



ÖkoRess - Teilbericht

Bergbauliche Reststoffe

Dr. Michael Priester
Peter Dolega

Alle Rechte vorbehalten. Die durch Projekt-Consult GmbH erstellten Inhalte des Werkes und das Werk selbst unterliegen dem deutschen Urheberrecht. Beiträge Dritter sind als solche gekennzeichnet. Die Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und jede Art der Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtes bedürfen der schriftlichen Zustimmung von Projekt-Consult GmbH. Die Vervielfältigung von Teilen des Werkes ist nur zulässig, wenn die Quelle genannt wird.

ÖkoRess – Ökologische Grenzen, ökologische Verfügbarkeit und ökologische Kritikalität von Primärrohstoffen

Laufzeit April 2013 - Juni 2016

Ein Projekt im Auftrag des Umweltbundesamtes, gefördert im Rahmen des Umweltforschungsplanes des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

FKZ: 3713 93 302



Die veröffentlichten Papiere sind Zwischen- bzw. Arbeitsergebnisse der Forschungsnehmer. Sie spiegeln nicht notwendig Positionen der Auftraggeber, der Ressorts der Bundesregierung oder des Projektbeirats wider. Sie stellen Beiträge zur Weiterentwicklung der Debatte dar.

Zitiervorschlag:

Priester, M. und P. Dolega. (2015): Bergbauliche Reststoffe – Teilprojektbericht ÖkoRess. Berlin.

Impressum

Herausgeber: Projekt-Consult GmbH
Lärchenstrasse 12
61118 Bad Vilbel - Germany
Phone: +49 6101 5097-0
Fax: +49 6101 5097-29
E-mail : info@projekt-consult.de

Autoren: Dr. Michael Priester
Peter Dolega

Stand: Oktober 2015

■ Projekt-Consult GmbH

projekt-consult GmbH ist ein Consultingunternehmen, das seit über 30 Jahren auf dem Gebiet der internationalen Zusammenarbeit tätig ist. Im Juli 2014 ist das Unternehmen nach über 30 Jahren Selbständigkeit in der GFA Holding aufgegangen. Hauptauftraggeber sind internationale bi- und multilaterale Entwicklungsorganisationen wie die BGR, die GIZ, die KfW, die Schweizerische SDC und SECO, die Weltbank und die Europäische Kommission. Die Kernaktivitäten liegen im Bereich der „mineralischen Rohstoffe und Umwelt“ bei Projektdurchführung mit Beratung der privaten, öffentlichen und zivilgesellschaftlichen Akteure des Rohstoffsektors zur Etablierung von verantwortlicher Bergbaupraxis und Rohstoff-Governance.

Projekt-Consult GmbH
Lärchenstrasse 12
61118 Bad Vilbel
T +49 (0) 6101 5097-0
F +49 (0) 6101 5097-29
info@projekt-consult.de
www.projekt-consult.de

Dr. Michael Priester

(Jahrgang 1957) ist promovierter Bergbauingenieur und arbeitet seit knapp 30 Jahren in der internationalen Entwicklungszusammenarbeit, seit 1988 in der Firma Projekt-Consult GmbH als Teilhaber und Abteilungsleiter für die Abteilung mineralische Ressourcen und Umwelt.

Michael.priester@projekt-consult.de

Peter Dolega

(Jahrgang 1988) ist Student der Physischen Geographie an der Universität Frankfurt und arbeitet seit September 2014 als Junior-Consultant bei Projekt-Consult GmbH. Im Rahmen seiner Tätigkeit bearbeitet er hauptsächlich Fragestellungen im Zusammenhang mit dem Projekt Öko-Ress. .

peter.dolega@gmx.net

■ Öko-Institut

Das Öko-Institut ist eine der europaweit führenden, unabhängigen Forschungs- und Beratungseinrichtungen für eine nachhaltige Zukunft. Seit der Gründung im Jahr 1977 erarbeitet das Institut Grundlagen und Strategien, wie die Vision einer nachhaltigen Entwicklung global, national und lokal umgesetzt werden kann

■ IFEU

Das ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH ist ein eigenständiges Forschungsinstitut und als gemeinnützig anerkannt. Es wurde 1978 von WissenschaftlerInnen der Universität Heidelberg als Zentrum für unabhängige Forschung zu umweltrelevanten Fragen gegründet.

■ Projekthintergrund

ÖkoRess

Ökologische Grenzen, ökologische Verfügbarkeit und ökologische Kritikalität von Primärrohstoffen

Der Umgang mit Rohstoffen gerät zunehmend in den Blickpunkt der öffentlichen Debatte. Während die Diskussion in den vergangenen Jahren von der Sorge um die kurz- bis mittelfristige Rohstoffversorgungssicherheit geprägt war, wird zunehmend deutlich, dass über diesen wirtschaftlichen Fokus hinaus auch andere Nachhaltigkeitsaspekte eine Rolle bei der Rohstoffversorgung und der Bewertung der Rohstoffverfügbarkeit spielen müssen. Denn die Gewinnung von Rohstoffen wie Kohlen, Erzen und Natursteinen ist der Schritt in der Produktionskette, der am unmittelbarsten in die Natur eingreift. Ein Eingriff in die Natur bedeutet nicht nur die Veränderung der betroffenen Flächen, sondern mit diesen Flächen sind oft wertvolle Ökosysteme, interessante Landschaften, vielfältige Pflanzen- und Tierarten, schützenswerte Wassereinzugsgebiete

und Strukturen für das lokale Klima verknüpft. Darüber hinaus treten in den Phasen eines Bergbauvorhabens auch Emissionen in Luft, Boden und Wasser auf. Sie stellen meist eine Belastung nahe am Ort des Eingriffs dar, können jedoch durch ihre Verbreitung im Normalbetrieb und bei Störfällen weit darüber hinaus wirken. Damit sind sie maßgeblich für die öffentliche Wahrnehmung des Bergbaus verantwortlich. Dies gilt natürlich nicht nur für heimische Rohstoffe, sondern auch für Bergbauprojekte in anderen Ländern und Erdteilen. Diese Abbauregionen befinden sich zwar außerhalb des deutschen Wirtschaftssystems; sie sind aber in vielen Fällen wichtige Rohstofflieferanten für die deutsche Industrie und somit wesentlicher Teil der Produktionskette.

Bei genauerer Analyse wird deutlich, dass die Umweltauswirkungen pro geförderter Mengeneinheit eines Rohstoffes starken Schwankungen unterliegen, die der Art der Lagerstätte, der verwendeten Abbaumethode und den angewendeten Standards und Nachsorgemaßnahmen geschuldet sind.

Aus diesem Grund weist jeder Rohstoff und jedes Bergbauprojekt ganz spezifische Umweltbelastungen auf. Dennoch ist es für wirtschaftliche und politische Entscheidungsträgervielfach von hoher Bedeutung mit Hilfe eines richtungssicheren Bewertungssystems die ökologischen Risiken von einzelnen Rohstoffen und Bergbauprojekten einschätzen zu können.

Das Vorhaben will einen Beitrag dazu leisten, dass Umweltaspekte bei der Versorgung mit primären mineralischen Rohstoffen stärker als bisher berücksichtigt werden. Hierzu soll ein fundiertes und praktikables Bewertungssystem entwickelt werden, das eine richtungssichere und vergleichende Abschätzung des Umweltgefährdungspotenzials unterschiedlicher Abbau-, Aufbereitungs- und Veredelungsaktivitäten ermöglicht.

Das entwickelte Bewertungssystem soll anhand verschiedener Beispiele geprüft und weiterentwickelt werden. Zudem soll untersucht werden, in wie weit sich ein solches Bewertungssystem in übergeordnete Systeme zur Bewertung der Rohstoffkritikalität integrieren lässt. Die Projektergebnisse werden den Kenntnisstand zu den heutigen und zukünftigen ökologischen Risiken der Gewinnung und Aufbereitung von Rohstoffen verbessern. Das Projekt soll damit die nationale, europäische und internationale Ressourcenschutzpolitik in ihrem Ziel unterstützen, die Entnahme und Nutzung von Rohstoffen nachhaltiger zu gestalten sowie die damit verbundenen Umweltbelastungen so weit wie möglich zu reduzieren. Durch die enge Verzahnung der derzeit aktuell in UFOPLAN-Vorhaben durchgeführten Studien zum Thema Ressourcenschutz werden Synergien zwischen den Projekten genutzt und eine breite Plattform für gemeinsame Experten-Workshops geboten.

Inhalt

Abbildungsverzeichnis:	IV
Tabellenverzeichnis:	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einführung	1
1.1 Auftrag des Projektes.....	1
2 Definitionen	2
2.1 Bergbauliche Begriffe im Themenbereich Reststoffe	2
2.2 Definitionen von ungenutzten Entnahmen	6
3 Hintergrund von bergbaulichen Reststoffen	9
3.1 Ursachen für die Entstehung bergbaulicher Reststoffe bei der Rohstoffgewinnung	9
3.2 Massenströme	10
3.2.1 Anfall bergbaulicher Reststoffe als Funktion der Lagerstättenform und Art des Aufschlusses 11	
3.2.2 Anfall bergbaulicher Reststoffe als Funktion rohstoffspezifischer Lagerstättengehalte ..	13
3.2.3 Anfall bergbaulicher Reststoffe als Funktion standortspezifischer Lagerstättengehalte .	15
3.2.4 Umweltwirkungen in Folge der Mengenflüsse bergbaulicher Reststoffe	17
3.3 Stoffliche Eigenschaften bergbaulicher Reststoffe	17
3.3.1 Umweltwirkungen als Folge der stofflichen Eigenschaften der Bergbaulichen Reststoffe	19
4 Bewertungsmethodik	20
4.1 Bewertungsraster	22
4.2 Das Problem der Bewertung der Nebenprodukte	22
4.3 Das Problem der Koppelprodukte	23
4.4 Grenzen der Methodik.....	23
5 Bewertungsergebnisse	25
6 Fazit / Nächste Schritte	27
7 Literatur	28
8 Anhang	35

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Massenströme in Bergbau und Aufbereitung	10
Abbildung 2: Lockergesteinstagebau: Schema eines Braunkohletagebaus im Rheinischen Revier (Quelle: GLOKAL Change 2015)	11
Abbildung 3: Lockergesteinstagebau: Schema eines Förderbrückentagebaus (Quelle: DEBRIV Bundesverband Braunkohle 2015)	12
Abbildung 4: Tagebau und Tiefbau im Festgestein (Schwerspat): Schema (Quelle: Grube Brunndöbra (2015)	12
Abbildung 5: Untertagebergbau; Prinzipdarstellung der Hauptgrubenbaue des Bergbaubetriebs Drosen (Quelle: Bergbaubetrieb Drosen 2015)	12
Abbildung 6: Schema Stollenbergbau (Quelle: Ruhrzechenhaus 2015)	13
Abbildung 7: Untertagebergbau mit Auffahrung im Erz: historische Folge der Abbauverfahren im Gangerzbergbau (Quelle: Unbekannter Bergbau 2015)	13
Abbildung 8: Übersicht der Boxplots zu Daten der Lagerstättegehalte und daraus resultierende Klassen	16
Abbildung 9: Grafische Darstellung der Stoffmengenflüsse nach BGR für die anfallenden Reststoffe in den Prozessschritten Bergbauliche Gewinnung Aufbereitung und Verhüttung	18
Abbildung 10: Schematische Darstellung der Materialflüsse bei Gewinnung und Aufbereitung hinsichtlich ihrer Wertmineral bzw. Begleitmineralgehalte am Beispiel disseminierter Kupferlagerstätten (Quelle: eigene Darstellung)	18
Abbildung 11: Bergbauliche und Verhüttungsreststoffe und deren stoffliche Eigenschaften (Quelle: eigene Darstellung)	19
Abbildung 12: Reuterrad	22
Abbildung 13: Koppelprodukte nach Hagelücken	23
Abbildung 14: Vergleich der Umweltrelevanz bergbaulicher Reststoffe nach unterschiedlichen Kriterien für Gold, Buntmetalle, Kali, Steinkohle, Eisen und Aluminium/Bauxit (vgl. Anhänge 2-8)	25
Abbildung 15: semi-quantitativer Vergleich der Umweltrelevanz der bergbaulichen Reststoffe	26

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1: Bergmännische Begriffe der englischen Sprache mit Bezug zu Reststoffen und deren deutsche Synonyme	2
Tabelle 2: Bergmännische Begriffe in der deutschen Sprache mit Bezug zu Reststoffen, deren englische Übersetzung und Definition	3
Tabelle 3: Flüssige Reststoffe nach Lottermoser (2010: 9)	5
Tabelle 4: Definitionen für den Begriff „ungenutzte Entnahmen“	6
Tabelle 5: Ursachen für die Entstehung bergbaulicher Reststoffe bei bergbaulicher Gewinnung, Aufbereitung und Verhüttung	9
Tabelle 6: Aufschlussverfahren und der daraus resultierende Anfall an bergbaulichen Reststoffen (Abraum und Nebengesteinsberge)	11
Tabelle 7: Verteilung der durchschnittlichen Gehalte und statistische Reststoff-zu-: Wertstoff-Verhältnisse von Lagerstätten (eigene Zusammenstellung)	14
Tabelle 8: Nach Staal ermitteltes Ranking der spezifischen Umweltwirkung metallischer Rohstoffe	14
Tabelle 9: Auswertung der statistischen Daten zu Lagerstättegehalten und Klassierung	17
Tabelle 10: Einteilung in arme, durchschnittliche und reiche Lagerstätten	17
Tabelle 11: Rohstoffspezifische umweltrelevante Eigenschaften von bergbaulichen Reststoffen	20
Tabelle 12: Beispiel Bewertungsraster	22

Abkürzungsverzeichnis

AMD	Acid Mine Drainage
BAT	best available technology
BVT	beste verfügbare Technologie
BGR	Bundeanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
EC	Europäische Kommission
EU	Europäische Union
FAO	Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen
IMF	Internationaler Währungsfonds
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
SEEA	System of Integrated Environmental and Economic Accounting
UN	United Nations
USGS	United States Geological Survey
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfungen

1 Einführung

Bergbauliche Reststoffe sind bei der Entwicklung einer Umweltdimension für die Kritikalität mineralischer Rohstoffe von besonderer Bedeutung. In der umweltwissenschaftlichen und politischen Diskussion um Ressourcenschutz und Materialflussindikatoren werden die bergbaulichen Reststoffe in der Regel als „ungenutzte Entnahmen“ diskutiert. Diesen Begriff gibt es bei den Fachleuten des Bergbaus nicht. Die Begriffe „Bergbauliche Reststoffe“ und „ungenutzte Entnahmen“ sind allerdings nicht synonym zu verwenden und werden von Fachleuten des Bergbaus und Umweltexperten unterschiedlich definiert und genutzt. Bergbauliche Reststoffe wurden in der Diskussion um Ressourcenschutz in der Vergangenheit vielfach als reines Mengenproblem dargestellt – qualitative Aspekte wurden eher nachrangig betrachtet. Studien mit quantitativen und zugleich qualitativen Aussagen über die ungenutzten Entnahmen bzw. die bergbaulichen Reststoffen sind selten. Ausnahmen stellen die Sonderhefte Reihe H des Geologischen Jahrbuchs der BGR, Hefte 1-11, und das BVT-Merkblatt zum Management von Bergbauabfällen der EU Kommission dar. (s. Literatur).

Um die Diskussion um Materialflussindikatoren aus bergbau-fachlicher Sicht zu ergänzen und zu einem gemeinsamen Verständnis von ungenutzten Entnahmen und bergbaulichen Reststoffen sowie deren Umweltrelevanz beizutragen, ist es Bestandteil des Auftrages des ÖkoRess-Projektes, eine systematische Bewertung der Umweltrelevanz von ungenutzten Entnahmen vorzunehmen und in einem Fachgespräch mit Experten zu diskutieren.

