so schmutzig und können im Werk leicht gelagert werden. Das Massenpotential könnte für dieses Material erweitert werden, doch muss man zuerst beobachten, inwiefern dieses Material Absatz findet.

- **Prallbrecher**

Der Prallbrecher wird voraussichtlich im Jahr 2008 installiert und die Versuche werden, wie oben schon genannt, mit der Firma Vortex durchgeführt. Zudem wird diese Maschine ein Testobjekt für Vorführungen und Testläufe für Materialien aus der ganzen Schweiz.

- **Setzmaschine**

Für bessere Aufbereitungsschritte ist sicherlich eine Setzmaschine nötig, doch steht momentan der Aufwand für den Einbau eines solchen Gerätes nicht dafür. Die wichtigere Investition wird der Prallbrecher sein, da man mit diesem Gerät flexibler arbeiten kann und auch eine bessere Auslastung hat.

- **Stoff- und Energiebilanzierung**

Dieser Punkt konnte nicht durchgeführt werden, da hierzu sämtliche Aufbereitungsaggregate messtechnisch erfasst werden hätten müssen und dies aufgrund der Auftragslage nicht möglich war. Hierzu muss das gesamte Kieswerk mindestens eine Woche für den Produktionsprozess stillstehen, da einige Umbauten und Versuche dazu notwendig wären. Dies kann nur in den Wintermonaten stattfinden, da hier die Produktion stillsteht. Es wurde eine Bilanzierung für Recyclingbeton eines Fremdforschungsinstitutes aufgenommen, um zu zeigen inwiefern Baurestmassenrecycling für die Umwelt sinnvoll ist.

- **Kieswaschschlamm**

Ein großes Problem stellt der Kieswaschschlamm dar, da enorme Flächen durch den Schlammteich in Anspruch genommen werden. Es gibt hier einige Vorschläge von Schweizer Experten, doch hat man noch keine Lösung gefunden.

Abschließend kann festgehalten werden, dass mit dieser Arbeit einmal ein Grundstein gelegt wurde und die verschiedenen Versuche erst im Anfangsstadium sind. Dennoch sind ein paar gute und umsetzbare Ansätze für das Kieswerk gefunden worden. So könnten die Versuche mit Recyclingbeton in Zusammenarbeit mit der Firma Frei Beton AG gewiss gute Ergebnisse erzielen.

5 Zusammenfassung

Die Diplomarbeit beschäftigte sich mit der Entwicklung eines Unternehmenskonzeptes für die Aufbereitung von Baurestmassen am Standort Schaan in Liechtenstein der Firma Wido Meier Anstalt. Es wurde dabei auf folgende Punkte Bedacht genommen:

- Sammlung von Baurestmassen am Standort Schaan mit den Kapazitäten für die Lagerung bzw. Aufbereitung
- Verwertungswege und Einsatzmöglichkeiten für Baurestmassen
- Technische Notwendigkeiten bzw. Adaptierungen auf der Anlage für das Baurestmassenrecycling
- Kostenbetrachtung für das Recycling

Ein anfänglich allgemeiner Überblick über das Kieswerk Meier in Liechtenstein zeigt die momentan erzeugten Baurohstofffraktionen. Zudem werden auch die Wareneingänge von Materialien, welche aufbereitet werden sollen, gezeigt. In einem Lockergesteinstagebau werden jährlich 100.000 t an Lockergestein gewonnen und zur Aufbereitungsanlage transportiert. Der Lockergesteinsbergbau spielt für das Kieswerk eine bedeutende Rolle und dabei werden auch die grundlegenden Schritte im Kapitel Abbaumethode Bergbau für die unterschiedlichen Körnungen aus Lockergestein geschildert. Die Aufbereitung der Körnungen erfolgt in einer Nassaufbereitungsanlage. Daher ist die Schlammteichwirtschaft für den Kieswaschschlamm ein immer größer werdendes Problem für den Betrieb. Man ist daher gefordert, neue Wege in der Schlammwirtschaft zu finden. Der Einsatz einer Kammerfilterpresse wäre gewiss ein Problemlöser, doch ist hierbei noch die Kostenseite näher zu betrachten. Beim Rohstoff Kies ist die Preisspanne nicht so hoch, um derartig aufwendige Produktionsprozesse an den ohnehin schon teuren Waschprozess noch weiter anzuschließen.

Im Kapitel Recyclingkonzept Baurestmassen wird die Adaptierung der Kläranlage durch den Einbau eines Zusatztanks besprochen. Diese Überlegung wurde getroffen, da durch den Waschprozess täglich Wasser aus dem zentralen Leitungsnetz nachgespeist werden muss und dies mit dem normalen Wassertarif abgerechnet wird.

Die Aufbereitung von Bauabfällen wird im Kapitel Mineralische Bauabfälle besprochen. Es wurde hier versucht, einen Konsens mit den normativen Vorgaben zu finden und etwaige Unklarheiten zu beseitigen. Es werden auch andere Abfallfraktionen aus dem Bauwesen (Betongranulat, Pflästereiabfälle) betrachtet und verkaufsfähige Produkte durch gezielte Aufbereitung hergestellt. Ein weiterer Versuch war der Einsatz von Recyclingbeton. Aus diesem Grund wurde für den zusätzlichen Wasserspeicher eine Betonplatte aus Recyclingbeton eigens hergestellt. Die Mischung der Rohstoffe für den Beton erfolgte im Betonmischwagen. Die Aufgabe der Körnungen und der Zuschlagstoffe wurde über eine

Betonverladestation durchgeführt. Es konnten durch diesen Versuch sehr gute Ergebnisse erzielt werden.

Es wird im Zuge dieser Arbeit auch auf Überlegungen zu neuen Aufbereitungsaggregaten, mit denen bessere Produktqualitäten erzielbar wären, eingegangen. Zum Einen wird über einen Nachbrecher nachgedacht, der für kubische Körnungen und mehr Brechsand in der Aufbereitung sorgen würde. Der Einbau einer Setzmaschine für sauberere Recyclingbaustoffe und zur Abtrennung des Schiefers, der im Lockergesteinstagebau vorkommt, wird ebenfalls angedacht. Die an der Montanuniversität durchgeführten Materialanalysen sind am Ende des Kapitels Recyclingkonzept Baurestmassen angeführt. Es wurden Kalkanalysen des Abbaumaterials, Diffraktometeranalysen und Schlammanalysen durchgeführt. Zudem sind im Anhang detaillierte Bilder zum gesamten Betrieb enthalten, mit dessen Hilfe man einen guten Eindruck bekommt.

6 Verzeichnisse

6.1 Literatur

- [1] Online: Homepage von Google Earth: www.google.com, Stand: 23.11.2007
- [2] Forschungszentrum Karlsruhe (Hrsg.): Ökobilanzieller Vergleich der Betonherstellung - Stoffströme im Bausektor; Karlsruhe: Institut für Technische Chemie, Zentralabteilung Technikbedingte Stoffströme, des Forschungszentrum Karlsruhe, 2004
- [3] Cerny, Immo: Skriptum Baurohstoffe; Leoben: Institut für Geologie, Montanuniversität Leoben, 2007
- [4] Schweizerische Geotechnische Kommission (Hrsg.): Die mineralischen Rohstoffe der Schweiz; Zürich: Schweizerische Geotechnische Kommission, 1997; ISBN 3-907997-00-X
- [5] Online: Homepage des Aushub-, Rückbau- und Recycling-Verband Schweiz: www.arv.ch, Stand 10.10.2007
- [6] Kepplinger, Werner: Skriptum Mechanische Verfahrenstechnik. Leoben: Institut für Verfahrenstechnik des Industriellen Umweltschutzes, Montanuniversität Leoben, 2006
- [7] Online: Homepage der Firma Derfesser: www.derfesser.at, Stand 05.08.2007
- [8] Online: Homepage des Aushub-, Rückbau- und Recycling-Verband der Schweiz: www.arv.ch, Stand: 09.09.2007
- [9] Online: Homepage der Firma Stauss Recyclinganlagen: stauss-recycling.com, Stand 27.09.2007
- [10] Online: Homepage des Fachverbandes der Schweizerischen Kies- und Betonindustrie: www.fskb.ch, Stand 24.10.2007
- [11] Hoffmann, Cathleen: Recyclingbeton hat Zukunft, Dübendorf: EMPA, 2007
- [12] Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton (Hrsg.): Kursunterlagen Betontechnologie, Wildegg: Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton, 2007
- [13] Grübl, P.; Rühl, M.; Lemmer, C.: Spezifische Rohdichte von Abbruchmaterial – Entwicklung eines neuen Charakterisierungsverfahrens, Darmstadt: Darmstadt Concrete, 1997
- [14] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg.): Großtechnische Versuche zur Nassaufbereitung von Recyclingbaustoffen mit der Setzmaschine – Einflüsse der

- Aufbereitung von Bauschutt für eine Verwendung als Betonzuschlag, Berlin: Beuth, 2003
- [15] Online: Homepage der Firma Scherf – Sand und mehr: www.scherf.at, Stand: 05.10.2007
- [16] Online: Homepage der Allmineral Aufbereitungstechnik GmbH & Co. KG: www.allmineral.com, Stand: 11.11.2007
- [17] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg.): Beton als kreislaufgerechter Baustoff, Berlin: Beuth; 2001
- [18] Online: Homepage der Firma Deisl Beton: www.deisl-beton.at, Stand: 17.10.2007
- [19] Weil, M.; Jeske, U.: Ökologische Positionsbestimmung von Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen, Eggenstein-Leopoldshafen: Institut für Technische Chemie Zentralabteilung Technikbedingte Stoffströme (ITC-ZTS) Forschungszentrum Karlsruhe, 2002
- [20] Schrödel, Hermann: Produktprospekt Vortex Zerkleinerungstechnik, Gallspach: Vortex Zerkleinerungstechnik GmbH, 2007
- [21] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (Hrsg.): Betonwaren mit Recyclingzuschlägen – Recyclieren von Leichtbeton, Berlin: Beuth; 2002
- [22] Online: Homepage der Abfallinfo Schweiz GmbH: www.abfall.ch, Stand: 12.11.2007

6.2 Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius
a	Jahr
abh.	abhängig
etc.	et cetera
mm	Millimeter
%	Prozent
g/m ³	Gramm pro Kubikmeter
FSKB	Fachverband Sand Kies Beton
g	Gramm
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
RL	Richtlinie
VSS	Verband schweizerischer Straßen- und Verkehrsfachleute
SIA	Schweizer Ingenieur- und Architektenverband
CBR	Direkter Tragindex
SN	Schweizer Norm
Gew.-%	Gewichtsprozent

z.B.	zum Beispiel
sfr.	Schweizer Franken
ca.	circa
RC-Sand	Recyclingsand
RC-Splitt	Recyclingsplitt
LKW	Lastkraftwagen
usw.	und so weiter
EN	Europäische Norm
Vol.-%	Volumenprozent
kg/dm ³	Kilogramm pro Kubikdezimeter
m ³	Kubikmeter
t/m ³	Tonnen pro Kubikmeter
t	Tonnen
WC	Abort, Toilette
AOX	Halogene und Verbindungen
TOC	Totaler Organischer Kohlenstoff
DOC	Gelöster Organischer Kohlenstoff
SFA	
KEA	Kumulierter Energieaufwand
GWP	Treibhauspotential
TS	Trockensubstanz
VMR	Verbrauch mineralischer Rohstoffe

6.3 Tabellen

Tabelle 1: Zusammensetzung unterschiedlicher Kiesschlammtypen.....	38
Tabelle 2: Verwertungsmöglichkeiten von Kieswaschschlamm	41
Tabelle 3: Qualitätsanforderungen an Mischabbruchgranulat.....	43
Tabelle 4: Verwendungsmöglichkeiten von Mischabbruchgranulat	43
Tabelle 5: Korndurchmesser zu Probemenge	63
Tabelle 6: Siebdurchgang [M-%] für die Sieblinien	67
Tabelle 7: Richtwerte für Dichten der Ausgangsstoffe für den Mischungsentwurf	69
Tabelle 8: Mindestanforderungen an Beton mit der Gesteinskörnung D_{\max}^{32}	70
Tabelle 9: Mischungsdaten RC-Beton.....	78
Tabelle 10: Wasserzugabe RC-Versuch	78
Tabelle 11: Arbeitsaufwand und Kosten.....	80
Tabelle 12: Mittlere Konzentrationen einiger Schadstoffe im Eluat.....	83
Tabelle 13: Schadstoffgehalte im Eluat von Mischabbruchgranulat.....	84

Tabelle 14: Qualitätsanforderungen an Betongranulat.....	86
Tabelle 15: Nominelles Größtkorn bei Betongranulat	87
Tabelle 16: Verwendungsmöglichkeiten für Betongranulat.....	88
Tabelle 17: Parameter aus Laborversuchen am IAE in Leoben.....	107
Tabelle 18: Chemische Zusammensetzung des Kieswaschschlammes.....	108
Tabelle 19: Kalkgehalt Abbaumaterial.....	110

6.4 Abbildungen

Abbildung 1: Kieswerk Meier am Standort Schaan	8
Abbildung 2: Erzeugte Fraktionen	9
Abbildung 3: Stoffströme im Bausektor.....	12
Abbildung 4: Lockergesteinstagebau	15
Abbildung 5: Sprengerfolg der Freisteinsprengungen.....	16
Abbildung 6: Analysenflussdiagramm	18
Abbildung 7: Parameter eines Einzelkornes	19
Abbildung 8: Kornform, Durchmesserhältnisse, Definitionsbereiche	20
Abbildung 9: Mahltrommel für den Los-Angeles-Versuch.....	21
Abbildung 10: Sedimentationsversuch.....	23
Abbildung 11: Güteüberwachung FSK.....	24
Abbildung 12: Aufbereitungsanlage bis zum Steigband.....	26
Abbildung 13: Aufbereitungsanlage vom Steigband	28
Abbildung 14: Zeichnung des Silos	30
Abbildung 15: Lageplan Kläranlage	31
Abbildung 16: Fließschema Kläranlage.....	32
Abbildung 17: Vertikal-Stromapparat	33
Abbildung 18: Kläranlage mit neuem Zwischentank	35
Abbildung 19: Betonherstellung	36
Abbildung 20: Kalzit- Dolomit- und Tonmineralgehalt in Kieswaschschlämmen.....	37
Abbildung 21: Schema für Kammerfilterpresse.....	40
Abbildung 22: Kammerfilterpresse	40
Abbildung 23: Mischabbruch	44
Abbildung 24: Probenahmeprotokoll Mischabbruchgranulat 0/63 mm.....	47

Abbildung 25: Korngrößenverteilung des Mischabbruchgranulates 0/60 mm	48
Abbildung 26: Mischabbruchgranulat 0/60 mm	48
Abbildung 27: Probenahmeprotokoll Mischabbruchgranulat 0/80 mm	50
Abbildung 28: Korngrößenverteilung 0/80 mm	51
Abbildung 29: Container Handsortieranlage bei der Papiersortierung	52
Abbildung 30: Handsortieranlage am LKW	52
Abbildung 31: Kehrricht	53
Abbildung 32: Eisenschrott	54
Abbildung 33: Mengenangaben der Bauabfälle für die gesamte Schweiz	56
Abbildung 34: Schwankungen in der stofflichen Zusammensetzung von Mischabbruch	58
Abbildung 35: Qualitätseinbußen von Recyclingbeton gegenüber Normalbeton	59
Abbildung 36: Geometrische Eigenschaften von Körnern	61
Abbildung 37: Bestimmung der Körnungsziffer	62
Abbildung 38: Probenahme ab Depot	64
Abbildung 39: Probenahme ab Förderband	64
Abbildung 40: Schematische Darstellung der Vierteilmethode	65
Abbildung 41: Sieblinien der Korngruppen 0/4, 4/8, 8/16/ 16/32 als Beispiel	66
Abbildung 42: Schematische Darstellung der Stoffraumanteile in 1 m ³ Beton	68
Abbildung 43: Apparatur zur Rohdichtentrennung	72
Abbildung 44: Beurteilung von Recyclingzuschlägen mittels Rohdichtentrennapparatur	72
Abbildung 45: Fahrmischer	73
Abbildung 46: Mischwagen mit Verladestation	75
Abbildung 47: Probenahmeprotokoll Recyclingbetonschotter 0/30	76
Abbildung 48: Korngrößenverteilung Recyclingbetonschotter 0/30	77
Abbildung 49: Betonplatte mit Loch des Rüttlers	79
Abbildung 50: Restbeton Auswaschanlage	81
Abbildung 51: Kernbeton und Vorsatzschale	85
Abbildung 52: Betongranulat 0/70 mm	90
Abbildung 53: Marmorsplitt aus Oberösterreich	92
Abbildung 54: Setzmaschine	93
Abbildung 55: Mischabbruchkies für die Betonplatte	96

Abbildung 56: Zielvorstellungen zu den Untersuchungen „Beton als kreislaufgerechter Baustoff“	97
Abbildung 57: Verwendung rezyklierter Gesteinskörnungen im Beton	98
Abbildung 58: System Stahl-Beton.....	99
Abbildung 59: Ergebnisse des ökobilanziellen Vergleichs	100
Abbildung 60: Grenzentfernung aus Sicht des Betonwerkes	101
Abbildung 61: Vortex Prallbrecher.....	103
Abbildung 62: Datenblatt Vortex RA Naturstein/Recycling.....	104
Abbildung 63: Betonpulverisierer	105
Abbildung 64: Mehrmuldenkonzept.....	106
Abbildung 65: Mikroskopierter Dünnschliff	109
Abbildung 67: Kieswerk mit geplanten Flächen	112

Anhang A

Bilderschau

Teil I: Aufbereitungsanlage

Im Anhang werden noch Bilder vom Kieswerk gezeigt. Die Bildnummern der Aufbereitungsanlage stimmen mit den Nummern des Schemas der Aufbereitungsanlage zusammen.



