

---

# Masterarbeit

---

## Entwicklung eines Ausschreibungs- und Abrechnungssystems für die Leistungen „Verwertung von Tunnelausbruchmaterial“

---

Johannes Dreitler-Köhler

12/12/2017



---

Lehrstuhl für Subsurface Engineering  
Department Mineral Resources Engineering  
Montanuniversität Leoben

A-8700 LEOBEN, Erzherzog-Johann Straße 3/III  
Tel.Nr.: +43 3842-402-3401  
Email: subsurface@unileoben.ac.at

---

## Ehrenwörtliche Erklärung

---

„Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.“ Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

### Affidavit

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

---

Datum

---

Johannes Dreitler-Köhrer, BSc

Aus Gründen der leichteren Lesbarkeit wird auf eine geschlechtsspezifische Differenzierung in dieser Arbeit, wie z.B. TeilnehmerInnen, verzichtet. Entsprechende Begriffe gelten im Sinne der Gleichbehandlung für beide Geschlechter.

---

## Danksagung, Widmung

---

An dieser Stelle möchte ich meinen Dank jenen Personen aussprechen, die mir die Möglichkeit gaben, diese Arbeit zu verfassen und zum Gelingen beigetragen haben.

Ein großer Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Robert Galler, der mir seitens des Lehrstuhls Subsurface Engineering an der Montanuniversität Leoben beiseite stand.

Weiters bedanke ich mich bei den Mitarbeitern der Firma Wayss und Freytag AG, allen voran bei Herrn Dipl.-Ing. Michael Stopka, der mir immer unterstützend und lehrreich mit Rat und Tat zur Seite stand.

Besonders bedanken möchte ich mich auch bei meinen Eltern Anton und Christine, die mir dieses Studium erst ermöglicht haben.

Ich widme diese Diplomarbeit meiner Tochter Franziska in der Hoffnung, dass sie nicht so lange für ein Studium braucht wie ich.

---

## Zusammenfassung

---

In dieser Masterarbeit wird ein mögliches neuartiges Abrechnungssystem für die Verwertung von Tunnelausbruchmaterial entwickelt. Ausgehend von der Beschreibung des behandelten Themas und der Probleme im Zusammenhang mit der Verwertung von Tunnelausbruchmaterial wird der bisher übliche Umgang mit dem Material beschrieben.

Die wünschenswerte Situation der Ausbruchbewirtschaftung wird hinsichtlich der umweltrelevanten und ökonomischen Aspekte betrachtet. Es werden mögliche Potentiale des gewonnenen Materials aufgezeigt und die übliche Erkundungsarbeit beschrieben. Die Untersuchungsmethoden, welche für eine umfassende Beschreibung des zu erwartenden Materials notwendig sind, werden behandelt. Versuche zur Bestimmung der Brechbarkeit werden angeführt, da das Brechverhalten für die Angebotslegung von essenzieller Bedeutung ist. Es folgt eine Beschreibung der Vortriebsklassenmatrix, welche als Ideengeber für das Abrechnungssystem herangezogen wurde. Am Weg des Abbruchmaterials von der Ortsbrust aus dem Tunnel zur Aufbereitungsanlage werden Möglichkeiten beschrieben, wie man jene Teile des Materialtransportes abrechnen kann, die nicht von der späteren Verwertung abhängig sind. Weiters wird eine automatische Probenahmestelle mit einer Analyseeinheit vorgestellt.

Beginnend mit einem geplanten Tunnelbauwerk und der erwartenden geologischen Formation wird anhand eines Beispiels ein mögliches Abrechnungssystem, in Abhängigkeit der während des Vortriebs tatsächlich auftretenden Materialeigenschaften, vorgestellt. Dazu wird der Tunnel in Abschnitten unterschiedlicher Geologie getrennt betrachtet und anschließend die Ermittlung der Massen für die Ausschreibung durchgeführt. Drei verschiedene Bieter lassen in ihren Angeboten unterschiedliche Strategien für die Behandlung des Ausbruchmaterials erkennen.

Abschließend werden die Angebote qualitativ verglichen, womit die Sinnhaftigkeit einer Änderung der Angebots- und Abrechnungsmodalitäten für künftige, vor allem längere Tunnelbauwerke sichtbar wird.

---

## Abstract

---

In this master thesis a novel accounting system for the exploitation of tunnel excavation material is developed. Based on the description of the topic and the problems associated with the exploitation of tunnel excavation material, the current customary handling of the material is described. The desirable situation of excavation material management is described in terms of environmental and economic aspects. Possible potentials of the mineral material are shown and standard exploration work is described. The investigation methods, which are necessary for a complete characterization of the expected material, are discussed. Tests to determine the breakability are described, because the breaking behaviour is essential for the submission of an offer. The following chapter is a presentation of the excavation and support matrix, which was used as an inspiring example for the accounting system. On the way of the excavation material from the face to the processing plant are described how to bill those parts of the material transport, which are not dependent on the subsequent use. An automatic sampling- and analysis system is presented. Starting with the design of a tunnel and the expected geological formation, a possible calculation model is elaborated, based on an example of the material properties, actually occurring during the tunnel excavation. For this purpose, the tunnel is considered to be organized in sections of similar geology. The determination of the masses for the tender is calculated with the obtained data. Three fictitious bidders who have different strategies in their offers will be introduced. As a conclusion, these bidders will be compared qualitatively, in order to proof the feasibility of a revision of the offer and billing modalities in future. This might be important in long tunnel projects.

---

# Inhaltsverzeichnis

---

Ehrenwörtliche Erklärung .....	II
Danksagung, Widmung .....	III
Zusammenfassung .....	IV
Abstract .....	V
Inhaltsverzeichnis .....	VI
1 Einleitung .....	1
1.1 Problematik – Ausbruchmaterial von Tunnelbauwerken .....	1
1.2 Bisheriger Umgang mit dem Material .....	2
1.3 Ziel für die Zukunft .....	3
2 Hauptteil .....	5
2.1 Verwendungsmöglichkeiten von Ausbruchmaterial .....	5
2.2 Prognose der Eigenschaften von Tunnelausbruchmaterial .....	6
2.2.1 Erkundung .....	6
2.2.2 Untersuchungsmethoden .....	8
2.3 Klassifizierung von Tunnelausbruchmaterial .....	11
3 Baugrundabhängige Abrechnungsmethode für Ausbruchmaterial .....	13
3.1 Materialien, die beim Bau einer Tunnelröhre in großen Mengen anfallen ..	14
3.2 Zu erbringende Leistungen nach dem Ausbruch .....	16
3.3 Direkt abrechenbare Leistungen, unabhängig von der späteren Verwendung des Materials .....	20
3.4 Probenahme, Entnahmestellen, Schnittstellen .....	23
3.5 Probeentnahmeeinrichtungen, Ablauf der Datenerfassung und Datenverarbeitung .....	24
3.6 Welche Parameter müssen beprobt werden .....	29
3.6.1 Physikalische Eignung .....	30
3.6.2 Chemische Eignung .....	30
3.6.3 Parameter der Probenahme .....	31
3.7 Unterschiede zwischen konventionellen und maschinellen Vortrieben .....	34
3.8 Projektspezifische Tabelle zur möglichen Verwendung von Ausbruchmaterial .....	36
3.8.1 Verwendungsklassen .....	37
3.9 Grenzwerte der einzelnen Parameter .....	42

3.10	Ermittlung der Massen in den einzelnen Verwertungsklassen .....	43
3.10.1	Daten aus der Probenahme .....	47
3.10.2	Datenblatt für einen Tunnelabschnitt .....	47
3.11	Matrixsystem für die Ausschreibung .....	50
3.11.1	Problematik des Feinanteiles .....	53
3.11.2	Lagerkonzept des Ausbruchmaterials .....	58
3.12	Kalkulation mit der Ausschreibungsmatrix als Grundlage .....	62
3.12.1	Programm zur Neuberechnung der Massen je Verwendungsklasse .....	64
3.13	Abrechnung mit der Matrix als Grundlage .....	72
4	Schlussfolgerungen / Ausblick .....	73
4.1	Möglichkeiten zur Anpassung des Systems .....	73
4.2	Risiken und Möglichkeiten einer Ausschreibung mit Materialbewirtschaftung nach der Matrix .....	75
5	Literaturverzeichnis .....	77
6	Abbildungsverzeichnis .....	79
7	Tabellenverzeichnis .....	81
8	Abkürzungsverzeichnis .....	82
	Anhang Inhaltsverzeichnis .....	I
	Anhang A: Berechnung aller Tunnelabschnitte .....	II

---

# 1 Einleitung

---

---

## 1.1 Problematik – Ausbruchmaterial von Tunnelbauwerken

---

Die Errichtung von Großbauwerken stellt in der Regel einen relativ großen Eingriff in die Umwelt dar. Besonders bei der Errichtung von unterirdischen Linienbauwerken entstehen große Mengen an Ausbruchmaterialien, welche bei der Herstellung dieser Bauwerke nur teilweise wieder für Bauarbeiten im Tunnel verwendet werden. Ab Verlassen des Materials durch das Tunnelportal kann die Umwelt vor allem durch Lärm und Staub beeinträchtigt werden. Eine Deponierung der Ausbruchmassen stellt eine dauerhafte Veränderung der Geländeoberfläche dar. Mögliche höherwertige Ressourcen entlang eines Bauwerkes sollten frühzeitig erkannt und im Sinne der Ressourcenschonung der bestmöglichen Verwendung zugeführt werden.

Für die Verwendung des gewonnenen Ausbruchmaterials als Baustoff sind Qualitätsanforderungen einzuhalten. Aus technischer Sicht gilt es, bei der Umwandlung vom gewonnenen Rohstoff zum Baustoff zahlreiche Herausforderungen zu lösen, wobei die oft erheblichen Kosten einer notwendigen Aufbereitung Berücksichtigung finden müssen. Die Materialeigenschaften sind überwiegend von der anstehenden Geologie und dem Lösevorgang bestimmt. Ob die Qualitätsanforderungen an den Baustoff mit den Materialeigenschaften des Ausbruchmaterials eingehalten werden können, kann oft erst nach dem Lösen des Gesteins aus dem Vortriebsbereich festgestellt werden.

Für das Einreichoperat eines untertägigen Bauprojektes ist es notwendig, über den möglichen späteren Verbleib des Ausbruchmaterials Bescheid zu wissen. Jede Variante der Verwendung ist zu untersuchen, um bereits in der Einreichphase die notwendigen Bescheide für eine spätere Umsetzung zu erhalten. Die durch die vorhandene Geologie bedingte Unsicherheit der Materialeigenschaften kann zu Verschiebungen der jeweiligen Massenströme entgegen der ursprünglichen Planung führen. Jedenfalls müssen sämtliche Materialmanipulationen in der

Bauphase durch Bescheide gedeckt sein. Daher ist es üblich, die Verwendung des Ausbruchmaterials bereits in der Planungsphase zu definieren. Die Chance einer höherwertigeren Nutzung wird oft deshalb außer Acht gelassen, weil damit das Risiko eines aufwendigeren Einreichoperates und damit verbunden noch umfangreichere Bauverträge hintangehalten werden können. Die Tragweite der Thematik wird im Bundes- Abfall- Wirtschaftsplan 2017 beim Vergleich zum vorangegangenen BAWP verdeutlicht:

„Gegenüber dem BAWP 2011 sind die Aushubmaterialien um 40 % gestiegen. Das österreichweite Aufkommen der Aushubmaterialien hängt besonders von großen Bauvorhaben, wie dem Bau des Semmering- und Brenner-Basistunnels oder der Errichtung der Koralmbahn durch die ÖBB, ab. Eine weitere Ursache für das erhöhte Aufkommen stellt auch die Verbesserung der statistischen Erfassung dar.“<sup>1</sup>

---

## **1.2 Bisheriger Umgang mit dem Material**

---

In der Vergangenheit waren für die Verwendung und Verbringung des Aushubmaterials andere Komponenten maßgeblich, als heute. Während früher vorrangig die Möglichkeiten des Transportes und die Einsparungskosten für auf der Baustelle verwendetes Baumaterial betrachtet wurden, wird heute dem Wissen über eventuelle Auswirkungen auf die Umwelt und den erzielbaren Erlösen aus der anderwärtigen Wiederverwertung von Aushubmaterial mehr Gewicht beigemessen.

So wurde zum Beispiel beim Bau der Semmeringbahn in der Mitte des 19. Jahrhunderts das Material aus Tunnelbauten und Geländeänderungen aufgrund der geringen Transportkapazitäten möglichst nahe vom Ort des Ausbruchs, wenn möglich zum Bau von Viadukten und anderen Bahnanlagen entlang der Strecke genutzt. Der Großteil des Ausbruchmaterials der Autobahntunnel, welche in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts gebaut wurden, wurde deponiert, es sei denn, aus der Linienführung waren Dammbauwerke erforderlich. Es standen die notwendigen Transportmöglichkeiten kostengünstig zur Verfügung und die

---

<sup>1</sup> (BAWP, 2017), Seite 24

Auswirkungen auf die Umwelt wurden nicht in diesem Ausmaß bewertet, wie das heute der Fall ist. Die Verwendung der Materialien wurde hauptsächlich durch technische und wirtschaftliche Aspekte bestimmt.

Mittlerweile wird die Bestimmung über die weitere Verwendung des Haufwerkes in erster Linie durch rechtliche Gegebenheiten in Verbindung mit wirtschaftlichen Überlegungen vordefiniert. In jüngster Vergangenheit wird vermehrt auf Umweltschonung durch die effiziente Nutzung von Rohstoffen Wert gelegt. So wird zum Beispiel beim Baulos 2 des Koralmtunnels der nutzbare Teil des gelösten Materials zur Betonherstellung herangezogen.

Die Herstellung einer Aufbereitungsanlage verursacht sehr hohe Kosten. Deshalb ist die Tunnellänge und somit die Menge der anfallenden Massen vorrangig dafür ausschlaggebend, ob eine Aufbereitungsanlage für das Ausbruchmaterial errichtet wird oder nicht.

Neben einer Deponierung wurde das Ausbruchmaterial bisher hauptsächlich als Schüttmaterial, zur Errichtung von Dammbauwerken und für Geländeangleichungen verwendet. Eine gewisse Entledigungsabsicht konnte in der Vergangenheit nicht von der Hand gewiesen werden. Ein Urteil des Verwaltungsgerichtshofes sah bei der Verbringung von Ausbruchmaterial auf ein Betriebsgelände die Entledigungsabsicht zumindest als ein Hauptmotiv. Damit waren die Voraussetzungen des subjektiven Abfallbegriffes im Sinne des § 2 Abs. 1 Z1 AWG 2002 erfüllt (VwGH 22.3.2012, 2008/07/0204).

Die Herstellung von Beton vor Ort gewinnt aufgrund der Rohstoffverknappung und des wachsenden Umweltbewusstseins zunehmend an Bedeutung. Eine denkbare Verwendung als Rohstoff für Dritte ist derzeit noch als untergeordnetes Ziel zu betrachten, da die Kosten der Verbringung des Ausbruchmaterials in Relation zum logistischen Aufwand relativ hoch sind.

---

### **1.3 Ziel für die Zukunft**

---

Der sinnvolle und schonende Umgang mit den vorhandenen Ressourcen ist das Ziel für die Zukunft. Vor allem bei längeren Tunnelbauprojekten sollten

Ausbruchmassen einem möglichst hochwertigen Verwendungszweck zugeführt werden. Die Auswirkungen auf die Umwelt sind möglichst global zu betrachten, schließlich kann das abgebaute Material eventuell anderenorts mineralische Rohstoffe substituieren.

Um eine möglichst umfangreiche und vollständige Wiederverwendung zu erreichen, sollte die ausführende Baufirma in die Belange der Materialdisposition eingebunden werden können. In der Regel steht erst nach Beendigung der Genehmigungsphase fest, welche Baufirma oder Arbeitsgemeinschaft das Projekt umsetzen wird.

Daher ist es notwendig ein flexibles System zu finden, bei dem der Auftragnehmer in die Materialströme eingreifen kann, ohne aus den Rahmen der behördlichen Genehmigungsvorgaben zu fallen. Da jedes Tunnelbauvorhaben einen Prototyp für sich darstellt, sollte das System möglichst flexibel an die unterschiedlichsten Zwangspunkte eines Projektes angepasst werden können. Die Risiken, welche bei der Mitgestaltung des Auftragnehmers auf dessen Seite wandern, müssen kalkulierbar, einschätzbar und mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit vorhersehbar sein.

Die Ausschreibungsformulierungen sollten dem Auftragnehmer die Chance bieten, durch geschickten Umgang mit dem Ausbruchmaterial die Kosten des Auftrages zu senken bzw. bei einer Bewertung durch ein Punktesystem einen Vorteil gegenüber seinen Mitbewerbern zu erlangen.

Als Grundlage für die spätere Abrechnung sollte das tatsächlich vorkommende Material herangezogen werden, welches mit geeigneten Prüfverfahren kategorisiert werden kann. Analog zu den Vortriebsklassen aus der ÖN B2203-1 könnte das anstehende Gestein in Klassen eingeteilt werden, welche die mögliche Verwendung definieren. Diese Klassen können mit einem Preis je Tonne Ausbruchmaterial hinterlegt werden, womit die Abrechnung der Materialdisposition bewerkstelligt werden kann. Das System sollte so flexibel gestaltet werden, dass damit möglichst jedes Tunnelbauprojekt abgewickelt werden kann.

Das mittelfristige Ziel bei der Entwicklung eines solchen Systems muss sein, dass es sich als Standardverfahren etabliert. In der Anfangsphase geht es auch darum, Erfahrungswerte zu sammeln, sowie eine gewisse Routine und Sicherheit bei der Anwendung des neuen Systems zu erhalten.

## 2 Hauptteil

### 2.1 Verwendungsmöglichkeiten von Ausbruchmaterial

#### Verwendungspotentiale

„Den unterschiedlichen Festgesteinsgruppen können mit Ausnahme einer großstückigen Verwendung folgende Verwendungspotentiale zugeordnet werden.“<sup>2</sup>

Verwendungspotential	Zuschlagstoff für karbonatischen Splittbeton	Zuschlagstoff für silikatischen Splittbeton	Zuschlagstoff für metallurgische Prozesse	Gesteinsmehle für die Landwirtschaft	Schmelzbasalt, Mineralfasern	Flußmittel	Filterstoff	Wasseraufbereitung	Zementrohstoff	Glasherstellung	Futtermittel	Umweltbereich (Wasser, Boden, Luft)	Chemische Industrie	Nahrungsmittelindustrie	Füllstoffe	Feuerfestindustrie	Farben-, Lackindustrie	Beton- und Mörtelindustrie, Körnungen	Gleisschotter
Karbonatgesteine (Kalke, Dolomite)	X		X	X					X		X	X	X	X	X	X	X	X	
Karbonatische Metamorphite (Marmore)	X		X	X					X		X	X	X	X	X	X	X	X	
Silikatische Metamorphite		X		X					X										
Vulkanite: basische V.				X	X	X	X	X											X
Vulkanite: saure V.				X		X			X	X									
Plutonite (Granite)		X																	X

Tabelle 1: Verwendungspotentiale verschiedener Festgesteinsgruppen<sup>3</sup>

„Mögliche Verwendungsmöglichkeiten von Lockersedimenten sind beispielsweise:

- Kies, Sand: Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel
- Mergel: Zementherstellung
- Tone: Ziegelproduktion, Abdichtungsmaterial
- Quarzsande: Glas-, Zement-, Keramik-, Farben-, Lackproduktion“<sup>4</sup>

<sup>2</sup> (Resch, 2012), Seite 10

<sup>3</sup> (Resch, 2012), Seite 10

<sup>4</sup> (Resch, 2012), Seite 10

---

## 2.2 Prognose der Eigenschaften von Tunnelausbruchmaterial

---

### 2.2.1 Erkundung

---

Die Gewinnung der Bohrkerne erfolgt mit Kernbohrgeräten, welche in der Regel auf LKW-Fahrgestellen aufgebaut sind oder Raupenfahrwerke aufweisen. Die Schwierigkeit besteht in der Regel weniger in der möglichen Bohrtiefe, sondern vielmehr in der unwegsamen Zugänglichkeit der Bohrstellen.



**Abbildung 1: Bohrgerät zur Gewinnung von Bohrkernen<sup>5</sup>**

---

<sup>5</sup> (Brunnenbau Etschel + Meyer Gesellschaft m.b.H & Co KG, 2017)

Die Bohrkerne werden zumeist in Holzkisten gelagert, und mit der entsprechenden Teufe beschriftet. Ist der Wassergehalt von Bedeutung, werden die Bohrkerne mit Kunststofffolien gegen Verdunstung geschützt.



**Abbildung 2: gewonnene Bohrkerne<sup>6</sup>**

<sup>7</sup>Damit die Versuche mit einer repräsentativen Probemenge durchgeführt werden können, soll eine ausreichende Probemenge aus der entsprechenden Lithologie entnommen werden. Für jede Lithologie soll ein Großversuch hinsichtlich der Brechbarkeit durchgeführt werden. Der Großversuch soll mit ca. 30 Tonnen (Festgestein) in mindestens 2 Brechstufen erfolgen.

---

<sup>6</sup> (Brunnenbau Conrad GmbH, 2008)

<sup>7</sup> Vgl. (ÖBV, 2015), Seite 20

---

## 2.2.2 Untersuchungsmethoden

---

<sup>8</sup>Die Untersuchungsarbeit gliedert sich in **fünf Untersuchungsphasen**. In der **Vorstudie** sind die Untersuchungsgebiete zu definieren, trassenbestimmende Faktoren sind aufzuzeigen und Gebiete mit erhöhten Risiken sind auszuweisen. Es sollte eine Aussage zur grundsätzlichen Machbarkeit gemacht werden.

In der **Voruntersuchung** gilt es die Untersuchungsgebiete einzugrenzen, die Grundlagen für einen Vergleich unterschiedlicher Trassen werden beschafft. Unterschiedliche Trassenvarianten werden untersucht und eine Entscheidungsgrundlage für die Auswahl der besten Trasse wird geschaffen.

Die **Hauptuntersuchung (Phase A)** folgt der Voruntersuchung. Dabei werden genehmigungsfähige Unterlagen für die behördliche Einreichung in der erforderlichen Genauigkeit erstellt.