1.1 Auftrag des Projektes

Dieser Auftrag ist im Vertrag zwischen dem UBA und dem Konsortium Öko-Institut / IFEU / Projekt-Consult GmbH folgendermaßen formuliert:

„Durch die Förderung von Rohstoffen und deren Umwandlung im Wirtschaftsprozess entstehen große Mengen an Abraum, Bergematerial und Bodenaushub, so genannte ungenutzte Entnahmen. Diese verursachen relevante Umweltbeeinträchtigungen, z.B. indem geologische Formationen und natürliche Habitate beeinträchtigt, Flächen langfristig und zum Teil irreversibel verändert sowie der Wasserhaushalt beeinflusst werden. Jedoch ist das Ausmaß dieser Einflüsse stark abhängig vom örtlichen Naturhaushalt, der Beschaffenheit des entnommenen Materials, der Eingriffsintensität, der Art der Nachsorge, beispielsweise der Sanierung/Rekultivierung von Bergbaufolgelandschaften und der Sicherung und Abtragung von Abraumhalden. In einem Fachgespräch soll ein Konzept erarbeitet werden, wie die **ungenutzten Entnahmen** frühzeitig **anhand ihres Umweltbelastungspotenzials charakterisiert und differenziert** werden können. Die Ergebnisse sollen in die Fortentwicklung der nationalen Rohstoffindikatoren im Zuge von ProgRess einfließen, wo bereits eine weitere Validierung der ungenutzten Entnahmen vorgesehen ist.“

Hierbei sind die Systemgrenzen dergestalt definiert worden, dass nur feste mineralische und fossile Rohstoffe betrachtet werden, nicht jedoch Öl und Gas.

2 Definitionen

Wie bereits eingangs erwähnt, werden bergbauliche Reststoffe und ungenutzte Entnahmen unterschiedlich definiert.

2.1 Bergbauliche Begriffe im Themenbereich Reststoffe

Die folgende Tabelle stellt die wesentlichen Begriffe zur Charakterisierung verschiedener Reststoffe aus Bergbau und Aufbereitung aus dem englischen Sprachraum den jeweiligen deutschen Pendanten gegenüber, wobei ersichtlich ist, dass zum Teil keine trennscharfe Abgrenzung der Begriffe existiert. Die Übersetzungen und Synonyme wurden dem mehrsprachigen Wörterbuch „World Mining Glossary of Mining, Processing, and Geological Terms“ entnommen (Wyllie et al. 1975). Die Begrifflichkeiten unterscheiden sich auch in den jeweiligen Sprachräumen, z.B. im englischen und im deutschen Sprachraum.

Tabelle 1: Bergmännische Begriffe der englischen Sprache mit Bezug zu Reststoffen und deren deutsche Synonyme

Englisch	Deutsche Übersetzung nach: Wyllie et. al. (1975)
Backfill	<i>Versatz, Verfüllen</i>
Gangue	<i>Gangart, Ganggestein, taubes Gestein, Berge</i>
Heap	<i>Haufwerk, Halde</i>
Overburden	<i>Abraum, Deckgebirge, Überlagerung, Abraumgebirge, Deckschichten</i>
Slag	<i>Schlacke</i>
Sludge	<i>Schlamm, Schlick, Bohrschlamm</i>
Slurry	<i>Schlamm</i>
slurry pond	<i>Schlammsumpf, Schlammweiher</i>
Soil	<i>Boden, Erdboden, Erde, Erdart, Grund</i>
soil-cap	<i>Überlagerung, Abraum, Abraumgebirge</i>
solid rock	<i>Festes Gestein, anstehendes Gestein</i>
run-off-mine	<i>Rohfördergut, Rohfördererz, Grubenerz, Roherz</i>
Tailings	<i>Abgänge, Berge, (Aufbereitungs-)Rückstände</i>
tailing area	<i>Bergelagerplatz</i>
tailing dam	<i>Bergehalde, Bergekippe</i>
tailing disposal	<i>Bergebeseitigung</i>
tailing pond	<i>Schlammteich, Bergeteich</i>
waste	<i>Abfall, Abgang, Abraum, Abbrand, Berge, Versatz, Schutt, Aufschüttung, alter Mann, alte Züge, vergeuden, verlöp</i>
waste filling	<i>Versatzberge, tauber Versatz</i>
waste gas	<i>Abgas, Gichtgas</i>
waste heap	<i>Halde</i>
waste rock	<i>Berge, taubes Gestein</i>
waste water	<i>Abwasser, Restwasser, Schmutzwasser, Überfall</i>

Die nachfolgende Tabelle geht von den deutschen Fachbegriffen aus Bergbau und Geowissenschaften aus, stellt diesen die nach Wyllie et. al. (1975) oder dem BVT-Merkblatt (2004) gebräuchlichen englischen Übersetzungen und Synonyme gegenüber und nennt die im Bergbau gängigen Definitionen gemäß des kleinen Bergbaulexikons oder des BVT-Merkblatts.

Es wurde bereits eine neuere Auflage des BVT-Merkblatts in englischer Sprache publiziert (2009). Allerdings wird aufgrund der Sprache bewusst auf die deutsche Fassung von 2004 zurückgegriffen.

Tabelle 2: Bergmännische Begriffe in der deutschen Sprache mit Bezug zu Reststoffen, deren englische Übersetzung und Definition

Deutsch	Englisch (BVT Merkblatt)	Englisch (andere Quelle)	Definition	Quelle
Abgänge, Aufbereitungsabgänge		Cuttings, refuse, rejects, tailing	In der Aufbereitung aus der Rohfördermenge durch Sortieren ausgehaltene Berge.	Bischoff et. al. (1981)
Abgas, Gichtgas		waste gas		Wyllie et. al. (1975)
Abraum, Deckgebirge	overburden		Schicht natürlich gewachsenen Bodens oder massiven Gesteins auf einem Bodenschatz. Beim Abbau im Tagebau muss der Abraum vor der Gewinnung des Bodenschatzes abgetragen werden.	BVT Merkblatt
Abraum, Taubes Gestein, Abgang	waste-rock, discard, dirt, spoil		Jene Teile der Lagerstätte ohne oder nur mit geringen Mengen an Erz, die nicht gewinnbringend bergbaulich genutzt oder verarbeitet werden können.	BVT Merkblatt
Abraumhalde, Kippe	tailings heap, spoil heap		Technische Anlage zur Lagerung von Aufbereitungsrückständen oder Bergematerial auf der Landoberfläche. Trockene Entsorgung von Aufbereitungsrückständen auf der Landoberfläche.	BVT Merkblatt
Absetzbecken	tailings pond, lagoon		Technische Anlage für das Management von Aufbereitungsrückständen aus der Erzaufbereitung sowie für das Reinigen und Recyceln von Prozesswasser, die in den meisten Fällen durch einen Damm geformt werden. Absetzbecken enthalten hauptsächlich Aufbereitungsrückstände mit unterschiedlichen Anteilen an Klarwasser.	BVT Merkblatt
Abwasser, Restwasser, Schmutzwasser		waste water		Wyllie et. al. (1975)
Aufbereitungsrückstände	tailings		Erz, aus dem so viel wie möglich des gewünschten Minerals gewonnen wurde. Aufbereitungsrückstände bestehen hauptsächlich aus taubem Gestein und können Prozesswasser, Aufbereitungschemikalien sowie Anteile nicht gewonnener Minerale enthalten	BVT Merkblatt
Bauwürdig		payable, workable	[Bauwürdigkeit] ist gegeben, wenn die geologischen, bergtechnischen und bergwirtschaftlichen Voraussetzungen den Abbau eines Minerals ermöglichen.	Bischoff et. al. (1981)

Deutsch	Englisch (BVT Merkblatt)	Englisch (andere Quelle)	Definition	Quelle
Berge		Debris, dirt, gangue, mine waste, refuse, rejects, rubbish, shale, tailing, waste, waste rock	Bergmännischer Ausdruck für das beim Herstellen von Strecken oder bei der Gewinnung anfallende Gestein bzw. für die in der Aufbereitung anfallenden nicht verwertbaren Anteile der Rohfördermenge (Abgänge, Aufbereitungsrückstände).	Bischoff et. al. (1981)
Bergebeseitigung		tailing disposal		Wyllie et. al. (1975)
Bergelagerplatz		tailing area		Wyllie et. al. (1975)
Boden, Erdboden, Erde, Erdart, Grund		soil		Wyllie et. al. (1975)
Damm, Absetzbecken	tailing dam, lagoon bank		Technisches Bauwerk zur Rückhaltung und zum Absetzen von Aufbereitungsrückständen und Prozesswasser. Die festen Bestandteile der Aufbereitungsrückstände setzen sich im Absetzbecken ab. Das Prozesswasser wird üblicherweise wieder verwendet.	BVT Merkblatt
Gangart	gangue		Die Bestandteile des Erzes, die wirtschaftlich unerwünscht sind, beim Abbau aber nicht vermieden werden können.	BVT Merkblatt
Halde	tip	Barrow, dump, heap, tip, waste dump, waste heap	Aufschüttung von nicht verkehrsfähigen Produkten (Berge, Abraum, Rückstände), die zum Beispiel bei Streckenvortrieb, beim Freilegen der Lagerstätte oder bei der Aufbereitung anfallen. Bei Absatzmangel auch Aufhaldung von Kohle, Koks, Erz und anderen mineralischen Rohstoffen.	Bischoff et. al. (1981)
Rohfördergut, Rohfördererz	run off mine		Aus der Grube geförderter, unaufbereiteter Rohstoff (Erz).	BVT Merkblatt
Schlacke		slag		Wyllie et. al. (1975)
Schlamm	slurry	sludge	Eine Suspension aus Flüssigkeit und Feststoffen.	BVT Merkblatt
Schlammsumpf, Schlammweiher		slurry pond		Wyllie et. al. (1975)
soil-cap		Überlagerung, Abraum, Abraumgebirge		Wyllie et. al. (1975)

Deutsch	Englisch (BVT Merkblatt)	Englisch (andere Quelle)	Definition	Quelle
solid rock		Festes Gestein, anstehendes Gestein		Wyllie et. al. (1975)
Versatz, Versatzmaterial	backfill		Rückfüllung von Material in den Hohlraum/die Hohlräume einer abgebauten Erzlagerstätte. Als Versatzmaterial können taubes Gestein oder Aufbereitungsrückstände aus der Erzaufbereitungsanlage verwendet werden. In den meisten Fällen wird der Versatz zur Verfüllung abgebauter Bereiche benutzt, um die Bodenstabilität zu sichern, Bodensenkungen und -setzungen zu verhindern bzw. zu verringern, das Hangende abzustützen, damit weitere Bereiche der Erzlagerstätte bei gleichzeitiger Gewährleistung der Sicherheit abgebaut werden können, eine Alternative zur Aufhaltung über Tage zu schaffen und die Bewetterung zu verbessern.	BVT Merkblatt
Versatzberge, tauber Versatz		waste filling		Wyllie et. al. (1975)

Tabelle 3: Flüssige Reststoffe nach Lottermoser (2010: 9)

Begriff (englisch)	Begriff (deutsch)	Definition
Mine water	Grubenwässer	Oberflächen- oder Grundwasser an einem Minenstandort
Mining water	Bergbaulich verunreinigte Grubenwässer	Wasser, welches mit der Minenproduktion in Berührung kommt
Mill water	Prozesswasser aus der Zerkleinerung	Wasser welches zum Zerkleinern und Zermahlen des Erzes verwendet wird
Process water	Prozesswasser	Wasser welches zur hydrometallurgischen Behandlung des Erzes verwendet wurde; enthält in der Regel Prozesschemikalien und Reagenzien
Leachate	Sickerwasser	Minenwasser, welches durch feste bergbauliche Reststoffe durchsickert
Effluent	Abwasser	Minenwasser, Minenproduktionswasser, Prozesswasser oder Mühlenwasser, welches in Oberflächengewässer abgeleitet wird
Mine drainage water	Bergbauliches Sickerwasser	Oberflächen- oder Grundwasser, welches potentiell oder tatsächlich außerhalb des Minenstandorts abfließt
Acid mine drainage (AMD) water	Bergbauliches Sauerwasser	Saures Oberflächen- oder Grundwasser, entstanden durch Oxydation sulfidischer Minerale, welches potentiell oder tatsächlich außerhalb des Minenstandorts abfließt

Der Begriff „Berge“ ist sowohl für Reststoffe aus der bergmännischen Gewinnung, als auch aus der Aufbereitung in Anwendung und nicht trennscharf. Dies ist eine Ursache für unklare Definitionen und Begriffsverwendungen im Zusammenhang mit „ungenutzten Entnahmen“.

2.2 Definitionen von ungenutzten Entnahmen

„Ungenutzte Entnahmen“ werden in der volkswirtschaftlichen Materialflussrechnung und in der politischen Diskussion um Indikatoren für die Nutzung bzw. den Verbrauch natürlicher Ressourcen breit diskutiert; dies vor allem bei Institutionen und Akteuren aus dem Umweltbereich. Die folgende Tabelle listet für Schlüsselinstitutionen und -akteure aus dem Umweltbereich deren Definitionen für ungenutzte Entnahmen auf.

Tabelle 4: Definitionen für den Begriff „ungenutzte Entnahmen“

Institution	Quelle	Definition
UN, EC, FAO, IMF, OECD, World Bank	(SEEA 2014)	(S.46): “There are three types of natural resource residuals: (a) Losses during extraction, which cover resources that the extractor would prefer to retain (e.g., losses of gas through flaring and venting); (b) Unused extraction, which covers resources in which the extractor has no ongoing interest (e.g., mining overburden, mine dewatering and discarded catch); (c) Reinjections. These flows cover natural resources that are extracted but are immediately returned to the deposit and may be re-extracted at a later time (e.g., water reinjected into an aquifer and natural gas reinjected into a reservoir).”
UBA (Hrsg.) von StBA UGR	(UBA 2014) nach (SEEA 2014)	(S.17): „Nicht zur genutzten Entnahme zählen diejenigen Massen, die während des Entnahmeprozesses aus unterschiedlichen Gründen wieder in die Umwelt eingehen. Das Central Framework des System of Environmental-Economic Accounting (SEEA-CF) bezeichnet diese als Resource Residuals und unterscheidet hier drei unterschiedliche Fallkonstellationen: 1. Förderungsverluste, die zwar potentiell entnommen und weiterverwendet werden sollen, aber auf Grund technischer oder wirtschaftlicher Restriktionen im Wesen unverändert wieder in die Umwelt gelangen; 2. ungenutzte Entnahmen, an denen der Förderer kein wirtschaftliches Interesse hat und sie daher wieder an die Umwelt abgibt; 3. Wiedereinbringungen, die zum Zwecke einer späteren Entnahme nach Entnahme im Wesen unverändert wieder in die Umwelt abgegeben werden.
UBA (Hrsg.) von Monika Dittich, SERI	(UBA 2013)	(S.6): „genutzte Materialentnahmen fließen dabei in die Produktionsprozesse der Volkswirtschaft ein, ungenutzte Materialentnahmen (wie bspw. Abraum) hingegen nicht.“ (S.7): „Für den Bereich der ungenutzten Entnahme wurde eine Vielzahl von Literaturstudien ausgewertet (siehe SERI, 2011b für Details). Diese Studien beziehen sich einerseits auf den beim Abbau von Metallen und Mineralien auftretenden Abraum, andererseits auf die bei der Ernte von land- und forstwirtschaftlichen Produkten auftretenden Ernterückstände wie auch die ungenutzte Entnahme von Meeresfischen (Beifang).“ (S.49): „Bei fast allen Entnahmen von Rohstoffen fallen sogenannte ungenutzte Materialien an, etwa Abraum im Bergbau oder Ernterückstände in der Landwirtschaft.“