Aufgabetrichter



Bunkerabzugsband (10)



Vorsieb (11)



Einlassmaul Vorbrecher (12)



Vorbrecher (12)



Sammelband (13)



Magnetband (14)



Steigband (20)



Permanentmagnet (15)



Turbo-Wäscher (21)



Austrag (22)



Hauptsieb (23)



Holzsieb mit Austrag (25)



Kunststoffsiebe und Waschdüsen



Brecherband (30) und Nachbrecher (31)



Brechgutsieb (32)



Körnungssieb (42)



Sandsieb (24)



Feinsandentwässerung (53)



Vorzyklon



Multizyklon



Schlamm tank



Körnung 32/63



Körnung 16/32



Körnung 8/16



Körnung 4/8 (Frei-Splitt)



Natursand 0/4 (Frei-Sand)



Schlammssand

Teil II: Betonierarbeiten Kläranlage



Schlosserei



Betonverladung



Mischwagenverladung



Zement wird zugegeben



Zementaufgabe



Schalung mit Bewehrung



Beginn der Betonierarbeiten



Rüttler im Einsatz



Platte ist fast fertig

Teil III: Stein setzen in Schaan



Autokranverladung des Steins (9 Tonnen) Abladen des Steins im Zentrum von Schaan



Körnungen werden eingebaut

Beendigung der Arbeit

Teil IV: Sprengversuche



Sprengutensilien



Freisteine (Knauer)



Nach der Sprengung





Wido Meier bei der Begutachtung des Sprengerfolges

Teil V: Aufbereitungsversuch Prallbrecher



Mischabbruch



raupenmobiler Gipo Prallbrecher



Überkornband; Vorabsiebung; Hauptaustragsband; Magnetband; Siebmaschine



Aufgabeschurre und Prallbrecher

Vorabsiebung 0/30



Sieb an der Siebmaschine

Hakenmobile Siebmaschine



Mischabbruchgranulat



Überkorn



Leichtstoffe unter Überkornband



Eisen/Schrott



Fraktionen im Überblick



Vorabsiebung



Lagerung am Depot



Fremdstoffe

Teil VI: Zwischenlager für Bodenaushub, Schlammteich und Lockergesteinstagebau



Zufahrt Zwischenlager und Bergbau



Bodenaushub in versch. Qualitäten



Schlammteich



Blick auf den Bergbau



Herkunftsgebirge des Schuttkegels



Bollensteine

Teil VII: Betonaufbereitung



Zwischenlager für Betonabbruch



Testplatten Firma Hilti AG



Betongranulat



Sortieren des Betonabbruchs



Betonpulverisierer



Kippkante

Teil VIII: Fahrzeuge



Volvo Radlader I (L120E)



Volvo Radlader II (L120C)



Volvo Dumper A30C



Volvo Kettenbagger (20 t Einsatzgewicht)



O&K Kettenbagger (30 t Einsatzgewicht)



DAF Sattelzugmaschine mit Auflieger

Teil IX: Infrastruktur Kieswerk Meier



Wiegecontainer bzw. Bürocontainer

Brückenwaage



Ein- und Ausfahrt Kieswerk

Mannschaftsraum



Kläranlage mit neuem Wassertank



Rüttler für Siebanalyse

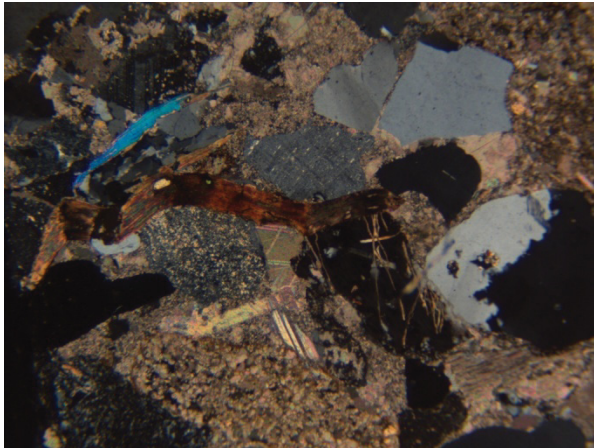


Siebe mit versch. Maschenweiten

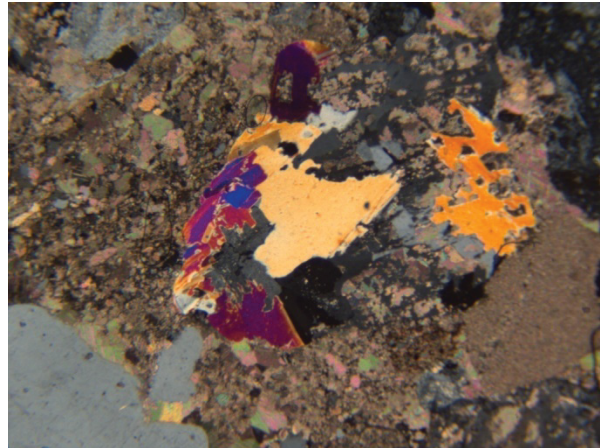


Proben

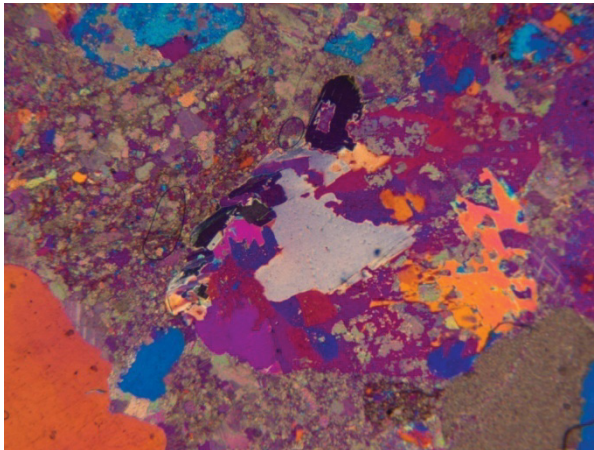
Teil X: Mikroskopierte Bilder von den Dünnschliffen



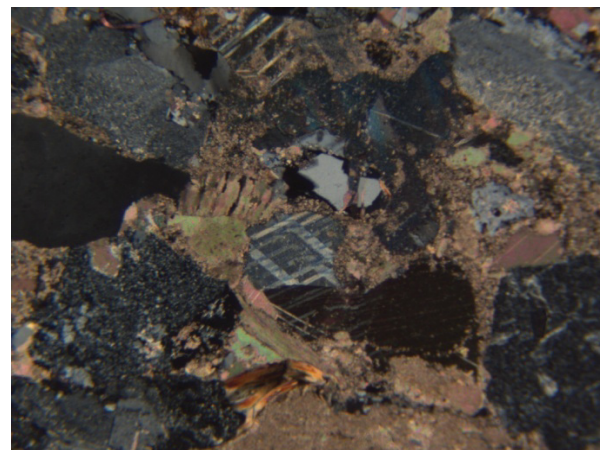
Dünnschliff zwei



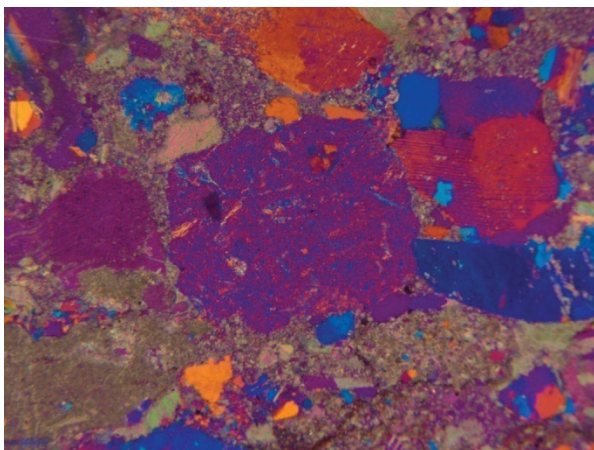
Dünnschliff drei



Dünnschliff vier



Dünnschliff fünf



Dünnschliff sechs

Anhang B

Beispiel zur Berechnung einer Siebkurve einer Gesteinskörnung

Berechnen Sie die Siebkurve einer Gesteinskörnung aus folgender Kornzusammensetzung:

- 0/4 mm 35 %
- 4/8 mm 15 %
- 8/16 mm 20 %
- 16/32 mm 30 %

	Siebdurchgänge [%] in Abhängigkeit der Sieböffnungen [mm]								
Korngruppen/Anteil %	0,125	0,25	0,50	1,0	2,0	4,0	8,0	16,0	32,0
0/4 mm 35 %	3	5	11	18	21	35	35	35	35
4/8 mm 15 %							15	15	15
8/16 mm 20 %							2	18	20
16/32 mm 30 %								3	30
Rechnerische Sieblinie	3	5	11	18	21	35	52	71	100

Anhang C

Vorgehen zur Bestimmung einer Betonzusammensetzung (Schulungszentrum TFB, Betontechnologiekurs)

1. Aufgrund der statischen Berechnungen und den konstruktiven Abmessungen des auszuführenden Betonbauwerkes ist die Klassifikation des Betons bekannt. Gemäß der SN EN 206-1 sind dafür allgemein folgende Angaben zu liefern:
 - a. Festigkeit
 - b. Exposition
 - c. Höchstchloridgehalt
 - d. Größtkorndurchmesser der Gesteinskörnung
 - e. Rohdichte bei Leichtbetonen
 - f. Konsistenz

Im Weiteren sind die Mindestanforderungen der Tabelle XXX zu berücksichtigen.

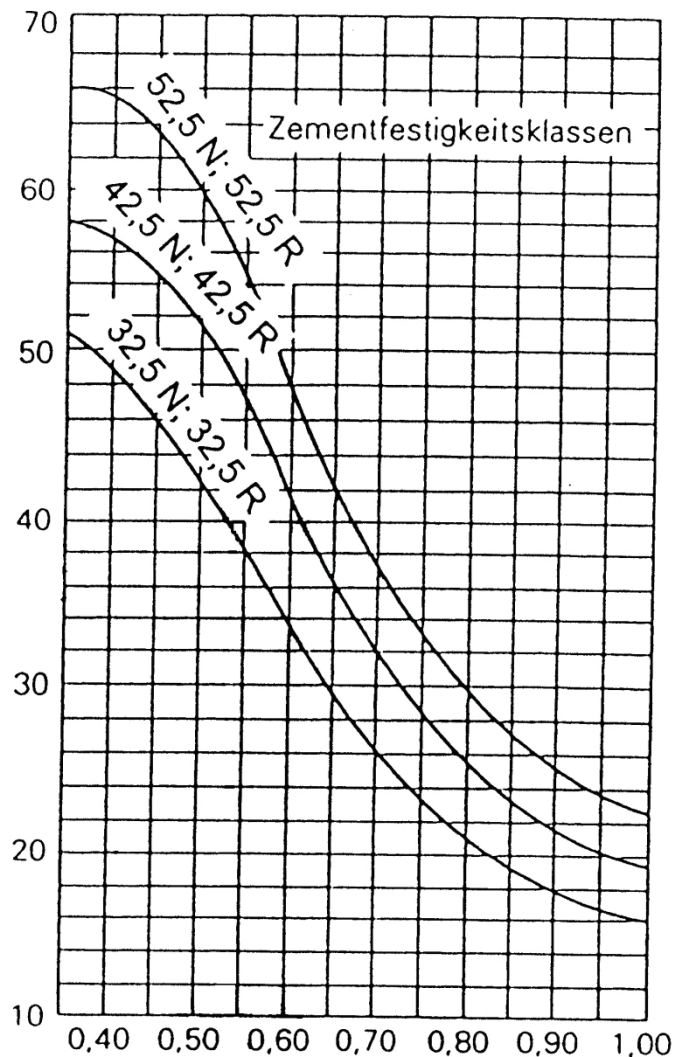
Tabelle: Qualität der Überwachung auf der Baustelle

Typ der Baustelle	Qualität der Überwachung der Bauausführung ausgedrückt als Standardabweichung s der mittleren Druckfestigkeit [N/mm ²]			
	Sehr gut	gut	annehmbar	Schlecht
Mittlere Baustelle, einige Festigkeitsproben, Volumen- und Gewichtsdosierung, Aufsicht durch Polier	4	5	6,5	8
Großbaustelle, 30 und mehr Festigkeitsproben, Gewichtsdosierung, Aufsicht durch geschulten Betonfachmann	3	4	5	7

2. Definition der anzustrebenden mittleren Würfel Festigkeit $f_{cm,28}$ unter Berücksichtigung der massgebenden Standardabweichung s für den gesamten Herstellungsprozess eines Betonbauwerks/-bauteils.

Mittlere Festigkeit: $f_{cm,28} = f_{ck,cube} + 1,64 \cdot s$ s = Standardabweichung

3. Abschätzung des maximal zulässigen Wasserzementwertes in Abhängigkeit der mittleren Würfeldruckfestigkeit mit Hilfe der folgenden Abbildung. Zusätzlich sind die aus den Expositionsklassen resultierenden Randbedingungen zu berücksichtigen. Der restriktivste W/Z-Wert ist maßgebend.



Wasserzementwert W/Z

Abbildung: Betondruckfestigkeit f_{cm} nach 28 Tagen in Abhängigkeit des Wasserzementwertes für die Zementfestigkeitsklassen 32,5; 42,5 und 52,5 (der natürliche Luftporenhalt für die vollständig verdichteten Betone wird mit 1,5 Vol.-% vorausgesetzt)

4. Anhand der Sieblinie ist für die zu verwendende Gesteinskörnung die Körnungsziffer k zu ermitteln.

5. Mit Hilfe der Körnungsziffer k und der Vorgabe einer gewünschten Frischbetonkonsistenz lässt sich anhand der nachfolgenden beiden Abbildungen der Wasseranspruch W der zu verwendenden Gesteinskörnung abschätzen.