In der **Hauptuntersuchung (Phase B)** werden die fachspezifischen Unterlagen derart aufbereitet, dass eine Ausschreibung und Ausführungsplanung erfolgen kann. Das Bauprojekt soll am Ende dieser Phase für einen Bieter bezüglich der Geologie kalkulierbar sein.

In der **Kontrolluntersuchung** geht es um die Bereitstellung und Aufbereitung der Daten für eine sichere und wirtschaftliche Bauausführung und eine technisch und rechtlich entsprechende Herstellung des Bauwerks. Nachdem die Betonproduktion unter Verwendung des Ausbruchmaterials einen maßgeblichen Stellenwert einnimmt, sind die Untersuchungen im Wesentlichen nach ÖNORM EN 12620 und ÖNORM B3131 dahingehend zu bewerten. Die Untersuchungen für die Betonproduktion gliedern sich in folgende Versuchsabschnitte.

---

<sup>8</sup> Vgl. (ÖBV, 2015), Seite 12 ff.

## **„Laborversuche in der Phase der Voruntersuchungen**

Für die Laborversuche der einzelnen Lithologien stehen meist Bohrkerne aus Erkundungsbohrungen oder Schürfe zur Verfügung:

- Druckfestigkeit nach DGGT Empfehlung Nr. 1 [18], die Druckfestigkeit von kristallinen Lithologien ist stark vom Schichtsilikatgehalt und der Schieferungsrichtung abhängig. [...]
- E Modul nach ÖNORM B 3124-9; bei Verwendung von kristallinen Lithologien kann der E-Modul des Betons stark von den Werten der Norm abweichen.
- Dosenfrostversuch nach ÖNORM EN 1367-1.
- Schichtsilikatgehalt für kristalline Lithologien: Bestimmung mittels RDA-Analytik.
- Widerstand gegen Zertrümmerung (LA- Wert) nach ÖNORM EN 1097-2.
- Anteil an betonschädlichen Stoffen wie wasserlösliches Chlorid, säurelösliches Sulfat, Schwefel.
- Durchführung einer vereinfachten petrografischen Beschreibung gemäß ÖNORM EN 932-3.

Bei Verwendung von kristallinen Lithologien ist neben der Höhe des Schichtsilikatgehaltes auch dessen Einfluss auf die Kornform beim Brechen und bei der Betonherstellung dessen Einfluss auf den Gesamtwassergehalt, die Kernfeuchte und Wirksamkeit von Zusatzmitteln maßgebend. Für die betontechnologische Beurteilung ist ein Experte für Betontechnik heranzuziehen.“<sup>9</sup>

## **„Aufbereitungs- und Laborversuche in der Phase der Hauptuntersuchungen**

Die Probenaufbereitung und anschließenden Laborversuche sollen rechtzeitig vor der Ausschreibung durchgeführt werden. Die Versuchsergebnisse sollen den Bietern in der Angebotsphase zur Verfügung gestellt werden.“<sup>10</sup>

---

<sup>9</sup> (ÖBV, 2015), Seite 19

<sup>10</sup> (ÖBV, 2015), Seite 19 f.

„Mit dem Probenmaterial sind folgende Laborversuche durchzuführen:

- Prüfung der Gesteinskörnungen gemäß ÖNORM EN 12620 und ÖNORM B 3131
  - Rohdichte und Wasseraufnahme ÖNORM EN EN 1097-6
  - Kernfeuchte ONR 23303
  - Korngrößenverteilung und Gehalt an Feinteilen nach ÖNORM EN 933-1 (die Anforderung Qualität der Feinteile wird durch den Nachweis f5 sichergestellt)
  - Kornform nach ÖNORM EN 933-3
  - Frost- Tauwiderstand der feinen Gesteinskörnung nach ONR 23303
  - Wasserlösliches Chlorid nach ÖNORM EN 1744-1
  - Säurelösliches Sulfat nach ÖNORM EN 1744-1
  - Gesamtschwefel nach ÖNORM EN 1744-1
  - Radioaktivität ÖNORM S 5200
  - Alkali Kieselsäure Reaktion nach ÖNORM B 3100
  - Die Alkali- Karbonat- Reaktivität sollte bei Karbonaten überprüft werden, soweit es sich nicht um Kalzit oder Dolomit handelt. Als vereinfachtes Prüfverfahren kann CAN/CSA- A23.2-26A-14 verwendet werden.
  - Widerstand gegen Zertrümmerung (LA- Wert) nach ÖNORM EN 1097-2
- Bei kristallinen Lithologien zusätzlich:
  - Schichtsilikatgehalt (RDA Analytik)
- Betonversuche für eine repräsentative Betonsorte z.B.:
  - Innenschalenbeton IG nach ÖBV – Richtlinie Innenschalenbeton
  - Spritzbeton nach ÖVBB Richtlinie Spritzbeton

- Versuche zur Bestimmung der Abrasivität<sup>11</sup>

<sup>12</sup>In der Phase der Kontrolluntersuchungen müssen bei Vortriebsbeginn die Ergebnisse der Laborversuche im Bedarfsfall verifiziert und Qualitätsabweichungen erkannt werden. Das Versuchsprogramm entspricht im Wesentlichen dem der Hauptuntersuchung. Die Produkte der Aufbereitungsanlage müssen einer Erstprüfung unterzogen werden.

<sup>13</sup>An die Rohstoffe zur Betonherstellung werden umweltchemische Anforderungen entsprechend der Deponieverordnung 2008<sup>14</sup> und Bundes- Abfallwirtschaftsplan 2017<sup>15</sup> gestellt.

<sup>16</sup>Für eine beabsichtigte Verwendung des Ausbruchmaterials als Ringspaltmörtelmuss in der Voruntersuchung folgende zusätzliche Untersuchung durchgeführt werden:

- „Bestimmung des Calciumkarbonatgehaltes zur Einhaltung der Forderung gemäß ÖVBB- Richtlinie ‚Tübbingsysteme aus Beton‘ “<sup>17</sup>

---

## 2.3 Klassifizierung von Tunnelausbruchmaterial

---

Die Begründung für eine Klassifizierung ist die spätere Verwendung des Ausbruchmaterials. Die Einteilung des vorhandenen Gesteins hat mithilfe einer automatisierten Analyseeinrichtung durchgeführt zu werden. Das verspricht eine objektive Beurteilung des abgebauten Gesteins, wobei zeitliche Schwankungen sofort erkannt werden können. Es gibt Möglichkeiten, um von der elementaren

---

<sup>11</sup> (ÖBV, 2015), Seite 20

<sup>12</sup> Vgl. (ÖBV, 2015), Seite 20

<sup>13</sup> Vgl. (ÖBV, 2015), Seite 21

<sup>14</sup> (DVO 2008, 2017)

<sup>15</sup> (BAWP, 2017)

<sup>16</sup> Vgl. (ÖBV, 2015), Seite 22 f.

<sup>17</sup> (ÖBV, 2015), Seite 23

Analyse des Ausbruchmaterials auf eine mineralogische Beurteilung zu gelangen. Dies kann infolge einer In-stream-Analyse, praktisch in Echtzeit erfolgen. Dabei wird aufgrund von einzelnen Materialparametern die Verwendungsklasse automatisiert festgelegt. Die Festlegung der Klassen-Grenzen erfolgt dabei nach den Anforderungen der späteren Verwendung als Baustoff oder Industrierohstoff bzw. der Deponieklasse.

### 3 Baugrundabhängige Abrechnungsmethode für Ausbruchmaterial

In Anlehnung an die Vortriebsklassenmatrix, mit der die vertragliche Bauzeit und die Abrechnung der Ausbruchsarbeiten in der ÖN 2203-1 im Rahmen eines Bieterverfahrens durch Ausfüllen der Matrix durch den Bieter definiert werden, soll ein System gefunden werden, bei dem die Verwendung des Ausbruchmaterials flexibel und projektspezifisch durch das Angebot des Bestbieters erfolgt.

ERSTE ORDNUNGSZAH	ABSCHLAGSLÄNGE BIS		ZWEITE ORDNUNGSZAH										
	KALOTTE oder KALOTTE+ STROSSE	STROSSE	STÜTZMITTELZAH										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	keine Vorgabe	ist projektbezogen festzulegen											
2	4,0 m												
3	3,0 m												
4	2,2 m					4/2,4	4/3,6						
5	1,7 m						5/4,5	5/6,1					
6	1,3 m							6/5,5	6/7,5				
7	1,0 m												
8	0,8 m												
9	0,6 m												

Abbildung 3: Vortriebsklassenmatrix der ÖN2203-1<sup>18</sup>

<sup>18</sup> (ÖNORM B 2203-1, 2017), Seite 12

<sup>19</sup>Bei der Abrechnung der Vortriebsleistungen wird laut ÖN 2203 -1 für jedes Kästchen ein Preis pro m<sup>3</sup> und eine vertragliche Vortriebsleistung durch den Bieter im Rahmen des Angebotes festgelegt. Jedes der Kästchen stellt eine Vortriebsklasse dar. Auf der Ordinatenachse wird die Abschlaglänge aufgetragen, auf der Abszissenachse wird die Stützmittelzahl als zweite Ordnungszahl aufgetragen. Die Stützmittelzahl errechnet sich aus der Gesamtheit der verwendeten Stützmittel je m Tunnelvortrieb dividiert durch die Bewertungsfläche. Alle Bewertungen der Stützmittel und die Berechnung der Bewertungsfläche, welche den Tunnelquerschnitt darstellt, sind in der ÖN genau definiert.

---

### **3.1 Materialien, die beim Bau einer Tunnelröhre in großen Mengen anfallen**

---

Um möglichst wenig ungenutzte Ressourcen im Laufe der Bauzeit zu erhalten ist es unabdingbar, die anfallenden Materialien schon im Vorfeld, unter Zuhilfenahme der Erfahrungen aus abgeschlossenen Bauwerken zu analysieren. Neben dem Ausbruch durch Bagger- oder Sprengvortrieb fallen auch abgebrochene temporäre Stützmittel an. Der Vermischungsgrad von Stützmittel und dem anstehenden Gestein hängt stark von der eingesetzten Stützung ab und ob diese temporären Mittel getrennt vom anstehenden Gebirge rückgebaut werden können.

Die Trennung von Gestein und künstlich eingebrachten Mitteln kann für die weitere Verwendung des Materials eine wesentliche Rolle spielen und muss für eine entsprechende Ausschreibung betrachtet werden. In Abhängigkeit von der Vortriebsart und den geologischen Bedingungen können die Massen dieser temporären Stützmittel stark variieren. Als Beispiel können Vortriebe mit Kalottensohlen oder Ulmenstollenvortriebe genannt werden, bei denen Spritzbetonelemente als temporäre Stützmittel zur Anwendung kommen. Diese relativ stark ausgeführten Elemente können beim Abbruch mit einem hohen Reinheitsgrad rückgewonnen werden.

---

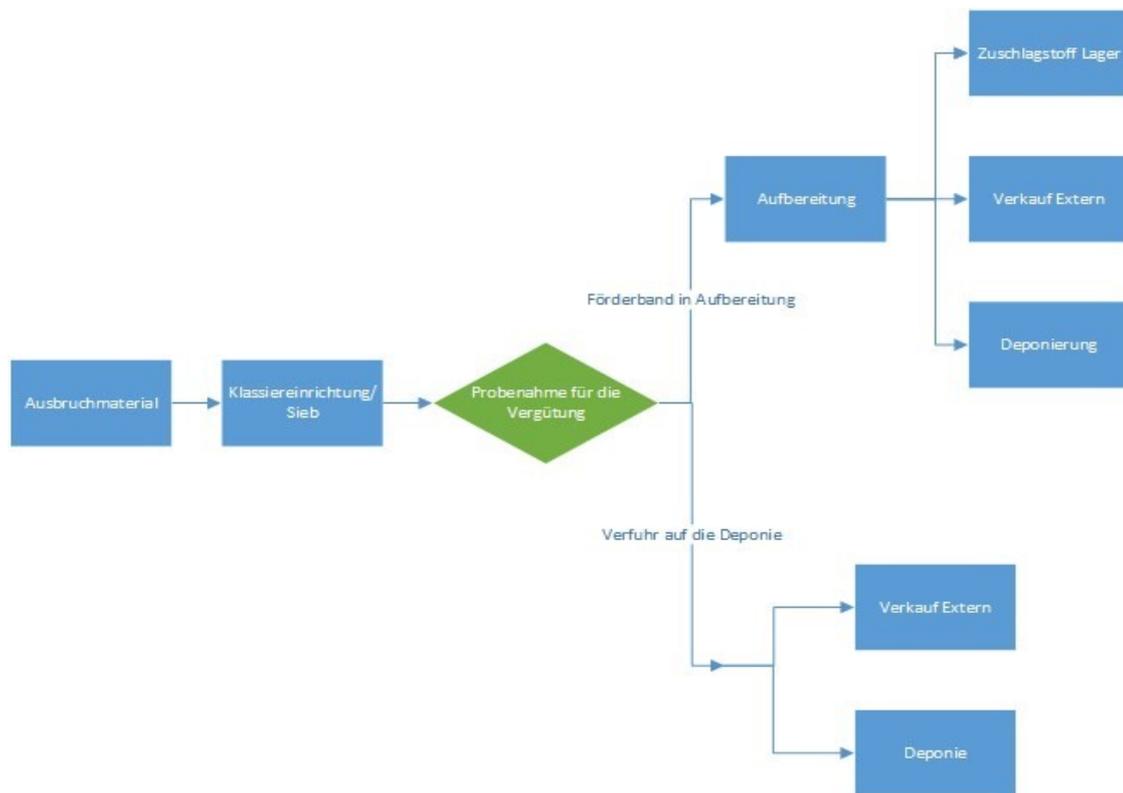
<sup>19</sup> Vgl. (ÖNORM B 2203-1, 2017), Seite 12 ff.

Aber auch eine Ortsbrustsicherung mit Spritzbeton liefert einen erheblichen Anteil an Beton im Haufwerk. Bei der Sicherung der Ortsbrust, welche oft durch eine relativ dünne Schichte an Spritzbeton über den gesamten Querschnitt des Tunnels erfolgt, ist eine Trennung zwischen Betonschichte und anstehender Geologie wesentlich schwieriger, da nach dem Sprengen der Vermischungsgrad sehr hoch ist. Ortsbrustversiegelungen werden oft mit einer Stärke von 10 cm ausgeführt, zusätzlich besteht ein gewisser Verbund mit dem Gebirge. Metallische Stützmittel können relativ leicht im Haufwerk geortet und mechanisch entfernt werden, da es sich dabei zumeist um Stahlelemente handelt, welche sich aufgrund ihrer magnetischen Eigenschaften trennen lassen.

Ein weiteres nicht zu unterschätzendes Aufkommen an mineralischen Massen kann aus temporären Fahrbahnschüttungen entstehen. Diese werden oft eingesetzt, wenn das Tunnelprofil nach unten hin so schmal wird, dass ein Befahren mit Baufahrzeugen anderenfalls nicht möglich wäre. Wenn das Ausbruchmaterial empfindlich auf Wasserzutritt reagiert, kommt es auch vor, dass dafür ein Baustoff von externer Quelle bezogen wird.

Auch Sedimente aus den Entwässerungsanlagen sowie bei hohem Wasserandrang aus der Sohle auch Schlamm aus dem Fahrbetrieb kann unter Umständen in größeren Mengen anfallen und sind bei einer ganzheitlichen Betrachtung der Gutströme in die Betrachtung mit einzubeziehen.

Ein besonderes Augenmerk ist auf die Verhinderung der Vermischung von Schlamm und Schüttmaterial durch Setzung entsprechender Maßnahmen zu legen. Ein typisches Flussdiagramm der Gutströme auf einer Tunnelbaustelle ist in folgender Abbildung dargestellt.



**Abbildung 4: typisches Flussdiagramm**

### 3.2 Zu erbringende Leistungen nach dem Ausbruch

Nach dem Ausbruch gilt es, das gelöste Gestein aufzunehmen und zur Verwertungsstelle zu transportieren. Um die Leistungsfähigkeit des unmittelbaren Vortriebes nicht zu beeinflussen, ist es bei einem zyklischen Vortrieb zweckdienlich, den Transport in zumindest zwei Phasen zu unterteilen. Direkt nach dem Sprengvorgang, sobald die Bewetterung ein Einfahren in den Vortriebsbereich ohne Gesundheitsbeeinträchtigung durch Sprengschwaden zulässt, wird das Haufwerk geschuttert. Ein Lösen durch maschinellen Einsatz eines Baggers macht eine Wartezeit wegen noch vorhandener Sprengschwaden hinfällig. Es gelten

Gerätesätze, bestehend aus Radlader und Mulden am geeignetsten, wenn es die Platzverhältnisse wie in Abbildung 5 zulassen.



**Abbildung 5: Situation am Ende des Schuttervorganges**

Die hochgeländegängigen Mulden transportieren den Ausbruch vom Vortriebsbereich weg und entladen zumeist an einer Zwischendeponie im Tunnel. Die Arbeiten bis zur Zwischendeponie stellen die erste Phase des Abtransportes dar.

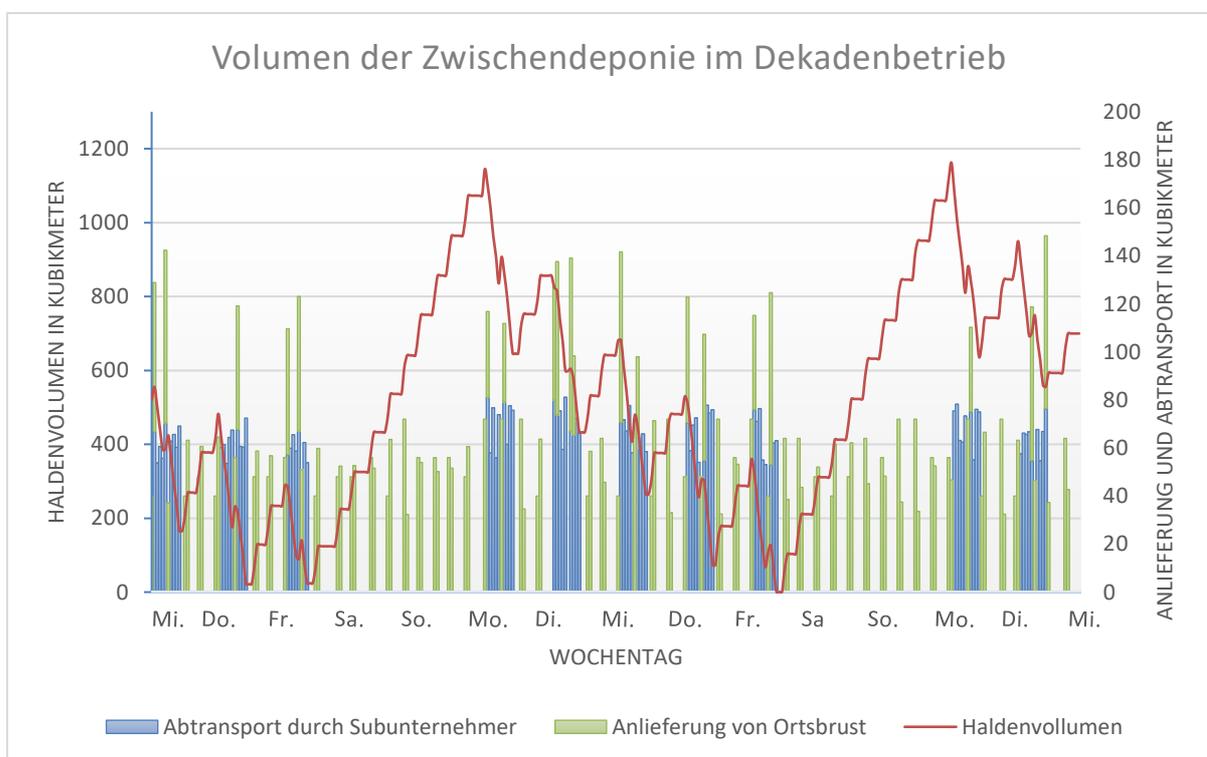
Die Gründe für diese Teilung der Beförderung liegen aufgrund der unterschiedlichen Bruttomittellohnpreise von Vortriebspersonal und Transportgewerbe auf der Hand. Das Verfrachten vom Ausbruchsort kann aufgrund der seriellen Arbeitsabfolge von Bohren, Laden, Sprengen, Schuttern und Einbringen von Stützmittel im Sprengvortrieb nicht als kontinuierliche Tätigkeit betrieben werden.

Bei einem Baggervortrieb verändert sich das Aufkommen von Schuttermaterial zwar zeitlich, dennoch stellt es eine zyklische Tätigkeit dar und kann bei der Betrachtung der anfallenden Ausbruchsmassen einem Sprengvortrieb gleichgesetzt werden.

Das Beladen im Vortriebsbereich erfordert eine minutengenaue Taktung der Mulden, höchste Konzentration aller beteiligten Maschinisten und ein eingespieltes Team. Aus diesen Gründen ist es im Hinblick auf die Sicherheit und der

Schutterleistung nicht üblich, Personal aus dem allgemeinen Transportgewerbe für diese Tätigkeit einzusetzen, sondern es bewerkstelligt diese Tätigkeit die Vortriebsmannschaft selbst.

Ein Zwischenlager dient zur zeitlichen Vergleichmäßigung des Massenstroms und kann am Ausgang dieses Lagers als kontinuierliche Tätigkeit im Tagschichtbetrieb wesentlich kostengünstiger erfolgen. Die Größe dieses Lagers richtet sich neben den räumlichen Gegebenheiten nach der Tagesleistung, sodass wenn möglich, der Abtransport von diesem Lager am Wochenende entfallen kann um zusätzliche Lohnkosten zu sparen.