Institution	Quelle	Definition
Beschluss des Bundeskabinetts vom 29.02.2012	(ProgRess 2012)	(S.34): „Durch die Förderung von Rohstoffen und deren Umwandlung im Wirtschaftsprozess entstehen große Mengen an Abraum, Bergematerial und Bodenaushub. Diese werden als „ungenutzte Entnahmen“ bezeichnet, da sie nicht direkt in Produktionsprozesse Eingang finden.“
UBA	(Kosmol et al. 2012)	Definition für „nicht verwertete“ Entnahme: „bei nicht verwerteter Entnahme verbleiben die verlagerten Stoffe oder Stoffgemische in der Natur, z.B. als deponierter Abraum der Kohlegewinnung oder Folge der Erosion.“
BMLFUW (Lebensministerium Österreich)	(BMLFUW 2011)	(S.25): „ungenutzte Entnahme (unused extraction) werden alle Materialien gezählt, die unter dem Einsatz von Technologie entnommen oder in der Natur bewegt werden, ohne die Absicht, diese Flüsse im gesellschaftlichen System zu verwenden oder ihnen einen ökonomischen Wert zuzuordnen. Dazu zählen zum Beispiel Bodenaushub bei der Errichtung von Infrastruktur, nicht verwerteter Abraum beim Bergbau, Ernterückstände in der Landwirtschaft, Beifang beim Fischfang etc. (Eurostat 2001; Bringezu, Bleischwitz 2009; Aachener Stiftung Kathy Beys 2011)“
EUROSTAT	(Eurostat 2001)	(S.20): „Unused flows are materials that are extracted from the environment without the intention of using them, i.e. materials moved at the system boundary of economy-wide MFA on purpose and by means of technology but not for use. Examples are soil and rock excavated during construction or overburden from mining.“
EUROSTAT	(Eurostat 2013)	(S.33/34): „Table 10 gives an overview over the terminology used in EW-MFA with regard to the different flows involved in the extraction of metals.“
Table 10: Different system boundaries in metal mining		
Description of the material	Common terminology	EW-MFA terminology
Materials removed to get access to reserve, i.e. metal containing ores	Overburden, interburden	<i>Unused extraction</i>
The metal containing material	Run of mine, gross ore, crude ore	<i>Used extraction</i>
Concentrated ore	Ore concentrate	
The pure metal	Net ore or metal content	Metal component of used extraction not specifically considered in the EW-MFA indicators, but reported in EW-MFA questionnaire as memorandum item
OECD	(OECD 2008)	(S.158): „Unused (material) flows or Unused extraction: In material flow accounting, unused (material) flows refer to flows of materials that originate from the environment, but do not physically enter the economic system as input for further processing or consumption and return to the environment as residuals immediately after removal/displacement from their natural site. They are not incorporated in products at any stage and are usually without economic value. Unused (material) flows mainly consist of unused extraction, i.e. materials that (i) are extracted, moved or disturbed by economic activities on purpose and by means of technology, (ii) are not fit or not intended for use in further processing, and (iii) remain unused in

Institution	Quelle	Definition
		the environment. This is the case when material must be extracted from the natural environment, along with the desired material, to obtain the desired material, or when material is moved or disturbed to obtain the natural resource, or to create and maintain an infrastructure, Examples of unused extraction are soil and rock excavated during construction and not used elsewhere, dredged sediments from harbours, overburden from mining and quarrying and unused biomass from harvest. Source: OECD, 2007 (based on Eurostat, 2001)."
UBA (Hrsg.) von Wuppertal Institut	(UBA 2008)	(S.79): „Ungenutzte oder nicht verwertete M. bzw. S. verbleiben dagegen nach der Entnahme in der Natur, z.B. als deponierter Abraum der Kohlegewinnung.“ (Quelle: Wuppertal Institut) (S.81): „Der MI [Materialinput] umfasst grundsätzlich sowohl genutzte als auch ungenutzte Materialien. MI wird in Gewichtseinheiten (Tonne oder Kilogramm) bemessen. (Quelle: Ritthoff et al. 2002 und Schmidt-Bleek 1998)“ (S.127): „Verborgene Materialflüsse: Auch im Deutschen ist der Begriff „hidden flows“ geläufig. Ursprünglich waren damit die ungenutzten Materialflüsse gemeint (Adriaanse et al. 1997). Tatsächlich wurde der Begriff in der Studie „Resource Flows: The material basis of industrial economies“ aber im Sinne der Begriffe „Nicht genutzte Materialentnahme“ sowie „Indirekte Materialflüsse“ angewandt. Es wird an dieser Stelle empfohlen statt des Begriffs „hidden flows“ die präziseren und eindeutigeren Begriffe „Nicht genutzte Materialentnahme“ und „Indirekte Materialflüsse“ zu verwenden. (Quelle: Wuppertal Institut)“

Die Arbeiten des Wuppertal Institutes waren hierbei häufig grundlegend oder beeinflussend für die Definitionen der anderen hier genannten Akteure.

Die BGR spricht in ihren wichtigen Arbeiten zu Stoffströmen (Sonderhefte Reihe H des Geologischen Jahrbuchs der BGR, Hefte 1-11) nicht von ungenutzten Entnahmen, sondern unterteilt in genutzte Reststoffe und ungenutzte Reststoffe.

3 Hintergrund von bergbaulichen Reststoffen

Bergbauliche Reststoffe entstehen in allen Etappen des Bergbaus (Exploration, Gewinnung und Schließung, bzw. Nachsorge, ebenso wie in den wichtigen Prozessschritten (Abbau, Aufbereitung und Verhüttung). Die jeweils entstehenden Reststoffe sind hinsichtlich ihrer Mengen und Eigenschaften sehr unterschiedlich. Bergbauliche Reststoffe wirken sich beim Großteil aller Bergbauprojekte stärker als alle anderen Komponenten der Operationen auf die Umwelt aus (Spitz und Trudinger 2009: 776).

3.1 Ursachen für die Entstehung bergbaulicher Reststoffe bei der Rohstoffgewinnung

Die folgende Tabelle verdeutlicht die Ursachen für die Entstehung von bergbaulichen Reststoffen in den drei Verfahrensschritten bergbauliche Gewinnung, Aufbereitung und Verhüttung.

Tabelle 5: Ursachen für die Entstehung bergbaulicher Reststoffe bei bergbaulicher Gewinnung, Aufbereitung und Verhüttung

Prozessschritte der Rohstoffgewinnung	Ursache	Bandbreite des Reststoffanteils	Bemerkungen
Bergbau	Schaffung des Aufschlusses der Lagerstätte: Abräumen des sterilen Deckgebirges, Auffahrung eines Grubengebäudes im (tauben) Nebengestein;	Abraum : Erzverhältnis zwischen etwa $0,5:1$ bis zu $10:1$	
	Verdünnung des Fördererzes durch taubes Nebengestein im Bergbaubetrieb (ggfs. notwendig zur Erreichung technischer Anforderungen an die Mindestgröße des Abbauhohlräumens)	Im Regelfall bis zu 10%; bei technisch bedingten Fällen teilweise deutlich darüber	
	Aussonderung des Erzes, dessen Gehalt unterhalb der Bauwürdigkeitsgrenze (cut-off) liegt;		Material wird i.d.R. gesondert aufgehaldet, um eine spätere Gewinnung, z.B. nach technologischen Neuerungen zu erlauben.
Aufbereitung	Abscheidung des nicht-werthaltigen Materials durch die Verfahren der Aufbereitung;	Von etwa $0,5 : 1$ bis zu etwa $10.000.000 : 1$	Abhängig vom Rohstoffgehalt im Roherz; hierzu Angaben in der gesonderten Tabelle über Rohstoffgehalte verschiedener Gruben und Lagerstätten
	Verluste während der Aufbereitung durch inkomplettes Ausbringen;	Reststoffanteile von nahe 0% bis etwa 50%	Besonders bei fein verwachsenen Rohstoffen hohe Verluste; ebenso im Kleinbergbau (mangelndes Fachwissen bzw. Investitionen)

Prozess-schritte der Rohstoff-ge-winnung	Ursache	Bandbreite des Reststoffanteils	Bemerkungen
	Verluste von Wertstoff wäh- rend des Transportes	Im niedrigen %- Bereich	z.B. durch Windabtrag von nicht abgedeckten Kohlenwagen
Verhüttung	Verluste während der Verhüt- tung durch inkomplettes Aus- bringen;		
	Abscheidung des Nicht-haltigen		Schlacken, Stäube, Gase etc.
	Abscheidung von Neben- und Koppelprodukten (Produkte siehe Abb. 11 und 12)		Klärung der Zuordnung ökologischer (und sozia- ler) Rucksäcke für die Umweltkritikalität notwen- dig

3.2 Massenströme

Die Verteilung der Massenströme der unterschiedlichen Reststoffe, Produkte und Nebenprodukte unterscheiden sich je nach Rohstoff und Lagerstätte aufgrund der Konzentrationen des Rohstoffs in der Lagerstätte (Rohstoffgehalte) und der erreichbaren Ausbringung des Wertstoffs aus dem Rohfördererz in der Aufbereitung. Abbildung 1 verdeutlicht schematisch die Massenströme im Erzbergbau

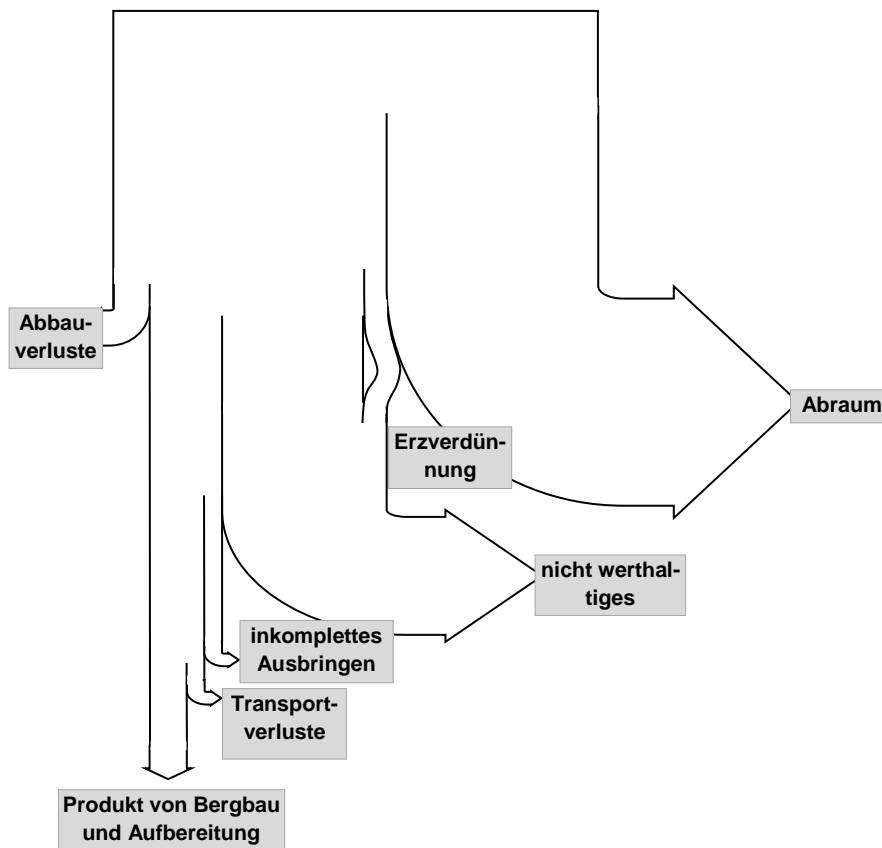


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Massenströme in Bergbau und Aufbereitung

3.2.1 Anfall bergbaulicher Reststoffe als Funktion der Lagerstättenform und Art des Aufschlusses

Die Geometrie der Lagerstätte hat einen wesentlichen Einfluss auf die Quantität der anfallenden Reststoffe bei Aufschluss und Gewinnung. So ist im Tagebau das Verhältnis aus Abraum und Erz maßgeblich, d.h. je geringmächtiger das Lager und je mächtiger die Überdeckung, desto höher der spezifische Anfall an Reststoffen. Im Untertagebergbau sind die Form der Lagerstätte (Massiverz oder Gangerz) und deren Dimensionen ausschlaggebend für den Aufwand zum Aufschluss. Geringmächtige Gangerzlagerstätten erfordern zudem die Hereingewinnung von Nebengestein, um Mindestdimensionen für Strecken zu erreichen. Wenn die Förderung dann selektiv erfolgt (Erz und Nebengestein getrennt), dann gehen die entsprechenden Nebengesteinsmengen nicht durch die Aufbereitung und fallen als Reststoffe der bergbaulichen Gewinnung an.

Daneben ist die Art des Aufschlusses und damit das Abbauverfahren verantwortlich für die Mengenrelation von Abraum bzw. Nebengesteinsförderung zu gefördertem Wertstoff. Tabelle 6: Aufschlussverfahren und der daraus resultierende Anfall an bergbaulichen Reststoffen (Abraum und Nebengesteinsberge) listet die Abbauverfahren nach Anfall an bergbaulichen Reststoffen auf (Ripley et al.1996: 14ff).

Tabelle 6: Aufschlussverfahren und der daraus resultierende Anfall an bergbaulichen Reststoffen (Abraum und Nebengesteinsberge)

Aufschlussverfahren

Steigender Anteil an Reststoffen aus der Lagerstätten-erschließung und dem Abbau

- Lockergesteinstagebau (Abbildung 3)
- Festgesteinstagebau auf Ganglagerstätten (Abbildung 4)
- Tagebau im Festgestein auf Massivvererzungen
- Tiefbau mit Auffahrung im Nebengestein (Abbildung 5 und Abbildung 6)
- Steinbrüche auf Bausteine
- Tiefbau mit Auffahrung in der Lagerstätte (Abbildung 7)

Die o.g. Aufschlussverfahren und Abbaumethoden werden nachstehend durch Prinzipskizzen veranschaulicht

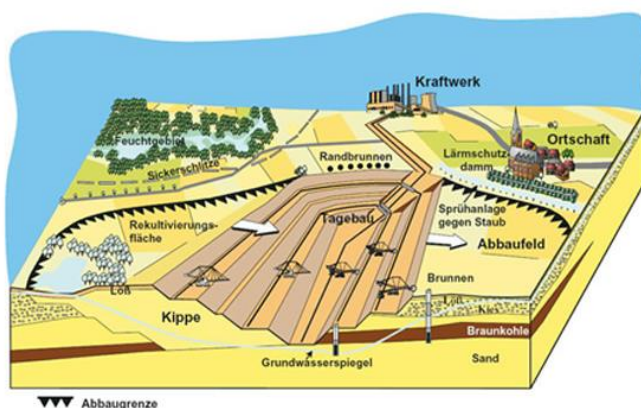


Abbildung 2: Lockergesteinstagebau: Schema eines Braunkohletagebaus im Rheinischen Revier (Quelle: GLOKAL Change 2015)

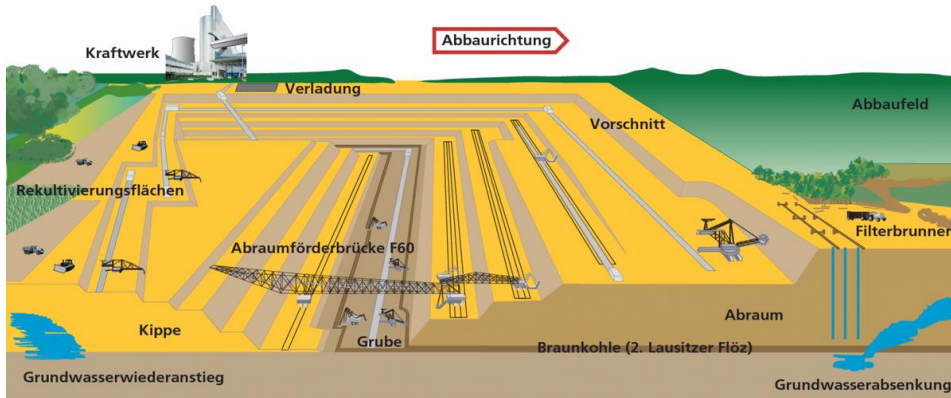


Abbildung 3: Lockergesteinstagebau: Schema eines Förderbrückentagebaus (Quelle: DEBRIV Bundesverband Braunkohle 2015)