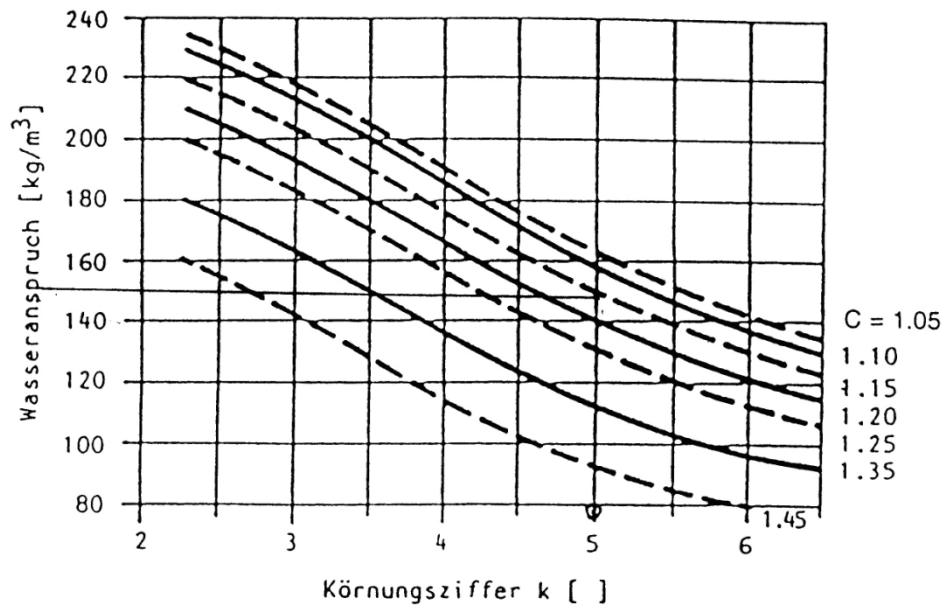


Abbildung: Gesteinskörnung mit geringem Wasseranspruch (gerundete Körner)

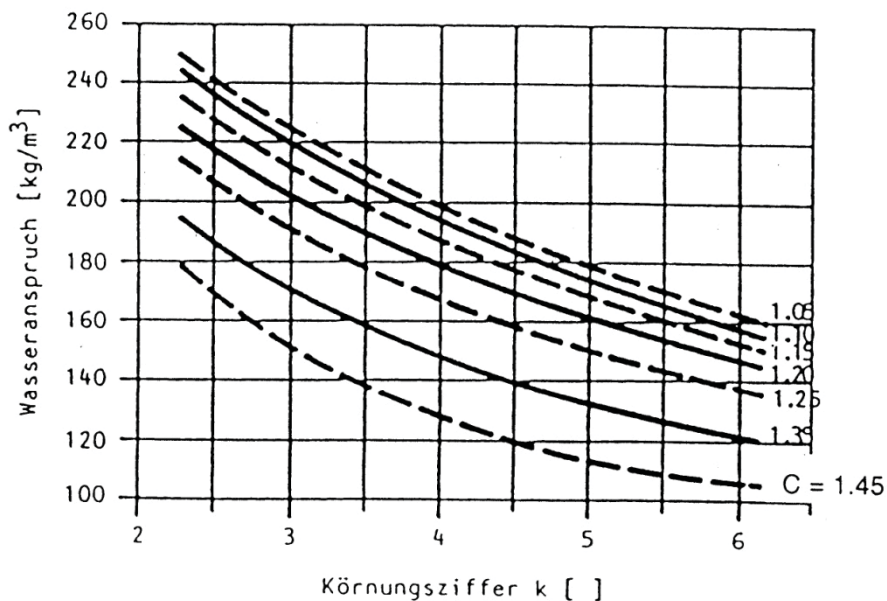


Abbildung: Gesteinskörnung mit erhöhtem Wasseranspruch (gebrochene Körner)

6. Der Wasseranspruch W der Gesteinskörnung und der zu berücksichtigende W/Z -Wert bestimmen den erforderlichen Zementgehalt Z :

$$Z = W/(W/Z)$$

Bei der abschließenden Festlegung des Zementgehaltes sind zusätzlich vorgeschriebene Mindestzementmengen zu berücksichtigen. Zudem ist bei der Verwendung von puzzolanischen oder latenthdraulischen Zusatzstoffen deren Anrechenbarkeit als Bindemittel gemäß der SN EN 206-1 zu berücksichtigen.

7. Ermittlung des Gehalts der Gesteinskörnung mit Hilfe der umgeformten Gleichung:

$$G = (1000 - Z/\rho_Z - W/\rho_W - F/\rho_f - P) \cdot \rho_{RG} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Vollständig verdichteter Beton (ohne Luftporen) weist ca. 1-3 % natürliche Luftporen auf. Im Allgemeinen wird ein Durchschnittswert von 15 dm/m³ vorausgesetzt. Bei der Verwendung von Luftporenmitteln ist dieser Wert entsprechend anzupassen.

8. Kontrolle des Mehlkorngeltes und des Mehlkorn- und Feinstsandanteiles sowie Vergleich mit den als Grenzwerte vorgegebenen Richtwerten. Die folgende Tabelle zeigt die Richtwerte für Mehlkorngelalte in Beton. Je nach Ergebnis sind Rezepturanpassungen notwendig:

Tabelle: Richtwerte für Mehlkorngelalte in Beton in Abhängigkeit vom Größtkorn der Gesteinskörnung

	Durchmesser des Größtkorns der Beton-Gesteinskörnung [mm]					
	8	16	22,5	32	45	63
Richtwerte des Mehlkorngelaltes [kg/m³]	450	400	375	350	325	300

Anhang D

Zementeigenschaften und Daten

Normo 4

- Ist ein reiner Portlandzement und erfüllt alle Anforderungen an Portlandzement CEM I 42,5 N nach SN EN 197-1.
- Ist aufgrund seiner vielfältigen und günstigen bautechnischen Eigenschaften der Standardzement für alle normalen Anwendungsbereiche.
- Erfüllt alle Anforderungen an Bindemittel für Betonbauten nach Norm SIA 262 und SN EN 206-1.
- Besitzt ein gutes Wasserrückhaltevermögen und neigt somit bei sachgemäßer Benutzung nicht zum Wasserabsondern.
- Gut geeignet zur Herstellung von Transportbeton.
- Zur Herstellung von Konstruktionsbeton mit besonderen Eigenschaften, wie Wasserdichtigkeit, Frost- und Frosttausalzbeständigkeit eingesetzt.

Anwendungsbereiche:

- Allgemeiner Hoch- und Tiefbau
- Betonstraßen
- Betonwaren
- Füllinjektionen
- Pumpbeton
- Putz- und Mauermörtel
- Unterlagsböden
- Zementstabilisierungen

Zement

Zusammensetzung nach SN EN 197-1

Massenanteile in %¹⁾

Zementart	Produktname	Bezeichnung	Kennzeichnung	Portlandzementklinker K	Kalkstein LL	Nebenbestandteile
CEM I	Normo 4	Portlandzement	I	95...100		0...5
CEM II	Fluvio 4	Portlandkalksteinzement	II/A-LL	80...94	6...20	0...5

1) Die in der Tabelle angegebenen Werte beziehen sich auf die aufgeführten Haupt- und Nebenbestandteile des Zementes ohne Calciumsulfat (Gips).

Mechanische und physikalische Anforderungen nach SN EN 197-1

Festigkeitsklasse	Druckfestigkeit ²⁾ [N/mm ²]			Erstarrungsbeginn ³⁾ [Minuten]	Dehnungsmaß ⁴⁾ [mm]
	Anfangsfestigkeit		Normfestigkeit		
	2 Tage	7 Tage	28 Tage		
32,5 N	—	≥ 16	≥ 32,5	≤ 52,5	≤ 10
32,5 R	≥ 10	—			
42,5 N	≥ 10	—	≥ 42,5	≤ 62,5	
42,5 R	≥ 20	—			
52,5 N	≥ 20	—	≥ 52,5	—	
52,5 R	≥ 20	—			

1) Prüfung nach Methode EN 196-1 nach Norm SIA 215.001.

2) Prüfung nach Methode EN 196-3 nach Norm SIA 215.001.

Chemische Anforderungen nach SN EN 197-1

Eigenschaft	Zementart	Festigkeitsklasse	Anforderung ¹⁾
Glühverlust ²⁾	CEM I CEM III	alle Klassen	≤ 5,0 %
Unlöslicher Rückstand ³⁾	CEM I CEM III	alle Klassen	≤ 5,0 %
Sulfatgehalt ⁴⁾ (als SO ₃)	CEM I CEM II exkl. CEM II/B-T	32,5 N 32,5 R 42,5 N	≤ 3,5 %
		42,5 R 52,5 N 52,5 R	≤ 4,0 %
	CEM III/A CEM III/B	alle Klassen	≤ 4,5 %
	CEM II/B-T CEM III/C	alle Klassen	
Chloridgehalt ⁵⁾	alle Arten ⁶⁾	alle Klassen	≤ 0,10 % ⁷⁾

1) Alle Prozentangaben bezeichnen Massenanteile in Prozent.

2) Prüfung nach Methode EN 196-2 nach Norm SIA 215.001.

3) Prüfung nach Methode EN 196-21 nach Norm SIA 215.001.

4) Zementart CEM III darf mehr als 0,10 % Chlorid enthalten; der jeweilige Chloridgehalt ist dann jedoch anzugeben.

5) Für Spannbetonanwendungen können Zemente mit einer niedrigeren Anforderung hergestellt werden. In diesem Fall ist der Wert von 0,10 % durch den niedrigeren Wert zu ersetzen und auf dem Lieferschein anzugeben.

Schutz des Betons vor Frost

Schutz des Betons vor Frost

Produktname	Zementart nach SN EN 197-1	Erforderliche Erhärtungszeit in Tagen zum Erreichen der Gefrierbeständigkeit eines Betons mit W/Z-Wert 0,60		
		Betontemperatur		
		5°C	12°C	20°C
Normo 4	CEM I 42,5 N	1	0,75	0,5
Fluvio 4	CEM II/A-LL 42,5 N	1,5	1	0,75

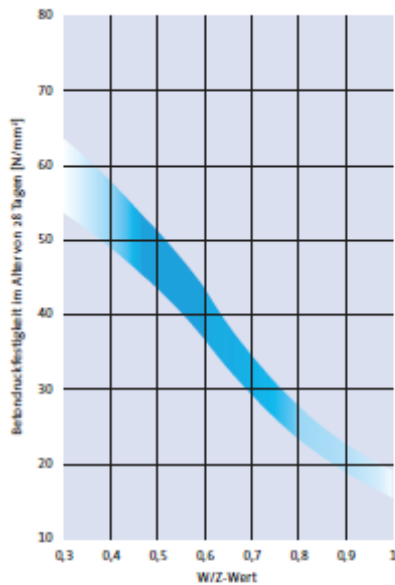
Gegen Niederschlag geschützter junger Beton kann in der Regel ohne Schaden dann einmal durchfrieren, wenn er eine Druckfestigkeit von mindestens 5 N/mm² erreicht hat.

Es wird empfohlen, den Beton so lange vor Frost zu schützen, bis er eine Druckfestigkeit von mindestens 5 N/mm² erreicht hat.

Beton

Portlandzement CEM I 42,5 N

Typischer Betondruckfestigkeitsverlauf in Abhängigkeit vom W/Z-Wert



Das Bild zeigt den mit **Normo 4** in Abhängigkeit vom W/Z-Wert bei vollständiger Frischbetonverdichtung und einer Erhärtungstemperatur von 20°C erreichbaren Betonfestigkeitsbereich.

Die Gesteinskörnung muss den Anforderungen der SN EN 12 620 entsprechen.

Herstellung, Verarbeitung und Nachbehandlung des Betons müssen den Normen SIA 262 und SN EN 12616-1 entsprechen.

Richtwerte für die Festigkeitsentwicklung von Beton in Abhängigkeit von Zementart und Lagerungstemperatur

Produktname	Zementart nach SN EN 197-1	ständige Lagerung bei	Betondruckfestigkeit in % (100 % = 28 Tage Betondruckfestigkeit bei Lagerungstemperatur 20°C)			
			nach 3 Tagen	nach 7 Tagen	nach 28 Tagen	nach 90 Tagen
Normo 4	CEM I 42,5 N	20°C	70...80	80...90	100	100...110
		5°C	40...60	60...80	90...100	100
Fluvio 4	CEM II/A-L 42,5 N	20°C	60...70	70...85	100	100...110
		5°C	30...50	50...70	80...90	90...100

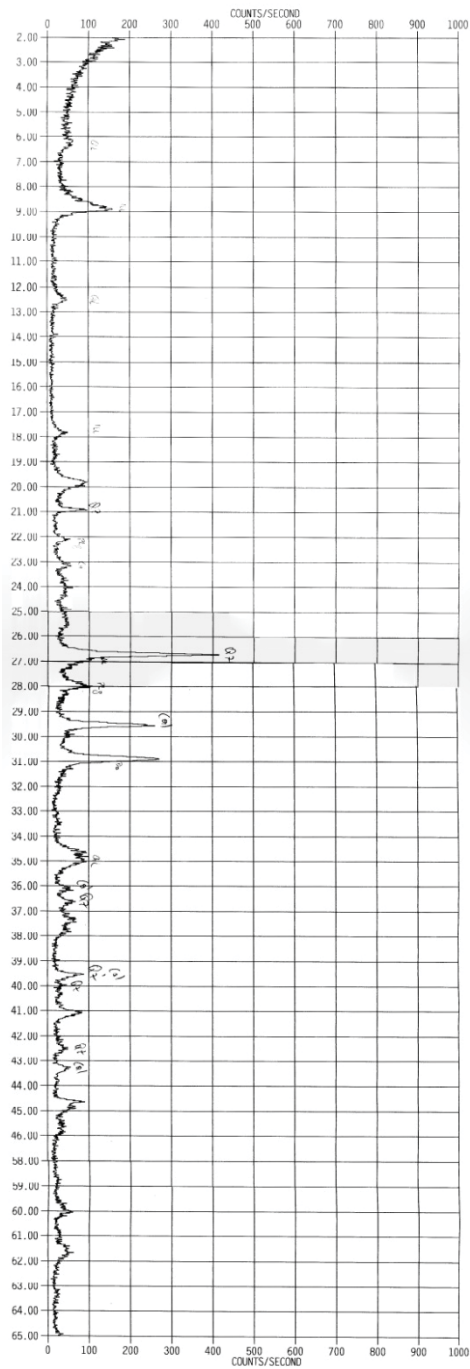
Erhärtung

Empfohlene Dauer für die Nachbehandlung

Umgebungsbedingungen bei der Nachbehandlung	Festigkeitsentwicklung des Betons								
	schnell			mittel			langsam		
	Betontemperaturen während der Nachbehandlung								
	5°C	10°C	≥ 15°C	5°C	10°C	≥ 15°C	5°C	10°C	≥ 15°C
	Normo 4 W/Z < 0,5			Normo 4 W/Z 0,5 – 0,6					
	Dauer der Nachbehandlung in Tagen ¹⁾								
Keine direkte Sonneneinstrahlung und Wind, relative Feuchte der Umgebungsluft nicht unter 80 %	5	4	3	7	5	4	7	6	5
Mittlere Sonneneinstrahlung oder mittlere Windgeschwindigkeit oder relative Luftfeuchte nicht unter 50 %	7	5	4	8	6	5	10	8	7
Starke Sonneneinstrahlung oder hohe Windgeschwindigkeit oder relative Luftfeuchte unter 50 %	8	6	5	10	8	7	14	10	8

¹⁾ Bei Betonoberflächen mit erhöhten Anforderungen (z.B. Frosttaumittelbeständigkeit, Wasserdichtigkeit) wird empfohlen, die Dauer um 3 bis 5 Tage zu erhöhen.