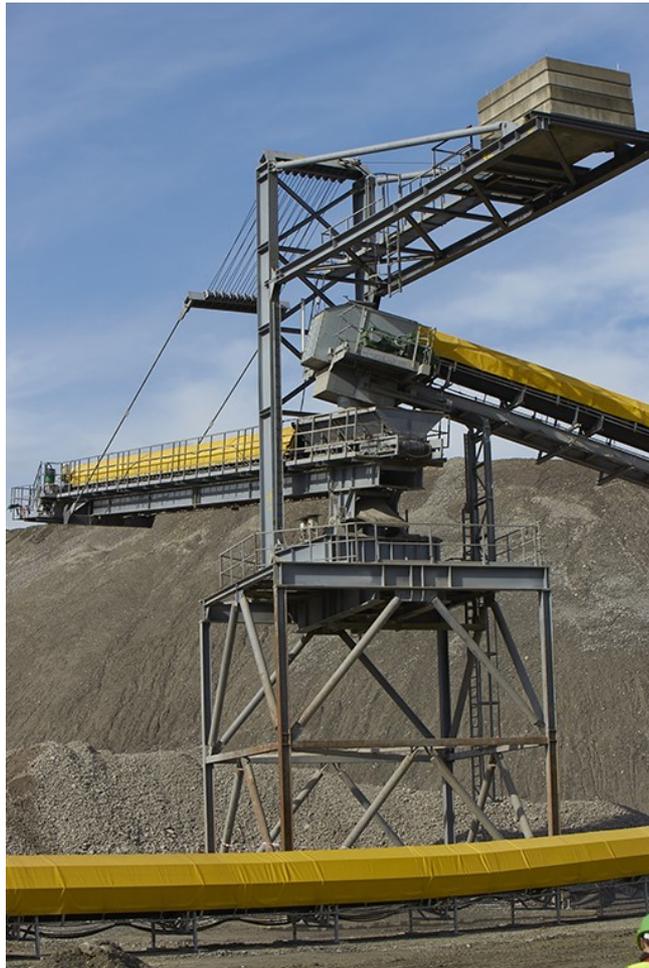


**Abbildung 6: Haldenvolumen bei Wochenschicht des Transporteurs**

Die zweite Phase des Abtransportes kann bei entsprechenden Fahrbahnverhältnissen mit gewöhnlichen Lastkraftwagen für den Straßenverkehr erfolgen. Diese Geräte sind im Vergleich zu den geländegängigen Mulden wesentlich günstiger, sowohl in der Anschaffung als auch im Betrieb.

Die Entladestelle dieser zweiten Phase wurde in der Vergangenheit oft auf einer endgültigen Deponie situiert und soll zunehmend am Eingang einer Aufbereitungsanlage liegen.

Bei Vortrieben mit Tunnelbohrmaschinen erfolgt der Abtransport in der Regel kontinuierlich über Förderbänder und Taschenfördereinrichtungen oder gleisgebunden, durch dieselbetriebene Tunnellokomotiven. Am Ende der Fördereinrichtung wird zumeist ein Absetzer situiert um die großen Massen zeitweilig zwischenlagern zu können.



**Abbildung 7: Absetzer am Ende des Förderbandes<sup>20</sup>**

Je nach späterer Verwendung muss eine Abfolge von Aufbereitungsaggregaten installiert und betrieben werden um die, aus dem Ausgangsmaterial möglichen und gewünschten Produkte in der notwendigen Qualität herzustellen.

Die Produkte dieser Aufbereitungstätigkeit sind je nach Verwendungszweck in unterschiedliche Richtungen zu leiten. Entweder als Baustoff innerhalb der

---

<sup>20</sup> (Agir Aggregat AG, 2017)

Baustelle für die Weiterverarbeitung zu Beton oder direkt als Verfüllmaterial und Schüttmaterial für unterschiedliche Funktionen vor Ort. Oder von der Baustelle weg, als Handelsgut mit einer definierten Qualität. Wenn sich keine sinnvollere Verwendung finden lässt, muss der nicht verwertbare Anteil wie bisher deponiert werden, wobei es gilt, diese Mengen möglichst gering zu halten.

---

### **3.3 Direkt abrechenbare Leistungen, unabhängig von der späteren Verwendung des Materials**

---

Der zielführendste Weg zur Kalkulation einer Leistung ist eine genau definierte und sehr klar abgegrenzte Leistungsposition. Unabhängig von einem neuen System für die Abrechnung der Materialverwendung wird weiterhin der Vortrieb inklusive Stützmittel nach Vortriebsklassenmatrix abgegolten. Ebenso bleiben alle Leistungen zur Herstellung der Innenschale, der Fahrbahn und sämtlicher Betriebseinrichtungen unverändert. Entspricht es dem Wunsch des Auftraggebers, auch aktiv in die Belange der Materialbewirtschaftung einzugreifen zu können, um zum Beispiel Massenströme aufgrund von unvorhersehbaren Ereignissen auf eine bestimmte Halde zu transportieren, müssen zur Beauftragung in einem Leistungsverzeichnis entsprechende Leistungspositionen angeführt sein.

Dazu kann eine Eventualposition für jedes Aggregat dienen. Jedoch obliegt es in der Regel dem Auftragnehmer, welche Anlagen zur Verwendung kommen, sodass eine funktionale Ausschreibung für diese Verwendungszwecke als sinnvoller erscheint. Mit einer derartigen Lösung lassen sich wissenschaftliche Projekte und Sonderuntersuchungen des Ausbruchmaterials unkompliziert durchführen und abrechnen.

Ein Vorbrecher zur Vermeidung von Schäden des Förderbandgurtes und zur Schonung der Laufrollen ist sinnvoll, allerdings sollte diese Entscheidung in der Sphäre des Auftragnehmers bleiben, da dadurch Probleme im Materialstrom auftreten können und der Anteil an Feinkorn maßgeblich beeinflusst wird. Der Transport des Materials bis zur Aufbereitungsanlage kann, unabhängig von der Verwendungsklasse direkt nach Tonnen vergütet werden.



Vortriebsklassenmatrix berechnet und ist abhängig vom anstehenden Material. Eine derartige Position im Leistungsverzeichnis kann folgendermaßen aussehen.

Projekt Diplomarbeit Beispiel, Vergabe Leistungsverzeichnis							01.12.2018				
Geschlossenes LV, Bieter: 01-Drei											
HG	OG	LG	POSNR	Z	PZZV	A	BESCHREIBUNG DER LEISTUNG	MENGE	EH	PREISANTEILE	RWG
											POS.PREIS
01	01						<b>Baustellengemeinkosten</b>				
01	01	21		Z			<b>Baustellengemeinkosten</b>				
01	01	2103		Z			<b>Zeitgebundene Kosten der Baustelle (ZGKB)</b>				
01	01	210306		Z			<b>AZ Betrieb der Aufbereitungsanlage</b>				
							Zeitgebundene Kosten der Baustelle (Bauregie) lt. ÖN B 2061				
							Gerätekosten der Baustelle lt. ÖN B 2061 sowie Sonstige				
							Kosten lt. ÖN 2061				
							Aufzahlung auf die Grundposition Zeitgebundene Kosten der				
							Baustelle während der Produktion von Betonzuschlagstoffen				
							maßgebliche Teilzeit: ZBP (ZeitBetonzuschlagstoffproduktion)				
										Lo:	12754,00
										So:	13573,00
								1,00 VE		EP:	26327,00
											26327,00

**Abbildung 9: Positionstext Aufzahlung auf Grundposition**

Die Produktion von Gesteinsfraktionen kann nicht direkt abgerechnet werden, sondern spezifisch je nach Verwendungsklasse. Eine mögliche Leistungsposition hierzu ist im Kapitel 3.13 beschrieben.

Die Betonherstellung aus den Produkten der Aufbereitungsanlage sowie alle weiteren Leistungen können, so wie bisher gehandhabt getrennt vergütet werden.

---

### 3.4 Probenahme, Entnahmestellen, Schnittstellen

---

An welchen Stellen die Beprobung durchzuführen ist, ergibt sich einerseits aus den technischen Anforderungen der Materialverarbeitung und andererseits aus rechtlichen Vorgaben. So ist zum Beispiel das Material für eine Deponierung nach der Deponieverordnung Anhang 4, Absatz 1<sup>21</sup> in demselben Zustand zu beproben, in dem es deponiert werden soll. In diesem Fall muss eine Beprobung am Deponieeingang erfolgen, auf alle Fälle nach Durchlaufen der Aufbereitungsanlage. Die Intervalle der Beprobung sind durch einen auszuarbeitenden Probenahmeplan<sup>22</sup> zu definieren.

An jedem Deponieeingang ist je nach Art des Materialtransports eine Brückenwaage bzw. eine Bandwaage vorzusehen. An dieser Stelle ist es sinnvoll auch die Probenahmeeinrichtung zu situieren, um den Aufwand für die Betreuung der Anlagen gering zu halten. Für die Steuerung der Gutströme in der Aufbereitungsanlage ist eine möglichst frühzeitige Beprobung anzustreben, um die notwendige Vorlaufzeit zur Lenkung der Materialflüsse einhalten zu können. In der Abbildung 10 ist der Entwurf einer automatisierten Probenahmeanlage dargestellt. Diese durch Seidler, (2018) entworfene Anlage dient der laufenden mineralogischen und elementarchemischen Beprobung von Ausbruchmaterial im Anschluss an den Primärbrecher. Am Ende der Anlage lenkt diese den Gutstrom automatisch auf eines der zwei Förderbänder um.

---

<sup>21</sup> (DVO 2008, 2017), Seite 63

<sup>22</sup> (DVO 2008, 2017), Seite 64



**Abbildung 10: Automatische Prüfeinrichtung<sup>23</sup>**

---

### **3.5 Probeentnahmeeinrichtungen**

---

Je nach Aufgabenstellung in der Materialbewirtschaftung muss ein anderer Ort im Gutsstrom beprobt werden. Jedenfalls muss eine Wiegeeinrichtung beim Förderband vom Tunnel zur Aufbereitungsanlage installiert werden. Damit wird die Masse des gesamten Ausbruchs ermittelt.

Grundsätzlich liegt das Risiko des Feinkorngehaltes bei der Baufirma, abhängig von den Materialtests betreffend die Brechbarkeit. Die Zerkleinerung durch den Transport mittels Förderbänder oder mittels Muldenkipper von der Ortsbrust bis zur Aufbereitungsanlage muss in der Angebotslegung berücksichtigt werden und kann durch die Angabe geeigneter Prüfwerte in der Ausschreibung beschrieben werden.

Der Ort der Beprobung für die Abrechnung muss in jedem Fall zur den gewählten Leistungspositionen der Verwertung passen.

Die einzelnen Kornfraktionen am Ausgang der Aufbereitungsanlage müssen getrennt voneinander gewogen werden.

---

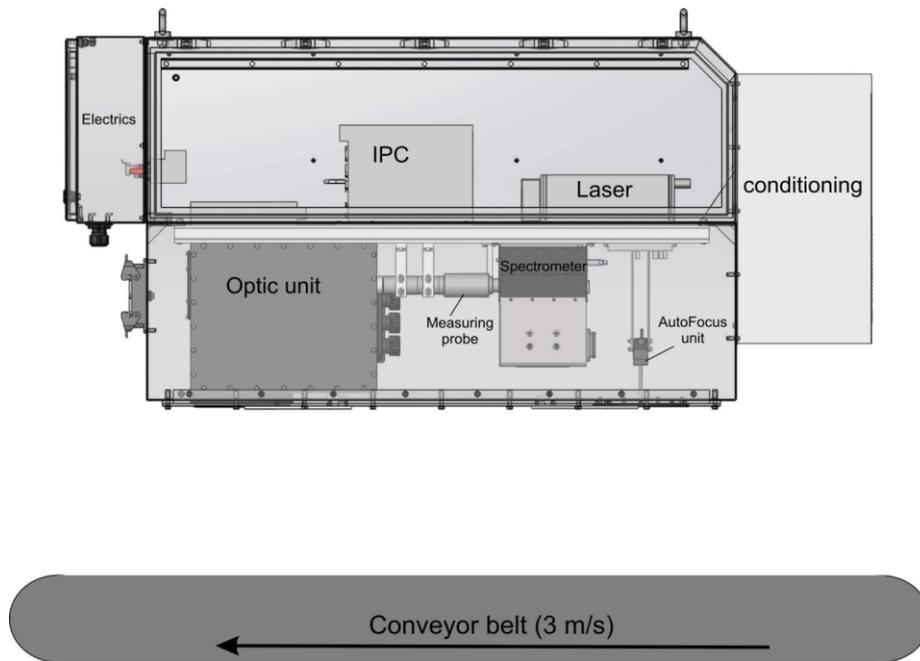
<sup>23</sup> (Seidler, 2018)

Materialströme, welche nicht in die Aufbereitung führen, weil sie beispielsweise direkt auf eine Deponie geführt werden, müssen ebenfalls getrennt gewogen werden. Das Ziel für die Zukunft ist, eine Online-Probenahmeeinrichtung möglichst früh im Materialstrom zu situieren, um die Materialqualität ohne Zeitverzögerung auch bei wechselhafter Geologie durchgehend bestimmen und dokumentieren zu können.

<sup>24</sup>Die automatisierte Echtzeitanalyse des Materials wird in der Diplomarbeit von Seidler behandelt. Am Forschungs- und Trainingszentrum „Zentrum am Berg“ wurden Proben unterschiedlicher Geologien entnommen. Diese Proben wurden durch das kanadische Labor „Activation Laboratories Ltd.“ in Bezug auf die enthaltenen Elemente und mineralogisch analysiert. Die Untersuchung der enthaltenen Elemente und der Mineralogie wurde einerseits mit einem Röntgendiffraktometer und andererseits mit einem optischen Emissionsspektrometer durchgeführt. Beim ersten Verfahren wurde die Mineralogie mit einem Computerprogramm ausgewertet, beim zweiten Verfahren wurden die Proben vorher in Königswasser gelöst. Ein Vergleich der beiden Untersuchungsvarianten ergab eine gute Korrelation. Diese Laboranalysen wurden mit verschiedenen quantitativen Verfahren geprüft, um ein geeignetes Echtzeit-Prüfverfahren mit einer in Abbildung 10 schematisch dargestellten Anlage zu entwickeln. Die qualitative LIBS Analyse (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) wurde mit einem Prüfgerät der Firma „SECOPTA analytics GmbH“ durchgeführt, um die Messung der Zusammensetzung der Mineralien zu testen.

---

<sup>24</sup> Vgl. (Seidler, 2018)



**Abbildung 11: Abbildung der MineralLIBS Prüfeinrichtung <sup>25</sup>**

Abbildung 11 zeigt einen Schnitt durch das Testgerät. <sup>26</sup>Mit einer Fokussiereinrichtung kann die Höhe des Gutstroms gemessen werden. Der Laser hat eine Wellenlänge von 1064 nm. Weiters ist die optische Einheit und ein Industrierechner im Gerät verbaut. Der Gutstrom kann bis zu einer Geschwindigkeit von 3 m/s beprobt werden. Die erreichbare Genauigkeit kann bei dieser Prüfeinrichtung mit 0,1 Gew.-% mit einem relativen Fehler von 5 % angegeben werden.

Die technischen Spezifikationen sind in folgender Tabelle angeführt.

Messprinzip	Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS)
Laser	Klasse 4, Wellenlänge 1064 nm
Spektrometer	Spektralbereich: 230 – 930 nm
Analysefrequenz	Typisch 1 Ergebnis/s, anpassbar an die Anwendung
Dynamische Fokussiereinheit	Messdistanz 800 mm, Autofocusbereich 150 mm
Einsatzbedingungen	Temperatur: -10 bis +40 °C
Stromversorgung	230 V, 1,2 kW
Abmessungen	Höhe x Breite x Länge: 790 x 300 x 15100 mm

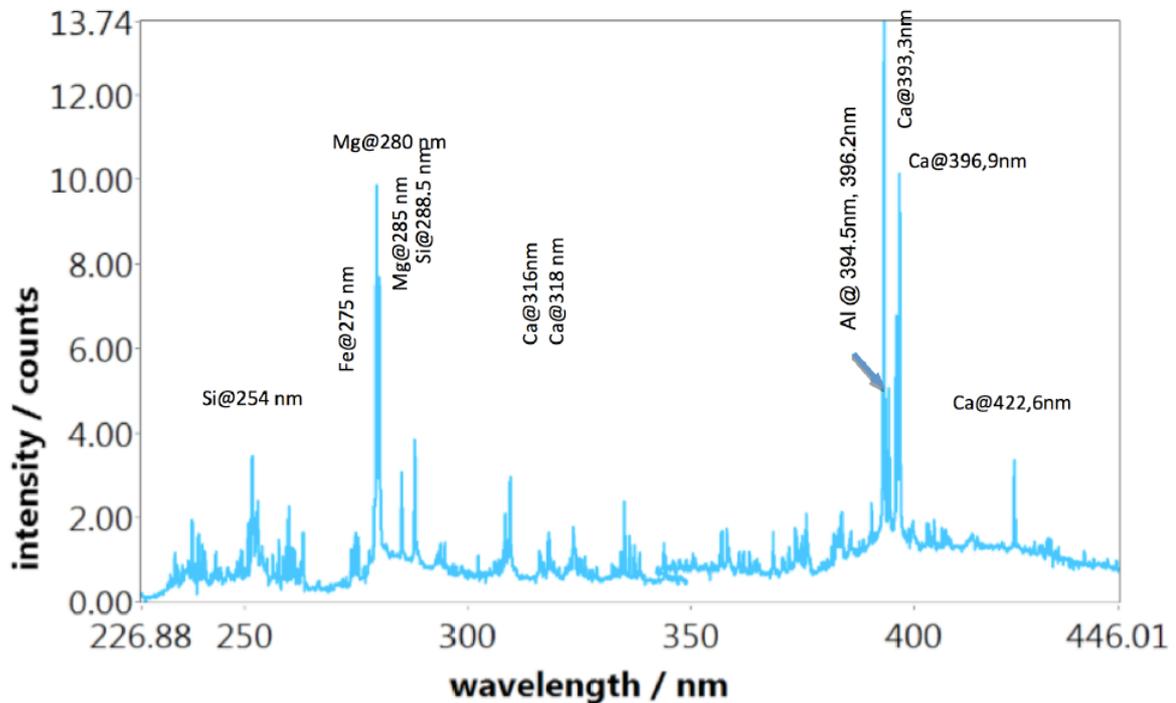
**Abbildung 12: Daten der Prüfeinrichtung<sup>27</sup>**

<sup>25</sup> (Ahsan, 2017)

<sup>26</sup> Vgl. (SECOPTA analytics GmbH, 2017)

<sup>27</sup> (SECOPTA analytics GmbH, 2017)

Als Messergebnis wird von der Prüfeinrichtung ein Spektrum ausgegeben.



**Abbildung 13: Spektrum als Analyseergebnis<sup>28</sup>**

Mit Hilfe des Spektrums lassen sich die Anteile der einzelnen Elemente ermitteln, da diese eine charakteristische Wellenlänge emittieren und es kann ein Rückschluss auf die beprobte Mineralogie gezogen werden.

Weiters wurde in der Arbeit von Seidler die NIR (near infrared) Spektroskopie verwendet. Mit einer SWIR (Short- wavelength infrared) Spektalkamera (1000 – 2500 nm) wurde der Eisengehalt im Probenmaterial bestimmt.

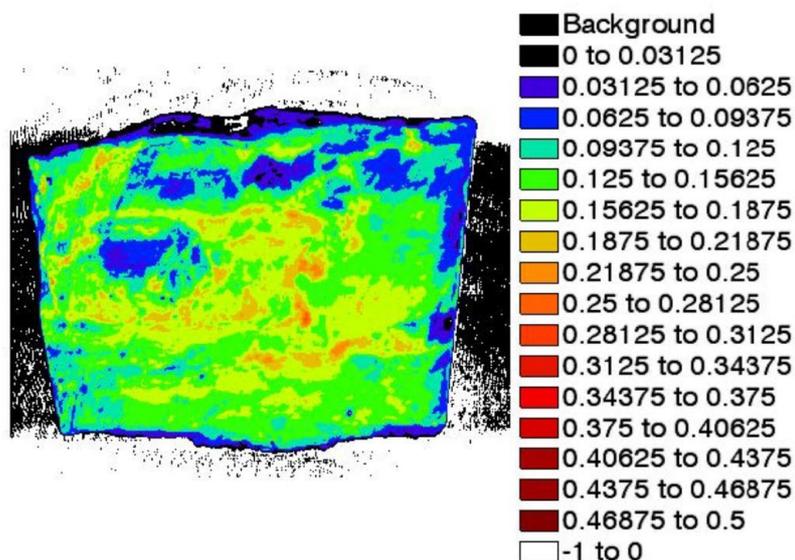
---

<sup>28</sup> (Ahsan, 2017)



**Abbildung 14: SWIR Spektral Kamera <sup>29</sup>**

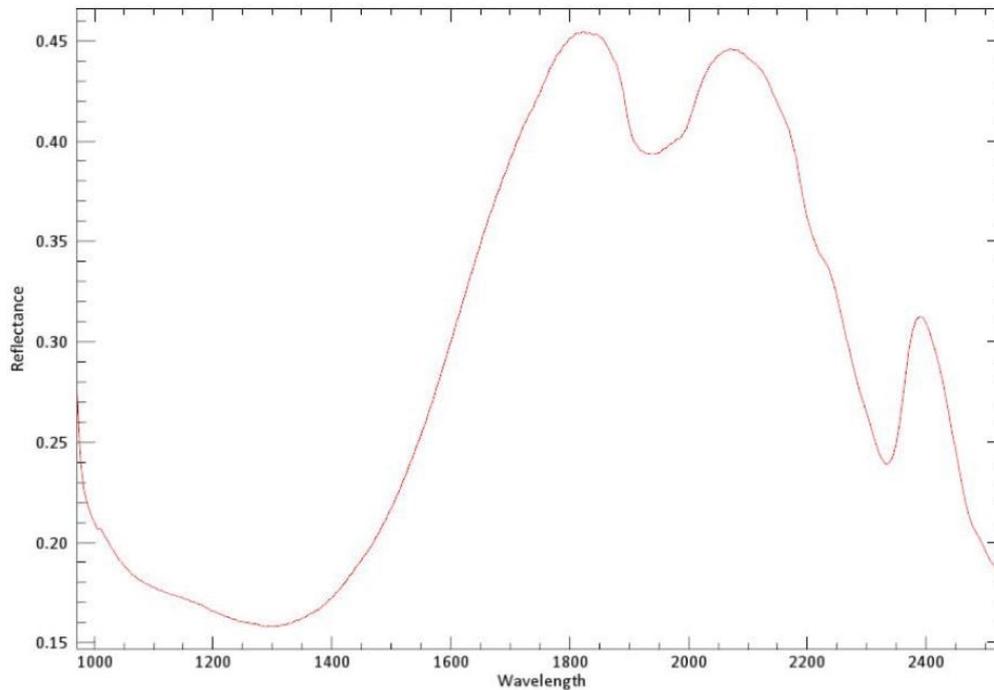
Als Ergebnis erhält man dabei ein Bild mit der Reflexion über die Probe, welche in unterschiedlichen Farben, je nach Stärke der Reflexion dargestellt wird.