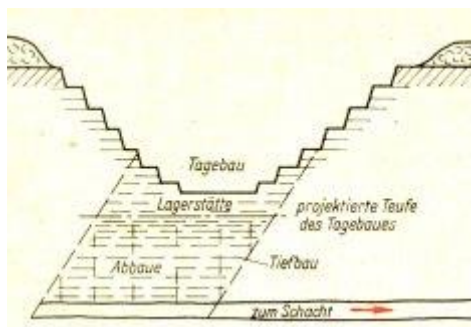


Abbildung 4: Tagebau und Tiefbau im Festgestein (Schwerspat): Schema (Quelle: Grube Brunndöbra (2015)

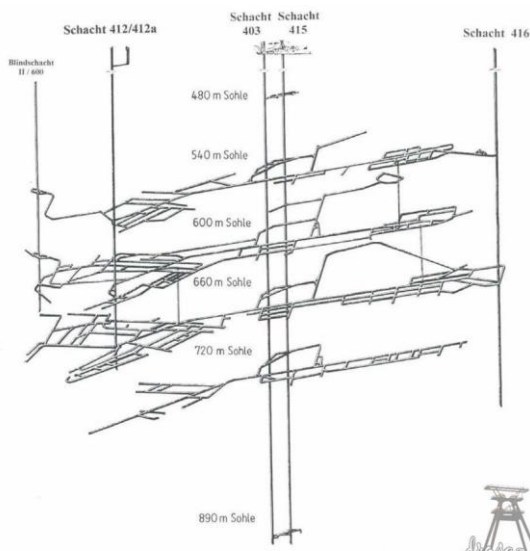


Abbildung 5: Untertagebergbau; Prinzipdarstellung der Hauptgrubenbaue des Bergbaubetriebs Drosen (Quelle: Bergbaubetrieb Drosen 2015)

Bergbau im Ruhrtal

Übergang Stollen/Tiefbau

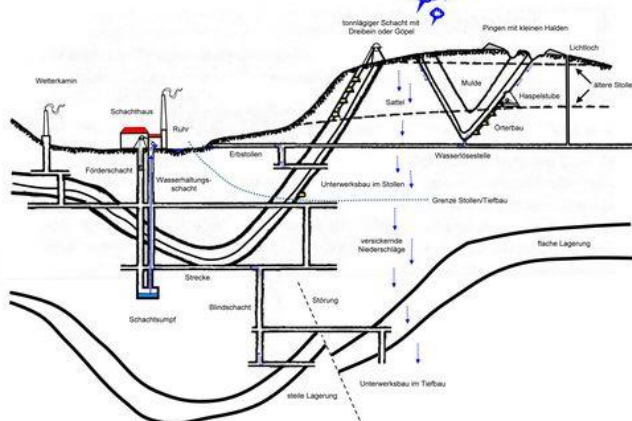


Abbildung 6: Schema Stollenbergbau (Quelle: Ruhrzechenhaus 2015)

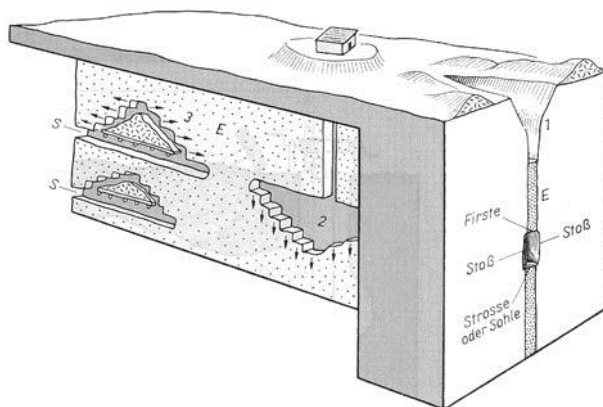


Abbildung 18. Die historische Folge der Abbaufverfahren im Gangerzbergbau des Erzgebirges
 1 Tagebau in den oberen Bereichen des Erzganges E (darunter Querschnitt einer Strecke mit den Bezeichnungen ihrer Begrenzung), 2 Strossenbau unter einem Handhaspelschacht, 3 zwei Firstenbaue untereinander, angelegt von Strecken, die von dem weiter entfernten Schacht S ausgehen
 Ein originales Beispiel, siehe Abb. 84

Abbildung 7: Untertagebergbau mit Aufzählung im Erz: historische Folge der Abbaufverfahren im Gangerzbergbau (Quelle: Unbekannter Bergbau 2015)

3.2.2 Anfall bergbaulicher Reststoffe als Funktion rohstoffspezifischer Lagerstättegehalte

Die geförderten Rohstoffe kommen in der Natur in Form geogener Anreicherungen vor. Wenn diese Vorkommen bauwürdige Konzentrationen erreichen, werden sie als Lagerstätten bezeichnet. Entsprechend der statistischen Verteilung der chemischen Elemente in der Erdkruste (Clarke-Werte) und der Anreicherungsdynamik bei der Lagerstättenentstehung, gibt es für jeden Rohstoff eine statistische Bandbreite von Rohstoffgehalten im Fördererz bzw. in einer Lagerstätte. Diese Gehalte unterscheiden sich zum Teil sehr maßgeblich und sind verantwortlich für einen großen Anteil an bergbaulichen Reststoffen. Dies betrifft die Mengen, die in der Aufbereitung anfallen:

Bauwürdiges Eisenerz weist üblicherweise einen Hämatitanteil von deutlich über 50 % auf (das Erzmineral, das bei der Aufbereitung aufkonzentriert wird und als Vorstoff für die Verhüttung vermarktet wird). Eine Diamantlagerstätte hat einen Diamantgehalt von etwa 1 Karat pro Tonne, d.h. 0,2 Gramm pro Tonne, oder einen Anteil von 0,00002 %. Für die bergbaulichen Reststoffe bedeutet dies, dass im Fall des Eisens massenmäßig etwa 1:1 Wertstoff zu bergbaulichen Reststoffen

entsteht, während dieses Verhältnis für Diamanten 1:5.000.000 beträgt. Die folgende Tabelle gibt die durchschnittlichen Wertstoffgehalte von Lagerstätten an.

Tabelle 7: Verteilung der durchschnittlichen Gehalte und statistische Reststoff-zu- Wertstoff-Verhältnisse von Lagerstätten (eigene Zusammenstellung)

Gehaltskorridor; Statistisches Reststoff : Wertstoff-Verhältnis	Rohstoffe	Gehaltskorridor; Statistisches Reststoff : Wertstoff-Verhältnis	Rohstoffe
50-100 % 1-2:1	<ul style="list-style-type: none"> • Baryt • Bausteine • Kiese • Sande • Steinsalz • Tone 	0,1-1% 100-1.000:1	<ul style="list-style-type: none"> • Beryllium • Kobalt • Kupfer • Molybdän • Niob/Tantal • Seltene Erden • Uran • Wolfram • Zinn • Zirkon
10-50% 2-10:1	<ul style="list-style-type: none"> • Antimon • Bauxit • Chrom • Eisen • Fluorapatit • Graphit • Kalisalz • Mangan • Phosphat 	0,01-0,1% 1.000-10.000:1	<ul style="list-style-type: none"> • Kobalt • Quecksilber • Silber
1-10% 10-100:1	<ul style="list-style-type: none"> • Blei • Kupfer • Lithium • Nickel • Titan • Zink 	0,001-0,01% 10.000-100.000:1	
		1-10 ppm 100.000-1.000.000:1	<ul style="list-style-type: none"> • Gold
		0,1-1 ppm 1.000.000-10.000.000:1	<ul style="list-style-type: none"> • Diamanten • PGM

Die Bedeutung der Lagerstättengehalte für die mengenspezifischen ökologischen Auswirkungen wird durch die Untersuchungen von Staal (2009)¹ für einige wichtige Metalle tendenziell bestätigt. Bei den Metallen mit der höchsten mengenspezifischen Umweltwirkung tauchen die auf, deren Lagerstättengehalte besonders niedrig sind².

Tabelle 8: Nach Staal ermitteltes Ranking der spezifischen Umweltwirkung metallischer Rohstoffe

	Umweltwirkung pro kg des Metalls	Umweltwirkung durch die globale Produktion
1	Palladium	Eisen
2	Rhodium	Chrom
3	Platin	Aluminium
4	Gold	Nickel
5	Quecksilber	Kupfer
6	Uran	Palladium
7	Silber	Gold

¹ Staal, Y. 2009. Prioritisation of metals regarding their environmental impact. Master Thesis, Leiden University, Leiden, The Netherlands. Zitiert aus UNEP (2010)

² Die Untersuchungen beruhen auf Bewertungsansätzen und Methoden der Ökobilanzierung. Ein absolutes Ranking hängt davon ab, welche Grundlagendaten gewählt wurden, welche Umweltwirkungen berücksichtigt wurden, wie diese methodisch analysiert wurden und schließlich wie sie zu einer einzigen Wirkungszahl zusammengefasst worden sind. Während die Auswertung von der Tendenz her plausibel ist, erscheint die Bewertung einzelner Metalle und Wirkungen fraglich (z.B. ökotoxische Wirkung bei der Herstellung von 1 kg Cadmium niedriger als von 1 kg Stahl). So bezeichnet UNEP (2010) die zitierte Studie als „very preliminary comparative study“.

8	Indium	Zink
9	Gallium	Uran
10	Nickel	Silicium

3.2.3 Anfall bergbaulicher Reststoffe als Funktion standortspezifischer Lagerstättegehalte

Der Anfall bergbaulicher Reststoffe steht im Verhältnis zum standortspezifischen Lagerstättegehalt, das heißt dem Anreicherungsgrad der Lagerstätte als einem Qualitätsmerkmal bzw. als Teilaspekt der Lagerstättenbonität.

Eine statistische Auswertung von Rohstoffgehalten in Lagerstätten bzw. in den Fördererzen laufender Grubenbetriebe, ist aktuell nicht verfügbar. Das ÖkoRess-Team hat aus den Jahresberichten von Bergbauunternehmen, wissenschaftlichen Studien über einzelne Rohstoffe, lagerstättenkundlichen Länderstudien und den Arbeiten des US Amerikanischen Geologischen Dienstes (USGS), sowie von Don Singer und seinem Team an der Universität Queensland eine statistische Zusammenstellung erstellt, die eine Grundlage für eine Klassifizierung der Rohstoffe in relative Konzentrationsklassen (entsprechend der Bonität der Lagerstätte) ermöglichen soll. Diese Klassierung soll eine Abschätzung der Massenstromverhältnisse und des Anfalls an bergbaulichen Reststoffen erlauben. Hierbei sind jedoch folgende einschränkende Bemerkungen notwendig:

- Der Gehalt geförderter Erze variiert über die Lebensdauer einer Mine. Dies hat unterschiedliche geologische, strategisch-wirtschaftliche und technologische Gründe. Lagerstätten sind nicht homogen und weisen dementsprechend Bereiche mit hohen und niedrigen Gehalten auf. Aus wirtschaftlichen Gründen werden zunächst die Bereiche abgebaut, die besonders hohe Gehalte aufweisen. Weiterhin kommen in einer Lagerstätte häufig mehrere Rohstoffe vor, sodass je nach Marktsituation die Reihenfolge des Abbaus variiert. Zudem verändern sich die Abbaufverfahren über die Lebensdauer einer Mine, sodass auch Armerzlagerstätten rentabel werden können. In der Regel werden die Gehalte mit fortschreitendem Alter einer Mine geringer und variieren je nach Betrachtungszeitpunkt.
- Statistisch betrachtet, sind die Mittelwerte der Fördererzgehalte höher als die Mittel der jeweiligen Lagerstättegehalte, da bevorzugt reiche Lagerstätten in Abbau genommen werden.

Die vorstehend genannten Einflüsse, führen z.B. für Gold dazu, dass die Fördererzgehalte der 200 größten Goldlagerstätten etwa 25% höher liegen als die Lagerstättegehalte der noch nicht in Abbau genommenen größten Bergbauprojekte.

Zudem ist eine tendenzielle Abnahme der Fördererzgehalte über die Zeit zu beobachten. Dies hat 2 Ursachen: einerseits sind die besonders reichen Lagerstätten bereits abgebaut und der Bergbau wendet sich zunehmend geringerhaltigen Lagerstätten zu. Außerdem hat sich die Bergbautechnik auf den Abbau großvolumiger Massiverz-Lagerstätten in Großtagebauen spezialisiert, wodurch reiche Gangerzlagerstätten, die einen aufwendigen und schwierigen Untertagebau erfordern würden, unangetastet bleiben (West 2011). Für das Beispiel Kupfer ist die Abnahme der durchschnittlichen Fördererzgehalte gut dokumentiert (Mudd 2010).

Trotz obiger Einschränkungen ist es das Ziel der Erhebung, neben der Ermittlung von durchschnittlichen Gehalten für unterschiedliche Rohstoffe eine Klassierung in arme, durchschnittliche und reiche Lagerstätten zu erlauben, da nachgewiesener Weise die ökologischen Auswirkungen einer Reicherz-Lagerstätte tendenziell bedeutend kleiner sind als die einer Armerz-Lagerstätte.

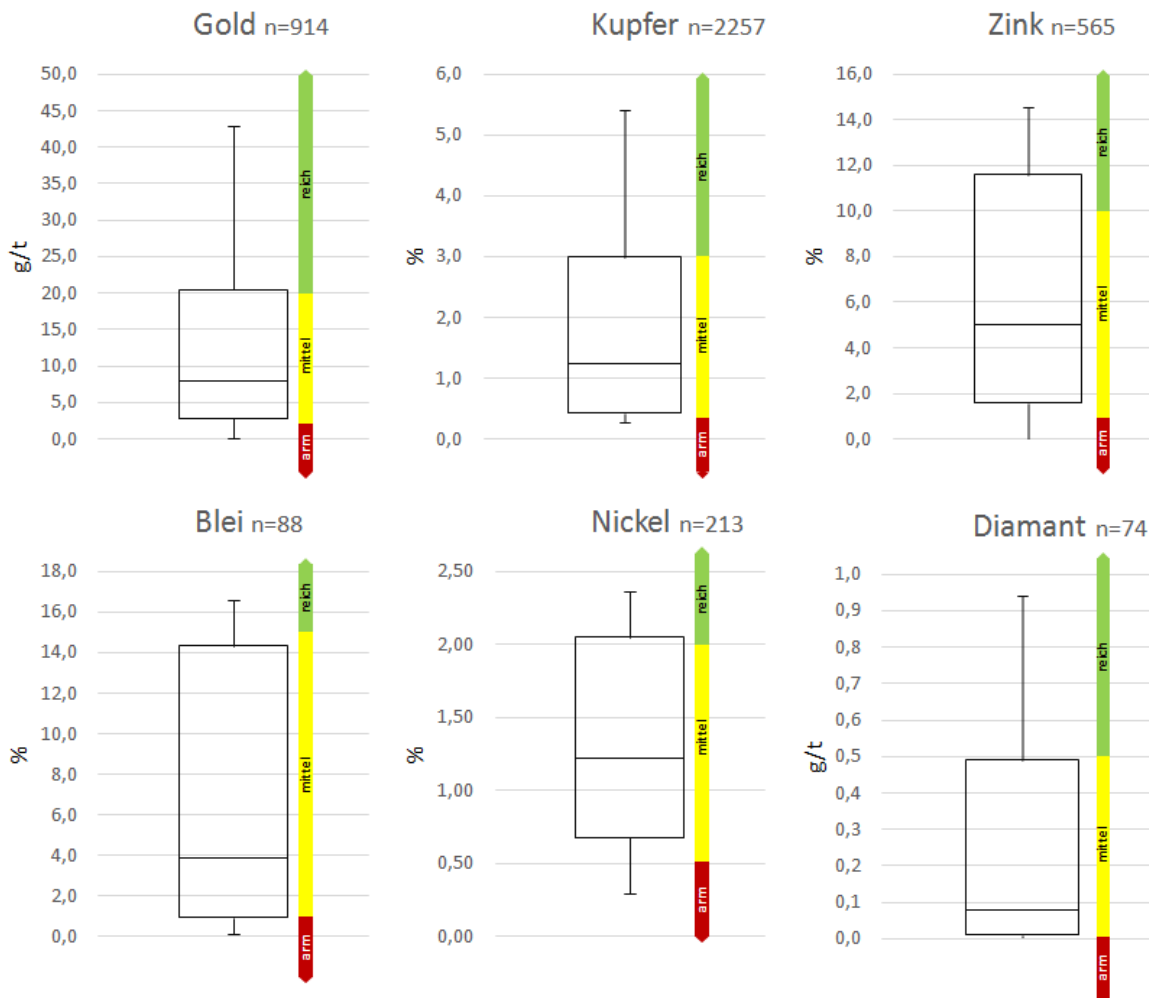


Abbildung 8: Übersicht der Boxplots zu Daten der Lagerstättegehalte und daraus resultierende Klassen