Diffraktogramme

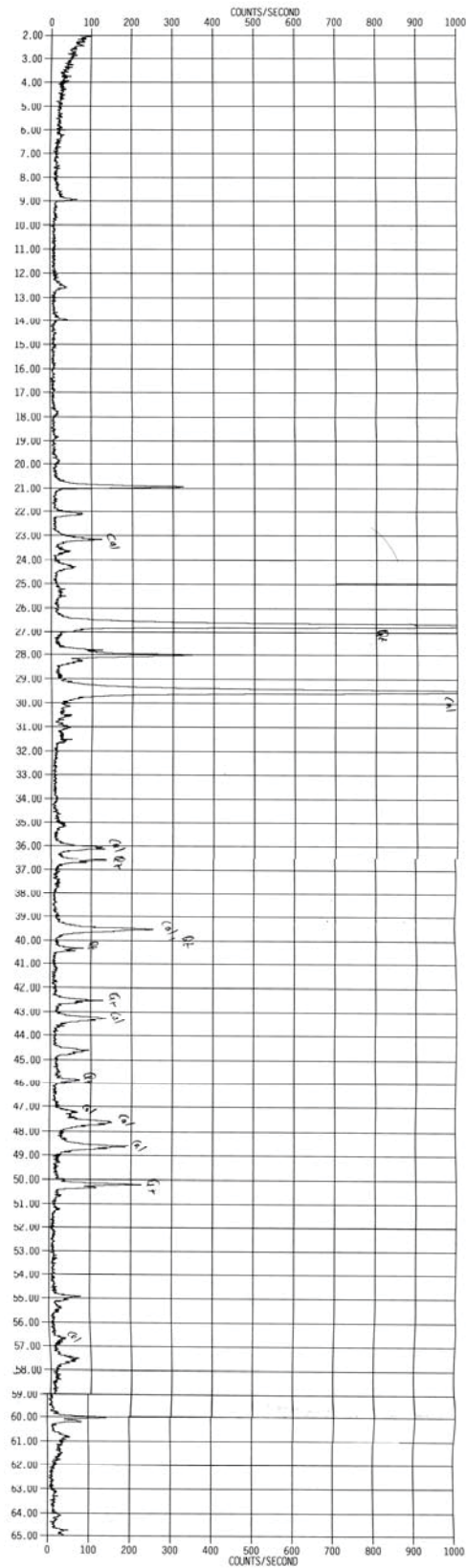


Schiefer, tf, 1/2°/Min., dunkelgrau, 14.11.2007

PLOTBEGINN : 2.00 GRAD
 PLOTENDE : 65.01 GRAD
 WINKELMARKEN : 1.00 GRAD
 PAPIERVORSCHUB : 1.00 GRAD PRO CM
 DAMPFUNG : 1

Mittel	Int. Offs.
Schie- <i>tf</i>	0

Schiefer dunkelgrau



Kalk, tf, 1/2"/Min., hellgrau, 14.11.2007

PLOTBEGINN : 2.00 GRAD
 PLOTENDE : 65.01 GRAD
 WENKELMARKEN : 1.00 GRAD
 PAPIERVORSCHUB : 1.00 GRAD PRO CM
 DAMPFUNG : 1

Mittelwert	Int. Offs.
Kalk-tf	0

Kalk hellgrau

Definitionen

Betongranulat ist das durch Abbrechen oder Fräsen von bewehrten oder unbewehrten Betonkonstruktionen und -belägen gewonnenes Material (Definition aus Richtlinie BAFU 2006).

Expositionsklasse: Beschreibung von üblichen Umwelteinwirkungen wie beispielsweise Frost, Regen, Karbonatisierung auf Beton. In der EN 206-1 steht die Expositionsklasse XC1 für trockene Innenräume und ständig nasse Bedingungen (z.B. Unterwasserbeton). Wird nachfolgend nur die trockene Exposition bei XC1 gemeint, ist dies als XC1, trocken, vermerkt.

feine Gesteinskörnung: Bezeichnung für kleinere Korngruppen mit D nicht grösser als 4 mm (Definition nach EN 12620); früher als Sand bezeichnet.

Gesteinskörnung: körniges Material für die Verwendung im Bauwesen. Gesteinskörnungen können natürlich, industriell hergestellt oder recycelt sein (Definition nach EN 12620); früher als Zuschlag bezeichnet

grobe Gesteinskörnung: Bezeichnung für größere Korngruppen mit D nicht kleiner als 4 mm und d nicht kleiner als 2 mm (Definition nach EN 12620); früher als Kies bezeichnet.

Kies: natürlich gerundete Gesteinskörnung mit einem Größtkorn von 4 mm

Korngruppe: Bezeichnung einer Gesteinskörnung mittels unterer (d) und oberer (D) Siebgrösse, ausgedrückt als d/D (Definition nach EN 12620);

Mischabbruch ist ein Gemisch von ausschliesslich mineralischen Bauabfällen von Massivbauteilen wie Beton, Backstein-, Kalksandstein- und Natursteinmauerwerk (Definition aus Richtlinie BAFU 2006).

Mischabbruchgranulat bzw. **Betongranulat** sind durch Aufbereiten von Mischabbruch bzw. Betonabbruch hergestellte Recyclingbaustoffe (Definition aus Richtlinie BAFU 2006).

Normalbeton: Unter Normalbeton wird hier ein Beton verstanden, der nahezu ausschließlich nur mit Gesteinskörnung aus natürlichem Sand und Kies hergestellt wurde. So ein Beton wird teilweise auch als Primärbeton bezeichnet.

Recyclingbeton: Als Recyclingbeton kann ein Beton nach SN EN 206-1 bezeichnet werden, dessen Gehalt an Gesteinskörnung zu mindestens 25 Massenprozent aus Betongranulat und/oder Mischabbruchgranulat im Sinne der BUWAL-Richtlinie "Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle" besteht. (Definition aus SN EN 206-1)

Recyclinggesteinskörnung bzw. **rezyklierte Gesteinskörnung**: Gesteinskörnung aus aufbereitetem anorganischem Material, das zuvor als Baustoff eingesetzt wurde (Definition aus EN 12620).

Sand: natürlich gerundete Gesteinskörnung mit einem Grösstkorn von 4 mm

Splitt: durch Brechprozess hergestelltes Kies

totaler w/z-Wert: Massenverhältnis von Wasser zu Zement, wobei alles im Beton vorhandene Wasser (bestimmt z.B. durch Einwiegen oder Darren des Frischbetons nach SIA 262/1, Anhang H) bei der Berechnung des w/z-Wertes berücksichtigt wird.

w/z-Wert: Massenverhältnis von Wasser zu Zement. Gemäß SN EN 206-1 geht bei der Bestimmung des w/z-Wertes nur der "wirksame" Wassergehalt ein. D.h. die von der Gesteinskörnung aufgenommene Wassermenge ist nicht bei der w/z-Wertberechnung zu berücksichtigen.

Anhang E

Artikel und Berichte

- **Schlammuntersuchungen**
- **Generelles Deponiekonzept Liechtensteiner Unterland**

Prüfbericht

Probennummer: 1293-07-00
Auftraggeber: Wido Meier Anstalt
 Kies Schotter Recycling
 Feldkircher Strasse Postfach 504 9494 Schaan
Kundenbezeichnung: Schlamm WDO Meier 28.09.07
Eingegangen von: Hr. Schmid
Anlieferungszustand: Kunststoffflasche
Bemerkung: keine

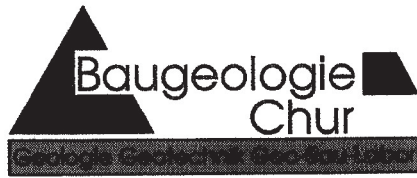
Probeneingangsdatum: 16.10.2007
Probenkonservierung: gekühlt gelagert
Probennahme: durch Kunden
Probenvorbereitung: Königswasseraufschluss nach ÖNORM M 6290; EN 13657
Probenaufbereitung: Kugelmühle
Beurteilung nach: keine

	Mg	31200+/-400	mg/kg TS	06.11.2007	ab 62,5 mg/kg	DIN EN ISO 7980:2000	AA FAAS
Trockenrückstand	TS	18,2	%	17.10.2007	> 0,001 %	DIN EN 12880:2000	AA Trockenrückstand
Gesamt organisch gebundener Kohlenstoff	TOC	1,83+/-0,18	% TS	30.10.2007	ab 0,5 %	ÖNORM EN 13137:2001	AA TOC fest
Gesamt gebundener Kohlenstoff	TC	5,18+/-0,22	% TS	30.10.2007	ab 0,5 %	ÖNORM EN 13137:2001	AA TOC fest
Calcium	Ca	1070+/-60	mg/kg TS	06.11.2007	ab 62,5 mg/kg	DIN EN ISO 7980:2000	AA FAAS

Bemerkungen:

M. Weinberger
 Dipl.-Ing. Dr. Manfred Weinberger
 Laborleiter und Qualitätsleitervertreter

T. Tauterer
 Carina Tauterer
 Qualitätsleiter



Baugeologie und Geo-Bau-Labor Chur
Bolettastrasse 1, 7000 Chur
Tel +41 81 257 18 60 Fax +41 81 257 18 66
info@baugeologie.ch

KOPIE

**Generelles Deponiekonzept
Liechtensteiner Unterland**

**Geologische Sondierungen Ställa, Schaan
(Februar 2007)**

- Sondierbohrungen SB1 bis SB3
- Sondierschlitze SS1 bis SS3

Chur, 16.3.2007

BG 2720

GENERELLES DEPONIEKONZEPT LIECHTENSTEINER UNTERLAND**GEOLOGISCHE SONDIERUNGEN STÄLLA, SCHAAN (FEBRUAR 2007):****- SONDIERBOHRUNGEN SB1 BIS SB3****- SONDIERSCHLITZE SS1 BIS SS3****1 Vorbemerkungen****1.1 Auftraggeber**

Deponiekonzept Liechtensteiner Unterland, % Gemeinde Eschen,
St. Martins-Ring 2, 9492 Eschen

vertreten durch

Hanno Konrad Anstalt, Bauingenieur- und Vermessungsbüro, Rietle 13, 9494 Schaan

1.2 Unterlagen

HANNO KONRAD ANSTALT, SCHAAN

Generelles Deponiekonzept Liechtensteiner Unterland:

- 1.2.1 Übersicht Deponie Ställa, 1:5'000, Plan Nr. 3.03.0364/3a (11.2005)
- 1.2.2 Deponie Ställa, Geländeprofile mit Deponievolumen, 1:2'000, Plan Nr. 3.03.0364/3b (11.2005)
- 1.2.3 Situation Deponie Ställa, bestehende Werkleitungen und Sondierbohrungen, 1:1'000, Plan Nr. 3.03.0364/3c
- 1.2.4 Übersichtsplan vorhandene Nutzung im Talraum, 1:10'000, Plan Nr. 3.03.0364/1 (11.2005)

REGIERUNG DES FÜRSTENTUMS LIECHTENSTEIN

- 1.2.5 Geologische Karte des Fürstentums Liechtenstein, 1:25'000 (1985)

BAUGEOLOGIE UND GEO-BAU-LABOR CHUR

- 1.2.6 Offerte für Begleitung und Aufnahme von Sondierbohrungen, Laboruntersuchungen und Beurteilung der bautechnischen Verwertbarkeit (1.6.2006)

- 1.2.7 Gesteinsmaterial aus Rufen des Fürstentums Liechtenstein, Verwendbarkeit für Bauzwecke, Bericht Nr. 880146 (2.5.1990)

- 1.2.8 Diverse geologische und geotechnische Berichte zu Projekten und Objekten in Schaan, u.a. BG 2423, BG 2423-1 und BG 2587 (seit 1976)

1.3 Aufgabenstellung

In der Forstrüfe in Schaan wird seit Jahren Kies abgebaut und eine Inertstoffdeponie betrieben. Das generelle Deponiekonzept für das Liechtensteiner Unterland sieht vor, die Deponie auszubauen und damit langfristig Deponiereserven zu sichern. Zu diesem Zweck ist eine Erweiterung gegen Nordwesten in das Gebiet Ställawes (Gemeinde Planken) geplant (Beilage 1, [1.2.1]). Zudem soll die Hauptstrasse Schaan - Nendeln entlang des neuen Deponiestandortes ca. 5 m tiefer gelegt werden, damit eine Wildbrücke erstellt werden kann.

Für die weitere Planung sind die folgenden geologischen Fragen zu bearbeiten:

- Ist der gewachsene Untergrund (Rüfeschutt) bautechnisch verwertbar?
- Ist der Untergrund zur Aufnahme der Lasten des Deponiematerials geeignet?
- Welche Baugrundverhältnisse sind entlang der Hauptstrasse zu erwarten (Tieferlegung, Foundation Wildbrücke)?
- Welche Naturgefahren bestehen im Bereich der Deponierweiterung?

1.4 Vorgehen

Zur Beantwortung dieser Fragen war vorgesehen, vier Sondierbohrungen auszuführen [1.2.6]. Die ersten beiden Bohrungen (SB1 und SB3) zeigten auf, dass das Material der Forstrüfe innerhalb des Projektareals bautechnisch nicht im gewünschten Rahmen zu verwerten ist. In Absprache mit dem Auftragerteiler und mit W. Meier (Wido Meier Anstalt, Kies Schotter Recycling, Schaan; Betreiber des bestehenden Kieswerkes auf der Forstrüfe) wurde entschieden, das Sondierprogramm anzupassen:

- Auf die Sondierbohrung SB4 auf dem kleineren Rüfeschutfächer aus dem Ställatobel wurde verzichtet. Sie wurde ersetzt durch drei Sondierschlitze.
- Der Standort der Bohrung SB2 wurde in Richtung Strasse verschoben, um möglichst viel Informationen über den Baugrund der Wildbrücke zu erhalten; Bohrlochversuche zur Ermittlung der Lagerungsdichte im Untergrund wurden ins Sondierprogramm aufgenommen.

Aus den Bohrungen und den Sondierschlitzen wurden Lockergesteinsproben zur bodenmechanischen Analyse im Labor entnommen.

2 Geologisch-hydrogeologische Übersicht

Die Ställawes liegt im Fussbereich des grossen Schutfächers der Forstrüfe, in deren Einzugsgebiet sich Sedimentgesteine der nordpenninischen Flyschdecken und der oberostalpinen Lechtal-Decke finden (hauptsächlich Hauptdolomit, Kalke und Flyschgesteine) [1.2.5]. Talseitig ist der Rüfeschutt mit den Ablagerungen des Rheins verzahnt (Kiessande, oberflächennah feinkörnige Sedimente, Torfablagerungen). Im östlichen Teil des Projektareals wird der Schutfächer der Forstrüfe durch jenen aus dem Ställatobel überlagert, welcher im Gelände deutlich erkennbar ist. Moräne des Rheingletschers und Fels bilden in grösserer Tiefe die Unterlage des Rüfeschuttes.

Im Rüfeschutfächer fliesst Hangwasser ader- oder schichtförmig auf schlecht durchlässigen Schichten oder auf der Unterlage (Moräne/Fels) talwärts. Ein zusammenhängender Grundwasserspiegel besteht allenfalls im Hangfussbereich, wo Grundwasser des Rheintals zusickert.

3 Sondierungen vom Februar 2007

3.1 Sondierbohrungen SB1 bis SB3

Zwischen dem 5. und dem 21.2.2007 wurden drei Rotationskernbohrungen abgeteuft (Beilage 1, Tab. 1). In SB2 wurden Standard Penetration Tests (SPT) zur Ermittlung der Lagerungsdichte im Untergrund durchgeführt (Tab. 2). In SB3 wurde ein Piezometerrohr eingebaut. Die Ergebnisse der Bohrungen sind mit den Beilagen 2 und 3 dokumentiert.

Alle Sondierbohrungen haben ausschliesslich tonig-siltigen Kies mit Sand, Steinen und Blöcken sowie tonig-siltige Stillwasserablagerungen erbohrt. Der Bohrlochwasserstand lag zwischen 450 und 452 mÜM.

Tabelle 1: Übersicht Sondierbohrungen SB1 bis SB3

	SB1	SB2	SB3
Koordinaten	758'756.9/227'955.9	758'714.3/228'091.1	758'815.6/228'150.9
Kote OKT [müM]	469.3	458.0	452.7
Tiefe ab OKT [m]	30.0	23.0	20.0
Kote Sohle [müM]	439.3	435.0	432.6
Bohrlochversuche	--	5 x SPT	--
Bohrlochwasserstand [müM]	451.8	450.5	450.1
Einbauten	--	--	Piezometer (17 m)
Bodenproben	Stä1, Stä2	--	Stä3, Stä4
Ausführungsdatum	5.-8.2.2007	20.-21.2.2007	14.-15.2.2007

Tabelle 2: Ergebnisse der Standard Penetration Tests (SPT)

Bohrung	Tiefe [m ab OKT]	Anzahl Schläge ¹⁾	Schlagzahl N_{30} ²⁾	M_E -Wert ³⁾ [MN/m ²]	Geologie
SB2	3.00 - 3.45	6 / 8 / 11	19	13	Rüfeschutt
	6.00 - 6.45	18 / 13 / 12	25	17	Rüfeschutt
	9.00 - 9.45	6 / 14 / 10	24	16	Rüfeschutt
	13.00-13.45	7 / 9 / 15	24	16	Rüfeschutt
	19.00 - 19.45	6 / 8 / 12	20	14	Rüfeschutt

1) Anzahl Schläge für dreimal je 15 cm Eindringung

2) Anzahl Schläge für das Eindringen der Sondenspitze von 15 - 45 cm des Versuches

3) Grobe rechnerische Abschätzung aus der Schlagzahl N_{30} : M_E -Wert = $N_{30} \times 0.67$ [MN/m²]

3.2 Sondierschlitz SS1 bis SS3

Die Sondierschlitz wurden auf dem Schuttfächer der Ställarüfe ausgeführt (Beilage 1). Die Schlitz sind in Beilage 4 geologisch beschrieben.