**Abbildung 15: Bild aus der SWIR Kamera mit Skala der Reflexion**

<sup>29</sup> (Specim, Spectral Imaging Ltd, 2017)

Das Spektralprofil aus der SWIR Kamera zeigt die Reflexion in Abhängigkeit von der Wellenlänge.



**Abbildung 16: Spektralprofil aus SWIR Spektalkamera<sup>30</sup>**

---

### 3.6 Welche Parameter müssen beprobt werden

---

Um das Ausbruchmaterial gut zu beschreiben, müssen zahlreiche Parameter beprobt werden. Viele dieser zu beprobenden Parameter werden durch Rechtsvorschriften bzw. Normen vorgegeben. Auf alle Fälle werden die elementaren Untersuchungen für eine Deponierung durchgeführt, da anzunehmen ist, dass ein Teil des Ausbruchmaterials auf einer Deponie zu verbringen sein wird.

---

<sup>30</sup> (Bärs, 2017)

---

### 3.6.1 Physikalische Eignung

---

Das Material wird am Anfang der Aufbereitungstätigkeit klassiert. Für die meisten höherwertigen Verwendungsklassen muss das Gestein eine Mindestkorngröße aufweisen um daraus Produkte herstellen zu können. Feinteile eignen sich dazu nicht.

<sup>31</sup>Als wichtige Eigenschaften sind die Druckfestigkeit und der E-Modul des Gesteins anzusehen. Die Rohdichte sowie die Brechbarkeit, Abrasivität und die Empfindlichkeit auf Frost – Tau Wechsel müssen anhand der Bohrkerne bestimmt werden um die Eignung des Ausgangsmaterials fest zu stellen. Ebenso ist es notwendig den Anteil an Glimmer fest zu stellen.

Zur Herstellung von Beton ist die Kornzusammensetzung und die Kornform, welche der Gutstrom aus dem Vortrieb aufweist von großer Bedeutung. Im Falle eines Vortriebes im Lockergestein, kann die Kornzusammensetzung im natürlichen Zustand ermittelt werden, um die Eignung des Materials festzustellen. Für die Verwendung als Bahnschotter sind die Schlagfestigkeit und die Schlag-Abriebfestigkeit von Bedeutung.

---

### 3.6.2 Chemische Eignung

---

Neben der chemischen Beprobung des Materials um die Eignung für eine Deponieklasse zu bestimmen, ist besonders für die Betonherstellung die chemische Zusammensetzung des Materials relevant. Aber natürlich auch für beinahe alle industriellen Rohstoffe spielt der Chemismus eine wichtige Rolle.

<sup>32</sup>So muss für die Betonherstellung die Alkali- Kieselsäure-Reaktivität ermittelt werden und der Gehalt an wasserlöslichem Chlorid und säurelöslichem Sulfat.

---

<sup>31</sup> (Resch, 2012)

<sup>32</sup> (Resch, 2012)

Wenn eine Verwendung des Ausbruchmaterials aufgrund der Analyse der Bohrkerns als Industriemineral naheliegend ist, dann ist es sinnvoll, die Proben hinsichtlich des offensichtlich möglichen Industrieprozesses zu untersuchen. Besonders, wenn die naheliegende Nutzung des Ausbruchmaterials eine Flotationsanlage beinhaltet, reagiert der Trennprozess sehr sensibel auf die chemische Zusammensetzung der Aufgabe.

---

### **3.6.3 Parameter der Probenahme**

---

Um die zuvor beschriebene Eignung feststellen zu können, müssen zahlreiche Tests durchgeführt werden. Für eine Planung der Weiterverarbeitung ist es notwendig, schon im Stadium der Baugrunderkundung ausreichende Prüfungen an Bohrkernen durchzuführen. In chemischer Hinsicht ist eine Beurteilung des Probenmaterials hinsichtlich der enthaltenen Elemente nach der Deponieverordnung durchzuführen, um die Möglichkeit zur Einordnung des Materials auf eine Deponie zu erhalten.

<sup>33</sup>In der Deponieverordnung 2008 sind die Grenzwerte für die Annahme von Abfällen im Anhang 1 nach Deponieklassen definiert. In folgender Tabelle werden die Grenzwerte für jede Deponieklasse zusammengefasst.

Aus dieser Zusammenfassung ist zu erkennen, dass im elementarchemischen Bereich das Ausgangsmaterial sehr umfassend untersucht werden muss, da die Möglichkeit einer eventuellen Deponierung bei einem Tunnelbauprojekt in jedem Fall ins Auge gefasst werden muss.

---

<sup>33</sup> Vgl. (DVO 2008, 2017)

Grenzwerte für Gehalte im Feststoff (mg/kg TM)						
	Bodenaushubdeponie I (nicht geogen bedingte Schadstoffe)	Bodenaushubdeponie II (geogen bedingte Schadstoffe)	Inertabfalldeponie	Baurestmassendeponie	Massenabfalldeponie	Reststoffdeponie
<b>Anorganische Stoffe</b>						
Arsen (als As)	50	200	200	200	500	5 000
Barium (als Ba)					10 000	
Blei (als Pb)	150	500	500	500	5 000	
Cadmium (als Cd)	2	4	4	10	30	5 000
Chrom gesamt (als Cr)	300	500	500	500	8000	
Cobalt (als Co)	50		50	100	500	
Kupfer (als Cu)	100	500	500	500	5000	
Nickel (als Ni)	100	500	500	500	2000	
Quecksilber (als Hg)	1	2	2	3	20	20*
Silber (als Ag)					100	
Zink (als Zn)	500	1000	1000	1500	5000	
<b>Organische Summenparameter</b>						
TOC (als C)	30 000	*	30000*	30000*	50000*	50000*
Kohlenwasserstoff-Index	50/100/200	*	500	1000	20 000	5 000
POX (als Cl)					1 000	
PAK (16 Verbindungen)	4		20	30	300	300*
davon Benzo(a)pyren	0,4		2			
PCB (7 Verbindungen)			1			
BTEX	6		6	6	6	6

**Tabelle 2: Grenzwerte für Gehalte im Feststoff nach DVO 2008<sup>34</sup>**

<sup>34</sup> Vgl. (DVO 2008, 2017)

Grenzwerte für Gehalte im Eluat (mg/kg TM, ausgenommen pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit)						
	Bodenaushubdeponie I (nicht geogen bedingte Schadstoffe)	Bodenaushubdeponie II (geogen bedingte Schadstoffe)	Inertabfalldeponie	Baurestmassendeponie	Massenabfalldeponie	Reststoffdeponie
<b>pH-Wert, lösliche Anteile und Abdampfrückstand</b>						
pH- Wert	6,5 bis 11*		6,5 bis	6,5 bis	6 bis 13	6 bis
Elektr. Leitfähigkeit	150 mS/m*		150	300		*
Abdampfrückstand				25 000	100	60 000
<b>Anorganische Stoffe</b>						
Aluminium (als Al)	*		*			100*
Antimon			0,06		5	0,7
Arsen	0,5		0,5	0,75	25	2
Barium	10		20	20	300	100
Blei	1		0,5	2	50	10
Bor				30		
Cadmium	0,05		0,04	0,5	5	1
Chrom gesamt	1		0,5	2	70	10
Chrom sechswertig (als Cr)				0,5	20	
Cobalt	1		1	2	50	5
Eisen (als Fe)	*		*			20*
Kupfer	2		2	10	100	50
Molybdän			0,5		30	10
Nickel	1		0,4	2	40	10
Quecksilber	0,01		0,01	0,05	0,5	0,1
Selen			0,1		7	0,5
Silber	0,2		0,2	1	10	1
Zink	20		4	20	200	50
Zinn	2		2	10	200	20
Ammonium (als N)	8		8	40	10 000	300
Chlorid (als Cl)			800*	5 000		
Cyanide, leicht freisetzbar (als CN)	0,2		0,2	1	20	1
Fluorid (als F)	20		10	50	500	150
Nitrat (als N)	100		100	500		
Nitrit (als N)	2		2	10	1 000	15
Phosphat (als P)	5		5	50		50
Sulfat (als SO <sub>4</sub> )			1000*	6000*	25000*	
<b>Organische Summenparameter</b>						
TOC	200		500	500	2500*	500
Kohlenwasserstoff- Index	5		5	50	200*	100
EOX (als Cl)	0,3*		0,3*	3*	30*	30*
anionenaktive Tenside (als MBAS)	1		1	5		20
Phenolindex			1		1 000	

**Tabelle 3: Grenzwerte für Gehalte im Eluat nach DVP 2008<sup>35</sup>**

<sup>35</sup> (DVO 2008, 2017)

Für die, mit \* gekennzeichneten Grenzwerte sind weitere Bestimmungen in der Deponieverordnung<sup>36</sup> enthalten.

---

### **3.7 Unterschiede zwischen konventionellen und maschinellen Vortrieben**

---

Während bei einem maschinellen Vortrieb der Lösevorgang hauptsächlich durch den konstanten Diskenabstand, die Diskengröße, die Penetration und den Anpressdruck beeinflusst wird, ist bei einem zyklischen Vortrieb der Einfluss auf das Haufwerk wesentlich größer. Das gesamte Bohrschema, also Abschlaglänge, Anzahl der Bohrlöcher, Bohrlochabstand, Bohrlochneigung, Zündreihenfolge und Anzahl der Zündzeitstufen sowie die Art und Menge an Sprengmittel beeinflussen das Ergebnis des Lösevorganges stark. Somit lassen sich die Eigenschaften des Materials stark von der ausführenden Firma durch die Sprengarbeit bestimmen. Die Durchführung der Sprengarbeiten und das damit zusammenhängende Ergebnis muss in jedem Fall in der Sphäre des Auftragnehmers liegen, da die Vortriebsleistung, die Erschütterungen und die Genauigkeit des Profils davon abhängen. Um Auffassungsunterschiede bei der Verwendbarkeit des Ausbruchmaterials zu vermeiden, müssen Kriterien, welche durch den Lösevorgang beeinflusst werden können, vermieden werden. Es dürfen ausschließlich objektive Versuche zur Bestimmung der späteren Verwendbarkeit des gelösten Materials herangezogen werden.

Während in einem Haufwerk durch Sprengung Gesteinsbrocken mit einem Durchmesser von mehr als einem Meter vorkommen, wird das Ausbruchmaterial an einer maschinell abgebauten Ortsbrust in der Regel durch den Schneidevorgang in Korngrößen kleiner 20 cm zerkleinert. Eine Ausnahme bilden blockige Geologien, in denen größere Gesteinsbrocken aus der Ortsbrust herausgedrückt werden bzw. herausfallen. In vielen Fällen wird ein Primärbrecher auf der Tunnelbohrmaschine situiert, um Beschädigungen des Förderbandgurtes zu vermeiden.

---

<sup>36</sup> (DVO 2008, 2017)

Der Feinkorngehalt bei maschinellen Vortrieben ist besonders in Lithologien mit hoher Festigkeit höher als im Sprengvortrieb. Die Kornform des Ausbruchmaterials spielt beim Abbau durch Diskenwerkzeuge eine große Rolle, da durch den Bruchmechanismus zwischen zwei koaxialen Bearbeitungsbahnen bevorzugt Körner mit einer plattigen Kornform abgelöst werden. Die chipartige Ablösung des Gesteins wird in folgender Abbildung dargestellt:



**Abbildung 17: Löseverhalten durch Disken<sup>37</sup>**

Bei Baggervortrieben ist die Sieblinie des Ausbruchmaterials im Wesentlichen durch das anstehende Material vorgegeben, die Zerkleinerung durch Zermalmung mit dem Zahn der Baggerschaufel ist punktuell und daher als untergeordnet einzustufen. Beim Transport aus dem Tunnel kommt bei maschinellen Vortrieben hauptsächlich eine Förderung am Band zur Anwendung, während das Haufwerk bei konventionellen Vortrieben durch Muldenkipper transportiert wird. Untersuchungen von Büchi und Thalmann, (1996) zeigen einen deutlichen Unterschied von maschinellen und konventionellen Löseverfahren, wie in Abbildung 18 durch eine Sieblinie dargestellt wurde.

---

<sup>37</sup> (Dreitler-Köhrer, 2015)

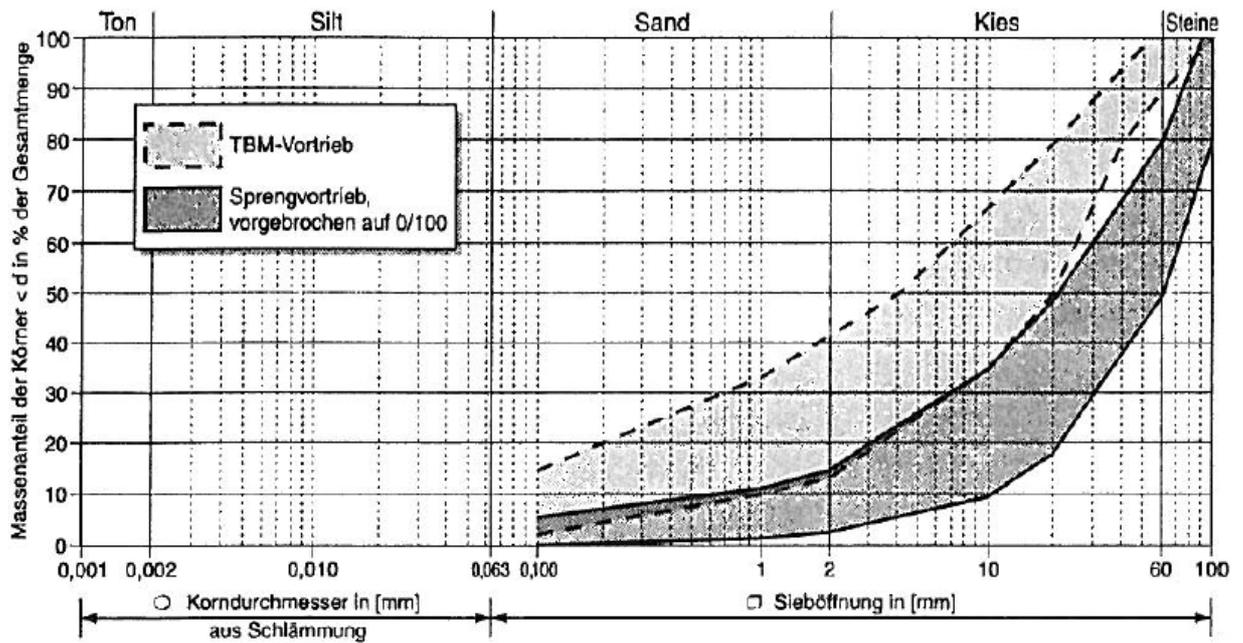


Abbildung 18: Vergleich Sprengvortrieb und TBM Vortrieb<sup>38</sup>

### 3.8 Projektspezifische Tabelle zur möglichen Verwendung von Ausbruchmaterial

Als Grundlage für die Abrechnung der Massenströme soll die spätere Verwendung des Materials herangezogen werden.

Den Ausgangspunkt einer, in Bezug auf das tatsächlich auftretende Material, flexiblen Abrechnung soll eine Tabelle darstellen, in der mögliche Verwendungen des Materials aufgelistet sind.

Je nach Verwendung sind unterschiedliche Aufbereitungsschritte notwendig, welche durch die bietenden Firmen kalkuliert und im Auftragsfall ausgeführt werden. Üblicherweise bestehen Aufbereitungsanlagen aus Zerkleinerungsaggregaten mit nachgelagerten Klassiereinrichtungen. Weitergehende Aufbereitungsschritte werden in der Regel nicht auf der Baustelle durchgeführt, sollten aber auch stets in Erwägung gezogen werden.

<sup>38</sup> (Büchi, et al., 1996)

---

### 3.8.1 Verwendungsklassen

---

Die unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten werden in Verwendungsklassen eingeteilt. Eine solche Verwendungsklasse könnte z.Bsp. „HG 1 hydraulisch gebunden 1, Gesteinskörnung für Spritzbeton“ lauten. Das Material dieser Klasse ist als Zuschlagstoff für die Herstellung von Tübbingen aus Beton geeignet. Eine Unterscheidung für verschiedene Betonsorten kann je nach Projektanforderungen flexibel eingeführt werden. Diese unterschiedlichen Verwendungsklassen kann man in einer Tabelle auflisten. Sie ergeben sich aus der Notwendigkeit auf der Baustelle zur Herstellung des Bauwerks einerseits, andererseits kann das überschüssige Material frei vom Bieter verwendet werden, indem der Bieter selbst Verwendungsklassen definieren kann. Damit kann der Anteil an Ausbruchmaterial, welches weder für die Baustelle noch für andere Verwertungen eingesetzt wird oder deponiert werden muss, möglichst niedrig gehalten werden. Ein Beispiel einer solchen Auflistung ist in

Tabelle 4 dargestellt.

Verwendungsklasse		
HG 1	Gesteinskörnungen für Beton	Verwendungsklassen aus der Richtlinie „Verwendung von Tunnelausbruch“
HG 2	Gesteinskörnungen für Ringspaltmörtel	
HG 3	Gesteinskörnungen für gebundene Tragschichten	
HU 1	Gesteinskörnungen für ungebundene	
HU 2	Gesteinskörnungen für Schüttmaterialien	
HU 3	Untergrundverfüllungen	
DE 1	Deponierung Bodenaushubdeponie	
DE 2	Deponierung Inertabfalldeponie	
DE 3a	Deponierung Baurestmassendeponie	
DE 3b	Deponierung Reststoffdeponie	
DE 3c	Deponierung Massenabfalldeponie	
G	Gefährliche Abfälle	
IP	Tunnelausbruchmaterial für industrielle Produktion	
HG Bieter 1	Hydr. gebunden 1	projektspezifisch durch den Bieter zu erstellende zusätzliche VK
HG Bieter 2	Hydr. gebunden 2	
HU Bieter 1	Hydr. ungebunden 1	
HU Bieter 2	Hydr. ungebunden 2	
IP Bieter 1	Industrielle Produktion 1	
IP Bieter 2	Industrielle Produktion 2	
IP Bieter 3	Industrielle Produktion 3	

**Tabelle 4: Verwendungsklassen<sup>39</sup>**

Im oberen Bereich der Tabelle sind Verwendungsklassen von der ausschreibenden Stelle definiert. Im Beispiel wurden die Klassen von der Richtlinie „Verwendung von Tunnelausbruch“ angesetzt. Die Bezeichnungen der Klassen orientieren sich an der Richtlinie und ergeben sich aus einer Notwendigkeit im Zusammenhang mit der Baustelle einerseits und aus den rechtlichen Vorgaben der Deponieverordnung andererseits. Im unteren Teil der Tabelle hat der Bieter eigene Möglichkeiten der Verwertung des Tunnelausbruchs definiert. Die Anzahl der durch den Auftragnehmer frei zu gestaltenden Verwendungsklassen wird in der Ausschreibung festgelegt.

Diese Verwendungsklassen sind qualitativ definiert und in dieser bloßen Auflistung noch nicht mit Massen hinterlegt.

<sup>39</sup> Vgl. (ÖBV, 2015)

### **3.8.1.1 Vom Auftraggeber bestimmte Verwendungsklassen**

Im Vorprojekt werden bereits die notwendigen Klassen von Seiten des Auftraggebers definiert. Dabei werden die im Zuge des Bauprojektes notwendigen Ressourcen in die Tabelle eingetragen. Diese Verwendungsklassen werden genau definiert. Dazu stehen die Beprobungen der Geologie zur Verfügung.

Es kann für ein Tunnelbauprojekt jedoch auch sinnvoll erscheinen, keine Klassen zuzulassen, welche vom Auftragnehmer frei gestaltet werden können. Die Ursache hierfür könnte zum Beispiel sein, dass die Menge an gewonnenem Material gänzlich auf der Baustelle benötigt wird oder weil aufgrund der Größe der Baustelle eine mögliche Reduktion der Gesamtkosten offensichtlich nicht die komplexere Ausschreibungsphase aufwiegen wird. Ein weiterer Grund, keine alternativen Klassen des Bieters zuzulassen wäre gegeben, wenn das gesamte überschüssige Material durch den AG verwendet werden kann und damit auch eine Deponierung nicht in Frage kommt. Diese Möglichkeit ist Bestandteil des äußerst flexiblen Abrechnungssystems.

### **3.8.1.2 Frei vom Anbieter geschaffene Klassen**

Der Anbieter wird durch diese Form der Ausschreibung angehalten, nach möglichen höherwertigeren Formen zur Verwendung des entstehenden Ausbruchmaterials Ausschau zu halten. Dabei sind in erster Linie die Verwendung von Abbaumaterial für die Beton- und Asphaltproduktion ebenso denkbar, wie die Verwendung als Unterbau im Straßen- und Bahnbau sowie als Material für Geländeauffüllungen. Die Unterscheidung zwischen den einzelnen Verwendungsklassen werden ausschließlich anhand der in den Voruntersuchungen ermittelten Probenparameter durchgeführt. Ein Bieter schafft eine eigene Klasse, indem er die Grenzwerte der beprobten Parameter in das dafür vorgesehene Tabellenblatt eingibt. Dabei steht es dem Bieter frei, Verwendungsklassen bis zur maximal vorgegebenen Anzahl zu kreieren. Je geringere Anforderungen die vom Bieter zusätzlich geschaffenen Klassen enthalten, umso geringer kann das Deponievolumen ausfallen und umso

mehr Material stehen dem Bieter zur weiteren Verwendung als Handelsgut zur Verfügung.

Gesondert von der Festlegung zusätzlicher Klassen muss festgelegt werden, ab wo das Material in das Eigentum des Bieters übergeht.

### 3.8.1.3 Verwendungsklassen in der Richtlinie für Tunnelausbruchmaterial

Die Richtlinie „Verwendung für Tunnelausbruch“ sieht folgende Verwendungsklassen vor.