(Zur Erklärung der Boxplots vgl. Anhang 1)

Die statistische Auswertung aus über 4000 Lagerstätten und laufenden Betrieben ermöglicht eine Einordnung von Lagerstätten in die Kategorien Arm, Durchschnittlich und Reich für die Rohstoffe Gold, Kupfer, Zink, Blei, Nickel, Diamant (weitere in Arbeit). Aus der Auswertung der statistischen Daten ergab sich zunächst eine Einteilung in fünf Klassen (vgl. Tabelle 9). Die einzelnen Klassen orientieren sich an den analysierten Perzentilen. Dabei steht P10 \emptyset für den Gehalt, den 10 % der untersuchten Lagerstätten erreichen (Reicherze bzw. hoher Anreicherungsgrad), P50 \emptyset für den Median, P90 \emptyset für den Gehalt, den 90 % der Proben übersteigen (Armerze bzw. geringer Anreicherungsgrad). P90 min. und P10 max. stehen für die jeweils geringsten bzw. höchsten Perzentile P90 und P10 für einzelne Lagerstättentypen bzw. Perzentilwerte laufender Minen. Anschließend wurde diese Einteilung nochmals vereinfacht. Darauf folgte eine Reduktion auf drei Klassen, zudem wurden die Grenzwerte ganzzahlig gerundet mit ebenfalls ganzzahligen Faktoren zwischen den Grenzen (vgl. Tabelle 10).

Tabelle 9: Auswertung der statistischen Daten zu Lagerstättegehalten und Klassierung

	p90 min.	p90 Ø	p50 Ø	p10 Ø	p10 max.
Gold (g/t)	0,04	2,88	7,90	20,50	43,00
Kupfer (%)	0,27	0,42	1,23	2,99	5,40
Zink (%)	0,00	1,56	5,01	11,59	14,56
Blei (%)	0,09	0,93	3,90	14,34	16,61
Nickel (%)	0,29	0,68	1,22	2,05	2,36
Diamant (g/t)	0,00	0,01	0,08	0,49	0,94

Tabelle 10: Einteilung in arme, durchschnittliche und reiche Lagerstätten

	Arm	Durchschnittlich	Reich
Gold (g/t)	<2	2-20	>20
Kupfer (%)	<0,3	0,3-3	>3
Zink (%)	<1	1-10	>10
Blei (%)	<1	1-15	>15
Nickel (%)	<0,5	0,5-2	>2
Diamant (g/t)	<0,01	0,01-0,5	>0,5

Die vorstehend genannten Aspekte sind standortspezifische Einflüsse. Bei einer rohstoffspezifischen Bewertung bergbaulicher Reststoffe bleiben diese unberücksichtigt.

3.2.4 Umweltwirkungen in Folge der Mengenflüsse bergbaulicher Reststoffe

Als direkte Folge der bergbaulichen Gewinnung, werden große Mengen an Material bewegt. Diese haben unabhängig von ihrer stofflichen Zusammensetzung allein durch die bewegten und deponierten Massen folgende Auswirkungen auf die Umwelt:

- Flächeninanspruchnahme durch Gewinnungsbetrieb und Halden für Reststoffe,
- Vegetations- und Bodenzerstörung durch Abtrag und Überdeckung,
- Verlust von Lebensräumen, Landschaftsveränderung,
- Verschlammung von Oberflächenwässern durch Erosion der Reststoffe, quantitativer Eingriff in den lokalen Wasserhaushalt durch Versiegelung, Drainagen etc. .

3.3 Stoffliche Eigenschaften bergbaulicher Reststoffe

Wichtige Aussagen über die Qualität bergbaulicher Reststoffe sind in den Arbeiten der BGR zu finden. Die BGR hat zwischen 1998 und 2002 im Rahmen umfangreicher und fundierter Grundlagenarbeiten zu den Stoffmengenflüssen und zum Energiebedarf bei der Gewinnung ausgewählter mineralischer Rohstoffe (Kupfer, Mangan, Nickel, Eisen, Phosphat, Steinkohle, Chrom und Aluminium) gearbeitet und damit Standards zur Nomenklatur, auch hinsichtlich der Kategorien „genutzt“ und „nicht genutzt“, festgelegt.³ Neben dieser Trennung werden die Eigenschaften der Reststoffe und deren Nutzungsart analysiert. Gemäß dem Konzept der BGR stellen sich die anfallenden Reststoffe entlang der Rohstoff-Prozesskette wie in Abbildung 9 dar:

³ Diese weichen aber insofern von der für die Materialflussrechnung maßgeblichen Nomenklatur von Eurostat und SEEA ab, da bewertet wird, ob die während des Abbaus oder der Aufbereitung entstandenen Reststoffe nachfolgend genutzt (bspw. im Straßenbau) oder nicht genutzt werden, während in der Nomenklatur von Eurostat bewertet wird, ob das im Bergbau entnommene Material einen Aufbereitungsprozess durchläuft (genutzt) oder nicht (ungenutzt), unabhängig davon, ob es später bspw. zur Rekultivierung oder im Straßenbau genutzt wird.

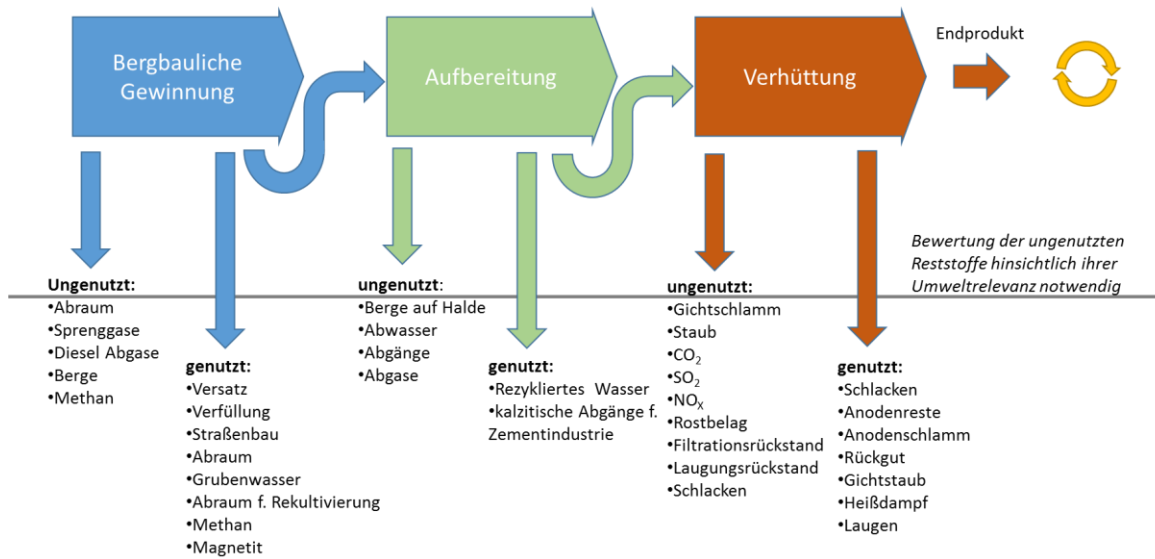


Abbildung 9: Grafische Darstellung der Stoffmengenflüsse nach BGR für die anfallenden Reststoffe in den Prozessschritten Bergbauliche Gewinnung Aufbereitung und Verhüttung (Quelle: eigene Darstellung nach Sonderhefte Reihe H des Geologischen Jahrbuchs der BGR, Hefte 1-11)

Wie oben dargestellt, ergeben sich bergbauliche Reststoffe aus den unterschiedlichen Prozessschritten Gewinnung, Aufbereitung –und später auch Verhüttung– durch die in der Tabelle 5 genannten Ursachen. Abbildung 10 verdeutlicht am Beispiel einer disseminierten Kupferlagerstätte welche Produkte und Reststoffe während Bergbau und Aufbereitung entstehen und stellt diese den Wertmineral- bzw. Begleitmineralgehalten gegenüber.

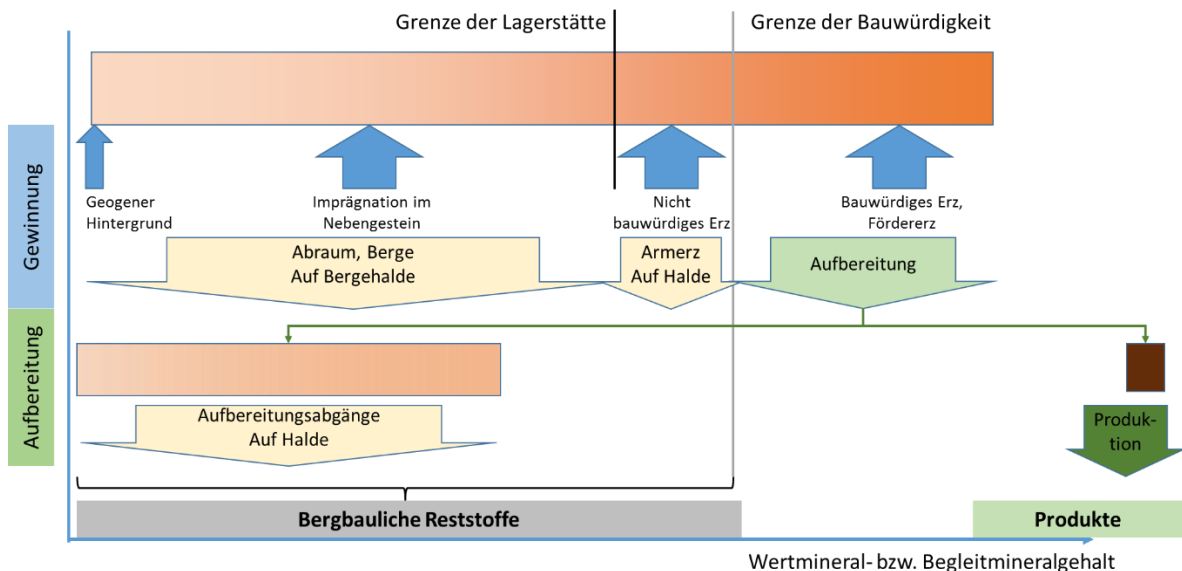


Abbildung 10: Schematische Darstellung der Materialflüsse bei Gewinnung und Aufbereitung hinsichtlich ihrer Wertmineral bzw. Begleitmineralgehalte am Beispiel disseminierter Kupferlagerstätten (Quelle: eigene Darstellung)

Abbildung 11 greift die unterschiedlichen Prozessschritte auf und stellt den jeweils anfallenden Reststoffen unterschiedliche Stoffparameter gegenüber, die von besonderer Bedeutung für ihre Umweltrelevanz sind.

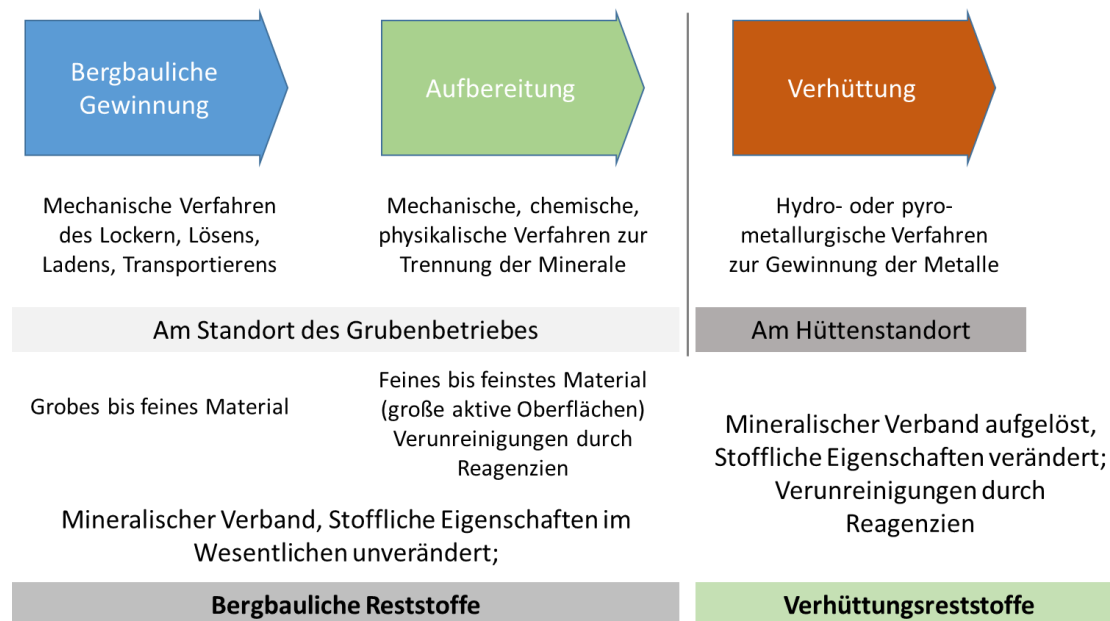


Abbildung 11: Bergbauliche und Verhüttungsreststoffe und deren stoffliche Eigenschaften (Quelle: eigene Darstellung)

3.3.1 Umweltwirkungen als Folge der stofflichen Eigenschaften der Bergbaulichen Reststoffe

Bei der bergbaulichen Gewinnung und anschließenden Aufbereitung werden im Material gebundene Stoffe gelöst oder Reagenzien zugeführt, welche unterschiedliche Umweltfolgen nach sich ziehen können. Letztlich ergeben sich die Umweltwirkungen als Folge der Geologie und der Lagerstättenart, die wesentlich für die Technologiewahl der bergbaulichen Aufbereitung sind. Letztere lassen wiederum Rückschlüsse auf den Einsatz von Reagenzien und die Art des Abbaus zu und bedingen damit spezifische Umweltwirkungen (Seal et. al 2002: 5):

- Versauerung, Sauerwässer, Acid Mine Drainage (vgl. Lottermoser 2010: 122 ff):
 - ➔ Ein AMD Risiko besteht ab einem 1 prozentigem Anteil sulfidischer Minerale in den Reststoffen (Spitz und Trudinger 2009: 703).
 Erste Hinweise auf das Versauerungspotential gibt das Reuterrad, das die Vorkommen der Elemente in vorzugsweise sulfidischer, oxydischer oder Mischform gliedert.
- Verschmutzung von Wasser und Boden durch toxische Stoffe aus den Mineralgemischen, gelösten Stoffen und solchen die aufgrund autooxidativer Prozesse in Lösung gehen.
- Staubbelastung durch Prozesse und Winderosion sind insbesondere problematisch in Hinblick auf Asbest, Quarz und silikatische Minerale, Kohlenstaub (vgl. Ross 1999).
- Reagenzien aus Gewinnung und Aufbereitung,
- Befrachtung von Flüssen durch Mineral-Suspensionen,
- Radioaktivität, Strahlenbelastung,
- Risiken durch instabile Lagerungsverhältnisse auf Halden, Schlammteichen etc. :
 - ➔ Dämme von Schlammteichen unterliegen nach wissenschaftlicher Betrachtung einem deutlich höheren Risiko zu brechen, als konventionelle Dämme (vgl. Blowes et al. 2003: 95),