Alle Schlitz schlossen tonig-siltigen Kies mit Sand, Steinen und Blöcken auf. Das Material war stark feucht und stellenweise nass; die Schlitzwände waren labil bis instabil.

3.3 Bodenmechanische Laboruntersuchungen

Dem Bohrgut resp. den Sondierschlitz wurden insgesamt sechs Proben zur Bestimmung der Korngrößenverteilung entnommen. Die Ergebnisse sind in Beilage 5 dokumentiert und in Tabelle 3 zusammengefasst.

Bei den untersuchten Materialien handelt es sich durchwegs um feinanteilreiche Kiessande mit Steinen und Blöcken.

Tabelle 3: Korngrößenanteile in den Bodenproben (alles Rüfeschutt)

Probe	Herkunft	Tiefe [m ab OKT]	Ton/Silt [M-%] < 0.063 mm	Sand [M-%] 0.063-2 mm	Kies [M-%] 2-63 mm	Ablagerung durch
Stä1	SB1	5.0 - 5.7	28.8	21.7	47.6	Forstrüfe
Stä2		22.7 - 24.7	26.7	18.5	49.7	Forstrüfe
Stä3	SB3	2.9 - 4.0	23.2	23.4	46.4	Forstrüfe
Stä4		9.0 - 10.8	18.5	16.9	56.1	Forst-, ev. Ställarüfe
Stä5	SS1	3.0 - 4.0	26.7	17.1	56.2	Ställarüfe
Stä6	SS3	2.0 - 3.0	24.0	17.0	54.6	Ställarüfe

147.9
24.65

4 Interpretation

4.1 Geologisches Schichtenmodell im Projektgrundriss

Der Untergrund auf dem Projektareal besteht bis in mehrere Zehnermeter Tiefe aus zwei geologischen Einheiten. Sie sind im Gelände gut voneinander zu unterscheiden

- mässig geneigter Teil (Sondierbohrungen): Schutt der Forstrüfe
- stark geneigter Teil im Südosten (Sondierschlitz): Schutt der Ställarüfe

Beide Einheiten bestehen aus tonig-siltigem Kies mit Sand und mit wenigen Steinen und Blöcken bis zu 50 cm Durchmesser. Im Schutt der Forstrüfe kommen wenige Meter mächtige Schichten von Stillwasserablagerungen vor (siltiger Ton). Der Schutt der Ställarüfe enthält vereinzelt Sandlagen und generell etwas mehr Kies (Tab. 3). Die beiden Rüfeschutfächer dürften im Untergrund miteinander verzahnt sein.

Die Moräne und der Fels, welche die Unterlage der Rüfeschutfächer bilden, wurden nirgends erbohrt bzw. angegraben. Ebenfalls nicht angetroffen wurden die Rheinschotter, mit denen der Schutfächer in seinem Fussbereich verzahnt ist.

Im Schutfächer der Forstrüfe besteht ein leicht gegen Norden geneigter Hangwasserspiegel (Koten in den Sondierbohrungen: 450.1 bis 451.8 müM). Dieses Hangwasser fliesst dem Grundwasserkörper des Rheintals zu (Hochstand: ca. 445 müM).

4.2 Eignung des Rüfeschuttes zur bautechnischen Verwertung

Die Bodenproben weisen Feinanteile (Silt und Ton) zwischen 18 und 29 M-% auf (Tab. 3, Beilage 5). Die Kieskomponenten zeigen häufig einen kalzitischen Belag, welcher ihre Verwertbarkeit als Gesteinskörnung für Beton einschränkt.

Die Aufbereitung des Rüfeschuttes der Forstrüfe zu Gesteinkörnungen für Beton oder Kiessand für Foundationsschichten wäre nur mit stark erhöhtem Aufwand (intensives Waschen) möglich. Ca. ¼ des Abbauvolumens würde als Waschschlamm anfallen.

Das Material der Ställarüfe ist etwas reicher an Kies (ca. 55 %) als jener der Forstrüfe (ca. 45 - 50 %), der Feinanteil ist aber gleich hoch.

Aus einem Gutachten über die Verwendbarkeit von Rufenmaterial im Fürstentum Liechtenstein liegt die Korngrössenanalyse einer Probe aus der Forstrüfe vor [1.2.7]. Sie wurde am Bach auf ca. 510 müM entnommen und enthielt mehr Kies und wesentlich geringere Feinanteile als sämtliche für den vorliegenden Bericht untersuchten Proben. Dies bestätigt, dass im unteren Bereich des Fächers generell feinanteilreicheres Material liegen dürfte als im mittleren Bereich, wo heute Kies abgebaut wird.

4.3 Baugrundwerte

Nachfolgend geben wir für die Baugrundwerte der geologischen Einheiten, wie sie in den Bohrungen und Sondierschlitzten beschaffen waren, Mittel- und Extremwerte an (normal feucht).

4.3.1 Rüfeschutt (tonig-siltiger Kies mit Sand und Steinen)

Feuchtraumgewicht	γ_f	:		20 ± 1	kN/m ³
Reibungswinkel	φ'	:	31 ± 1 *	34 ± 1	°
Kohäsion (scheinbare)	c'	:	0 *	5 ± 2	kN/m ²
Zusammendrückungsmodul	M_E -Wert	:		15 ± 10	MN/m ²
Wasserdurchlässigkeit	k-Wert	:		10 ⁻⁴ - 10 ⁻⁶	m/s

* nass

4.3.2 Stillwasserablagerungen (siltiger Ton mit wenig Sand und wenig Kies)

Feuchtraumgewicht	γ_f	:		20 ± 1	kN/m^3
Reibungswinkel	φ'	:	$26 \pm 1^*$	28 ± 1	$^\circ$
Kohäsion (scheinbare)	c'	:	0^*	10 ± 2	kN/m^2
Zusammendrückungsmodul	M_E -Wert	:		10 ± 5	MN/m^2
Wasserdurchlässigkeit	k-Wert	:		$10^{-6} - 10^{-8}$	m/s

* nass

Für die geotechnische Projektbearbeitung sind der jeweils zu betrachtenden Bemessungssituation angepasste vorsichtige Erwartungswerte, die so genannten charakteristischen Werte, festzulegen.

4.4 **Stabilitätsbeurteilung des geplanten Deponiekörpers**

Im Bereich der Ställawes ist im Zuge der Nutzung als Inertstoffdeponie eine Aufschüttung mit einer Oberflächenneigung von 8 bis 9 °, bis max. 20 m über das gewachsene Terrain geplant (Profil 3, [1.2.2]).

Selbst unter Annahme ungünstiger Baugrundwerte (Abschnitt 4.3.2) für das gesamte Projektareal bestehen grosse Sicherheitsreserven gegen Grundbruch und Böschungsinstabilität.

Am Fuss der Deponie, angrenzend an die Wildbrücke, kann das Deponiematerial zur Vergrösserung des Deponievolumens auch steiler, bis zu einem Anzug von 1:3, mit ausreichender Sicherheitsreserve geschüttet werden. Voraussetzung dazu ist, dass grobkörniges Schüttmaterial verwendet wird.

4.5 **Baugrundprognose für die Wildbrücke**

Zum Zeitpunkt dieses Berichtes war noch nicht festgelegt, wo die 50 m lange Wildbrücke erstellt wird. Gemäss dem Vorprojekt wird die Fahrbahn der Hauptstrasse Schaan - Nendeln entlang der geplanten Deponie ca. fünf Meter tiefer gelegt. Der betreffende Strassenabschnitt verläuft heute am Westende auf gewachsenem Terrain und wechselt gegen Osten auf einen künstlich geschütteten Strassendamm mit kontinuierlich auf ca. 5 m zunehmender Höhe.

Tabelle 4: Übersicht Geologie im Bereich der Strasse

Abschnitt	Aushub/Abtrag	Geologie Baugrund unter geplantem Trassee
gegen Schaan (SB2)	natürlicher Untergrund	- mehrere Meter Stillwasserablagerungen (toniger Silt mit Kies), - einzelne Schichten Rüfescht (siltig-toniger Kies, bis 2 m)
gegen Nendeln (SB3)	künstlicher Damm	Rüfescht (siltiger Kies mit Sand)

4.5.1 Standfestigkeit

Im Abschnitt, auf dem der Aushub im gewachsenen Untergrund erfolgt, dürften hauptsächlich tonig-siltige Kiese auftreten. Diese können bei der gegebenen Höhe - im trockenen bis erdfeuchten Zustand - im Anzug 2:1 frei geböscht werden. Sollten Stillwasserablagerungen auftreten, sind die zulässigen Böschungsneigungen allenfalls geotechnisch zu berechnen.

4.5.2 Setzungen

Die SPT-Versuche in der Bohrung SB2 ergaben M_E -Werte zwischen 10 und 20 MN/m² (Tab. 2), sowohl für kiesigen Rüfeschutt als auch für Stillwasserablagerungen, und bis zur Sohle des Bohrlochs. Der Untergrund ist also tiefgründig locker gelagert. Falls die Wildbrücke im Bereich des künstlich geschütteten Dammes erstellt wird, stellt sie eine Wiederbelastung des Untergrundes dar, und es ist nur mit geringen Setzungen zu rechnen. Dort, wo die Vorbelastung durch den Damm fehlt, sind grössere Setzungen zu erwarten

Liegt ein konkretes Projekt vor, ist es, basierend auf den Baugrundwerten im Abschnitt 4.3, geotechnisch zu bearbeiten.

5 Kurzbeurteilung Naturgefahren

5.1 Rüfen

Im bestehenden Nutzungsplan der Talebene ist eine Zone mit „grossen bis mässigen Naturgefahren“ eingetragen [1.2.3]. Sie bedeckt das Projektareal entlang seiner Nordostgrenze sowie in seinem südlichen Teil (siehe Beilage 1). Diese Gefahrenzone dürfte die Gefährdung durch die Ställarüfe anzeigen.

Der Bach im Ställatobel verläuft oberhalb ca. 465 müM steil und erodiert seine Unterlage. Diese besteht über weite Strecken aus Moräne, stellenweise aus Fels. Auf 465 müM gelangt der Bach auf seinen Schuttfächer, wo er bei Murgängen Material ablagert. Zwischen 480 und 510 müM sind mehrere Geschiebesperren aus Beton in den Bachlauf eingebaut. Dieser Rüfeschuttfächer wurde mit den Sondierschlitzern SS1 bis SS3 untersucht (vgl. Abschnitt 4.1).

Die Lage und Ausdehnung der Gefahrenzone in [1.2.3] ist anhand des Geländes nachvollziehbar und dürfte die Gefahrensituation realistisch wiedergeben:

- Im Wald nordwestlich der Ställawes bestehen Rüfeablagerungen von mehreren Ereignissen. Die jüngsten sind wenige Jahre alt und liegen innerhalb der Gefahrenzone am Nordostrand des Projektareals. Die Wiederkehrdauer solcher Ereignisse dürfte bei einigen Jahren bis wenigen Jahrzehnten liegen.
- Der zungenförmige Ausläufer der Gefahrenzone im südlichen Teil des Projektareals rührt von einer trockenen und teilweise mit Bäumen bewachsenen Geländerinne her, welche das Ställatobel wenig oberhalb der Geschiebesperren nach links verlässt. Dabei handelt es sich um einen ehemaligen Rüfelauflauf, welcher seit längerer Zeit (mehrere Jahrzehnte) nicht mehr benutzt wurde. Es wurden jedoch keine Massnahmen getroffen, welche einen Murgang durch diese Rinne in Zukunft verhindern.

5.2 Steinschlag

Eine Felswand am Ställatobel zwischen 600 und 660 müM stellt ein mögliches Anrissgebiet für Steinschlagereignisse dar. Im Gelände im und direkt oberhalb des Projektareals bestehen keine Anzeichen von Steinschlagereignissen. Das Pauschalgefälle vom Wandkopf bis zur Obergrenze des Projektareals beträgt 36 °. Es ist daher nicht vollständig auszuschliessen, dass bei grösseren Ereignissen einzelne Trümmer bis auf die Ställawes gelangen.

Für eine detailliertere Beurteilung sind Feldaufnahmen an der Felswand notwendig.

6 Verbleibende geologische Risiken

Die bautechnische Verwertbarkeit des Untergrundes der Ställawes ist mit den vorliegenden Sondierungen ausreichend abgeklärt, ebenso die Stabilitätssituation im Bereich der geplanten Schüttung.

Die lokalen Baugrundverhältnisse entlang der Strasse (Tieferlegung, Wildbrücke) sind nicht abschliessend untersucht. Es ist insbesondere nicht klar, ob und in welchem Ausmass wenig standfeste Torf- oder Stillwasserablagerungen bis zur Aushubtiefe vorhanden sind.

Um das Steinschlagrisiko näher einzugrenzen, sind weitere Abklärungen vor Ort notwendig.

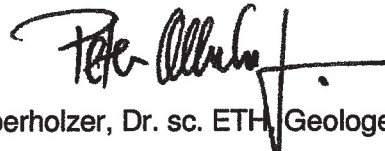
7 Fazit

- Der Untergrund der Ställawes wäre nur mit stark erhöhtem Aufwand (intensives Waschen) zu Fundationsmaterial aufzubereiten. Ein Vergleich zeigt, dass dieses Material schlechter zur bautechnischen Verwertung geeignet ist als jenes aus dem bestehenden Kiesabbau.
- Der gewachsene Untergrund ist zur Aufnahme der Last, welche durch die Überschüttung mit Deponiematerial entsteht, problemlos geeignet. Es besteht kein Risiko eines Grundbruchs. Im Fussbereich der Deponie über der Wildbrücke bzw. entlang der Strasse kann grobkörniges Material bis 1:3 steil angeschüttet werden. *eventl. geeignetes Baumerschuttmaterial*
- Der Aushub für die Tieferlegung der Hauptstrasse Schaan - Nendeln wird in feinkornreichem, locker gelagertem Rüfeschutt liegen; Schichten von feinkörnigen Stillwasserablagerungen sind nicht ausgeschlossen. Die Baugrundverhältnisse für Aushub und Foundation sind durch weitere Sondierschlitze abzuklären, wenn das Projekt vorliegt.
- Am nordöstlichen Rand der geplanten Erweiterung der Deponie ist mit Rüfeniedergängen aus dem Ställatobel zu rechnen; ihre Wiederkehrdauer dürfte bei mehreren Jahren bis wenigen Jahrzehnten liegen. Eine Gefährdung durch Steinschlag ist nicht vollständig auszuschliessen.