HG 1	Gesteinskörnungen für Beton
HG 2	Gesteinskörnungen für Ringspaltmörtel
HG 3	Gesteinskörnungen für gebundene Tragschichten
HU 1	Gesteinskörnungen für ungebundene Tragschichten
HU 2	Gesteinskörnungen für Schüttmaterialien
HU 3	Untergrundverfüllungen
DE 1	Deponierung Bodenaushubdeponie
DE 2	Deponierung Inertabfalldeponie
DE 3a	Deponierung Baurestmassendeponie
DE 3b	Deponierung Reststoffdeponie
DE 3c	Deponierung Massenabfalldeponie
G	Gefährliche Abfälle
IP ...	Tunnelausbruchmaterial für industrielle Produktion

HG .....Hydraulisch gebundene Gesteinskörnungen  
 HU .....Hydraulisch ungebundene Gesteinskörnungen  
 DE.....Beseitigung/Deponierung  
 G .....gefährliche Abfälle  
 IP .....industrielle Produktion

**Abbildung 19: Verwendungsklassen in der Richtlinie "Verwertung von Tunnelausbruch"<sup>40</sup>**

### 3.8.1.4 Weitere Klassen

<sup>41</sup>Aus der Deponieverordnung ergeben sich durch die Deponieklassen und - unterklassen folgende Verwendungsklassen. Die unterschiedlichen Klassen sind auf alle Fälle getrennt zu behandeln und werden bereits in der Richtlinie „Verwendung von Tunnelausbruchmaterial“ berücksichtigt.

<sup>40</sup> (ÖBV, 2015), Seite 16  
<sup>41</sup> Vgl. (DVO 2008, 2017)

Bodenaushubdeponie  
Inertabfalldeponie  
Deponie für nicht gefährliche Abfälle  
    Baurestmassendeponie  
    Reststoffdeponie  
    Massenabfalldeponie  
Deponie für gefährliche Abfälle

Eine eventuelle Festlegung höherer Grenzwerte für den Gehalt an Ammonium, Nitrit und Nitrat aufgrund der Sprengarbeiten muss bereits bei der Festlegung der Klassen berücksichtigt werden. Die maximale anthropogene Belastung durch Sprengmittel muss vertraglich definiert werden, dafür sind Erfahrungswerte aus der Vergangenheit heranzuziehen.

“Durch den Sprengvortrieb werden lösliche Anteile an Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ), und Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) in das Ausbruchmaterial eingetragen.

Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ): 6,0 bis 15,0 g-N/Tonne Ausbruch

Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ): 1,0 bis 2,4 g-N/Tonne Ausbruch

Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ): 0,2 bis 3,3 g-N/Tonne Ausbruch“<sup>42 43 44</sup>

Durch die notwendigen und nachzuweisenden Referenzen der Bieter und der damit zusammenhängenden langjährigen Tätigkeit im Tunnelbau, ist davon auszugehen, dass ausreichend Erfahrungswerte vorliegen um die Grenzwerte von Nitrat, Nitrit und Ammonium einzuhalten. Diese Referenzen werden üblicherweise im Rahmen einer Ausschreibung auch personenbezogen eingefordert.

---

<sup>42</sup> (Resch, 2012), Seite 11

<sup>43</sup> Vgl. (Saxer, et al., 1996)

<sup>44</sup> Vgl. (Saxer, et al., 1997)

---

### 3.9 Grenzwerte der einzelnen Parameter

---

Als Grundlage für die Abrechnung soll die spätere Verwendung des Materials herangezogen werden. Um eine klare Abgrenzung zwischen den einzelnen Möglichkeiten zu schaffen, werden Grenzwerte der Gesteinseigenschaften herangezogen. Die Tabelle der Verwendungsklassen kann um die Testparameter der Beprobungen erweitert und für jede Verwendungsklasse die obere bzw. untere Schranke eintragen werden. So kann eine klare Grenze zwischen den einzelnen Möglichkeiten geschaffen werden. Wenn jede Grenzbedingung innerhalb einer Zeile in Tabelle 5 eingehalten wird, dann ist das geprüfte Material für die jeweilige Verwendung geeignet. Eine Etablierung eines solchen Systems kann in Zukunft auch die Einführung weiterer Testparameter in den geologischen Untersuchungen bewirken. Somit kann eine Probe aus der Erkundung möglichen späteren Verwendungen zugeordnet werden. In erster Linie werden neben den chemischen Analysen die physikalischen Eigenschaften von besonderem Interesse sein.

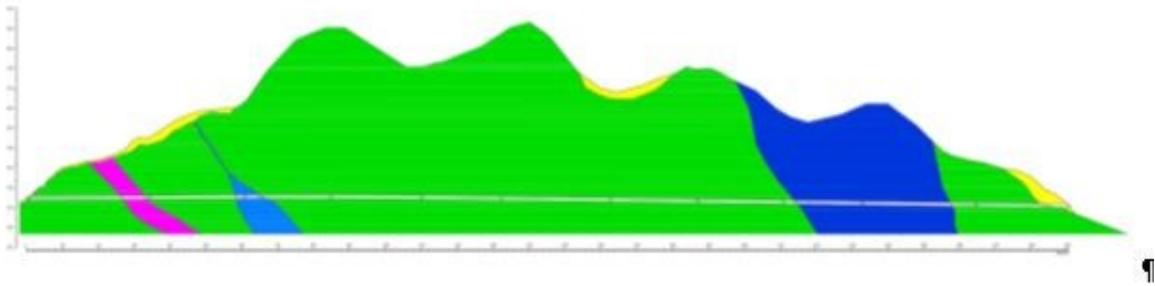
Verwendungsklasse	Probeparameter Grenzwerte															
	Druckfestigkeit	E-Modul	Schichtsilikatgehalt	Anteil betonschädlicher Stoffe	Rohdichte	Wasserlösliches Chlorid	Eluat- Parameter nach BAWP	Gesamtgehalt - Parameter nach BAWP								
HG 1	Parameter - Vorgaben durch Deponieverordnung, Bundesabfallwirtschaftsplan, Ö-Normen ect.															
HG 2																
HG 3																
HU 1																
HU 2																
HU 3																
DE 1																
DE 2																
DE 3a																
DE 3b																
DE 3c																
G																
IP																
HG Bieter 1																
HG Bieter 2																
HU Bieter 1																
HU Bieter 2																
IP Bieter 1																
IP Bieter 2																
IP Bieter 3																
	Vom Bieter zu definieren															

**Tabelle 5: Grenzwerte der Verwendungsklassen**

### 3.10 Ermittlung der Massen in den einzelnen Verwertungsklassen

Mithilfe der Erkundungsbohrungen und den bei Voruntersuchungen gemachten Versuchen erhält man einen Überblick, welche Verwendungen mit dem abzubauenen Material möglich sind. Dazu werden die einzelnen Probematerialien, in der Regel Bohrkerne analysiert und zu einem Längenschnitt zusammengefügt. Die einzelnen Probeparameter können in dieser Phase mit einer Schwankungsbreite versehen und statistisch ausgewertet werden. Der Längenschnitt kann in Teile mit unterschiedlicher Beschaffenheit unterteilt und die





**Abbildung 21: Längenschnitt eines Tunnelprojektes**

Bei diesem Beispiel wird von einem einröhrigen Tunnelbauprojekt ausgegangen. Die Querschnittfläche ist kreisrund, somit ergibt sich bei einem Durchmesser von 10,0 m eine Querschnittfläche von 78,54m<sup>2</sup>. Das entspricht einem typischen Querschnitt für eine Eisenbahnlinie. Die Länge des Tunnels beträgt insgesamt 2906,52 m.

Aus den geologischen Voruntersuchungen wurden die verschiedenen Abschnitte erkundet und die Grenzen der einzelnen Abschnitte wie folgt festgestellt.

Abschnitt	von TM	bis TM	Farbe
1	0	30	gelb
2	30	261	grün
3	261	323	magenta
4	323	581	grün
5	581	660	hellblau
6	660	2142	grün
7	2142	2580	dunkelblau
8	2580	2838	grün
9	2838	2906	gelb

**Tabelle 6: Abschnitte unterschiedlicher Geologie**

Aus Vorerkundungen wurden die verschiedenen Geologien auf die Verwendbarkeit als Baustoff bei der Herstellung der Tunnelschale und für durchzuführende Geländeänderungen im Nahbereich der Tunnelportale untersucht. Dabei ergaben sich je Geologieabschnitt grundsätzlich folgende Möglichkeiten für den Eigenbedarf am Tunnelbau-Projekt selbst, ohne alternative Verwendungsmöglichkeiten weiter zu verfolgen.

gelb	Verfüllmaterial
grün	Beton, mech. stab. ect.
magenta	Deponie
hellblau	Deponie
dunkelblau	Deponie

**Tabelle 7: Verwendbarkeit auf der Baustelle**

Das bedeutet noch nicht, dass die geologische Formation, welche grün dargestellt ist, zur Gänze für Betonproduktion geeignet ist.

Die jeweiligen Massen je Geologieabschnitt werden in der Projektierung berechnet und ergeben in dem Beispiel folgende Werte.

Berechnung der Massen je Abschnitt									
Querschnitt:		kreisrund OD 10,0m A= 78,54 m <sup>2</sup>							
Geologie	Name	von Tm [m]	bis Tm [m]	Länge der [m]	Summe [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	prog. Dichte [t/m <sup>3</sup> ]	Masse [t]	
gelb	Abschnitt 1	0	30	30					
	Abschnitt 9	2838	2906	68					
					98	7697	1,73	13316	
grün	Abschnitt 2	30	261	231					
	Abschnitt 4	323	581	258					
	Abschnitt 6	660	2142	1482					
	Abschnitt 8	2580	2838	258					
					2229	175065	2,68	469175	
magenta	Abschnitt 3	261	323	62					
					62	4869	1,82	8862	
hellblau	Abschnitt 5	581	660	79					
					79	6205	2,47	15325	
dunkelblau	Abschnitt 7	2142	2580	438					
					438	34400	2,78	95633	

**Tabelle 8: Berechnung der Volumina und Massen**

---

### **3.10.1 Daten aus der Probenahme**

---

Aus der Probenahme durch Kernbohrungen können detaillierte Kenntnisse über die Eigenschaften des Gesteins gewonnen werden. Die Bohrkernkerne eignen sich zur Untersuchung der chemischen Eigenschaften vollumfänglich. In mineralisch verkitteten Bohrkernabschnitten kann man die aussagekräftigsten Proben entnehmen. Im tiefliegenden Tunnelbau bildet felsiges Material im Bereich der plastischen Zone den Regelfall. Als schwieriger können sich die Untersuchungen bei geklüfteten Materialien erweisen.

Kluftfüllungen, bestehend aus weichen, zerriebenen Materialien bestimmen nicht nur die Gesamtstandfestigkeit eines Gebirges, sondern sie können auch aus chemischer Sicht für die Weiterverarbeitung des Ausbruchs entscheidend sein. Allerdings sind derartige Füllungen relativ schwierig zu erkunden, da keine wesentlichen Zugkräfte von der Kluftfüllung aufgenommen werden können. An diesen Stellen brechen die Bohrkernkerne ab und loses Material wird durch die Bohrspülung bzw. von der Stützflüssigkeit ausgespült.

---

### **3.10.2 Datenblatt für einen Tunnelabschnitt**

---

Je Abschnitt kann das erwartete Material, als Umsetzung der in der Richtlinie für Tunnelausbruchmaterial dargestellten Verteilungs-Grafik in ein Datenblatt zusammengefasst werden. Innerhalb dieser Abschnitte sind die Eigenschaften des Materials ähnlich. Das ist bei Tunnelbauprojekten mit wechselnder Geologie erforderlich, da das anfallende Material nicht zeitlich homogen anfällt. Die Anzahl und Länge der jeweiligen Abschnitte wird durch die geologische Erkundung definiert. Die Grenzen der Abschnitte entstehen durch geologisch unterschiedliche Schichten, Störzonen und Verwerfungen.

Durch genaue Erkundung wird ein Tunnelabschnitt nicht einer einzigen Verwendungsklasse zugeordnet, es kann vorkommen, dass durch Schwankungen in der Zusammensetzung oder durch tektonische Ereignisse innerhalb eines

Abschnittes das Material verschiedenen Verwendungsklassen zuzuordnen ist. Die Einteilung in Abschnitte dient also der globalen Betrachtung des Projektes.

Zur Planung der Weiterverarbeitung ist es notwendig, den Zeitpunkt einschätzen zu können, in welcher Bauphase welches Material anfallen wird. So ist es zum Beispiel schon am Beginn des Tunnelbauprojektes erforderlich Beton zu produzieren, auch wenn noch kein passender Zuschlagstoff aus dem Tunnel gewonnen werden kann, da sich der tiefreichende Hangschutt nicht für derartige Zwecke eignet. Die ausführende Baufirma muss einschätzen können, ab welchem Tunnelmeter bzw. ab welchem geologischen Abschnitt eine Versorgung mit Zuschlagstoffen aus dem Tunnel selbst gerechnet werden kann und welche Menge von externer Seite zugeführt werden muss. Andererseits ist es auch denkbar, dass zu Beginn des Projektes geeignetes Material durchörtert wird und dieses Material für die spätere Verwendung auf der Baustelle zwischengelagert werden muss.

In der folgenden Tabelle ist das Prinzip eines solchen Datenblattes dargestellt. Für den ersten Abschnitt des Tunnels wurden aufgrund der vorhandenen Probeparameter die Verteilung des Materials in die einzelnen Verwendungsklassen durchgeführt. Es handelt sich um den gelb dargestellten Einschnittbereich auf der linken Seite der Abbildung 21. Dabei werden für die Ausschreibung nur Klassen berücksichtigt, welche für das Projekt erforderlich sind bzw. Klassen die einer Deponierung zugeführt werden. In der dritten Spalte wird der Anteil der jeweiligen Verwendungsklasse am Gesamtausbruch dargestellt. Die Summe muss innerhalb der Spalte 100 Prozent ergeben. In der 4. Spalte wird der Anteil der jeweils benötigten Mengen dargestellt.

Weiters kann der Anteil der benötigten Massen an Betonzuschlagstoff und Schüttmaterial für diesen Tunnelabschnitt berechnet werden. Liegt der Wert über 100 Prozent, so müsste das überschüssige Material ohne Vorliegen einer alternativen Verwendungsmöglichkeit deponiert werden.

Das Beispiel aus Kapitel 3.10 wird fortgeführt, indem die zu erwartende Verwertungsklassenverteilung in der folgenden Tabelle berechnet wird. Im Anhang finden sich die Berechnungen aller Abschnitte.

Abschnitt 1			
Volumen	2356,20 m <sup>3</sup>		
Masse	4076,23 to		
Betonbedarf	685,65 to		
Ringspalt	228,55 to		
Tragschicht	298,11 to		
ung. Tragsch.	380,92 to		
Verwendungsklasse	Masse Tunnelausbruchmaterial	Anteil am gesamten Ausbruch	Masse bezogen auf Eigenbedarf innerhalb des Abschnittes
	[t]	[%]	[%]
HG 1	0	0,00	0
HG 2	0	0,00	0
HG 3	0	0,00	0
HU 1	0	0,00	0
HU 2	2100	51,52	704
DE 1	1956	47,99	-
DE 2	18	0,44	-
DE 3a	2	0,05	-
DE 3b	0	0,00	-
DE 3c	0	0,00	-
G	0	0,00	-

**Tabelle 9: Verwertungsmöglichkeiten je Tunnelabschnitt**

Die Massen je Verwendungsklasse entstehen, indem die notwendigen Parameter für eine Verwendungsklasse mit den vorhandenen Größen der einzelnen Parameter aus der Probenahme verglichen werden. Dabei hält das Programm eine Hierarchie, entsprechend dem projektspezifischen Lagerkonzept ein und verteilt das Material möglichst in die höchste Verwendungsklasse. Dadurch kann man in Tabelle 9 schnell ablesen, dass kein Ausbruchmaterial in den höheren Klassen zur Betonherstellung vorhanden ist. Jedoch können Geländeänderungen durchgeführt werden, da in etwa die Hälfte des Ausbruchmaterials dafür geeignet ist. An den 704% in der letzten Spalte kann man erkennen, dass die siebenfache Masse des benötigten Schüttmaterials in diesem Abschnitt gewonnen wird.

Würde ein prognostiziertes Material sowohl den Anforderungen für die Klasse „HU 2“ genügen als auch die Anforderungen der Klasse „HG 1“ erfüllen, so würden die

Massen entsprechend der Hierarchie der höherwertigeren Klasse „HG 1“ zugerechnet werden. In Summe entsprechen die prognostizierten Massen dem gesamten Ausbruch in diesem Abschnitt.

Die Hierarchie im Beispiel ist von oben nach unten hin abnehmend festgelegt. Diese Definition kann bei einer Verwendung eines solchen Systems allgemein eingeführt werden, eine abweichende Reihung von Verwendungsklassen würde einer eigenen Festlegung der Reihenfolge bedürfen und das System verkomplizieren. Hinsichtlich eines flexiblen Systems sollte man diese Möglichkeit allerdings nicht ausschließen.

---

### **3.11 Matrixsystem für die Ausschreibung**

---

Für die Ausschreibung wird die prognostizierte Massenverteilung der einzelnen Tunnelabschnitte herangezogen, welche aufgrund der geologischen Untersuchungen angefertigt wurde. Die Gliederung der Ausbruchsmassen in Verwendungsklassen ermöglicht eine genaue Vorstellung der zu erbringenden Leistungen.

Die Datenblätter je Tunnelabschnitt aus Kapitel 3.10.2 können zusammengefasst werden, indem man sie über die ganze Länge des Tunnels kumuliert. Dabei sind die zu erwartenden Mengen jeder Verwendungsklasse ersichtlich.

gesamte Tunnellänge			
Volumen	228236,71 m <sup>3</sup>		
Masse	602311,64 to		
Betonbedarf	86986,46 to		
Ringspalt	28995,49 to		
Tragschicht	37820,20 to		
ung. Tragsch.	48325,81 to		
Verwendungsklasse	Masse Tunnelausbruchmaterial	Anteil am gesamten Ausbruch	Masse bezogen auf Eigenbedarf auf der Baustelle
	[t]	[%]	[%]
HG 1	361850	60,08	416
HG 2	19781	3,28	68
HG 3	22145	3,68	59
HU 1	23448	3,89	49
HU 2	29134	4,84	77
DE 1	50041	8,31	-
DE 2	270	0,04	-
DE 3a	95642	15,88	-
DE 3b	0	0,00	-
DE 3c	0	0,00	-
G	0	0,00	-

**Tabelle 10: kumulierte Massen – Ausschreibungsmatrix**

Diese Zahlen stellen das wahrscheinliche Aufkommen für die ganze Länge des Tunnelbauwerkes dar. Die Tabelle beinhaltet in diesem Schritt nur Verwendungsklassen, welche in direkten Zusammenhang mit dem Tunnelbauwerk oder auch mehrerer aneinandergereichter Tunnel stehen. Eine höherwertige Verwendung des Materials oder eine Verwendung des Materials für externe Zwecke wird in der Ausschreibung noch nicht berücksichtigt und soll erst im Wettbewerb der Bieter beachtet werden.

Dieser Zustand bildet das bisher übliche Vorgehen bei Tunnelbauprojekten ab, bei dem die Verwertung des Materials gänzlich vom Auftraggeber vorgeschrieben und überschüssige Massen deponiert wurden. Sämtliche, in der Ausschreibung vorgegebenen Rahmenbedingungen werden durch die Verwendungsklassenmatrix dargestellt und dem Bieter in digitaler Form, eingebunden in ein Berechnungsprogramm geliefert. Das Programm besteht im Wesentlichen aus der automatischen Berechnung der Tabellen durch Eingabe der gewählten Parameter für die Verwendung durch den Bieter. Die Eingabe der einzelnen Probeparameter ist schematisch mit Tabelle 5 dargestellt.

Die Ausschreibung muss für ein kalkulierbares Angebot strikt in einen Teil für die Errichtung und einen Teil für die Bereitstellung der Anlage während der Bauzeit getrennt sein. Der Betrieb der Anlage, also die Herstellung von Baustoffen muss ebenfalls eigenständig betrachtet werden, um möglichst genau kalkulieren zu können.

Um undefinierte Vertragslücken zu vermeiden, kann der Aufbau der Aufbereitungsanlage gemäß §79 Abs. 3 BVergG 2006, für die Zwecke der Tunnelbaustelle funktional ausgeschrieben sein. Zusätzliche Funktionen, welche für die Aufbereitung von Verwendungsklassen notwendig sind, die nicht unmittelbar dem Bauvorhaben dienen, dürfen die Leistungsfähigkeit der Baustoffgewinnung für Eigenzwecke nicht negativ beeinflussen. Nachdem in der Praxis die Baustoffproduktion auf der Baustelle aus Klassieren und Zerkleinern besteht, muss das Ausgangsmaterial beschrieben werden. Dies ist durch die Parameter der Materialprüfungen möglich.

Die zeitgebundenen Kosten der Anlage können mit einer Position ausgeschrieben werden, welche an die vertragliche Bauzeit des Projektes gebunden ist. In diese sind zum Beispiel die Abschreibung, Verzinsung, Beheizung, Beleuchtung und Überwachung einzurechnen. Eine vertragliche Bauzeit von Beton Anfang bis Beton Ende ist üblicherweise bei Tunnelbaustellen vertraglich definiert.

---

### 3.11.1 Problematik des Feinanteiles<sup>46</sup>

---

Zur Beurteilung, ob ein Ausbruchmaterial für eine Weiterverarbeitung geeignet ist, muss in den meisten Fällen, insbesondere aber bei der Produktion von Beton, die zu erwartende Korngrößenverteilung aus dem Vortrieb annähernd bekannt sein. Eine Vorabsiebung durch einen Rost am Beginn der Aufbereitungsanlage ist die übliche Vorgehensweise. Unter einer bestimmten Korngröße ist eine Weiterverarbeitung nicht möglich ist. Der Feinkornanteil wird aber neben den Gesteinseigenschaften auch wesentlich durch die Vortriebsparameter beeinflusst, insbesondere beim Einsatz von mechanischen Löseverfahren, wie es bei einer Tunnelbohrmaschine der Fall ist.