4 Bewertungsmethodik

Die Eigenschaften der bergbaulichen Reststoffe unterscheiden sich deutlich und können in Hinblick auf ihre Umweltrelevanz über die folgenden Aspekte beschrieben werden:

Tabelle 11: Rohstoffspezifische umweltrelevante Eigenschaften von bergbaulichen Reststoffen

Eigenschaften	Parameter	Umweltfolgen
Physikalisch		
Korngröße, bzw. Kornverteilung	Reaktionsgeschwindigkeit für Löslichkeit und oxidative Prozesse sind abhängig von der spezifischen Oberfläche und damit von der Korngröße; Feine Korngrößen bereiten durch die schlechte Absetzbarkeit und Verfestigung Probleme, desweiteren durch Anfälligkeit für Wind- und Wassererosion	Verunreinigung der Grund- und Oberflächenwässer sowie der Böden durch mechanischen Eintrag und chemische Umwandlung in lösliche Stoffe; Verschlammung von Flüssen und Seen; Staubverfrachtung / Kontamination der Luft bei Austrocknung von Schlammteichen Gefahr von Damnbrüchen
Fest/trocken bzw. flüssig/feucht/nass/in Suspension	Je nach Aggregatzustand werden unterschiedliche Umweltfaktoren beeinflusst. Bspw. haben feste und trockene Stoffe ein geringeres Risiko Gewässer zu verunreinigen als flüssige.	Verunreinigungen von Wasser, Boden und Luft direkt oder indirekt durch flüssige, feste und gasförmige Reststoffe der Rohstoffgewinnung
Chemisch		
Geogene Zusammensetzung	Möglicherweise geogen vorkommende kontaminierende Stoffe bspw. Sulfide	Veränderung von Boden, Wasser und Luft durch Freisetzung geogen gebundener kontaminierender Stoffe
Verunreinigung mit Reagenzien	Je nach Abbau- und Aufbereitungsverfahren sind die Reststoffe mit unterschiedlichen teils toxischen Reagenzien verunreinigt	Verunreinigung von Boden, Wasser und Luft durch toxische Stoffeinträge
Massenbilanz		
Anfall an bergbaulichen Reststoffen	Anfall an Reststoffen aus der Aufbereitung steht in direktem Zusammenhang mit den Lagerstättegehalten. Je höher der Gehalt desto weniger Reststoffe entstehen. Zudem fallen infolge der Standardverfahren der bergbaulichen Gewinnung unterschiedlich hohe Abraummengen an, die aufgehaldet werden müssen.	Flächeninanspruchnahme durch Gewinnungsbetrieb und Halden für Reststoffe, Vegetations- und Bodenzerstörung durch Abtrag und Überdeckung, Verlust von Lebensräumen, Landschaftsveränderung, quantitativer Eingriff in den lokalen Wasserhaushalt
Umweltwirkungspotential		
Radioaktiv	Je größer die Menge an radioaktiven Elementen in den Reststoffen, desto höher ist die Strahlung	Kontamination der Umwelt durch Strahlung

Eigenschaften	Parameter	Umweltfolgen
Autooxidativ	Je höher der Gehalt sulfidischer Anteile, desto größer ist das Risiko einer Kontamination durch saure Abflüsse und Lösung von Schwermetallen	Schädigung der Böden und Gewässer durch Sauerwässer (Acid Mine Drainage) und Schwermetalle
toxisch	Stark von der Art der Lagerstätte und Abbau- und Aufbereitungsverfahren abhängig. Risiko ist hoch bei vergesellschafteten Schwermetallen bspw. As, Sb, Hg, Bi etc. oder löslichen toxischen Bestandteilen	Belastung von Böden und Gewässern mit Schwermetallen, Salzen etc.
Lagerungsart		
Auf Halde	Hohe sulfidische Anteile in den aufgehaldeten Reststoffen begünstigen die Bildung von Sauerwässern	Beeinträchtigung der Böden und ober- wie unterirdischer Gewässer
In Schlammteich	Die Stabilität von Dämmen an Schlammteichen ist von der Konstruktionsweise des Dammes, der Dimensionen des Schlammteiches sowie der physikalischen und chemischen Parameter der abzusetzenden Reststoffe abhängig und die Dammstabilität wird von der Witterung beeinflusst. Hoher Niederschlag begünstigt eine Durchfeuchtung der Dämme → Stabilität verringert sich.	Risiken für Damnbrüche, mit weitreichenden Folgen für Gewässer und Böden, Ökosysteme und die Bevölkerung
Nutzungsoptionen		
Baumaterialien	Grober steiniger Abraum kann eine Verwendung im Straßenbau und Wegebau finden; feineres Material ist eher ungeeignet. Landschaftsbau (bei Renaturierung)	Reduktion von Umweltfolgen, bei Wiederverwendung von Material; Verbreitung von Umwelteinflüssen durch Einsatz umweltgefährdender Stoffe
Versatz	Nutzung von Material zur Verfüllung von Tagebaulöchern und unterirdischen Grubenbauen	Verminderung von Umweltfolgen des Bergbaus (Setzung, Grundwasserregime etc.)

Die vorstehend genannten Eigenschaften haben jeweils große Bedeutung für von den Stoffen ausgehende Umweltrisiken und –wirkungen und müssen als solche für die Bewertung der Umweltrelevanz herangezogen werden. Aufgrund der oben erwähnten unterschiedlichen Stoffeigenschaften der Reststoffe aus den jeweiligen Prozessschritten Gewinnung und Aufbereitung, sollte die Umweltbewertung für diese beiden Prozessschritte separat erfolgen; dies auch um eine spätere Abgrenzung zwischen ungenutzten Entnahmen (als ungenutztes Material aus der bergbaulichen Gewinnung) und genutzten Entnahmen (Material, das einen Aufbereitungsprozess durchläuft bzw. durchlaufen hat) zu ermöglichen. Die Betrachtung von Reststoffen aus der Verhüttung soll aus mehreren Gründen NICHT Teil dieses Bewertungsschemas sein: zum einen fallen diese Reststoffe an geografisch völlig anderen Standorten an, zum anderen ist der mineralische Verband aufgelöst und je nach Verhüttungsverfahren fallen Reststoffe höchst unterschiedlichen Chemismus an.

4.1 Bewertungsraster

Zur einfachen Einordnung der Eigenschaften bergbaulicher Reststoffe, im Sinne eines Schnellchecks, wurde ein Bewertungsraster erstellt. Hierbei werden die oben genannten Eigenschaften jeweils in drei Abstufungen bewertet. Jede dieser Abstufungen weist spezifische Grenzen oder Parameter auf, die eine Einordnung erleichtern sollen. Wenn eine eindeutige Einordnung nicht möglich ist, wird die jeweilige Eigenschaft im Zweifel negativ bewertet.

Tabelle 12 zeigt beispielhaft das Bewertungsraster der Korngrößenverteilung. Hier erfolgt die Einordnung anhand eines Grenzwertes der Korngröße, welcher mindestens 50% der Reststoffmenge entspricht. Das vollständige Bewertungsraster befindet sich im Anhang (vgl. Anhang 2).

Tabelle 12: Beispiel Bewertungsraster

	0 Punkt	1 Punkte	2 Punkte
Physikalisch	Korngröße, bzw. Kornverteilung	Korngrößen überwiegend (>50%) im Bereich der Grobfraction (>10mm)	Korngrößen überwiegend (>50%) im Bereich der Feinfraktionen (0,5-10mm)
			Korngrößen überwiegend (>50%) im Bereich der sehr feiner Fraktion (< 0,5mm)

4.2 Das Problem der Bewertung der Nebenprodukte

Die genannte Tabelle mit den Fördererz- und Lagerstättengehalten gibt, besonders für die Sulfid-Erzlagerstätten, neben den Hauptprodukten auch die wirtschaftlich gewinnbaren und in der Regel bei der Vermarktung vergüteten Nebenprodukte an. Damit gehen die Nebenprodukte in die betriebswirtschaftliche Gesamtrechnung des Gewinnungsbetriebs ein (im Gegensatz zu den Koppelprodukten, siehe unten). Diese ergeben sich aus der metallogenetischen Vergesellschaftung, die im Reuterrad systematisch dargestellt ist. Nebenprodukte (hellblau) sind metallogenetisch an die im Reuterrad innen genannten Hauptmetalle geknüpft. Die Bewertung des ökologischen Rucksackes der bergbaulichen Reststoffe muss diese Nebenprodukte mit berücksichtigen.

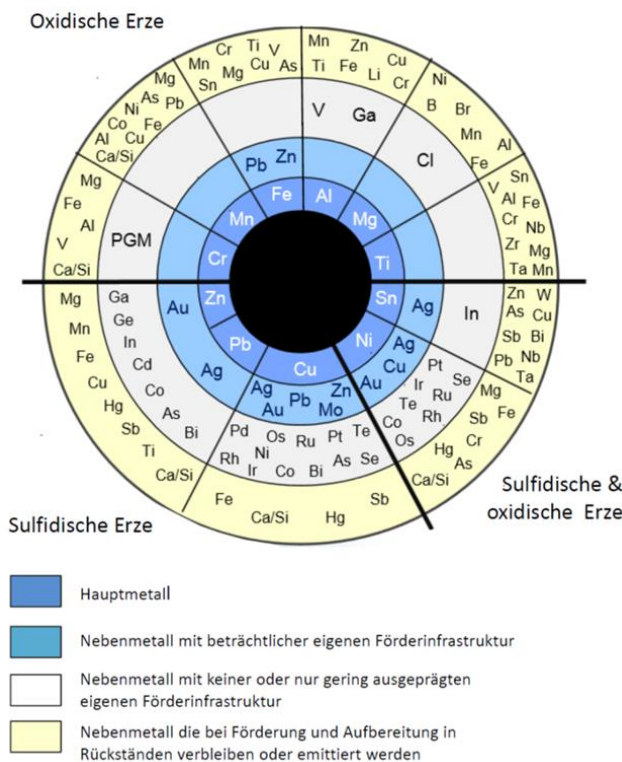


Abbildung 12: Reuterrad

4.3 Das Problem der Koppelprodukte

Bei der Verhüttung ist zudem zu berücksichtigen, dass neben dem Hauptmetall aus den Fördererzen des Bergbaus die sogenannten Koppelprodukte metallurgisch gewonnen werden. Diese werden dem Bergbauunternehmen nicht vergütet und gehen demgemäß nur in die wirtschaftliche Betrachtung des Hüttenbetriebes ein. Die wesentlichen Koppelprodukte sind nach Hagelücken im folgenden Schaubild dargestellt.

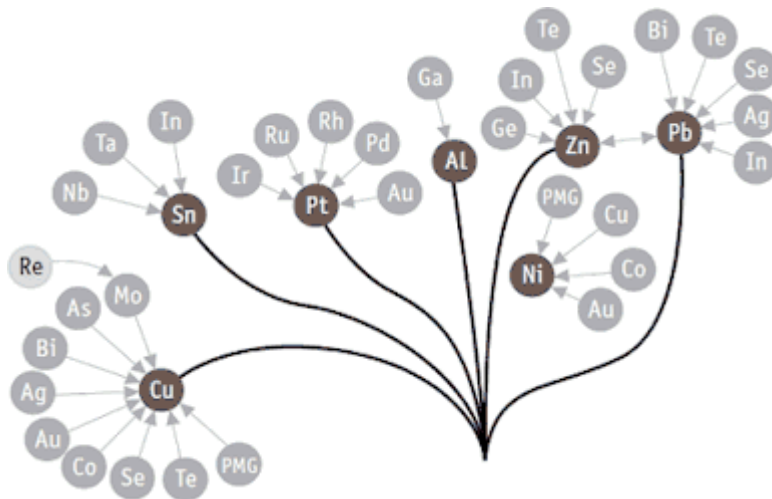


Abbildung 13: Koppelprodukte nach Hagelücken

Die Gewinnbarkeit dieser Koppelprodukte richtet sich einmal nach deren Gehalt im Roherz bzw. Zwischenprodukt des Hüttenprozesses, andererseits aber auch nach der technischen Auslegung der Hütte. Dies erschwert die anteilige Zuordnung ökologischer Rucksäcke auf die Koppelprodukte.

4.4 Grenzen der Methodik

Die nachstehend vorgeschlagene Bewertungsmethode ergibt rohstoffspezifisch umweltrelevante Risikoprofile. Diese ersetzen keine detaillierten Einzelfallbetrachtungen, z.B. im Rahmen von gesetzlich geregelten Umweltverträglichkeitsprüfungen (UVP). Aufgrund der Aggregation auf Rohstoffebene kommt es zu Generalisierungen, durch die Sonderfälle und standortspezifische Aspekte ausgeblendet werden. Ein risikobasierter Ansatz trifft zudem keine Aussage über tatsächliche Umwelteingriffe oder -wirkungen, weil diese in erster Linie von Managementqualität und Risikovor-sorge des jeweiligen Betriebes abhängen. Stattdessen gibt er Hinweise auf Umweltrisiken, die stofflich oder bergbautechnisch begründet sind. Dadurch ergeben sich auch Verzerrungen in der Aussage im Vergleich zwischen Ländern, die eine hohe Governancequalität aufweisen bzw. zwischen Betrieben, die unter hohen Sorgfaltspflicht-Standards (due-diligence) operieren, zu Ländern mit niedriger Governancequalität und Betrieben, die von geringer Sorgfaltspflicht geprägt sind.

Bei der Generalisierung werden ferner unterschiedliche Lagerstättentypen ein und desselben Rohstoffes ebenso subsumiert, wie unterschiedliche Gewinnungs- und Aufbereitungsverfahren. Während Rohstoffe wie Phosphat oder Blei/Zink nur eine geringe Variation aufweisen, ist diese beispielsweise bei Gold stark ausgeprägt; der Rohstoff wird alluvial abgebaut, kommt im Massiverz oder als Gangvererzung vor; abgebaut wird mit Dredges oder klassischer bergmännischer Gewinnung; die Aufbereitung erfolgt durch Gravimetrie, Amalgamation oder Laugung. Damit wird eine große Variation hinsichtlich Lagerstättentypen, Gewinnungsmethoden und Aufbereitungsverfahren generalisiert, die im Einzelfall auch sehr unterschiedliche umweltrelevante Parameter der bergbaulichen Reststoffe mit sich bringt.

Im Zuge der Generalisierung können auch Sonderverfahren, wie die in situ- oder Biolaugung nicht gesondert bewertet werden, um die Einfachheit der Methode beibehalten zu können.

Die Methode soll vor allem als Schnellprüfung dienen, um im Einzelfall als kritisch identifizierte Bereiche einer zusätzlichen oder vertieften Prüfung zu unterziehen. Damit eignet sie sich zur Erstein-schätzung, welche lediglich auf mögliche Risiken eines Bergbauprojektes hinweisen kann. In kei-nem Fall kann und will dieser Ansatz – wie bereits betont -eine ausführliche UVP ersetzen.

In anderen Bereichen ist diese Art des Vorgehens bereits etabliert. So wird beispielsweise bei der Säuglingsuntersuchung seit über 60 Jahren mit dem Apgar-Score⁴ anhand von fünf Parametern abgeprüft, ob gesundheitliche Risiken vorliegen. Damit kann in einem Schnellcheck mit hoher Aus-sagesicherheit ermittelt werden, wo mögliche Gefährdungspotentiale existieren, die genauer unter-sucht werden müssen und welche Parameter als unkritisch einzustufen sind (Kahnemann 2014: 280f).