Baugeologie und Geo-Bau-Labor Chur

Der Sachbearbeiter





R. Münger, dipl.Natw.ETH/SIA, Geologe

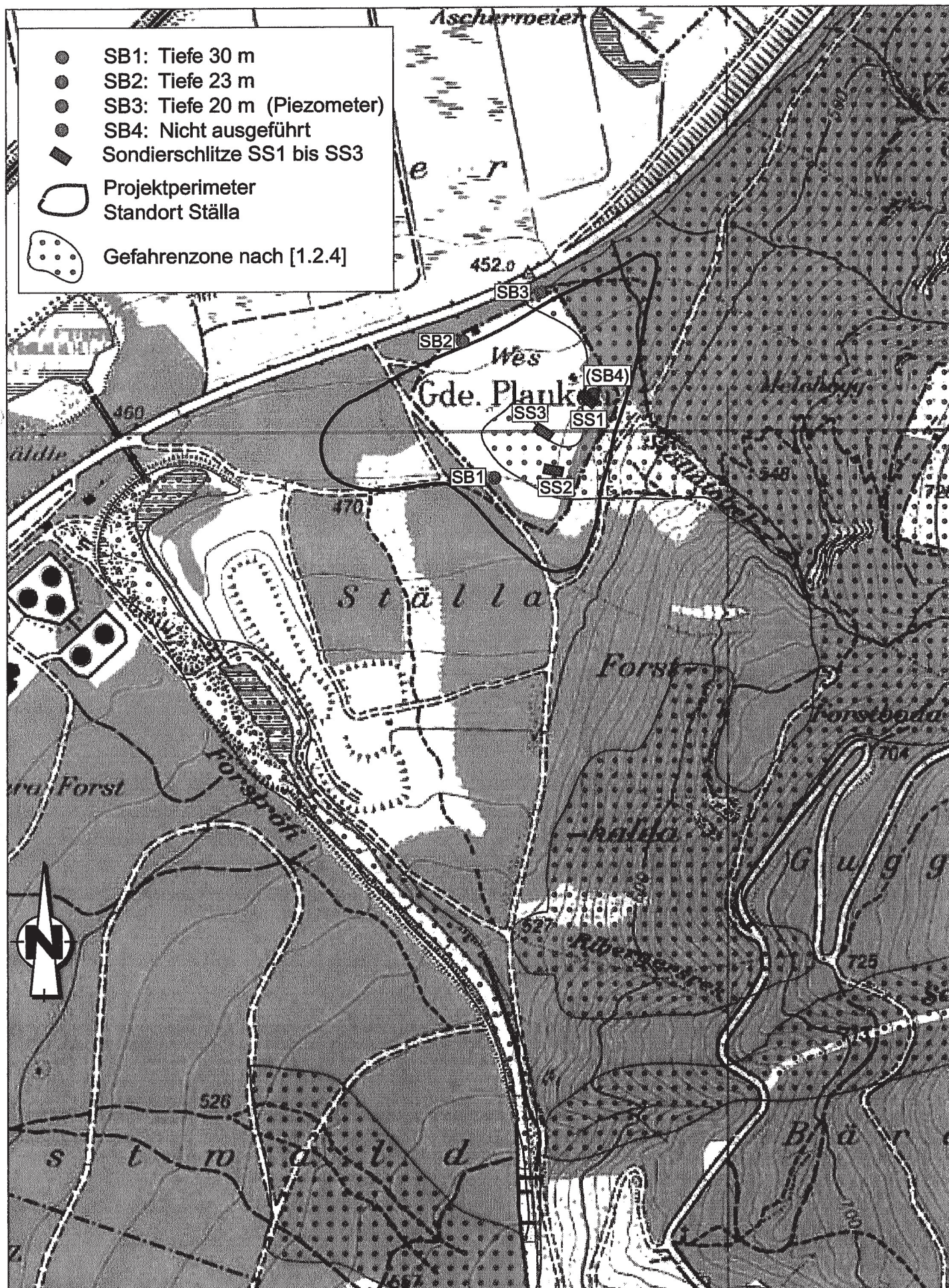
P. Oberholzer, Dr. sc. ETH, Geologe

<u>Beilagen:</u>	1	Situation mit Sondierstandorten, 1:5'000
	2.1 bis 2.3	Bohrprofile SB1 bis SB3, 1:100
	3.1 bis 3.6	Fotodokumentation der Bohrkerne SB1 bis SB3
	4.1 und 4.2	Geologische Aufnahme der Sondierschlitze SS1 bis SS3
	5.1 bis 5.3	Resultate der bodenmechanischen Laboranalysen

Verteiler: 3 Expl. Hanno Konrad Anstalt, Bauingenieur- und Vermessungsbüro, Rietle 13, 9494 Schaan



Zertifiziertes Qualitätssystem ISO 9001:2000, Reg Nr 12313-03 (SQS)
Akkreditierte Prüfstelle für mineralische Zuschlagstoffe, Recyclingbaustoffe, Beton, Beläge, Böden
ISO/IEC 17025, STS 342



**Generelles Deponiekonzept
Liechtensteiner Unterland
Sondierungen Ställa, Schaan**

Sondierbohrung Nr. **SB1**

Bauherr	Deponiekonzept Unterland Gemeinde Eschen St. Martins-Ring 2 9492 Eschen	Bohrfirma	Stump ForATec AG Pulvermühlestrasse 61 7000 Chur
----------------	--	------------------	---

Bericht	BG 2720	Bohrmeister	R. Pigretti
Beilage	2.1	Ausführungsdatum	5.-8.2.2007
Höhenlage	469.3 müM	Neigung	lotrecht
Koordinaten	758'756.9/227'955.9	Richtung	--
Bohrprofil Massstab	1 : 100		
Profil aufgenommen durch	P. Oberholzer		

Legende Lockergesteinsprofil	Legende Felsprofil
L 1 Tiefe [m]	F 1 Tiefe [m]
L 2 Höhe [m.ü.Meer]	F 2 Höhe [m.ü.Meer]
L 3 Profil	F 3 Profil
L 4 Geotechnische Bezeichnung	F 4 Lithologische Beschreibung
L 5 Geologische Identifikation	
L 6 KG Kerngewinn Minimum: 0 % Maximum: 100 %	
L 7 KK Kompakter Kern Minimum: 0 % Maximum: 100 %	
L 8 P Petrographie m: monomikt p: polymikt	
L 9 LD Lagerungsdichte l: locker m: mittel h: hart	
L 10 KR Kornrundung e: eckig k: kantengerundet a: angerundet r: rund	
L 11 OX Oxidation n: nicht oxidiert l: leicht st: stark	
L 12 WG Wassergehalt t: trocken e: erdfeucht n: nass	
L 13 E/G Einbauten, Grundwasser	



L 1	L 2	L 3	L 4	L 5	L 6	L 7	L 8	L 9	L 10	L 11	L 12	L 13
Tiefe [m]	Höhe [müM]	Profil	Geotechnische Bezeichnung	Geologische Identifikation	KG [%]	KK [%]	P m p	LD m h e k a r	KR	OX	WG	E/G
1.00	468.00		Humus	Oberboden								Probe Stä 1.1
2.00	467.00											
3.00	466.00		Schwach toniger, stark siltiger Kies mit Sand und einzelnen Steinen									
4.00	465.00											
5.00	464.00											
6.00	463.00											
7.00				Rüfeschlutt								
8.00	461.30											
9.00	460.00		Schwach toniger, stark siltiger Kies mit Sand und einzelnen Steinen									
10.00	459.00											
11.60	457.70											
12.00	457.30		Block									
13.00	456.00		Schwach toniger Silt mit wenig Kies									
14.40	454.90											

L 1	L 2	L 3	L 4	L 5	L 6	L 7	L 8	L 9	L 10	L 11	L 12	L 13	
Tiefe [m]	Höhe [müM]	Profil	Geotechnische Bezeichnung	Geologische Identifikation	KG [%]	KK [%]	P m p l	LD m h e k a r n l s t e n	KR	OX	WG	E/G	
16.20	453.10		Schwach toniger Silt mit Kies, mit wenig Sand und einzelnen Steinen	Rüfeschutt								16.20	
17.00	452.00		Schwach toniger Silt mit viel Kies und einzelnen Steinen										
18.00	451.00												
19.60	449.70												
20.00	449.30		Block										
21.00	448.00		Schwach toniger Silt mit Kies, mit wenig Sand										
22.70	446.60												
24.00	445.00		Schwach toniger, stark siltiger Kies mit Sand, mit einzelnen Steinen										
25.00	444.00												
26.80	442.50												
28.00	441.00		Schwach toniger, stark siltiger Kies mit Sand, mit einzelnen Steinen										
29.00													
30.00	439.30												



**Generelles Deponiekonzept
Liechtensteiner Unterland
Sondierungen Ställa, Schaan**

Sondierbohrung Nr. **SB2**

Bauherr	Deponiekonzept Unterland Gemeinde Eschen St. Martins-Ring 2 9492 Eschen	Bohrfirma	Stump ForATec AG Pulvermühlestrasse 61 7000 Chur
---------	--	-----------	--

Bericht	BG 2720	Bohrmeister	R. Pigretti
Beilage	2.2	Ausführungsdatum	20.-21.2.2007
Höhenlage	458.0 mÜM	Neigung	lotrecht
Koordinaten	758'814.3/228'091.1	Richtung	--
Bohrprofil Massstab	1 : 100		
Profil aufgenommen durch	P. Oberholzer		

Legende Lockergesteinsprofil

- L 1 Tiefe
[m]
- L 2 Höhe
[m.ü.Meer]
- L 3 Profil
- L 4 Geotechnische Bezeichnung
- L 5 Geologische Identifikation
- L 6 KG Kerngewinn
Minimum: 0 %
Maximum: 100 %
- L 7 KK Kompakter Kern
Minimum: 0 %
Maximum: 100 %
- L 8 P Petrographie
m: monomikt p: polymikt
- L 9 LD Lagerungsdichte
l: locker m: mittel h: hart
- L 10 KR Kornrundung
e: eckig k: kantengerundet
a: angerundet r: rund
- L 11 OX Oxidation
n: nicht oxidiert
l: leicht st: stark
- L 12 WG Wassergehalt
t: trocken e: erdfeucht n: nass
- L 13 E/G Einbauten, Grundwasser

Legende Felsprofil

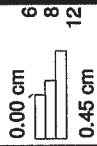
- F 1 Tiefe
[m]
- F 2 Höhe
[m.ü.Meer]
- F 3 Profil
- F 4 Lithologische Beschreibung



L 1 Tiefe [m]	L 2 Höhe [müM]	L 3 Profil	L 4 Geotechnische Bezeichnung	L 5 Geologische Identifikation	L 6 KG [%]	L 7 KK [%]	L 8 P m p l	L 9 LD l m h	L 10 KR k e k a r	L 11 OX n i s t e n	L 12 WG W G	L 13 E/G
			Humus	Oberboden								
1.00	457.00		Siltiger Kies mit Sand, mit wenigen Steinen									0.00 cm 0.45 cm 6 8 11
2.00	456.00											
3.10	454.90											
4.00	454.00		Stark siltiger Kies mit Sand, mit einzelnen Steinen									0.00 cm 0.45 cm 18 13 12
5.00	453.00											
6.30	451.70											0.45 cm 7.50
7.60	450.40		Schwach toniger Silt mit viel Kies	Rüfeschutt								
8.20	449.80		Stark siltiger Kies mit Sand, mit einzelnen Steinen									0.00 cm 0.45 cm 6 14 10
9.00	449.00		Toniger Silt mit wenig Sand, mit wenig Kies									
10.80	447.20		Schwach toniger, stark siltiger Kies mit wenig Sand									
11.20	446.80		Toniger Silt mit wenig Sand, mit wenig Kies									
13.70	444.30		Schwach siltiger Kies mit Sand									0.00 cm 0.45 cm 7 9 15
14.20	443.80		Schwach toniger, stark siltiger Kies mit Sand									
			Siltiger Ton mit wenig Sand, mit wenig Kies									

Organisch reiche Lage von 8.0-8.2 m

L 1 Tiefe [m]	L 2 Höhe [müM]	L 3 Profil	L 4 Geotechnische Bezeichnung	L 5 Geologische Identifikation	L 6 KG [%]	L 7 KK [%]	L 8 P m p	L 9 LD l m h	L 10 KR e k a r	L 11 OX n l s t t e n	L 12 WG	L 13 E/G
17.00	441.00	---	Siltiger Ton mit wenig Sand, mit wenig Kies									
18.20	439.80	---										
18.80	439.20	---	Siltiger Ton mit wenig Sand, mit wenig Kies	Rüfeschutt								
20.00	438.00	o o	Toniger Silt mit Kies, mit wenig Sand und einzelnen Steinen									
21.00	437.00	o o										
22.00	436.00	o o										
23.00	435.00	o o										



**Generelles Deponiekonzept
Liechtensteiner Unterland
Sondierbohrungen Ställa, Schaan**

Sondierbohrung Nr. **SB3**

Bauherr	Deponiekonzept Unterland Gemeinde Eschen St. Martins-Ring 2 9492 Eschen	Bohrfirma	Stump ForATec AG Pulvermühlestrasse 61 7000 Chur
---------	--	-----------	--

Bericht	BG 2720	Bohrmeister	R. Pigretti
Beilage	2.3	Ausführungsdatum	14.-15.2.2007
Höhenlage	452.7 müM	Neigung	lotrecht
Koordinaten	758'815.6/228'150.9	Richtung	--
Bohrprofil Massstab	1 : 100		
Profil aufgenommen durch	P. Oberholzer		

Legende Lockergesteinsprofil

- L 1 Tiefe
[m]
- L 2 Höhe
[m.ü.Meer]
- L 3 Profil
- L 4 Geotechnische Bezeichnung
- L 5 Geologische Identifikation
- L 6 KG Kerngewinn
Minimum: 0 %
Maximum: 100 %
- L 7 KK Kompakter Kern
Minimum: 0 %
Maximum: 100 %
- L 8 P Petrographie
m: monomikt p: polymikt
- L 9 LD Lagerungsdichte
l: locker m: mittel h: hart
- L 10 KR Kornrundung
e: eckig k: kantengerundet
a: angerundet r: rund
- L 11 OX Oxidation
n: nicht oxidiert
l: leicht st: stark
- L 12 WG Wassergehalt
t: trocken e: erdfeucht n: nass
- L 13 E/G Einbauten, Grundwasser

Legende Felsprofil

- F 1 Tiefe
[m]
- F 2 Höhe
[m.ü.Meer]
- F 3 Profil
- F 4 Lithologische Beschreibung
- F 5 Geologische Identifikation
- F 6 KG Kerngewinn
Minimum: 0 %
Maximum: 100 %
- F 7 RQD
Minimum: 0 %
Maximum: 100 %
- F 8 KZ Klufzahl
[Klüfte/m]
- F 9 VW Verwitterungsgrad
u: unverwittert a: angewittert m: mässig -
s: stark - v: vollständig verwittert



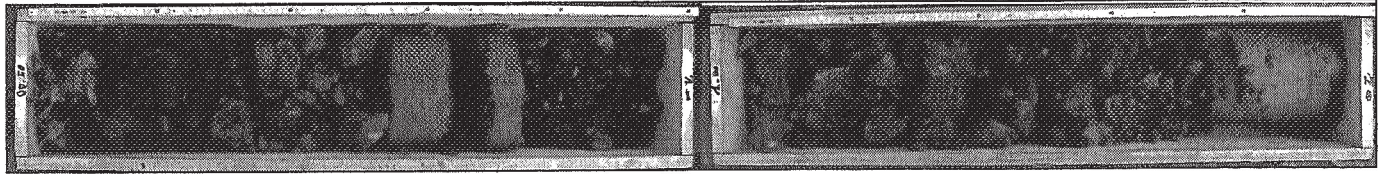
Geologie Geotechnik Geo-Bau-Labor

L 1 Tiefe [m]	L 2 Höhe [müM]	L 3 Profil	L 4 Geotechnische Bezeichnung	L 5 Geologische Identifikation	L 6 KG [%]	L 7 KK [%]	L 8 P m p	L 9 LD l m h	L 10 KR k a r	L 11 OX l i s t e n	L 12 WG	L 13 E/G
1.60	451.10		Stark siltiger Kies mit Sand, mit einzelnen Steinen	Oberboden								2.50 Probe Stä. 3
2.50	450.20		Schwach toniger, stark siltiger Kies mit Sand									
4.30	448.40		Schwach toniger, siltiger Kies mit Sand, mit einzelnen Steinen	Rüfeschutt								Probe Stä. 4
5.00			Siltiger Kies mit Sand, mit einzelnen Steinen									
6.00	447.00											
7.00	446.00											
8.00	444.70											
9.00	444.00		Schwach toniger, siltiger Kies mit Sand, mit wenigen Steinen									
	443.00											
10.80	441.90											
12.00	441.00		Schwach toniger, siltiger Kies mit Sand, mit einzelnen Steinen									
13.00	440.00											
14.00	439.00											

L 1	L 2	L 3	L 4	L 5	L 6	L 7	L 8	L 9	L 10	L 11	L 12	L 13
Tiefe [m]	Höhe [müM]	Profil	Geotechnische Bezeichnung	Geologische Identifikation	KG [%]	KK [%]	P m p	L D m h e k a r n l s t e n	KR	OX	WG	E/G
16.90	435.80		Schwach toniger, siltiger Kies mit Sand, mit einzelnen Steinen	Rüfeschutt								
18.00	435.00		Schwach toniger, stark siltiger Kies mit wenig Sand									
19.00	434.00											
20.00	432.70											