Somit ergibt sich eine Sphärenüberschneidung von Bauherr als Eigentümer des Baugrundes und der ausführenden Firma als Verantwortliche der Maschinengeometrie und der Vortriebsparameter. Zum Einen muss gewährleistet sein, dass das Baugrundrisiko der Bauherr trägt, auf der anderen Seite kann der Bauherr nicht in die Vortriebsparameter der Baufirma eingreifen. Diese gegenseitigen Abhängigkeiten treten zum Teil auch bei Maschinenbeschaffungen von TBM's auf. Eine direkte Angabe, welcher Anteil des gesamten ausgebrochenen Materials eine Korngröße über einem festgelegten Trennschnitt aufweist, ist daher keinesfalls anzustreben.

Das Bruchverhalten des Gesteins muss stattdessen durch entsprechende Versuche beschrieben werden. Gute Ergebnisse konnten in Laborversuchen mit dem LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussees) Versuch erzielt werden. Mit diesem Versuch können zwei Kennzahlen ausgewertet werden.

- LAK (LCPC Abrasivitäts Koeffizient)
- LBC (LCPC Brechbarkeits Koeffizient)

Damit können Aussagen über die Abrasivität und die Brechbarkeit gemacht werden.

---

<sup>46</sup> Vgl. (Galler, et al., 2017)

Es werden  $500\text{g} \pm 2\text{g}$  des luftgetrockneten Materials mit der Korngrößenklasse 4 – 6,3 mm eingewogen. Nachdem das Gewicht des Propellers bestimmt wurde, wird der genormte Stahlflügel am Gerät montiert. Die Körnung wird über den Trichter in den Probenbehälter geleert, in dem der Propeller mit der genormten Drehzahl von 4500 U/min rotiert. Die Probe wird 5 Minuten in dem Gerät durch den Propeller bearbeitet. Danach wird der Massenverlust des Stahlrotors und der Anteil der Probe, welche auf unter 1,6 mm Korngröße zerkleinert wurde, ermittelt.

In der Abbildung 22 ist das LCPC Gerät dargestellt. Die Welle, auf dem der Stahlflügel montiert wird, wird von einem Elektromotor angetrieben. Nach dem Einbau des Rotors wird der Probenbehälter an das Gerät angeschraubt und bei laufendem Gerät das Probematerial über den Trichter eingefüllt.



**Abbildung 22: LCPC Gerät mit Probenbehälter**



**Abbildung 23: benutzter Stahlflügel**

$$LAK = \frac{m_{F0} - m_F}{M}$$

LAK LCPC Abrasivitäts Koeffizient [g/t]

$m_{F0}$  Masse des Flügels vor der Probe [g]

$m_F$  Masse des Flügels nach der Probe [g]

M Masse der Probe [t]

$$LBK = \frac{100 * M_{1,6}}{M}$$

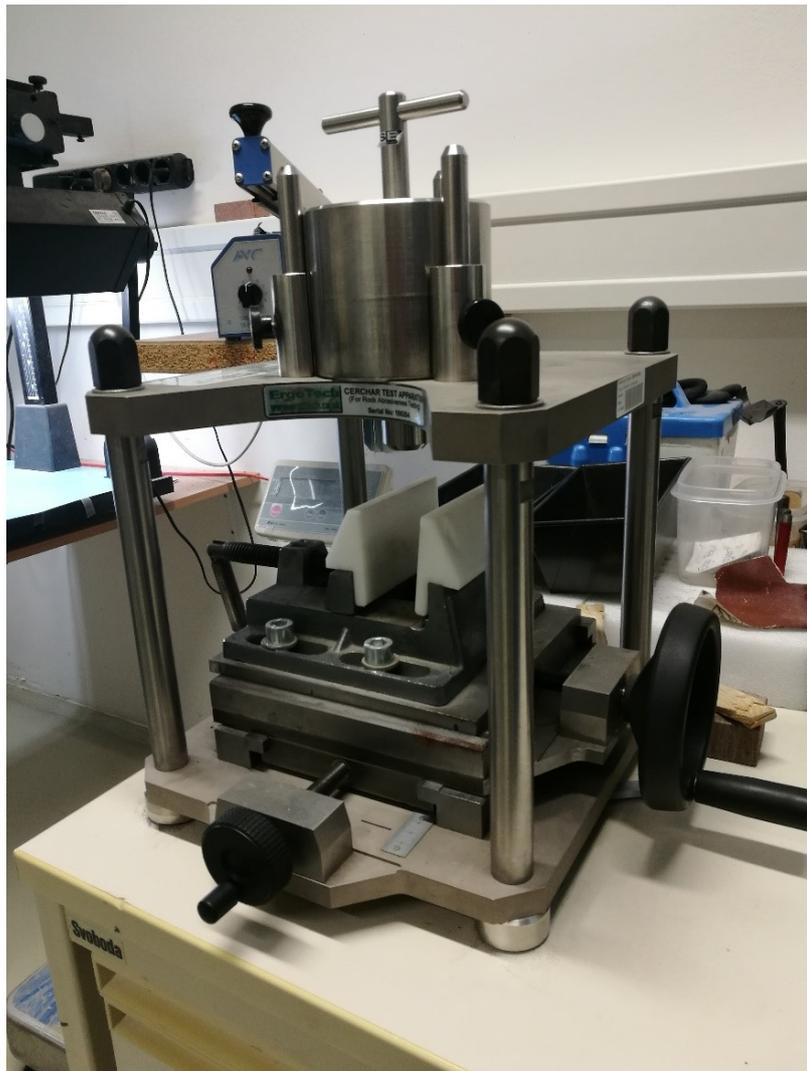
LBK LCPC Brechbarkeits Koeffizient [g%]

$M_{1,6}$  Masse der Probe nach der Prüfung mit einem Größtkorn von 1,6mm [g]

M Masse der Probe [g]

In Laborversuchen konnte bei den Abrasivitätswerten eine gute Korrelation mit dem CAI (Cerchar Abrasivitäts Index) festgestellt werden. Dabei wird ein genormter Stahlstift durch eine Führung senkrecht auf das Probenmaterial gehalten. Eine konstante Anpresskraft zwischen Stift und Probematerial wird durch das zylindrische Gewicht von 7,0 kg sichergestellt, welches auf dem Stift aufgelegt wird.

Die Probe wird mit der Spindel um 10 mm mit einer Drehgeschwindigkeit von 1 U/min aus der Ausgangslage gezogen. Der Abrieb an der Spitze des Stahlstiftes wird mithilfe eines Auflichtbinokularmikroskops in vier Richtungen vermessen. Aufgrund der gemittelten Abnutzung des Stiftes wird dem Probematerial ein Cerchar Index von 0 bis 6 zugewiesen. Das Prüfgerät ist in folgender Abbildung dargestellt.



**Abbildung 24: CAI Versuchsgerät**

Der Nachteil dieses Prüfverfahrens besteht darin, dass eine Aussage über die Brechbarkeit nicht ermittelt wird. Aufgrund der relativ kurzen Ritzlänge sind die Werte nur punktuell gültig. Durch den Maßstabseffekt ist eine Beurteilung des Gesteins in größeren Dimensionen schwierig, die Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Abrasivität des Gesteins. Der Vorteil liegt klar in der leichten

Gewinnbarkeit der Gesteinsproben, da diese den vorliegenden Kernbohrungen entnommen werden können.

Beim Los Angeles Versuch wird die Verschleißfestigkeit und der Widerstand gegen Zertrümmerung von Gesteinskörnungen bestimmt. Der Versuch ist seit vielen Jahren zur Beschreibung von Gesteinskörnungen etabliert. Die Beanspruchung des Probenmaterials erfolgt durch Stahlkugeln in einer rotierenden Trommel, in der eine Mitnehmerleiste montiert ist. Dabei muss der Anteil der Gesteinsprobe, welcher in die Kornklasse 10 mm bis 14 mm, fällt größer als 15 kg sein. Der Los-Angeles-Koeffizient (LA) beschreibt den Massenanteil in Gewichtsprozenten, der durch ein Sieb, mit einer zuvor festgelegten Maschenweite hindurchgehen.

$$LA = \frac{5000 - m}{50}$$

LA Los-Angeles-Koeffizient

m Siebrückstand auf dem 1,6 mm Sieb, in Gramm

Gesteinskörnungen sollten hart und zäh genug sein, um bei bestimmten Manipulationen wie z.B. Transport auf Förderbändern, Lagerung, Produktion oder Verdichtung einem Bruch, Zerfall oder einer Zerkleinerung zu widerstehen. Anwendung findet dieser Test auch vor dem Einsatz für Gleisschotter, den Schotter für den herkömmlichen Straßenbau und auch für Forststraßen.

Das Testkonzept: Eine Stahltrommel, welche mit bis zu zwölf Stahlkugeln, je nach Abstufung des zu untersuchenden Materials bestückt wird, wird in eine Drehbewegung gebracht.



**Abbildung 25: LA Prüfeinrichtung<sup>47</sup>**

Damit diese Bewertung des Materials als Basis für die Abrechnung verwendet werden kann, ist es erforderlich, den Markt mit diesen Versuchswerten vertraut zu machen, um Erfahrungswerte aus aktuellen Projekten mit diesen Versuchswerten verknüpfen zu können.

---

### **3.11.2 Lagerkonzept des Ausbruchmaterials**

---

Es muss im Vorhinein bekannt sein, welche Massenströme zwischen Baustelle und Drittanbietern zugelassen werden können und welche unterbunden werden müssen. Diese Vorgaben stammen zumeist von gesetzlichen Randbedingungen und/oder von Auflagen der Behörden. Sie sind deshalb meistens schon in frühen Phasen des Projektes bekannt.

---

<sup>47</sup> (Krainz, 2017)

Damit man die Zulässigkeit verschiedener Massenströme steuern kann und den Vorteil einer sinnvollen Nutzung des Materials damit günstig beeinflusst, müssen die vordefinierten Verwendungsklassen eingeteilt werden.

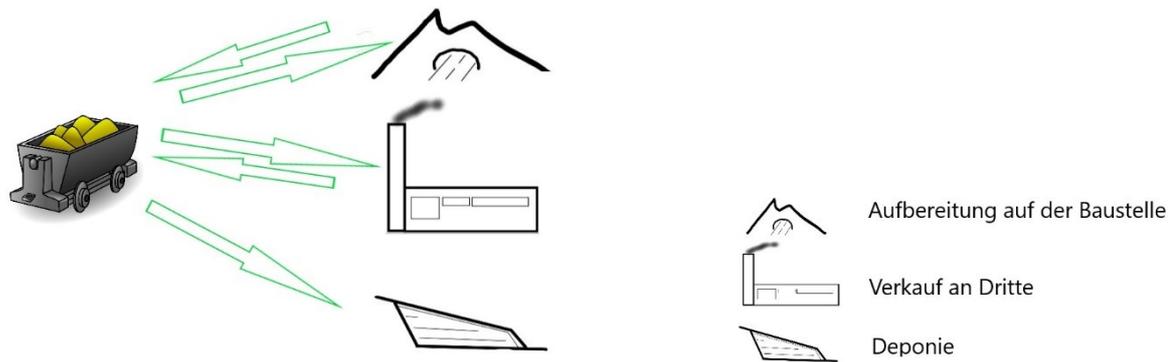
Um das System möglichst flexibel zu halten, können Prioritätsstufen eingeführt werden, indem man die Verwendungsklassen gruppiert. Es ist zweckmäßig, drei Prioritätsstufen festzulegen. Die Klassen, welche auf der Baustelle zur Herstellung des Bauwerks benötigt werden, erhalten die höchste Priorität, die Klassen welche einer externen Nutzung zugeführt werden, erhalten eine mittlere Priorität und Klassen, für die eine Deponierung vorgesehen ist, bekommen die niedrigste Prioritätsstufe.

Dabei können drei Reihungsverfahren unterschieden werden. Welches Reihungsverfahren zur Anwendung kommt, ist durch die ausschreibende Stelle, je nach den Gegebenheiten auf der Baustelle im Vorfeld festzulegen.

Beim ersten Verfahren wird es dem Bieter frei überlassen, woher das Material für die Herstellung des Bauwerkes bezogen wird und welcher Anteil des Ausbruchmaterials wiederverwendet oder deponiert wird.

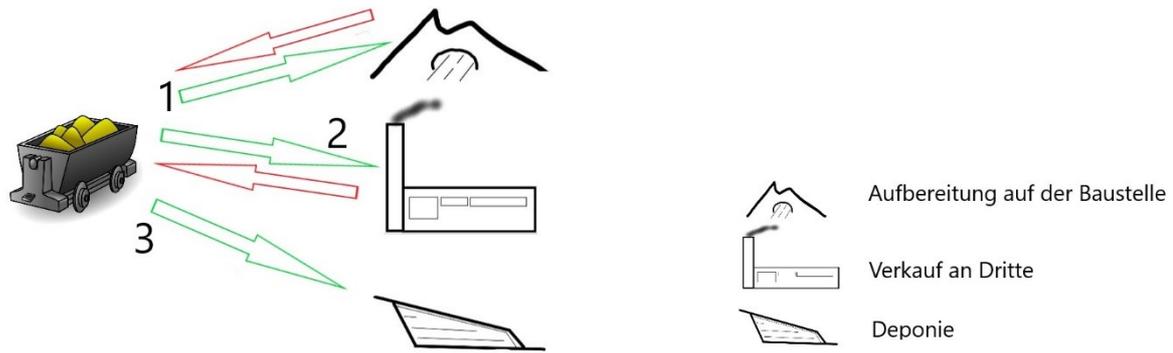
Wenn das Ausbruchmaterial mit einem höheren Preis veräußert werden kann als der Preis für zugekauftes Fremdmaterial liegt, dann kann auch Material aus einer externen Bezugsquelle herangezogen werden und das Ausbruchmaterial ersetzen. Dies ist besonders sinnvoll, wenn aufgrund der geologischen Vorerkundung davon ausgegangen werden kann, dass ein Wertmineral durchörtert wird, welches gewinnbringend an Dritte veräußert werden kann und die Verwendung desselben als Zuschlagstoff für Beton damit eine Wertminderung darstellen würde. Es wird nach rein ökonomischen Gesichtspunkten vorgegangen.

Die Kosten zur Errichtung des Tunnels sind die einzige Entscheidungsgrundlage der Materialbewirtschaftung. Damit können die Kosten für das Gesamtbauwerk unter günstigen Umständen wesentlich gesenkt werden, weil unter Umständen sogar ein negativer Einheitspreis für die Verbringung des Ausbruchmaterials denkbar wäre. Sogar eine Verwendung des Deponiematerials zu einem späteren Zeitpunkt wäre denkbar, bleibt in der Skizze allerdings unberücksichtigt.



**Abbildung 26: Lagerkonzept 1**

Das zweite Verfahren berücksichtigt mitunter den ökologischen Aspekt der Massentransporte. Dabei wird zuerst die höchste Prioritätsstufe mit dem Ausbruchmaterial bis zur eingegebenen Bedarfsgrenze „virtuell befüllt“. Das Bauwerk soll möglichst durch das anfallende Ausbruchmaterial hergestellt werden. Wenn ausreichend Material durch die Vortriebsarbeiten für die eigene Baustelle zur Verfügung steht, muss kein Material von Dritten angekauft und damit auch nicht herbeigeschafft werden. Erst wenn der Bedarf auf der eigenen Baustelle gedeckt ist, darf Material an Dritte feilgeboten werden. Das Ziel ist möglichst wenige Transporte durchzuführen und die Umweltauswirkungen durch die Transporttätigkeit dadurch möglichst niedrig zu halten. Dem Bieter steht es frei, mit dem restlichen anfallenden Material zu wirtschaften und dadurch die Angebotssumme seiner Bauleistungen zu senken. Somit kann er einen Vorteil bei der Vergabe des Projektes erzielen. Auch in diesem Fall wäre eine spätere Verwendung von auf der Baustelle zwischengelagertem Ausbruchmaterial für abschließende Geländeangleichungen denkbar.

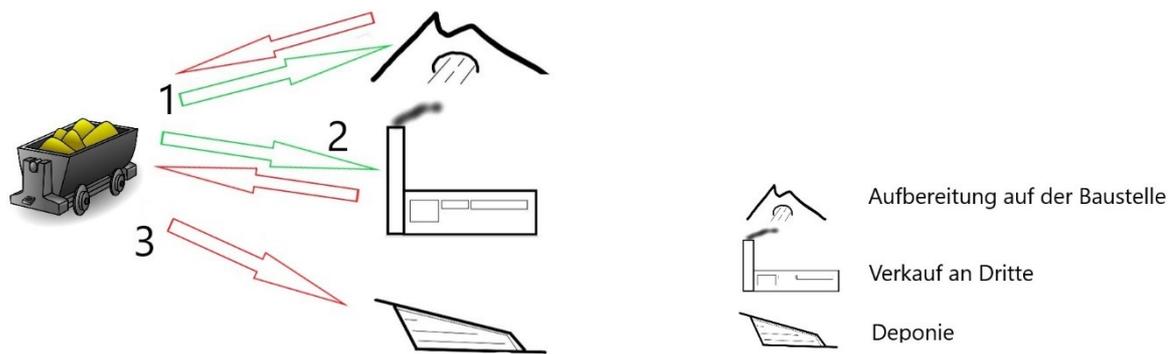


**Abbildung 27: Lagerkonzept 2**

Das dritte Reihungsverfahren berücksichtigt neben dem ökologischen Aspekt der Massentransporte auch die negativen Auswirkungen einer Deponie. Das Deponievolumen soll möglichst klein gehalten werden. Es werden aus dem gesamten Ausbruch auf alle Fälle die Verwendungsklassen zur direkten Verarbeitung auf der Baustelle bevorzugt und bis zur eingegebenen Grenze mit geeignetem Material „befüllt“ und damit Transporte von und zur Baustelle dezimiert.

Danach wird die zweite Prioritätenstufe möglichst befüllt, das heißt, dass möglichst viel an Ausbruchmaterial verwertet werden soll um das Deponievolumen klein zu halten und das ohnehin bereits abgebaute Material sinnvoll zu verwerten. Die Massen, welche an Externe geliefert werden, werden in der Bewertung des Angebotes stärker berücksichtigt.

Nur der Anteil an Ausbruch, für den durch den Auftraggeber und den Bieter keine Verwendung gefunden werden kann, wird in möglichst naher Entfernung zur Baustelle deponiert. Dieses Vorgehen bedarf allerdings eines Bestbieterbewertungssystems, bei dem die Verwertung des Tunnelbaumaterials vorrangig behandelt wird. Die Kosten eines Abtransportes von der Baustelle müssen demnach eine geringere Berücksichtigung finden, als die Bewertung der Massenreduktion auf der Deponie.



**Abbildung 28: Lagerkonzept 3**

Die Festlegung auf eines der drei Systeme ist als verbindliche Vorgabe zu verstehen und getrennt von der Einteilung des Materialstroms in Verwendungsklassen zu sehen.

---

### 3.12 Kalkulation mit der Ausschreibungsmatrix als Grundlage

---

Die Aufstellungen der Massen in den einzelnen Verwendungsklassen werden in der meist öffentlichen Ausschreibung eines Tunnelbauprojekts in digitaler Form mit den Ausschreibungsunterlagen dem Bieter mitgeliefert.

Neben den bereits durch die ausschreibende Stelle definierten Verwendungsklassen können nun durch den Bieter weitere spezifische Verwendungsklassen eingeführt werden, wobei die Anzahl der frei wählbaren Klassen durch den Auftraggeber vorgegeben werden kann. Diese frei vom Bieter zu erstellenden Klassen werden mit Grenzwerten der Probestparameter versehen. Dabei sind alle beprobten und bekannten Gesteinseigenschaften heranziehbar.

Diese verschiedenen Verwendungsklassen entstehen, indem der Bieter Möglichkeiten in der näheren Umgebung bzw. in Reichweite wirtschaftlicher Transportentfernungen von der Tunnelbaustelle selbstständig erkundet. Neben den neuen Klassen wird, wie bei der Vortriebsklassenmatrix auch ein Preis je Einheit, von dem Bieter festgelegt. Der Preis hat sich bei automatisierten, kontinuierlichen Prozessen auf die Tonnage zu beziehen. In der Ausschreibung hat auch enthalten

zu sein, ob es zulässig ist, Ausbruchmaterial mit guter Qualität an Dritte zu veräußern und im Gegenzug für die Baustelle benötigtes Material zuzukaufen. Die Vorgaben aus dem Kapitel Lagerkonzept sind zu erfüllen. Diese Steuerung der Materialflüsse in den Berechnungen der Verteilung des Ausbruchmaterials auf die einzelnen Klassen, erfolgt durch das mit der Ausschreibung mitgelieferte Computerprogramm.

In dem Beispiel aus Kapitel 3.10, welches an dieser Stelle weitergeführt wird, könnten drei Bieter jeweils unterschiedliche Angebote in Bezug auf das Ausbruchmaterial abgeben, welche hier verglichen werden sollen.

Im Angebot des ersten Bieters, der Firma A, findet man keine selbst entwickelten Verwendungsklassen. Die ausgeschriebenen Verwendungen werden herangezogen, jegliches überschüssige Material wird deponiert.

Die Firma B konzentriert sich in Ihrer Ausarbeitung auf den Verkauf von Zuschlagstoffen für die Betonherstellung und Tragschichten. Bei den Grenzwerten für die selbst gestaltete Klasse entscheidet sich der Bieter, die Grenzwerte von HG 1 aus der Ausschreibung zu verwenden. Damit kann das Material bedenkenlos für die externe Betonproduktion eingesetzt werden. Der Name der zusätzlichen Verwendungsklasse lautet: „Bieter B HU“.

Die Firma C verfolgt ebenso den Verkauf des überschüssigen Materials, welches sich typischerweise für die Betonherstellung und für Tragschichten zum Fahrbahnaufbau eignet und findet zusätzlich einen Verwendungszweck für den zu erwartenden Teilabschnitt dunkelblau.

Ein Zementwerk in der Region kann das prognostizierte Material in seinem Herstellungsprozess als Korrekturstoff verwenden. Das Unternehmen erwartet sich durch den prognostizierten Chemismus eine bessere Steuerung der Eigenschaften ihrer Produkte. In einem stillgelegten Teil des Kalksteinbruches ist ausreichend Lagerkapazität vorhanden, um das Ausbruchmaterial zu lagern und zu einem späteren Zeitpunkt als Industrierohstoff zu verwenden.