⁴ http://apgar.net/virginia/Apgar_Paper.html

5 Bewertungsergebnisse

Die Systematisierung der Reststoffeigenschaften aus Bergbau und Aufbereitung für unterschiedliche mineralische Rohstoffe sowie deren qualitative Bewertung (gut, neutral, schlecht) im Hinblick auf Umweltwirkungen und Umweltrisiken erfolgt in mehreren Schritten, und zwar:

1. Erstellen einer Tabelle mit den schriftlichen Hinweisen zur Umweltrelevanz in den jeweiligen Zeilen und Spalten aus der Standardliteratur und unseren bergbaulichen Erfahrungen.
2. Eine vereinfachte Ampelbewertung der einzelnen Zellen hinsichtlich der Umweltrelevanz nach den folgenden Kriterien:
 - Grün: aus Umweltsicht wenig kritisch oder unbedenklich
 - Gelb: aus Umweltsicht bedeutend
 - Rot: aus Umweltsicht kritisch bzw. sehr kritisch

Bislang sind Analysen mit qualitativen Angaben über die bergbaulichen Reststoffe für Bergbau und Aufbereitung für die Rohstoffe Gold, Buntmetalle, Kali, Steinkohle, Eisenerz und Aluminium/Bauxit, sowie Diamanten erfolgt (s.a. Anhänge 3-8).

	Au		Cu		Kali		Kohle		Fe		Al		Diamant	
B=Bergbau A=Aufbereitung	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A
Physikalisch														
Korngröße / Luftimmissionen	Rot	Rot	Grün	Rot	Grün	Rot	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
Aggregat (fest/flüssig)	Grün	Rot	Grün	Rot	Grün	Rot	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Rot	Grün	Grün
Chemisch														
Zusammensetzung	Grün	Grün	Grün	Rot	Grün	Rot	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
Verunreinigung / Reagenzien	Grün	Rot	Grün	Rot	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Rot	Grün	Grün
Massenbilanz														
Anfall an ungenutzter Entnahme je t	Grün	Rot	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Rot	Rot
Umweltrelevanz														
Radioaktiv	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
Autooxidativ	Grün	Rot	Grün	Rot	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
toxisch	Grün	Grün	Grün	Rot	Grün	Rot	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
Lagerungsart														
Auf Halde	Grün	Rot	Grün	Rot	Grün	Rot	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Rot	Rot
Auf Schlammteich	Grün	Rot	Grün	Rot	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Rot	Grün	Grün
sonstige	Grün	Rot	Grün	Grün	Grün	Rot	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
Nutzungsoptionen														
Baumaterialien	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
Versatz	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
Sonstiges	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün

Abbildung 14: Vergleich der Umweltrelevanz bergbaulicher Reststoffe nach unterschiedlichen Kriterien für Gold, Buntmetalle, Kali, Steinkohle, Eisen und Aluminium/Bauxit (vgl. Anhänge 2-8)

Ein einfacher Vergleich der Ergebnisse zeigt in den Abbildung 14 und 15 die Unterschiede der Umweltrelevanz der bergbaulichen Reststoffe sowohl zwischen den betrachteten Rohstoffen, als auch hinsichtlich der Spreizung zwischen Bergbau (B) und Aufbereitung (A).

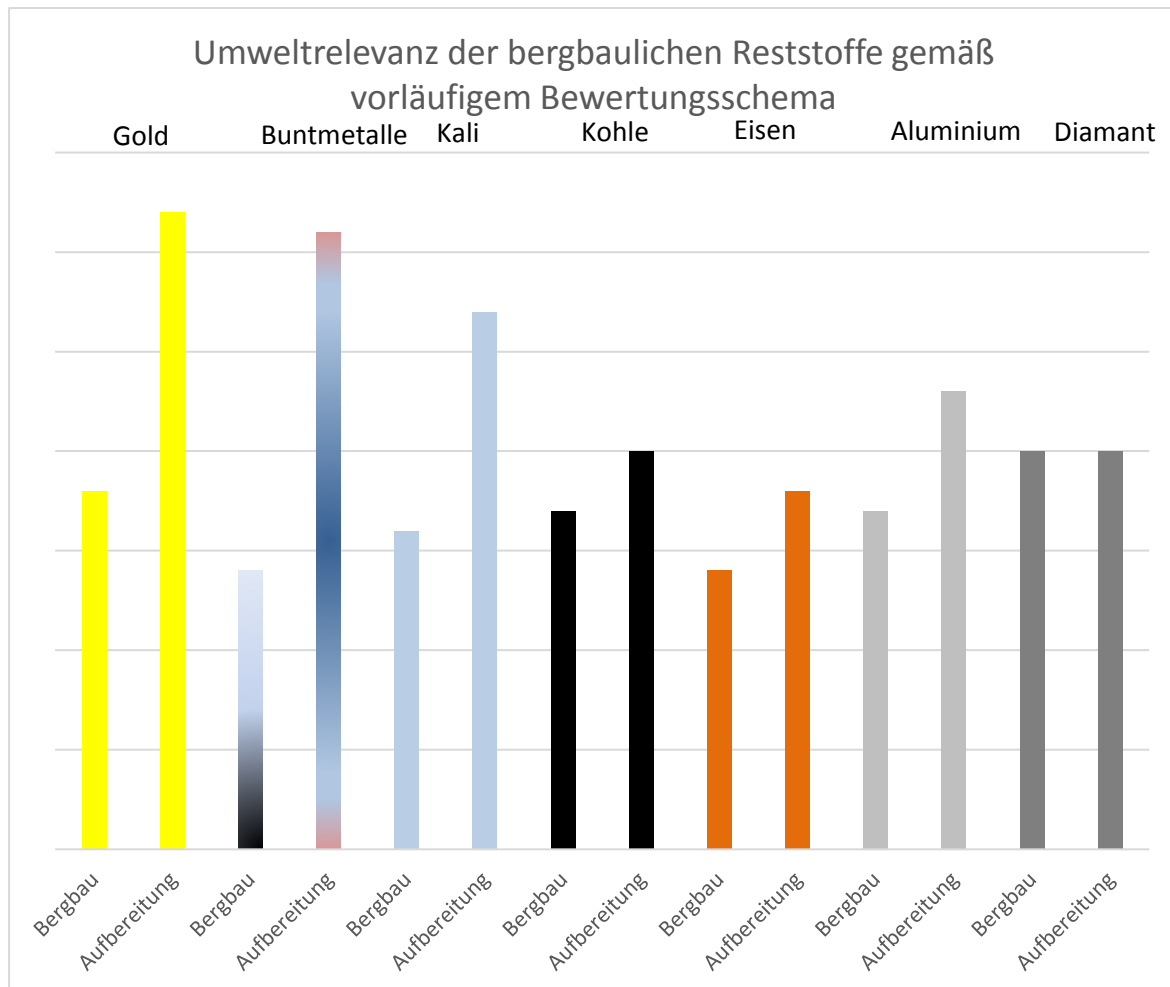


Abbildung 15: semi-quantitativer Vergleich der Umweltrelevanz der bergbaulichen Reststoffe

Auch wenn das Bewertungsschema recht grob ist und subjektive Aspekte beinhaltet, die möglicherweise bei nochmaliger Bearbeitung oder weiteren Experteneinschätzungen zu leicht veränderten Ergebnissen führen können, lassen sich als Zwischenergebnis der Untersuchung folgende Aussagen klar herauslesen:

- Die Umweltrelevanz der Reststoffe aus der Aufbereitung ist i.d.R. deutlich größer als die Umweltrelevanz der Reststoffe aus der bergbaulichen Gewinnung.
- Besondere Umweltrisiken und Umwelteingriffe gehen von denjenigen Reststoffen aus, die in Feinfraktionen in Schlammteichen, auf Halden oder untermeerisch deponiert werden. Dies liegt einmal an der schwierigen Stabilisierung der Reststoffe, zum anderen an der starken Oberflächenaktivität der feinen und feinsten Körnungen.

6 Fazit / Nächste Schritte

Die Ergebnisse der Untersuchungen sollen in die kritische Diskussion um Materialflussindikatoren im Rahmen der umweltpolitischen Diskussion zum Ressourcenschutz einfließen.

Im weiteren Verlauf des ÖkoRess-Vorhabens wird dieser Entwurf vervollständigt und damit dem im Rahmen des Vorhabens entwickelten Umweltkritikalitätskonzept ein anschlussfähiges Werkzeug zur Bewertung der Umweltrelevanz ungenutzter Entnahmen bzw. bergbaulicher Reststoffen zur Verfügung stellen.

7 Literatur

- Bergbaubetrieb Drosen (2015): http://bergbaubetrieb-drosen.de/drosen.de_content/page_includes/image.inc.php?image=YmlsZF84&name=Prinzipdarstellung%20der%20Hauptgrubenbaue%20des%20BB%20Drosen&cookie (aufgerufen am 07.05.2015).
- BGR 1998: Kippenberger, Christoph: Stoffmengenflüsse und Energiebedarf bei der Gewinnung ausgewählter mineralischer Rohstoffe; Fachliche Einführung, methodische Erläuterung; Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; und Staatliche Geologische Dienste in der Bundesrepublik; Deutschland; 1998. 1. Auflage, 36 Seiten, 2 Abbildungen, 3 Tabellen, 160 g; Sprache: Deutsch; BGR, Sonderhefte Reihe H - Geol. Jahrb., Heft 1; ISBN 978-3-510-95823-8
- BGR 1999: Adelhardt, Werner; Saiger, Horst: Stoffmengenflüsse und Energiebedarf bei der Gewinnung ausgewählter mineralischer Rohstoffe; Teilstudie Mangan; Mitarb.: Terzan Atmaca; Wolfgang Neumann; Achim Thormann; Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und; Staatliche Geologische Dienste der Bundesrepublik Deutschland; 1999. 1. Auflage, 72 Seiten, 10 Abbildungen, 19 Tabellen, 260 g; Sprache: Deutsch; BGR, Sonderhefte Reihe H - Geol. Jahrb., Heft 8; ISBN 978-3-510-95830-6
- BGR 1999a: Hilbrans, Hermann; Hinrichs, Wilfrid: Stoffmengenflüsse und Energiebedarf bei der Gewinnung ausgewählter mineralischer Rohstoffe; Teilstudie Nickel; Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und; Staatliche Geologische Dienste in der Bundesrepublik; Deutschland; 1999. 1. Auflage, 100 Seiten, 28 Abbildungen, 32 Tabellen, 310 g; Sprache: Deutsch; BGR, Sonderhefte Reihe H - Geol. Jahrb., Heft 7; ISBN 978-3-510-95829-0
- BGR 1999b: Hinrichs, Wilfried: Stoffmengenflüsse und Energiebedarf bei der Gewinnung ausgewählter mineralischer Rohstoffe; Teilstudie Steinkohle; Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und; Staatliche Geologische Dienste in der Bundesrepublik; Deutschland; 1999. 123 Seiten, 37 Abbildungen, 26 Tabellen, 360 g; Sprache: Deutsch; BGR Sonderhefte Reihe H - Geol. Jahrb., Heft 4; ISBN 978-3-510-95826-9
- BGR 1999c: Kippenberger, Christoph: Stoffmengenflüsse und Energiebedarf bei der Gewinnung ausgewählter mineralischer Rohstoffe; Auswertende Zusammenfassung; Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und; Staatliche Geologische Dienste der Bundesrepublik Deutschland, 1999. 1. Auflage, 52 Seiten, 14 Abbildungen, 7 Tabellen, 200 g; Sprache: Deutsch; BGR, Sonderhefte Reihe H - Geol. Jahrb., Heft 10; ISBN 978-3-510-95832-0
- BGR 1999d: Krauß, Ulrich; Wagner, Hermann; Mori, Gregor: Stoffmengenflüsse und Energiebedarf bei der Gewinnung ausgewählter mineralischer Rohstoffe; Teilstudie Kupfer; Mitarb.: Terzan Atmaca; Wolfgang Neumann; Achim Thormann; Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und; Staatliche Geologische Dienste der Bundesrepublik; Deutschland;; 1999. 1. Auflage, 156 Seiten, 51 Abbildungen, 48 Tabellen, 510 g; Sprache: Deutsch; BGR, Sonderhefte Reihe H - Geol. Jahrb., Heft 9; ISBN 978-3-510-95831-3
- BGR 1999e: Mitarb.: Chahoud, Tatjana; Henseling, Karl-Otto; Burger, Andreas; Hain, Benno: Mineralische Rohstoffe und nachhaltige Entwicklung; Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und; Staatliche Geologische Dienste der Bundesrepublik Deutschland; 1999. 1. Auflage, IV, 142 Seiten, 3 Abbildungen, 7 Tabellen, 510 g; Sprache: Deutsch, Schweizerbart, Stuttgart; BGR, Sonderhefte Reihe H - Geol. Jahrb., Heft 11; ISBN 978-3-510-95833-7
- BGR 1999f: Roth, Werner; Atmaca, Terzan; Mori, Gregor: Stoffmengenflüsse und Energiebedarf bei der Gewinnung ausgewählter mineralischer Rohstoffe; Teilstudie Eisen; Mitarb.: Wolfgang Neumann; Achim Thormann; 1999. 1. Auflage, 171 Seiten, 35 Abbildungen, 45 Tabellen, 5 Anlagen, 510 g; Sprache: Deutsch; BGR, Sonderhefte Reihe H - Geol. Jahrb., Heft 6; ISBN 978-3-510-95828-3

- BGR 1999g: Wagner, Hermann: Stoffmengenflüsse und Energiebedarf bei der Gewinnung ausgewählter mineralischer Rohstoffe; Teilstudie Phosphat; Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und; Staatliche Geologische Dienste in der Bundesrepublik; Deutschland; 1999. 58 Seiten, 9 Abbildungen, 16 Tabellen, 210 g; Sprache: Deutsch; BGR, Sonderhefte Reihe H - Geol. Jahrb., Heft 5; ISBN 978-3-510-95827-6
- BGR 2000: Adelhardt, Werner: Stoffmengenflüsse und Energiebedarf bei der Gewinnung ausgewählter mineralischer Rohstoffe; Teilstudie Chrom; Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; und Staatliche Geologische Dienste in der Bundesrepublik; Deutschland; 2000. 1. Auflage, 152 Seiten, 38 Abbildungen, 53 Tabellen, 450 g; Sprache: Deutsch; BGR, Sonderhefte Reihe H - Geol. Jahrb., Heft 3; ISBN 978-3-510-95825-2
- BGR 2000a: Mori, Gregor: Stoffmengenflüsse und Energiebedarf bei der Gewinnung ausgewählter mineralischer Rohstoffe; Teilstudie Aluminium; Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; und Staatliche Geologische Dienste in der Bundesrepublik; Deutschland; 2000. 1. Auflage, 148 Seiten, 23 Abbildungen, 51 Tabellen, 450 g; Sprache: Deutsch; BGR, Sonderhefte Reihe H - Geol. Jahrb., Heft 2; ISBN 978-3-510-95824-5
- BGR 2001: Kippenberger, Christoph: Materials Flow and Energy Required for the Production of Selected Mineral Commodities; Summary and Conclusions, 2001. 55 pages, 18 figures, 7 tables, 230 g, Sprache: Englisch; Schweizerbart, Stuttgart; BGR, Sonderhefte Reihe H - Geol. Jahrb., Heft 13; ISBN 978-3-510-95874-0
- Bischoff, W. und H. Bramann (1981): Westfälische Berggewerkschaftskasse Bochum: Das kleine Bergbaulexikon. Essen (Verlag Glückauf); ISBN 3-7739-0501-7
- Blowes, D.W., C.J Ptacek, J. Jurjovec (2003): Chapter 5: Mill Tailings: Hydrogeology and Geochemistry. In: Jambor, J.L, D.W. Blowes, A.I.M. Ritchie (Hers.) Environmental Aspects of Mining Wastes. Short Course Series, Volume 31: 95-117. ISBN 0-921294-31-X
- BMLFUW 2011: Ressourcennutzung in Österreich, Bericht 2011. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) (Hrsg.), Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend (BMWFJ), Wien, Juli 2011. https://www.bmwfw.gv.at/EnergieUndBergbau/PublikationenBergbau/Documents/Ressourcennutzung_Bericht%202011.pdf
- DEBRIV Bundesverband Braunkohle (2015): http://www.braunkohle.de/index.php?rex_img_type=rex_media_grafiken_und_folien&rex_img_file=grafik42.pdf (aufgerufen am 07.05.2015).
- EUROPEAN COMMISSION 2009: Reference Document on Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities, (EU BREF), January 2009
- Eurostat 2001: Economy-wide material flow accounts and derived indicators. A methodology guide. 2000 Edition. European Commission and Eurostat. European Communities, 2001. <http://ec.europa.eu/eurostat/de/web/products-manuals-and-guidelines/-/KS-34-00-536>
- Eurostat 2013: Economy-wide Material Flow Accounts (EW-MFA). Compilation Guide 2013, 10 September 2013. <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/1798247/6191533/2013-EW-MFA-Guide-10Sep2013.pdf/54087dfb-1fb0-40f2-b1e4-64ed22ae3f4c>
- GLOKAL Change (2015): http://glokal.rgeo.de/data/pages/70/schema_tagebau_klein.jpg (aufgerufen am: 07.05.2015).
- Grube Brunndöbra (2015): <https://grubebrunndoebra.files.wordpress.com/2013/09/tagebau.jpg?w=234&h=161&crop=1> (aufgerufen am 07.05.2015).
- Kahnemann, D. (2014): Schnelles Denken, Langsames Denken. München (Pantheon Verlag); ISBN 978-3-570-55215-5