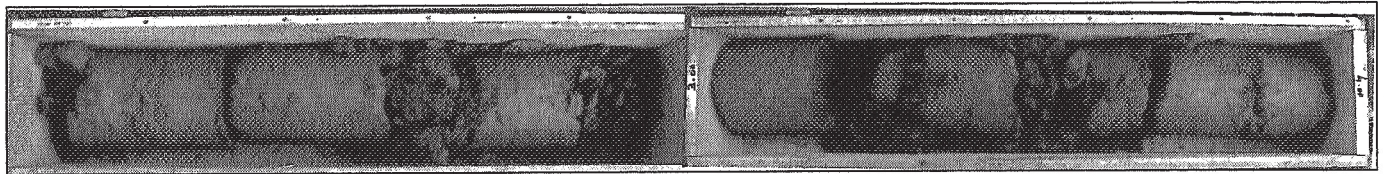
OKT

2 m



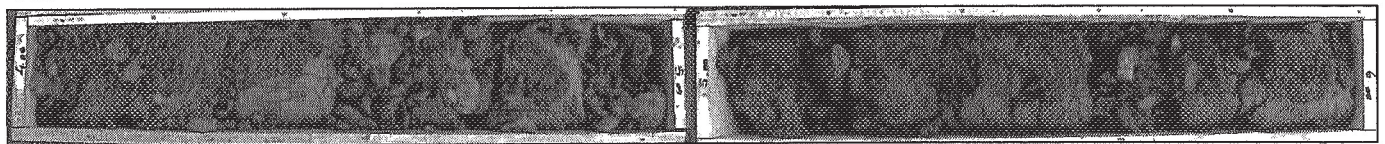
2 m

4 m



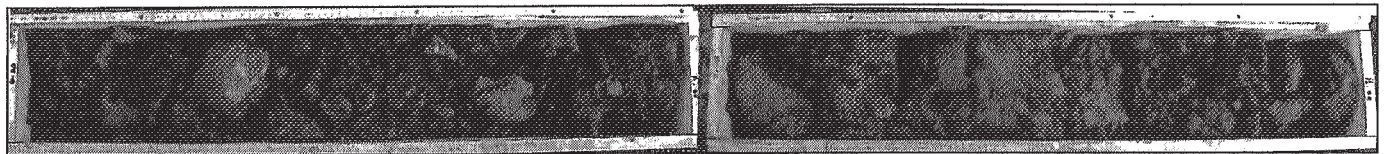
4 m

6 m



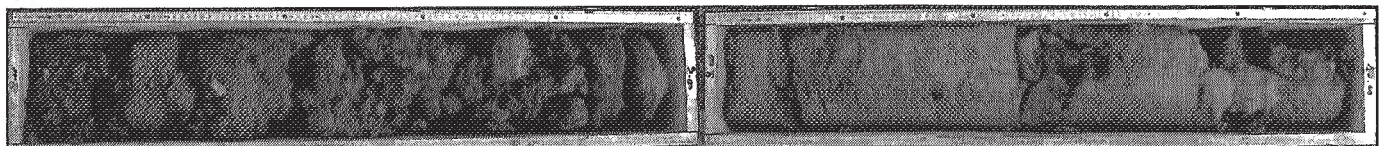
6 m

8 m



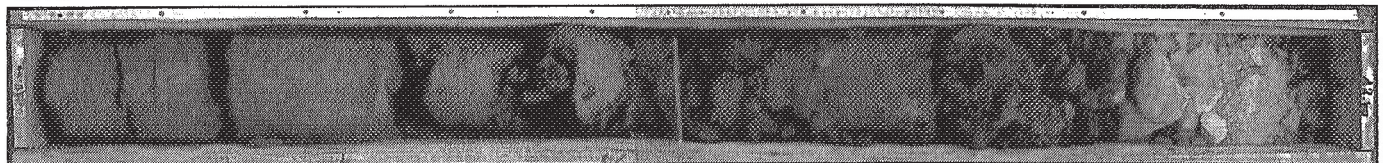
8 m

10 m



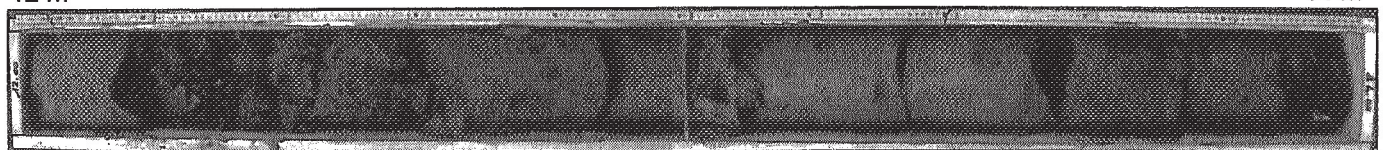
10 m

12 m



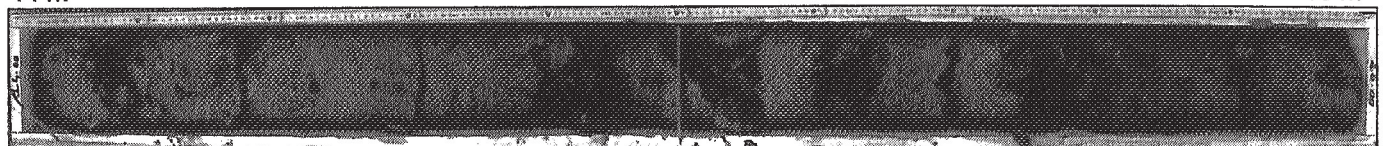
12 m

14 m



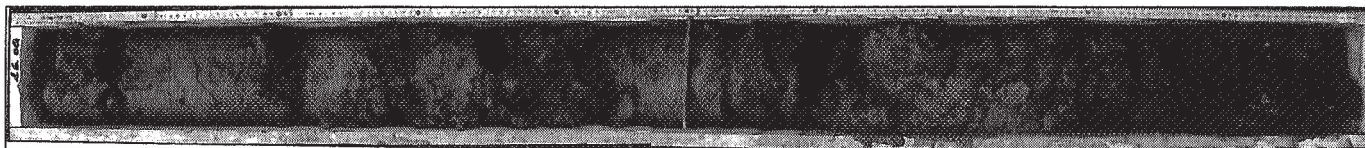
14 m

16 m



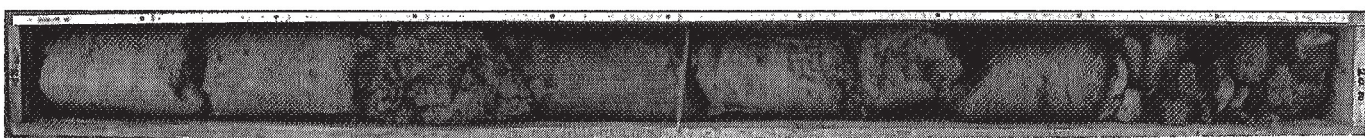
16 m

18 m



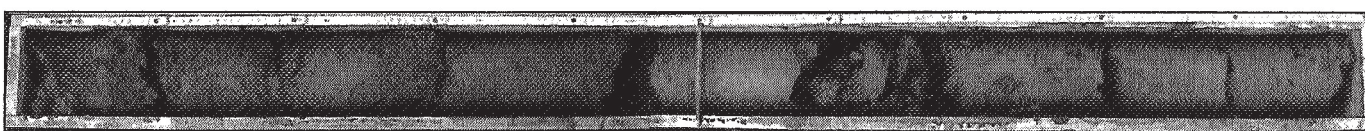
18 m

20 m



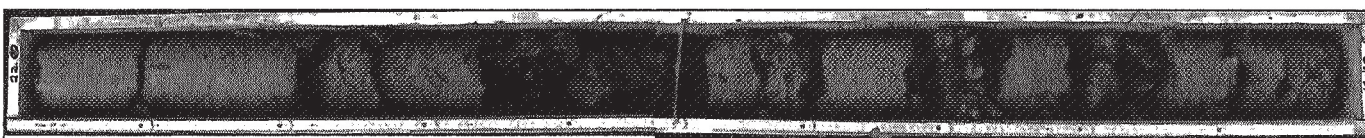
20 m

22 m



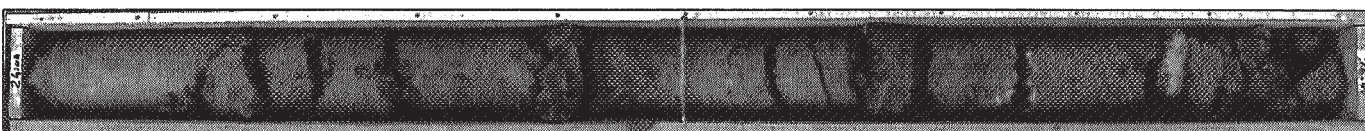
22 m

24 m



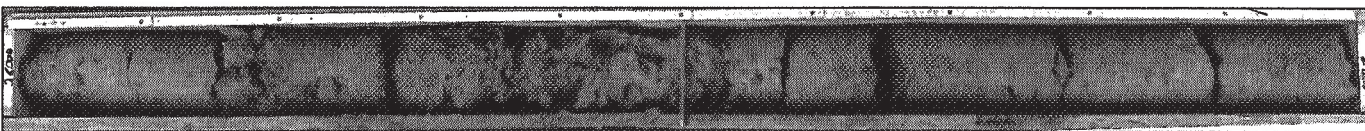
24 m

26 m



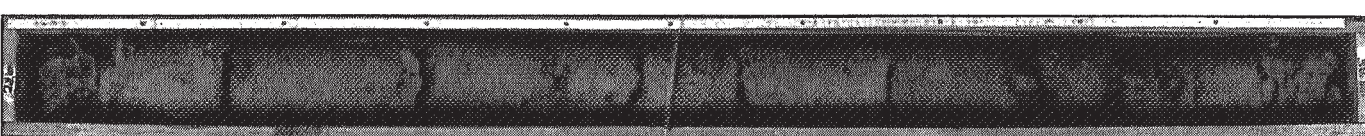
26 m

28 m



28 m

30 m



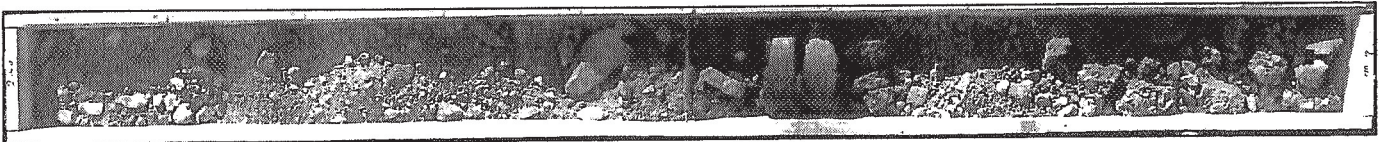
OKT

2 m



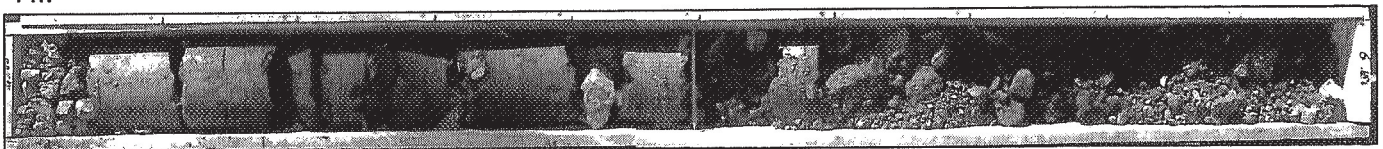
2 m

4 m



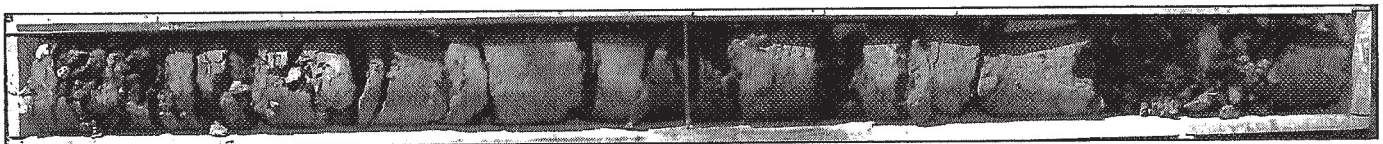
4 m

6 m



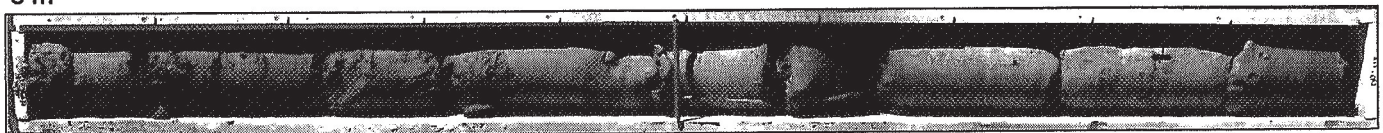
6 m

8 m



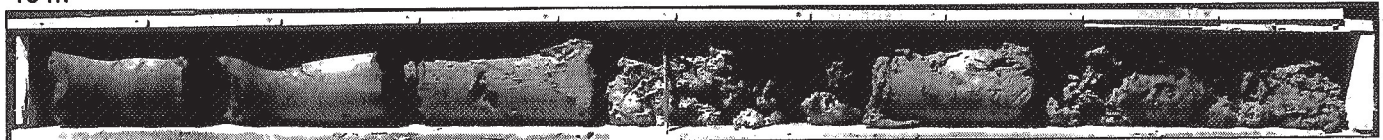
8 m

10 m



10 m

12 m



12 m

14 m



Generelles Deponiekonzept Liechtensteiner Unterland
Sondierungen Ställa, Schaan
Fotodokumentation Bohrkern SB2, 14 bis 23 m