Der Bieter C nennt seine Klassen „Bieter C HU“ und „Bieter C IP“. Bei der Klasse „Bieter C HU“ setzt auch dieser Bieter die Grenzwerte von „HU 1“ ein, die Grenzen für die Klasse „Bieter C IP“ werden so gewählt, dass das gesamte Material der

dunkelblauen Geologie darin zu liegen kommt. Die überschüssigen Massen aus der Verwendungsklasse „HG 1“ fallen nicht in die neu geschaffene Klasse „Bieter C IP“.

Das Lagerkonzept in der Ausschreibung sieht vor, dass möglichst wenig Material zugeführt werden darf. Deshalb wird auch hochwertiges Ausbruchsmaterial auf der Baustelle solange für minderwertigere Klassen verwendet, bis dessen Bedarf gedeckt ist. Erst darüberhinausgehendes Überschussmaterial wird abtransportiert und externen Verwendungen zugeführt.

---

### **3.12.1 Programm zur Neuberechnung der Massen je Verwendungsklasse**

---

Das Computerprogramm, in dem die Ausschreibungsmatrix enthalten ist, berechnet selbstständig die neu entstehende Massenverteilung auf alle Verwendungsklassen.

Die gesamte Abwicklung der Massenbewegungen soll von der Planung bis zur Schlussrechnung durch dieses Programm begleitet werden, welches fortlaufend die Möglichkeiten zur Verwertung aufzeigt, bereits abgewickelte Massen darstellt und die tatsächlich vorhandene Geologie einpflegt. Diese Grundstruktur kann auf jedes Tunnelprojekt angewendet werden, wie es auch bei der Vortriebsklassenmatrix aus der ÖN 2203-1 der Fall ist.

Jedes Tunnelbauprojekt stellt einen Prototyp für sich dar, deshalb ist es auch notwendig, dieses Berechnungsprogramm an die jeweilige Baustelle anzupassen. Neben den beiden Tabellen, in denen die Verwendungsklassen und die jeweiligen Grenzwerte eingegeben werden, muss ein Lagerkonzept aus 3.11.2 definiert werden. Es muss im Vorhinein bekannt sein, welche Massenströme zwischen Baustelle und Drittanbietern zugelassen und welche unterbunden werden sollen.

Diese Vorgaben finden sich zumeist in den Rahmenbedingungen des Tunnelbauprojektes. Deshalb sind diese Zwangspunkte oft schon in frühen Phasen des Projektes bekannt und können im Einreichoperat enthalten sein.

Die bekannten Mengen, welche direkt auf der Baustelle benötigt werden, werden je Verwendungsklasse schon in der Ausschreibungsphase in das Programm eingetragen. Die maximal benötigten Mengen an Zuschlagstoffen und

Schüttmaterial sind notwendig, um die Verteilung der Verwendungsklassen abhängig vom Lagerkonzept zu berechnen.

Durch die neu eingeführten Verwendungsklassen des Bieters verschieben sich, je nach Lagerkonzept auch die Massen in den bereits vorgegebenen Verwendungsmöglichkeiten der Ausschreibung.

Um diese Neuberechnung durchzuführen, müssen die Klassen gemäß dem Lagerkonzept gereiht werden. Anschließend kann das Computerprogramm, beginnend mit dem höchsten Rang der Nutzung, die Massen in die einzelnen Verwendungsklassen einteilen.

Die Applikation zieht jene Mengen, welche durch den Bieter extern verwertet werden, gemäß der Ausschreibungsmatrix und dem gewählten Lagerkonzept bis zu den eingeführten Grenzwerten von den bereits definierten Klassen ab. Gleichzeitig werden die Massen für jene Verwendungsklassen ermittelt, die durch den Bieter eingeführt wurden. Je strenger die Grenzwerte des Bieters ausfallen, umso weniger Massen sind zum Handel erwartbar. Dadurch reduzieren sich in der Regel die Mengen mit der niedrigsten Priorität und somit die Deponiekosten und Deponieflächen. Die Massen werden also nur durch die Eingabe der Grenzwerte berechnet.

Wenn die Kalkulation stark von der Gesamtmenge innerhalb einer Verwertungsstufe abhängig ist, da zum Beispiel ein Aggregat dafür angeschafft werden müsste, so kann der Bieter mit dem Berechnungsprogramm einfach eine zweistufige Kalkulation vornehmen.

Im ersten Schritt nimmt der Kalkulator eine Menge an und setzt den entsprechend kalkulierten Preis ein. Das Programm berechnet die Mengen in den jeweiligen Verwendungsklassen. Variiert die Menge der Berechnung stark von der angenommenen Kalkulationsgrundlage, verwendet der Kalkulator die neu berechneten Mengen und setzt den entsprechend geänderten Preis dafür ein.

Für die ausführende Firma entsteht eine Gewinnchance bei gleichzeitiger Übernahme eines Unternehmerrisikos. Für den Auftraggeber besteht die Chance, die Baukosten zu senken. Das Risiko für einen Auftraggeber liegt darin, dass eventuell die Anzahl der Bieter geringer ist, da der Aufwand für Recherche und Kalkulationstätigkeit ein Größerer ist.

Bei der Firma A aus dem begleitenden Beispiel ergeben sich folgende Massen:

gesamte Tunnellänge				Bieter A			
Volumen	228236,71 m <sup>3</sup>			Volumen	228236,71 m <sup>3</sup>		
Masse	602311,64 to			Masse	602311,64 to		
Betonbedarf	86986,46 to			Betonbedarf	86986,46 to		
Ringspalt	28995,49 to			Ringspalt	28995,49 to		
Tragschicht	37820,20 to			Tragschicht	37820,20 to		
ung. Tragsch.	48325,81 to			ung. Tragsch.	48325,81 to		
Verwendungsklasse	Masse Tunnelausbruchmaterial	Anteil am gesamten Ausbruch	Masse bezogen auf Eigenbedarf auf der Baustelle	Verwendungsklasse	Masse Tunnelausbruchmaterial	Anteil am gesamten Ausbruch	Masse bezogen auf Eigenbedarf auf der Baustelle
	[t]	[%]	[%]		[t]	[%]	[%]
HG 1	361850	60,08	416	HG 1	86986	14,44	100
HG 2	19781	3,28	68	HG 2	28995	4,81	100
HG 3	22145	3,68	59	HG 3	37820	6,28	100
HU 1	23448	3,89	49	HU 1	48326	8,02	100
HU 2	29134	4,84	77	HU 2	37820	6,28	100
DE 1	50041	8,31	-	DE 1	266451	44,24	-
DE 2	270	0,04	-	DE 2	270	0,04	-
DE 3a	95642	15,88	-	DE 3a	95642	15,88	-
DE 3b	0	0,00	-	DE 3b	0	0,00	-
DE 3c	0	0,00	-	DE 3c	0	0,00	-
G	0	0,00	-	G	0	0,00	-

**Tabelle 11: Massenverschiebung beim Angebot der Firma A**

Nachdem sich Anbieter A keine Klassen eigenständig erarbeitet hat, verändern sich die Massen nur innerhalb der ausgeschriebenen Vortriebsklassen. Das hochwertige Material der Klasse HG 1 wird in die Klassen HG 2, HG 3, HU 1 und HU 2 verschoben, bis der Bedarf in diesen Klassen gedeckt ist. Das restliche Material wird deponiert, da es keine alternativen Möglichkeiten durch Bieter A gibt.

Dabei setzt das Programm laut folgender Tabelle den Eigenbedarf auf 100% und ermittelt die Differenz zur ausgeschriebenen Masse:

	ist [t]	soll [t]	diff. [t]
HG 1	361850,10	86986,46	274863,63
HG 2	19781,14	28995,49	-9214,35
HG 3	22145,23	37820,20	-15674,97
HU 1	23447,89	48325,81	-24877,93
HU 2	29133,61	37820,20	-8686,60
		Summe	216409,79

**Tabelle 12: Differenzen zum Bedarf je Verwendungsklasse**

Diese fehlenden Massen werden, wenn möglich, aus der höherwertigen Klasse ausgeglichen. Die Deponiemassen ergeben sich aus zwei Teilen. Aus der geologischen Erkundung wurde bereits ein Teil des Materials zur Deponierung bewertet, der zweite Teil ergibt sich bei Bieter A aus dem überschüssigen Material aus der Klasse HG 1. Es gelangen 216.409,79 t aus der Klasse HG 1 auf die Deponie, der Bieter A hat für diese Massen keine geeignetere Verwendung vorgesehen. Nachdem das Material der Klasse HG 1 den Anforderungen der Deponie DE 1 erfüllt, wird diese Deponie mit dem Ausbruchmaterial befüllt.

Der Bieter B hatte sich im Vorfeld um Abnehmer von Betonzuschlagstoffen in der näheren Umgebung gekümmert. Die neu berechnete Massenverteilung beim Bieter B ist in der folgenden Tabelle dargestellt:

gesamte Tunnellänge				Bieter B			
Volumen		228236,71 m <sup>3</sup>		Volumen		228236,71 m <sup>3</sup>	
Masse		602311,64 to		Masse		602311,64 to	
Betonbedarf		86986,46 to		Betonbedarf		86986,46 to	
Ringspalt		28995,49 to		Ringspalt		28995,49 to	
Tragschicht		37820,20 to		Tragschicht		37820,20 to	
ung. Tragsch.		48325,81 to		ung. Tragsch.		48325,81 to	
Verwendungsklasse	Masse Tunnelausbruchmat erial	Anteil am gesamten Ausbruch	Masse bezogen auf Eigenbedarf auf der Baustelle	Verwendungsklasse	Masse Tunnelausbruchmat erial	Anteil am gesamten Ausbruch	Masse bezogen auf Eigenbedarf auf der Baustelle
	[t]	[%]	[%]		[t]	[%]	[%]
HG 1	361850	60,08	416	HG 1	86986	14,44	100
HG 2	19781	3,28	68	HG 2	28995	4,81	100
HG 3	22145	3,68	59	HG 3	37820	6,28	100
HU 1	23448	3,89	49	HU 1	48326	8,02	100
HU 2	29134	4,84	77	HU 2	37820	6,28	100
DE 1	50041	8,31	-	DE 1	50041	8,31	-
DE 2	270	0,04	-	DE 2	270	0,04	-
DE 3a	95642	15,88	-	DE 3a	95642	15,88	-
DE 3b	0	0,00	-	DE 3b	0	0,00	-
DE 3c	0	0,00	-	DE 3c	0	0,00	-
G	0	0,00	-	G	0	0,00	-
				Bieter B HU	216410	35,93	-

**Tabelle 13: Massenverschiebung beim Angebot der Firma B**

Die Klassen, bei denen in der Ausschreibung der Bedarf nicht gedeckt werden konnte, werden auch bei Bieter B durch die höherwertige Verwendungsklasse HG 1 bedient. Jedoch stehen dem Bieter B 216.410 t Ausbruchmaterial für die Verwendung als Betonzuschlagstoff abseits der Baustelle zur Verfügung.

Der Bieter C bekommt vom Berechnungsprogramm folgende Massenverteilung ausgewertet:

gesamte Tunnellänge				Bieter C			
Volumen	228236,71 m <sup>3</sup>			Volumen	228236,71 m <sup>3</sup>		
Masse	602311,64 to			Masse	602311,64 to		
Betonbedarf	86986,46 to			Betonbedarf	86986,46 to		
Ringspalt	28995,49 to			Ringspalt	28995,49 to		
Tragschicht	37820,20 to			Tragschicht	37820,20 to		
ung. Tragsch.	48325,81 to			ung. Tragsch.	48325,81 to		
Verwendungsklasse	Masse Tunnelausbruchmat erial	Anteil am gesamten Ausbruch	Masse bezogen auf Eigenbedarf auf der Baustelle	Verwendungsklasse	Masse Tunnelausbruchmat erial	Anteil am gesamten Ausbruch	Masse bezogen auf Eigenbedarf auf der Baustelle
	[t]	[%]	[%]		[t]	[%]	[%]
HG 1	361850	60,08	416	HG 1	86986	14,44	100
HG 2	19781	3,28	68	HG 2	28995	4,81	100
HG 3	22145	3,68	59	HG 3	37820	6,28	100
HU 1	23448	3,89	49	HU 1	48326	8,02	100
HU 2	29134	4,84	77	HU 2	37820	6,28	100
DE 1	50041	8,31	-	DE 1	50041	8,31	-
DE 2	270	0,04	-	DE 2	270	0,04	-
DE 3a	95642	15,88	-	DE 3a	0	0,00	-
DE 3b	0	0,00	-	DE 3b	0	0,00	-
DE 3c	0	0,00	-	DE 3c	0	0,00	-
G	0	0,00	-	G	0	0,00	-
				Bieter C HU	216410	35,93	-
				Bieter C IP	95642	15,88	-

**Tabelle 14: Massenverschiebung beim Angebot der Firma C**

Es zeigt sich, dass die Deponiemassen der Klasse „DE 3a“ also der Baurestmassendeponie nicht benötigt werden. Stattdessen werden die 95642 t an den Zementhersteller geliefert.

Die drei Bieter haben durch das Einsetzen von Grenzen unterschiedliche Massenverteilungen in ihrem Angebot erzeugt. Die Errichtung einer Aufbereitungsanlage und deren Betrieb während der Zeit der Zuschlagstoffproduktion wird mit den, im Kapitel 3.3 beschriebenen Positionen vergütet. Die Herstellung der Produkte selbst kann nach Tonnen in einer eigenen Leistungsposition betrachtet und vergütet werden. Ein derartiger Positionstext ist in folgender Abbildung dargestellt.

Projekt Diplomarbeit Beispiel, Vergabe Leistungsverzeichnis							01.12.2018					
Geschlossenes LV, Bieter: 01-Drei												
HG	OG	LG	POSNR	Z	PZZV	A	BESCHREIBUNG DER LEISTUNG	MENGE	EH	PREISANTEILE	RWG	POS.PREIS
							<b>Aufbereitung von Tunnelausbruchmaterial</b>					
							<b>Herstellung von Produkten in der Aufbereitungsanlage</b>					
							Es gelten die Technischen Vertragsbedingungen der Ausschreibungsunterlagen					
							Mit dem Einheitspreis ist auch abgegolten:					
							- Sämtliche Fördertätigkeiten innerhalb der Aufbereitungsanlage					
							- Wasserverbrauch für nasse Produktionsschritte					
							- Stromverbrauch für die Herstellung der Produkte					
							-					
							-					
							<b>Herstellung von Betonzuschlagstoff</b>					
							<b>Herstellung von Betonzuschlagstoff SpC 25/30</b>					
							Mit dem Einheitspreis sind auch abgegolten:					
							Herstellung von folgenden Kornfraktionen:					
							- 0 - 2 mm	390 kg				
							- 2 - 8 mm	230 kg				
							- 8 - 16 mm	380 kg				
							- Transport der Produkte in die dafür vorgesehene Lagerbox bzw. Halde laut Baustelleneinrichtungsplan.					
										Lo:	0,98	
										So:	4,83	
								602311,00 t		EP:	5,81	3499426,91

**Abbildung 29: Leistungsposition für die Herstellung eines Produktes**

Wenn mit Verwendungsklassen gearbeitet wird, muss der gesamte Aufbereitungsprozess für die Erreichung der geforderten Qualitätsansprüche des Endproduktes in einer Leistungsposition zusammengefasst sein. Die Leistungsposition setzt sich aus der Herstellung von Gesteinskörnungen je Verwendungsklasse zusammen, sodass die Herstellung mithilfe der notwendigen Aggregate kalkuliert werden kann.

Die Abrechnung dieser Arbeitsschritte ist abhängig von der späteren Verwendung und kann erst nach Bestimmung der notwendigen Probenparameter der

Verrechnung zugeführt werden, allerdings teilautomatisiert über Wiegeeinrichtungen in den Förderbandanlagen. Die ausführende Firma muss die Aufbereikbaarheit aufgrund der Probeparameter bestimmen können. Eine Etablierung dieser Versuche, auch bei bisherigen Ausschreibungsmethoden kann die Treffsicherheit bei zukünftigen Angeboten erhöhen. Dazu müssen Versuche gewählt werden, die mit dem Verhalten in Großaggregaten möglichst gut korrelieren. In erster Linie sind die in 3.11.1 beschriebenen Versuche zur Brechbarkeit für den Aufbereitungsprozess interessant, welche auch eine Interpretation der Sieblinie nach dem Bearbeiten des Materials zulassen. Den Umfang des notwendigen Aufbereitungsprozesses bestimmt die Verwendungsklasse, welche durch die Auswertung der Beprobung klar definiert ist. Die Massen in den einzelnen Gesteinsfraktionen können automatisiert mit Förderbandwagen ermittelt werden. Ein möglicher Positionstext ist in Abbildung 29 dargestellt. Dabei werden die notwendigen Produkte aus der Aufbereitungsanlage für eine Verwendungsklasse aufgeführt und als VE abgerechnet. Die spätere Herstellung von Beton wird getrennt von der Aufbereitungsanlage betrachtet.

Eine Aufstellung der unterschiedlichen Konzepte der Bieter zur Materialverwertung kann folgendermaßen aussehen:

	Bieter A			Bieter B			Bieter C		
	Masse	Preis	Summe	Masse	Preis	Summe	Masse	Preis	Summe
HG 1	86 986,46	2,81	244 431,96	86 986,46	2,81	244 431,96	86 986,46	2,81	244 431,96
HG 2	28 995,49	2,32	67 269,53	28 995,49	2,32	67 269,53	28 995,49	2,32	67 269,53
HG 3	37 820,20	2,27	85 851,86	37 820,20	2,27	85 851,86	37 820,20	2,27	85 851,86
HU 1	48 325,81	2,48	119 848,01	48 325,81	2,48	119 848,01	48 325,81	2,48	119 848,01
HU 2	37 820,20	2,44	92 281,29	37 820,20	2,44	92 281,29	37 820,20	2,44	92 281,29
DE 1	266 451,05	4,76	1 268 307,02	50 041,25	4,76	238 196,37	50 041,25	4,76	238 196,37
DE 2	270,29	15,54	4 200,28	270,29	15,54	4 200,28	270,29	15,54	4 200,28
DE 3a	95 641,75	22,87	2 187 326,90	95 641,75	22,87	2 187 326,90	0,00	22,87	0,00
DE 3b	0,00			0,00		0,00	0,00		0,00
DE 3c	0,00			0,00		0,00	0,00		0,00
Bieter B HU	-			216 409,79	1,87	404 686,31	-		
Bieter C HU	-			-			216 409,79	3,87	837 505,89
Bieter C IP	-			-			95 641,75	-0,07	-6 694,92
	Summe		4 069 516,83	Summe		3 444 092,49	Summe		1 682 890,25

**Tabelle 15: Preisspiegel der drei Bieter**

In dieser Tabelle sollen die Unterschiede der Materialdisposition herausgestrichen werden. Daher wurde angenommen, dass die drei Bieter gleiche Produktionskosten

für die Produkte der Aufbereitungsanlage eingesetzt haben, um die Unterschiede zwischen den Bietern deutlich zu machen. Ebenso sind die Kosten für die Deponien für alle drei Bieter in gleicher Höhe angenommen. Durch die alternativen Verwendungsklassen können, gerade bei Einsparung teurer Deponiekosten, erhebliche Vorteile für den Bieter und den Auftraggeber entstehen. Es sind Vorteile im Prozentbereich der Angebotssumme realistisch, jedenfalls ist der Einfluss der Materialverwertung bei getrennter Betrachtung der Anlagenerrichtung und des Betriebes der Anlage nicht allein ausschlaggebend für das Ergebnis des Vergabeverfahrens.

---

### **3.13 Abrechnung mit der Matrix als Grundlage**

---

Durch die Fortschreibung der Verwendungsklassenmatrix während der Bauzeit kann nach tatsächlich angefallenen Materialverteilungen, massenbezogen abgerechnet werden. Die maximale Abweichung von den ausgeschriebenen Massen muss in der Ausschreibung beschrieben sein. Die Verteilung der einzelnen Kornfraktionen in der Position in Abbildung 29 entspricht eine Tonne Zuschlagstoff der jeweiligen Verwendungsklasse. Die Feuchtigkeit des Zuschlagstoffes spielt dabei eine Rolle, kann aber automatisiert ermittelt und in die Berechnung eingebunden werden. Diese Messeinrichtungen sind auf Betonmischanlagen im Einsatz und funktionieren einwandfrei. Auf diesen Umstand wird in der gegenständlichen Diplomarbeit nicht weiter eingegangen.

Die Abrechnung über Materialqualitäten, die automatisiert getestet und deren Massenflüsse genau aufgezeichnet werden können, lässt keine Interpretationsspielräume offen. Die Abrechnung über Massen eignet sich für automatisierte Prozesse wesentlich besser, als eine volumenbasierte Abrechnung, weil die Messeinrichtungen für Massen genau arbeiten und den Stand der Technik in industriellen Anlagen darstellen. Durch die elektronische Verarbeitung können die Massenbewegungen in Echtzeit betrachtet werden und die Abschlagsrechnung am Monatsende kann die gesamten bewegten Gutsströme bereits berücksichtigen.

---

## 4 Schlussfolgerungen / Ausblick

---

In der vorliegenden Diplomarbeit wurde ein System entwickelt, welches es möglich macht, die anfallenden Ausbruchmaterialien abhängig von der späteren Verwendung abzurechnen.

Dabei werden die Bieter projektspezifisch angehalten, möglichst hochwertige Verwendungsmöglichkeiten für das Tunnelausbruchmaterial zu finden, um einen finanziellen Vorteil im Bieterverfahren zu erlangen. Die Zusammenarbeit mit Firmen in der näheren Umgebung des Tunnelbauprojektes ist dafür Voraussetzung.