Beilage 3.4
BG 2720

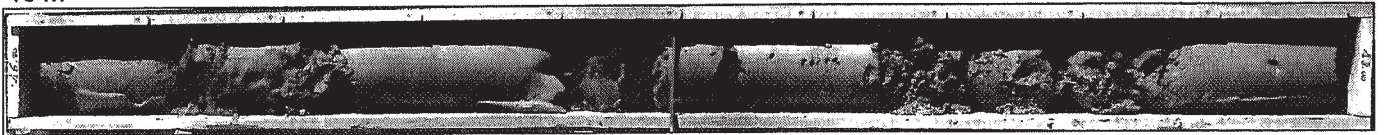
14 m

16 m



16 m

18 m



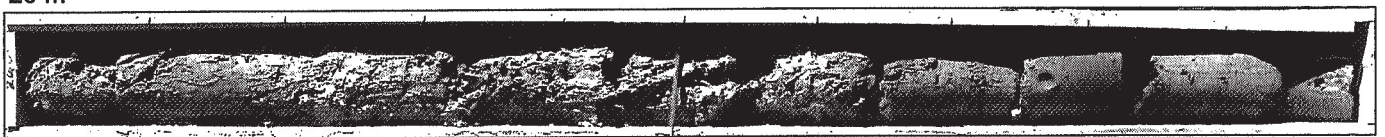
18 m

20 m



20 m

22 m



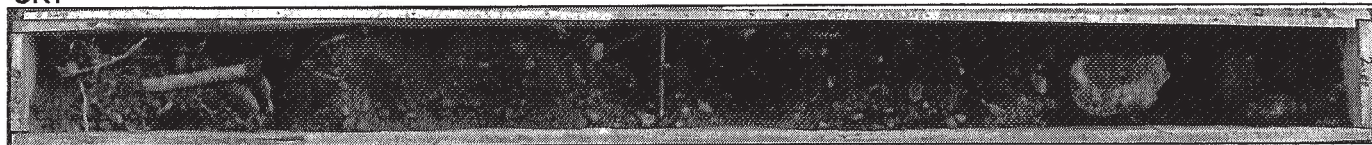
22 m

23 m



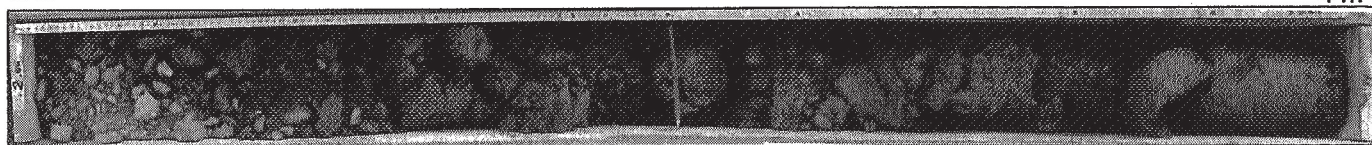
OKT

2 m



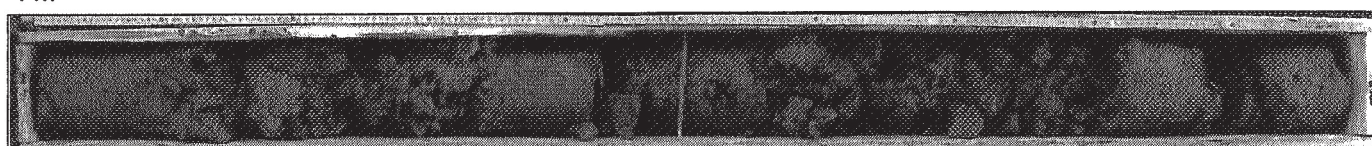
2 m

4 m



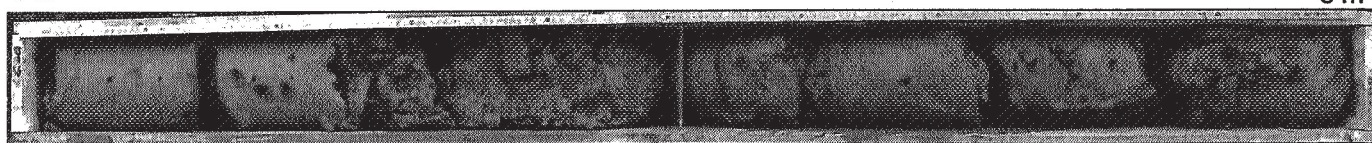
4 m

6 m



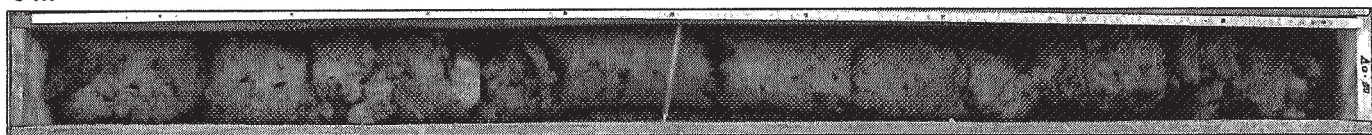
6 m

8 m



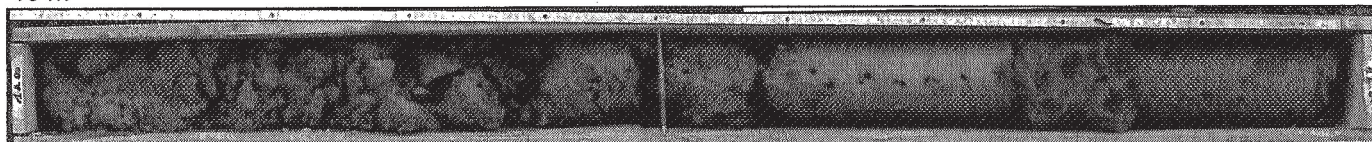
8 m

10 m



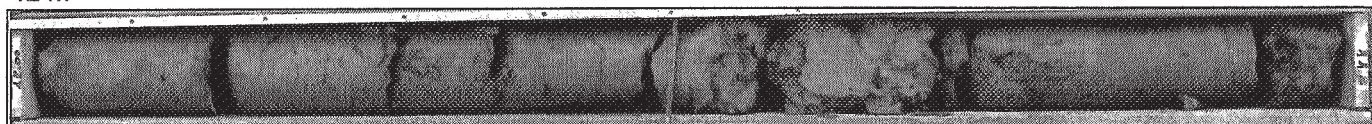
10 m

12 m



12 m

14 m

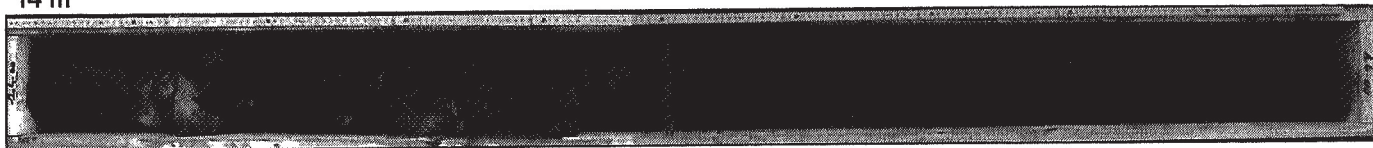


Generelles Deponiekonzept Liechtensteiner Unterland
Sondierungen Ställa, Schaan
Fotodokumentation Bohrkern SB3, 14 - 20 m

Beilage 3.6
BG 2720

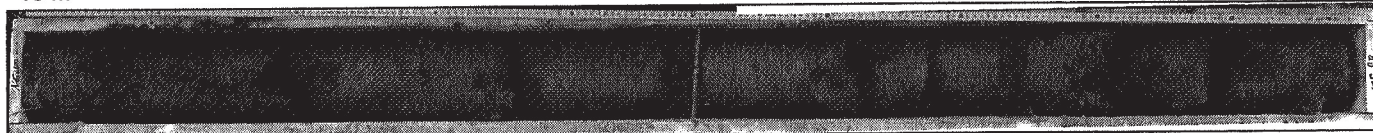
14 m

16 m



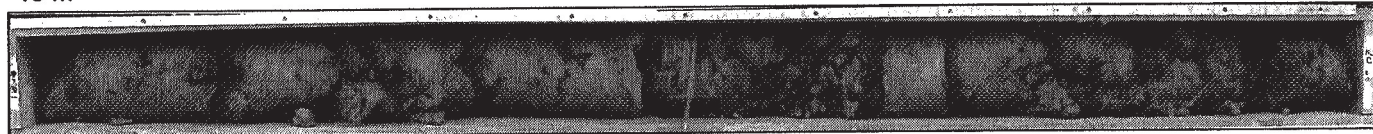
16 m

18 m



18 m

20 m



Generelles Deponiekonzept Liechtensteiner Unterland
Sondierungen Ställa, Schaan
Geologische Aufnahme der Sondierschlitze SS1 bis SS3

SS1 (OKT = 474 müM)

Tiefe [m]	Geologie
OKT - 0.2	OBERBODEN Humus, braun, trocken bis erdfeucht
0.2 - 2.0	RÜFESCHUTT Schwach toniger, stark siltiger Kies mit viel Sand, mit Steinen und Blöcken (15 %, $d_{max} = 30$ cm); polymineral (Dolomit, Kalk), Komponenten eckig; braun, schwach bis reichlich organisch; mitteldicht gelagert, erdfeucht
2.0 - 3.6 Probe Stä5	RÜFESCHUTT Schwach toniger, siltiger Kies mit Sand, mit wenigen Steinen und wenigen Blöcken (Steine + Blöcke: 10 %, $d_{max} = 40$ cm); polymineral (Dolomit, Kalk), Komponenten eckig; dunkelbraun, leicht oxidiert; mitteldicht gelagert, erdfeucht bis stark feucht
3.6 - 4.0	RÜFESCHUTT Toniger Silt mit wenig Sand, wenig Kies und einzelnen Blöcken; Komponenten polymineral (Dolomit, Kalk), eckig; braun, leicht oxidiert; mitteldicht gelagert, erdfeucht bis stark feucht
4.0 - 4.8	RÜFESCHUTT Schwach toniger, stark siltiger Kies mit Sand, mit Steinen und Blöcken (Steine + Blöcke: 20%, $d_{max} = 40$ cm); Komponenten polymineral (Dolomit, Kalk), eckig; braun, leicht oxidiert; mitteldicht gelagert, stark feucht

Schlitzwände labil; kein Wasserzutritt.

SS2 (OKT = 474 müM)

Tiefe [m]	Geologie
OKT - 0.2	OBERBODEN Humus, braun, trocken bis erdfeucht
0.2 - 2.2	RÜFESCHUTT Schwach toniger, siltiger Kies mit Sand, mit Steinen und wenigen Blöcken (Steine + Blöcke: 20 %, $d_{max} = 30$ cm); Komponenten polymineral (Dolomit, Kalk), eckig; braun, mitteldicht gelagert, erdfeucht bis stark feucht
2.2 - 4.4	RÜFESCHUTT Toniger, schwach siltiger Kies mit viel Sand, mit Steinen und einzelnen Blöcken (Steine + Blöcke: 25 %, $d_{max} = 35$ cm); einzelne Sandlagen; polymineral (Dolomit, Kalk, Glimmerschiefer), Komponenten eckig; braun, leicht oxidiert; mitteldicht gelagert, stark feucht

Schlitzwände labil; kein Wasserzutritt.

Generelles Deponiekonzept Liechtensteiner Unterland
Sondierungen Ställa, Schaan
Geologische Aufnahme der Sondierschlitz SS1 bis SS3

SS3 (OKT = 466 müM)

Tiefe [m]	Geologie
OKT - 0.2	OBERBODEN Humus, braun, erdfeucht
0.2 - 1.2	RÜFESCHUTT Schwach toniger, schwach siltiger Kies mit wenig Sand, mit Steinen (15 %); Komponenten polymineral (Dolomit, Kalk), eckig; hellbraun, leicht oxidiert, ; mitteldicht gelagert, erdfeucht bis stark feucht.
1.2 - 4.0 Probe Stä6	RÜFESCHUTT Schwach toniger, siltiger Kies mit Sand, mit wenigen Steinen und wenigen Blöcken (Steine + Blöcke: 20 %, $d_{max} = 50$ cm); Komponenten polymineral (Dolomit, Kalk), eckig; braun, leicht oxidiert; mitteldicht gelagert, erdfeucht bis stark feucht
4.0 - 4.8	RÜFESCHUTT (FORSTRÜFE?) Schwach toniger, siltiger Kies mit Sand, mit wenigen Steinen und wenigen Blöcken (Steine + Blöcke: 20 %, $d_{max} = 50$ cm); Komponenten polymineral (Dolomit, Kalk), eckig; braun, leicht oxidiert; mitteldicht gelagert, erdfeucht bis stark feucht bis nass

Schlitzwände oberhalb 4.0 m instabil, darunter stabil; kein Wasserzutritt.

Geologische Aufnahme: 19.2.2007 / P. Oberholzer

Korngrößenverteilung (Siebverfahren)

EN 933-1



Zusammenstellung der Resultate Dok Z1

K Nr 2467	Labor Nr	10912
Gemeinde Eschen St. Martins-Ring 2 9492 Eschen FL	Gegenstand	Deponiekonzept Unterland, Bohrungen Ställa Schaan
Probe Nr	Stä 1	Stä 2
Baustoffbezeichnung	Untergrund	Untergrund
Korngruppe (mm)	ca 0/90	ca 0/90
Eigenschaft		
Herkunft	Ställa Schaan	dito
Probenahmedatum	08.02.2007	
Probenahmeort	Sondierbohrung SB1	Sondierbohrung SB1
Entnahmetiefe (m)	5.0-5.7	22.7-24.7
Probenehmer	BG+GBL (PO)	
Laboreingang	08.02.2007	
Probenzustand		
Prüfverfahren EN 933-1 Siebung (akkreditiertes Verfahren)	nass	nass
Weitere Prüfungen:		
Wassergehalt (M-%)	9.1	7.6

Korngrößenverteilung

Max. Korngrösse		77 mm	81 mm
< 90	mm □	100.0 %	100.0 %
< 63	mm □	98.1 %	94.9 %
< 45	mm □	88.6 %	90.8 %
< 31.5	mm □	84.5 %	84.1 %
< 22.4	mm □	79.9 %	78.0 %
< 16	mm □	75.6 %	71.9 %
< 11.2	mm □	71.0 %	65.6 %
< 8	mm □	66.7 %	60.2 %
< 4	mm □	57.2 %	51.3 %
< 2	mm □	50.5 %	45.2 %
< 1	mm □	44.8 %	40.4 %
< 0.5	mm □	40.4 %	36.6 %
< 0.25	mm □	36.6 %	33.4 %
< 0.125	mm □	32.5 %	29.9 %
< 0.063	mm □	28.8 %	26.7 %

14.02.2007

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchten Proben

08.03.2007 17:22



Baugeologie und Geo-Bau-Labor Chur
Bolettastrasse 1, 7000 Chur
Büro Tel +41 81 257 18 60, Fax +41 81 257 18 66
info@baugeologie.ch
Labor Tel +41 81 257 18 61, Fax +41 81 257 18 66

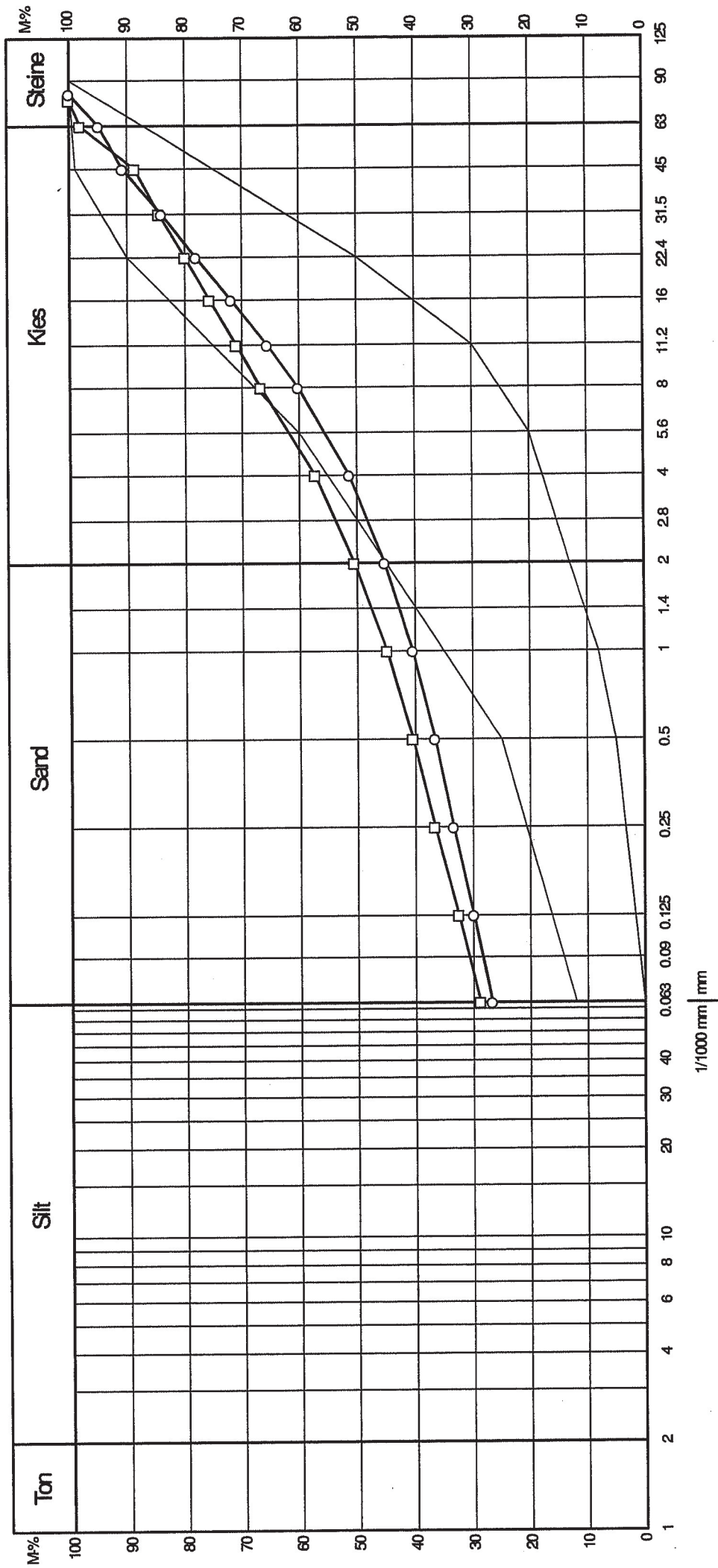
Korngrößenverteilung (Summationskurve)

K Nr 2467
 Gemeinde
 Eschen
 St. Martins-Ring 2
 9492 Eschen FL

Labor Nr 10912
 Deponiekonzept Unterland,
 Bohrungen Ställa Schaan

□ 08.02.2007 Stä 1
 ○ 08.02.2007 Stä 2

— Sieblinienbereich
 Ungebundene Gemische 0/45 mm
 SN 670119 / EN 13285



14.02.2007

Baugedologie und Geo-Bau-Labor 7000 Chur

08.03.2007/17:22

V.29.09.2008/10:15:20

Korngrößenverteilung (Summationskurve)

K Nr 2467
 Gemeinde
 Eschen
 St. Martins-Ring 2
 9492 Eschen FL

Labor Nr 10912-1
 Deponiekonzept Unterland,
 Bohrungen Ställa Schaan

□ 15.02.2007 Stä 3
 ○ 15.02.2007 Stä 4

— Sieblinienbereich
 Ugebundene Gemische
 0/45 mm
 SN 670119 / EN 13285