Durch Erfüllung der projektspezifischen Rahmenbedingungen, die bestmögliche Verwertung des vorgefundenen Ausbruchmaterials und die Berücksichtigung der durch das Projekt entstehenden Umwelteinflüsse ist es möglich, künftig Tunnelbauvorhaben sowohl für die Auftraggeber, wie auch für die Auftragnehmer und beteiligte Drittfirmen sowie auch für die Umwelt in verbesserter Form umzusetzen und damit volkswirtschaftlich zu optimieren. Die daraus resultierenden Vorteile und die dadurch erzielbare Wertschöpfung wird im Umfeld des Tunnelbauprojektes sichtbar und spürbar, was auch zu einer besseren Akzeptanz des Vorhabens in der Region beiträgt. Speziell die Zusammenarbeit mit örtlichen Betonproduzenten und Asphaltmischwerken sowie Steinbrüchen wird mit einem derartig angewandten System ein wichtiger Aspekt der Projektplanung. Eine Einführung dieses Systems in die Vertragsgestaltung von Tunnelbauprojekten kann schrittweise erfolgen, da das System sehr universell einsetzbar ist. Damit ist eine gewisse Routine für Auftraggeber und Auftragnehmer erlernbar.

Die Abrechnung über Massen eignet sich für automatisierte Prozesse wesentlich besser als eine volumenbasierte Abrechnung.

---

### 4.1 Möglichkeiten zur Anpassung des Systems

---

Je nach Lage und Größe des Projektes kann das System flexibel angewendet werden. Es kann zum Beispiel bei einem kleinen Bauvorhaben, bei dem sich eine

eigene Aufbereitungsanlage offensichtlich nicht rechnet, das Ausbruchsmaterial vom Bieter an einen externen Betonhersteller veräußert werden, wenn es nach sorgfältiger Erkundung für die Herstellung von Betonzuschlagstoff geeignet ist. Dabei entfallen die Positionen zur Zuschlagstoffherstellung auf der Baustelle zur Gänze, die Baufirma erarbeitet lediglich eine Alternative zur Deponierung. Dadurch wird mit dem Betonlieferanten ein gegenseitiges Lieferverhältnis eingegangen. Auf die Gesamtkosten des Projektes kann dadurch auch bei kleinen Projekten positiv Einfluss genommen werden. Das Lagerkonzept sieht ein Zukaufen von externer Stelle vor, das Ausbruchmaterial darf deponiert werden, eine anderwärtige Nutzung kann ein Bieter als Vorteil nutzen.

Durch die beschriebenen Versuche zum Brechverhalten kann die Baufirma abschätzen, welcher Anteil des Materials zu feinkörnig ist, um für Zwecke der Betonproduktion verwendet zu werden. Der Auftraggeber kann das Risiko der tatsächlichen Zerkleinerung nicht tragen, da dieses stark vom Vortriebsverfahren des Auftragnehmers abhängt.

Bei Großprojekten und maschinellen Vortrieben steigt die Wahrscheinlichkeit, dass das durchörtete Material neben der Betonherstellung auch für industrielle Produktionsstandorte interessant werden kann. Zur Beurteilung der Materialeigenschaften ist jedenfalls der Aufbau eines gewissen Know-hows auf Seiten der Baufirmen notwendig. Ebenfalls ist eine enge Zusammenarbeit mit den jeweiligen Industriebetrieben erforderlich.

Die Eigentumsverhältnisse des Materials können wie bisher projektspezifisch gewählt werden. Dabei kann zur Unterscheidung die Verwendungsklassenmatrix dienen. Zum Beispiel kann man das Material der Deponieklassen im Eigentum des Auftraggebers belassen, während die Massen der alternativen Verwendungsklassen in das Eigentum der Baufirma übergehen.

---

## 4.2 Risiken und Möglichkeiten einer Ausschreibung mit Materialbewirtschaftung nach der Matrix

---

Die Anwendung einer Verwertungsklassenmatrix ist ein neues System und betrifft einen gesamtkostenrelevanten Bereich eines Tunnelbauprojektes. Die Risiken auf Seiten des Auftraggebers liegen in den aufwendigeren Ausschreibungsunterlagen und die Beprobung muss wesentlich dichter durchgeführt werden, als das bisher oft der Fall war.

Besonders im tiefliegenden Tunnelbau stellen die nadelstichartigen Kernbohrungen einen wesentlichen Kostenfaktor in der Erkundung dar. Die maximalen Abweichungen der prognostizierten Massen müssen in der Ausschreibung angegeben werden. Das Eintreffen dieser Verteilung mit den gesetzten Abweichungen ist ein Risiko in der Sphäre des Auftraggebers. Im Rahmen einer öffentlichen Ausschreibung muss die Angebotsfrist auf alle Fälle länger bemessen werden, um eine möglichst hochwertige Verwendung des Materials sicherzustellen.

Auf Seiten des Auftragnehmers besteht das größte Risiko darin, die Brucheigenschaften des Abbaumaterials trotz der durchgeführten Versuche falsch einzuschätzen. Bei Verträgen mit Dritten, die aufgrund der prognostizierten Materialverteilung geschlossen werden, sollten möglichst alle Vertragsbedingungen des Auftraggebers, besonders hinsichtlich maximaler Abweichungen an diese weiter übertragen werden.

Abweichungen zwischen den Vertragsbedingungen von Auftragnehmer und Auftraggeber sowie zwischen Auftragnehmer und Subunternehmer können ein erhebliches Risiko für die Baufirma bedeuten und sollten deshalb möglichst vermieden werden.

Die Reduktion der Angebotssumme durch die Vermarktung des Ausbruchmaterials und somit die Erarbeitung eines Vorteils gegenüber den Mitbewerbern ist die Chance der bietenden Baufirma. Im Allgemeinen kann durch dieses System die Bestbieterermittlung mithilfe eines Punktesystems bedient werden. Da die Verwendung des Ausbruchmaterials einen wesentlichen Einfluss auf den Angebotspreis ausübt, kann davon ausgegangen werden, dass in Zukunft durch Anwendung des vorhin beschriebenen Systems vermehrt auf die Qualität der

Materialverwertung eingegangen wird und der Preisdruck unter Umständen entspannt werden kann.

---

## 5 Literaturverzeichnis

---

- Agir Aggregat AG. 2017.** <http://www.agir-aggregat.biz>. [Online] 2017. [Zitat vom: 05. 11 2017.] <http://www.agir-aggregat.biz/web/detail.php?ID=239>.
- Ahsan, Amit. 2017.** Vortrag. *Inline Multielement Analyzers for Process Optimization, Quality Assurance*. Berlin : SECOPTA analytics GmbH, 2017.
- Bärs, Rainer. 2017.** *Hyperspectral SWIR scans of 8 samples from Montanuniversität Leoben*. s.l. : Spectral Imaging Ltd, 2017.
- BAWP. 2017.** BUNDES-ABFALLWIRTSCHAFTSPLAN 2017. Wien : BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT, 2017.
- Brunnenbau Conrad GmbH. 2008.** <http://www.brunnenbau-conrad.de/home.html>. [Online] 2008. [Zitat vom: 21. 5 2008.]
- Brunnenbau Etschel + Meyer Gesellschaft m.b.H & Co KG. 2017.** <https://www.facebook.com/197598050251291/photos/pcb.1004024526275302/1004024392941982/?type=3&theater>. [Online] 2017. [Zitat vom: 12. 09 2017.]
- Büchi, Ernst und Thalmann, Cédric. 1996.** Wiederverwendung des Haufwerks bei Sprengvortrieb im Vergleich zum maschinellen Vortrieb mit Teilschnitt- und Tunnelbohrmaschinen. [Buchverf.] Dynamit Nobel. *NOBEL HEFTE*. 1996.
- Dreitler-Köhler. 2015.** *Einflüsse von Schneidspurabstand und Penetration auf das Ausbruchsmaterial von Granitgneis auf dem Linearschneidversuch*. Leoben : Bachelorarbeit am Lehrstuhl für Subsurface Engineering, Montanuniversität Leoben, 2015.
- DVO 2008. 2017.** Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Deponien (Deponieverordnung 2008 – DVO 2008). 2017.
- Galler, Robert, Gehwolf, Paul und Krainz, Jörg. 2017.** Geotechnical Laboratory. Vorlesung im Rahmen des Masterprogramms *Mining and Tunnelling*, Schwerpunktfach *Geotechnik und Tunnelbau*, 2017.
- Krainz, Jörg. 2017.** *LA Versuch*. [Foto] Leoben : Montanuniversität Leoben, 2017.
- ÖBV, Österreichische Bautechnik Vereinigung. 2015.** *Richtlinie "Verwendung von Tunnelausbruch"*. [Hrsg.] Österreichische Bautechnik Vereinigung. Wien : s.n., 2015.
- ÖNORM B 2203-1. 2017.** ÖNORM B 2203-1: 2001 12 01. *Untertagebauarbeiten - Werkvertragsnorm - Teil 1: Zyklischer Vortrieb*. Wien : Österreichisches Normungsinstitut, 2017.

**Resch, Daniel. 2012.** Verwendung von Tunnelausbruchmaterial – Entscheidungsgrundlagen. Wien : s.n., 2012.

**Saxer, Andreas und Lukas, Walter. 1996.** Beurteilung des stofflichen Austrages aus deponiertem Tunnelausbruchmaterial. *Tunnel - Gütersloh*. 1996, Heft 7, S. 48 – 54.

**Saxer, Andreas und Lukas, Walter. 1997.** Untersuchung des umweltrelevanten Gefährdungspotentials von Tunnelausbruch. *Felsbau*. 1997, S. 111 – 118.

**SECOPTA analytics GmbH. 2017.** Mineral LIBS. *Produktdatenblatt*. Berlin : s.n., 2017.

**Seidler, Irina Maria. 2018.** Reuse of tunnel excavation material - real time measurements and decisionmaking on the construction site of ZaB- Zentrum am Berg - an underground research facility in Eisenerz, Austria; Leoben, Österreich; Masterarbeit in Ausarbeitung, Montanuniversität Leoben, 2018.

**Specim, Spectral Imaging Ltd. 2017.** www.specim.fi. [Online] 2017. [Zitat vom: 10. 11 2017.] <http://www.specim.fi/hyperspectral-cameras/>.

---

## 6 Abbildungsverzeichnis

---

Abbildung 1: Bohrgerät zur Gewinnung von Bohrkernen .....	6
Abbildung 2: gewonnene Bohrkerne .....	7
Abbildung 3: Vortriebsklassenmatrix der ÖN2203-1.....	13
Abbildung 4: typisches Flussdiagramm .....	16
Abbildung 5: Situation am Ende des Schuttervorganges .....	17
Abbildung 6: Haldenvolumen bei Wochenschicht des Transporteurs.....	18
Abbildung 7: Absetzer am Ende des Förderbandes .....	19
Abbildung 8: Beispieltext einer direkt abrechenbaren Leistung .....	21
Abbildung 9: Positionstext Aufzählung auf Grundposition .....	22
Abbildung 10: Automatische Prüfeinrichtung.....	24
Abbildung 11: Abbildung der MineralLIBS Prüfeinrichtung .....	26
Abbildung 12: Daten der Prüfeinrichtung.....	26
Abbildung 13: Spektrum als Analyseergebnis .....	27
Abbildung 14: SWIR Spektral Kamera .....	28
Abbildung 15: Bild aus der SWIR Kamera mit Skala der Reflexion .....	28
Abbildung 16: Spektralprofil aus SWIR Spektalkamera .....	29
Abbildung 17: Löseverhalten durch Disken .....	35
Abbildung 18: Vergleich Sprengvortrieb und TBM Vortrieb .....	36
Abbildung 19: Verwendungsklassen in der Richtlinie "Verwertung von Tunnelausbruch" .....	40
Abbildung 20: Längenschnitt aus der Richtlinie Verwertung von Tunnelausbruchmaterial.....	44
Abbildung 21: Längenschnitt eines Tunnelprojektes .....	45
Abbildung 22: LCPC Gerät mit Probenbehälter.....	54
Abbildung 23: benutzter Stahlflügel.....	55
Abbildung 24: CAI Versuchsgerät .....	56
Abbildung 25: LA Prüfeinrichtung.....	58
Abbildung 26: Lagerkonzept 1.....	60
Abbildung 27: Lagerkonzept 2.....	61

Abbildung 28: Lagerkonzept 3.....	62
Abbildung 29: Leistungsposition für die Herstellung eines Produktes .....	70

---

## 7 Tabellenverzeichnis

---

Tabelle 1: Verwendungspotentiale verschiedener Festgeinsgruppen .....	5
Tabelle 2: Grenzwerte für Gehalte im Feststoff nach DVO 2008.....	32
Tabelle 3: Grenzwerte für Gehalte im Eluat nach DVP 2008 .....	33
Tabelle 4: Verwendungsklassen.....	38
Tabelle 5: Grenzwerte der Verwendungsklassen .....	43
Tabelle 6: Abschnitte unterschiedlicher Geologie.....	45
Tabelle 7: Verwendbarkeit auf der Baustelle .....	46
Tabelle 8: Berechnung der Volumina und Massen .....	46
Tabelle 9: Verwertungsmöglichkeiten je Tunnelabschnitt.....	49
Tabelle 10: kumulierte Massen – Ausschreibungsmatrix .....	51
Tabelle 11: Massenverschiebung beim Angebot der Firma A .....	66
Tabelle 12: Differenzen zum Bedarf je Verwendungsklasse .....	67
Tabelle 13: Massenverschiebung beim Angebot der Firma B .....	68
Tabelle 14: Massenverschiebung beim Angebot der Firma C .....	69
Tabelle 15: Preisspiegel der drei Bieter.....	71

---

## 8 Abkürzungsverzeichnis

---

°C	° Celsius
bzw.	Beziehungsweise
CAI	Cerchar Abrasivitäts Index
diff.	Differenz
elektr.	elektrisch
LAK	LCPC Abrasivitäts Koeffizient
LBC	LCPC Brechbarkeits Koeffizient
LCPC	Laboratoire Central des Ponts et Chaussees
LIBS	Laser induced breakdown spectroscopy
NIR	near infrared
ÖN	ÖNORM
SpC.	Spritzbeton
U/min	Umdrehungen pro Minute
ung. Tragsch.	ungebundene Tragschicht
z.B	zum Beispiel
z.Bsp.	zum Beispiel

---

# Anhang Inhaltsverzeichnis

---

Anhang A: Berechnung aller Tunnelabschnitte

## Anhang A: Berechnung aller Tunnelabschnitte

Berechnung der Ausschreibungsmassen in Abschnitt 1

Abschnitt 1			
Volumen	2356,20 m <sup>3</sup>		
Masse	4076,23 to		
Betonbedarf	685,65 to		
Ringspalt	228,55 to		
Tragschicht	298,11 to		
ung. Tragsch.	380,92 to		
Verwendungsklasse	Masse Tunnelausbruchmaterial	Anteil am gesamten Ausbruch	Masse bezogen auf Eigenbedarf innerhalb des Abschnittes
	[t]	[%]	[%]
HG 1	0	0,00	0
HG 2	0	0,00	0
HG 3	0	0,00	0
HU 1	0	0,00	0
HU 2	2100	51,52	704
DE 1	1956	47,99	-
DE 2	18	0,44	-
DE 3a	2	0,05	-
DE 3b	0	0,00	-
DE 3c	0	0,00	-
G	0	0,00	-
IP	0	0,00	-

## Berechnung der Ausschreibungsmassen in Abschnitt 2

Abschnitt 2			
Volumen	18142,74 m <sup>3</sup>		
Masse	48622,54 to		
Betonbedarf	5279,52 to		
Ringspalt	1759,84 to		
Tragschicht	2295,45 to		
ung. Tragsch.	2933,07 to		
Verwendungsklasse	Masse Tunnelausbruchmaterial	Anteil am gesamten Ausbruch	Masse bezogen auf Eigenbedarf innerhalb des Abschnittes
	[t]	[%]	[%]
HG 1	37500	77,1247	710
HG 2	2050	4,2162	116
HG 3	2295	4,7200	100
HU 1	2430	4,9977	83
HU 2	2100	4,3190	91
DE 1	2229,54	4,5854	-
DE 2	18	0,0370	-
DE 3a	0	0,0000	-
DE 3b	0	0,0000	-
DE 3c	0	0,0000	-
G	0	0,0000	-
IP	0	0,0000	-

### Berechnung der Ausschreibungsmassen in Abschnitt 3

Abschnitt 3			
Volumen	4869,48 m <sup>3</sup>		
Masse	8862,45 to		
Betonbedarf	1417,02 to		
Ringspalt	472,34 to		
Tragschicht	616,09 to		
ung. Tragsch.	787,23 to		
Verwendungsklasse	Masse Tunnelausbruchmaterial	Anteil am gesamten Ausbruch	Masse bezogen auf Eigenbedarf innerhalb des Abschnittes
	[t]	[%]	[%]
HG 1	0	0,00	0
HG 2	0	0,00	0
HG 3	0	0,00	0
HU 1	0	0,00	0
HU 2	2010	22,68	326
DE 1	6832	77,09	-
DE 2	18	0,44	-
DE 3a	2	0,05	-
DE 3b	0	0,00	-
DE 3c	0	0,00	-
G	0	0,00	-
IP	0	0,00	-

## Berechnung der Ausschreibungsmassen in Abschnitt 4

Abschnitt 4			
Volumen	20263,32 m <sup>3</sup>		
Masse	54305,70 to		
Betonbedarf	5896,61 to		
Ringspalt	1965,54 to		
Tragschicht	2563,74 to		
ung. Tragsch.	3275,90 to		
Verwendungsklasse	Masse Tunnelausbruchmaterial	Anteil am gesamten Ausbruch	Masse bezogen auf Eigenbedarf innerhalb des Abschnittes
	[t]	[%]	[%]
HG 1	41883	77,12	710
HG 2	2290	4,22	116
HG 3	2563	4,72	100
HU 1	2714	5,00	83
HU 2	2345	4,32	91
DE 1	2490	4,59	-
DE 2	20	0,04	-
DE 3a	0	0,00	-
DE 3b	0	0,00	-
DE 3c	0	0,00	-
G	0	0,00	-
IP	0	0,00	-

## Berechnung der Ausschreibungsmassen in Abschnitt 5

Abschnitt 5			
Volumen	6204,66 m <sup>3</sup>		
Masse	15325,51 to		
Betonbedarf	1805,55 to		
Ringspalt	601,85 to		
Tragschicht	785,02 to		
ung. Tragsch.	1003,08 to		
Verwendungsklasse	Masse Tunnelausbruchmaterial	Anteil am gesamten Ausbruch	Masse bezogen auf Eigenbedarf innerhalb des Abschnittes
	[t]	[%]	[%]
HG 1	0	0,00	0
HG 2	0	0,00	0
HG 3	0	0,00	0
HU 1	0	0,00	0
HU 2	0	0,00	0
DE 1	15306	99,87	-
DE 2	18	0,12	-
DE 3a	2	0,01	-
DE 3b	0	0,00	-
DE 3c	0	0,00	-
G	0	0,00	-
IP	0	0,00	-

## Berechnung der Ausschreibungsmassen in Abschnitt 6

Abschnitt 6			
Volumen	116396,00	m <sup>3</sup>	
Masse	311941,28	to	
Betonbedarf	33871,24	to	
Ringspalt	11290,41	to	
Tragschicht	14726,63	to	
ung. Tragsch.	18817,36	to	
Verwendungsklasse	Masse Tunnelausbruchmaterial	Anteil am gesamten Ausbruch	Masse bezogen auf Eigenbedarf innerhalb des Abschnittes
	[t]	[%]	[%]
HG 1	240584	77,12	710
HG 2	13152	4,22	116
HG 3	14724	4,72	100
HU 1	15590	5,00	83
HU 2	13473	4,32	91
DE 1	14304	4,59	-
DE 2	115	0,04	-
DE 3a	0	0,00	-
DE 3b	0	0,00	-
DE 3c	0	0,00	-
G	0	0,00	-
IP	0	0,00	-

## Berechnung der Ausschreibungsmassen in Abschnitt 7

Abschnitt 7			
Volumen	34400,44 m <sup>3</sup>		
Masse	95633,22 to		
Betonbedarf	10010,53 to		
Ringspalt	3336,84 to		
Tragschicht	4352,40 to		
ung. Tragsch.	5561,40 to		
Verwendungsklasse	Masse Tunnelausbruchmaterial	Anteil am gesamten Ausbruch	Masse bezogen auf Eigenbedarf innerhalb des Abschnittes
	[t]	[%]	[%]
HG 1	0,00	0,00	0
HG 2	0,00	0,00	0
HG 3	0,00	0,00	0
HU 1	0,00	0,00	0
HU 2	0,00	0,00	0
DE 1	0,00	0,00	-
DE 2	2,00	0,00	-
DE 3a	95631,22	100,00	-
DE 3b	0,00	0,00	-
DE 3c	0,00	0,00	-
G	0,00	0,00	-
IP	0,00	0,00	-

## Berechnung der Ausschreibungsmassen in Abschnitt 8

Abschnitt 8			
Volumen	20263,32 m <sup>3</sup>		
Masse	54305,70 to		
Betonbedarf	5896,61 to		
Ringspalt	1965,54 to		
Tragschicht	2563,74 to		
ung. Tragsch.	3275,90 to		
Verwendungsklasse	Masse Tunnelausbruchmaterial	Anteil am gesamten Ausbruch	Masse bezogen auf Eigenbedarf innerhalb des Abschnittes
	[t]	[%]	[%]
HG 1	41883	77,12	710
HG 2	2290	4,22	116
HG 3	2563	4,72	100
HU 1	2714	5,00	83
HU 2	2345	4,32	91
DE 1	2490	4,59	-
DE 2	20	0,04	-
DE 3a	0	0,00	-
DE 3b	0	0,00	-
DE 3c	0	0,00	-
G	0	0,00	-
IP	0	0,00	-

## Berechnung der Ausschreibungsmassen in Abschnitt 9

Abschnitt 9			
Volumen	5340,72 m <sup>3</sup>		
Masse	9239,45 to		
Betonbedarf	1554,15 to		
Ringspalt	518,05 to		
Tragschicht	675,72 to		
ung. Tragsch.	863,41 to		
Verwendungsklasse	Masse Tunnelausbruchmaterial	Anteil am gesamten Ausbruch	Masse bezogen auf Eigenbedarf innerhalb des Abschnittes
	[t]	[%]	[%]
HG 1	0	0,00	0
HG 2	0	0,00	0
HG 3	0	0,00	0
HU 1	0	0,00	0
HU 2	4760	51,52	704
DE 1	4434	47,99	-
DE 2	41	0,44	-
DE 3a	5	0,05	-
DE 3b	0	0,00	-
DE 3c	0	0,00	-
G	0	0,00	-
IP	0	0,00	-