- Kosmol et al. 2012: Kosmol, J.; Kanthak, J.; Herrmann, F.; Golde, M.; Alsleben, C.; Penn-Bressel, G.; Schmitz, S.; Gromke, U.: Glossar zum Ressourcenschutz, Umweltbundesamt, Dessau, 2012.
- Lottermoser, B. (2010³): Mine Wastes – Characterization, Treatment and Environmental Impacts. Heidelberg. Springer. ISBN 978-3-642-12418-1
- Mudd, G.M. (2010): The Environmental sustainability of mining in Australia: key mega-trends and looming constraints. In: Resources Policy 35: 98–115.
- Northey, S., N. Haque und G.M. Mudd (2013): Using sustainability reporting to assess the environmental footprint of copper mining. In: Journal of Cleaner Production 40: 118-128.
- OECD 2008: Measuring Material Flows and Resource Productivity. Volume I, The OECD Guide, OECD 2008. <http://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/MFA-Guide.pdf>
- ProgRess 2012: Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess). Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. Beschluss des Bundeskabinetts vom 29.02.2012. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (Hrsg.), 2. Auflage, Februar 2015. http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/progress_broschuere_de_bf.pdf
- Ripley, E.A., R.E. Redman, A.A. Crowder (1996): Environmental Effects of Mining. Delray Beach. St. Lucie Press. ISBN 1-884015-76-X
- Ross, M. (2009): The Health Effects of Mineral Dusts. In: Plumlee, G.S. und M.J. Logsdon (Hrsg.) The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits. Reviews in Economic Geology, Volume 6a: 339-353. ISBN 1-881483-50-0
- Ruhrzechenhaus (2015): http://www.ruhrzechenaus.de/glossar/tn_glossar-stollenbergbau.jpg (aufgerufen am 07.05.2015).
- Seal, II R.R., Foley, N.K.; Wanty, R.B. (2002): Introduction to geoenvironmental models of mineral deposits. In: Seal, II R.R., Foley, N.K. (Eds.), Progress on Geoenvironmental Models for Selected Mineral Deposit Types, U.S. Geological Survey Open-File Report 02-195.
- SEEA 2014: System of Environmental-Economic Accounting 2012 – Central Framework. United Nations, European Union, Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Monetary Fund, Organization for Economic Co-operation and Development, The World Bank. New York, 2014. http://unstats.un.org/unsd/envaccounting/seeaRev/SEEA_CF_Final_en.pdf
- Spitz, L. und J. Trudinger (2009): Mining and the Environment – From Ore to Metal. London. CRC Press. ISBN 978-0-415-46509-0
- Staal, Y. 2009. Prioritisation of metals regarding their environmental impact. Master Thesis, Leiden University, Leiden, The Netherlands.
- UBA 2008: UBA-Texte 02/08. Ressourcenverbrauch von Deutschland – aktuelle Kennzahlen und Begriffsbestimmungen. Erstellung eines Glossars zum „Ressourcenbegriff“ und Berechnung von fehlenden Kennzahlen des Ressourcenverbrauchs für die weitere politische Analyse. Von Dr. Helmut Schütz, Dr. Stefan Bringezu (Wuppertal Institut). Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Forschungsbericht 363 01 134, Februar 2008. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/ressourcenverbrauch-von-deutschland-aktuelle>
- UBA 2013: UBA-Texte 07/2013. Aktualisierung von nationalen und internationalen Ressourcenkennzahlen. Von Monika Dittrich (freiberufliche Wissenschaftlerin), Stefan Giljum, Stephan Lutter, Christine Polzin (Sustainable Europe Research Institut - SERI). Im Auftrag des Umweltbundesamtes, FKZ 363 01 417, März 2013. <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4436.pdf>
- UBA 2014: Rohstoffe für Deutschland. Bedarfsanalyse für Konsum, Investition und Export auf Makro- und Mesoebene. Von Sven C. Kaumanns, Ursula Lauber (Statistisches Bundesamt,

- Umweltökonomische Gesamtrechnung). Im Auftrag des Umweltbundesamtes, FKZ 3711 12 102, in Veröffentlichung.
- Umweltbundesamt (2004): Umweltbundesamt BVT-Merkblatt zum Management von Bergbauabfällen und Taubgestein. Internet. (https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/dokumente/bvt_management-bergbauabfaelle_vv.pdf aufgerufen am 21.05.2015)
- Unbekannter Bergbau (2015): http://www.unbekannter-bergbau.de/bilder/eibenstock-wildenthal/alt-bergbau_eibenstock/wagenbreth.jpg (aufgerufen am 07.05.2015).
- UNEP (2010) Assessing the Environmental Impacts of Consumption and Production: Priority Products and Materials, A Report of the Working Group on the Environmental Impacts of Products and Materials to the International Panel for Sustainable Resource Management. Hertwich, E., van der Voet, E., Suh, S., Tukker, A., Huijbregts M., Kazmierczyk, P., Lenzen, M., McNeely, J., Moriguchi, Y.
- West, J. (2011): Decreasing Metal Ore Grades - Are They Really Being Driven by the Depletion of High-Grade Deposits? In: Journal of Industrial Ecology Volume 15, Number 2: 165-168.
- Wyllie, R.J.M. und O. Argall (1975): World Mining Glossary of Mining, Processing, and Geological Terms. San Francisco (Miller Freeman Publications); ISBN 0-081930-031-0

Literatur für die statistische Auswertung:

Gold:

- Bagby, W.C., W.D. Menzie, D.L. Mosier und D.A. Singer (1986): Grade and tonnage model carbonate-hosted Au-Ag. In: Cox, D.P. und D.A. Singer Hrsg.: Mineral deposit models: U.S. Geological Survey Bulletin 1693: 175ff. Washington.
- Bliss, J.D. (1986): Grade and tonnage model low-sulfide Au-quartz veins. In: Cox, D.P. und D.A. Singer Hrsg.: Mineral deposit models: U.S. Geological Survey Bulletin 1693: 239ff. Washington.
- Desjardins, J. (2014): Global Gold Mine and Deposit Rankings 2013. Internet: <http://www.visualcapitalist.com/global-gold-mine-and-deposit-rankings-2013>. Aufgerufen am 18.09.2015.
- GeoInfoCom (o.J.): Internet: <http://mestor.geoinfocom.ru/publ/1-1-0-38>. Aufgerufen am 18.09.2015.
- IFEU Datenbank (o.J.): AngloGold, Metorex, Goldfields, Newmont, Barrick, Newcrest, Polyus, Highland Gold, Goldcorp
- Metalpress (2011): <http://www.metallpress.ru/content/96907.html>. Aufgerufen am 18.09.2015.
- Mosier, D.L. und T. Sato (1986): Grade and tonnage model of Sado epithermal veins. In: Cox, D.P. und D.A. Singer Hrsg.: Mineral deposit models: U.S. Geological Survey Bulletin 1693: 155ff. Washington.
- Mosier, D.L. und W.D. Menzie (1986): Grade and tonnage model of epithermal quartz-alunite Au. In: Cox, D.P. und D.A. Singer Hrsg.: Mineral deposit models: U.S. Geological Survey Bulletin 1693: 159ff. Washington.
- Mosier, D.L. und W.D. Menzie (1986): Grade and tonnage model of Homestake Au. In: Cox, D.P. und D.A. Singer Hrsg.: Mineral deposit models: U.S. Geological Survey Bulletin 1693: 245ff. Washington.

- Mosier, D.L., T. Sato und D.A. Singer (1986): Grade and tonnage model of Comstock epithermal veins. In: Cox, D.P. und D.A. Singer Hrsg.: Mineral deposit models: U.S. Geological Survey Bulletin 1693: 151ff. Washington.
- Orris, G.J. und J.D. Bliss (1986): Grade and tonnage model of placer Au-PGE. In: Cox, D.P. und D.A. Singer Hrsg.: Mineral deposit models: U.S. Geological Survey Bulletin 1693: 261ff. Washington.
- Polymetal (2013): Internet: http://www.polymetal.ru/operations-landing/mayskoye/overview.aspx?sc_lang=ru-RU. Aufgerufen am 18.09.2015.
- Polymetal (2013): Internet: http://www.polymetal.ru/operations-landing/mayskoye/overview.aspx?sc_lang=ru-RU. Aufgerufen am 18.09.2015.
- Polymetal (2013): Internet: http://www.polymetal.ru/operations-landing/albazino/overview.aspx?sc_lang=ru-RU. Aufgerufen am 18.09.2015.
- Polyus Gold (o.J.): http://www.polyusgold.com/operations/operating_mines/blagodatnoye/. Aufgerufen am 18.09.2015.
- Polyus Gold (o.J.): http://www.polyusgold.com/operations/operating_mines/verninskoye/. Aufgerufen am 18.09.2015.
- Polyus Gold (o.J.): Internet:http://www.polyusgold.com/operations/operating_mines/olimpiada/. Aufgerufen am 18.09.2015.
- Zolotodb (o.J.): Internet: <http://zolotodb.ru/gallery/mining/166>. Aufgerufen am 18.09.2015.

Kupfer:

- Cox, D.P. und D.A. Singer (2008): Descriptive and Grade-Tonnage Models and Database for Iron Oxide Cu-Au Deposits. Reston.
- Cox, D.P., D.A. Lindsey, D.A. Singer, B.C. Morig und M.F. Diggs (2007): Sediment-Hosted Copper Deposits of the World: Deposit Models and Database.
- IFEU Datenbank (o.J.): Codelco, FCX Teck, BHP, RioTinto, Boliden, Lundinmining, Imperial, Xstrata Grupo Mexiko, Metorex, First Quantum, Hubday Minerals, Southern Peru, Katanga, Vale
- Mosier, D.L., V.I. Berger, D.A. Singer (2009): Volcanogenic Massive Sulfide Deposits of the World—Database and Grade and Tonnage Models.
- Nornik (o.J.): Internet: <http://www.nornik.ru/en/about-norilsk-nickel/operations/polar-division/mining-assets>. Aufgerufen am 18.09.2015.
- Singer, D.A. (1986): Grade and tonnage model of Besshi massive sulfide In: Cox, D.P. und D.A. Singer Hrsg.: Mineral deposit models: U.S. Geological Survey Bulletin 1693: 136ff. Washington.
- Singer, D.A. (1986): Grade and tonnage model of porphyry Cu, skarn-related deposits. In: Cox, D.P. und D.A. Singer Hrsg.: Mineral deposit models: U.S. Geological Survey Bulletin 1693: 82ff. Washington.
- Singer, D.A. und D.L. Mosier (1986): Grade and tonnage model kuroko massive sulfide. In: Cox, D.P. und D.A. Singer Hrsg.: Mineral deposit models: U.S. Geological Survey Bulletin 1693: 190ff. Washington.

Singer, D.A. und D.L. Mosier (1986): Grade and tonnage model of Cyprus massive. In: Cox, D.P. und D.A. Singer Hrsg.: Mineral deposit models: U.S. Geological Survey Bulletin 1693: 131ff. Washington.

Singer, D.A., D.P. Cox, D.L. Mosier (1986): Grade and tonnage model of porphyry Cu-Mo. In: Cox, D.P. und D.A. Singer Hrsg.: Mineral deposit models: U.S. Geological Survey Bulletin 1693: 116ff. Washington.

Singer, D.A., V. Berger and B.C. Morig (2008): Porphyry Copper Deposits of the World: Database And Grade and Tonnage Models. Reston.

Zink:

IFEU Datenbank (o.J.): Buenav, BHP, Teck, Volcan, Boliden, Lundinmining, Xstrata, Inmet, Penoles, HubdayMining, Grupo Mexico, Kazzinc

Mosier, D.L. (1986): Grade and Tonnage Model of Zn-Pb Skarn Deposits. In: Cox, D.P. und D.A. Singer Hrsg.: Mineral deposit models: U.S. Geological Survey Bulletin 1693: 90ff. Washington.

Singer, D.A., V.I. Berger, B.C. Morig (2009): Sediment-Hosted Zinc-Lead Deposits of the World - Database and Grade and Tonnage Models. Reston.

Blei:

Berger, V.I., D.A. Singer, J.D. Bliss und B.C. Morig (2011): Ni-Co Laterite Deposits of the World— Database and Grade and Tonnage Models. Reston.

BGR (2012): Das mineralische Rohstoffpotenzial der russischen Arktis. Hannover. Internet: http://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-04.pdf?__blob=publicationFile&v=8 aufgerufen am 17.09.2015)

IFEU Datenbank (o.J.): El Brocal, Buenaventura, BHP, Hecla, Penoles

Mosier, D.L. (1986): Grade and Tonnage Model of Sandstone-Hosted Pb-Zn. In: Cox, D.P. und D.A. Singer Hrsg.: Mineral deposit models: U.S. Geological Survey Bulletin 1693: 202ff. Washington.

Mosier, D.L., H.T. Morris und D.A. Singer (1986): Grade and Tonnage Model of Polymetallic Replacement Deposits. In: Cox, D.P. und D.A. Singer Hrsg.: Mineral deposit models: U.S. Geological Survey Bulletin 1693: 101ff. Washington.

Nickel:

IFEU: Vale, Xstrata, Lundinmining, Africa Rainbow, Minara Resources

Singer, D.A. und N.J. Page (1986): Grade and tonnage model of dunitic Ni-Cu. In: Cox, D.P. und D.A. Singer Hrsg.: Mineral deposit models: U.S. Geological Survey Bulletin 1693: 24ff. Washington.

Singer, D.A., N.J. Page und W.D. Menzie (1986): Grade and tonnage model of komatiitic Ni-Cu. In: Cox, D.P. und D.A. Singer Hrsg.: Mineral deposit models: U.S. Geological Survey Bulletin 1693: 18ff. Washington.

Singer, D.A., N.J. Page und W.D. Menzie (1986): Grade and tonnage model of synorogenic-synvolcanic Ni-Cu. In: Cox, D.P. und D.A. Singer Hrsg.: Mineral deposit models: U.S. Geological Survey Bulletin 1693: 28ff. Washington.

Diamant:

Advanced Mining Solutions (2009): Ausgabe 4. Internet: http://www.advanced-mining.com/images/upload/ams_200904.pdf. Aufgerufen am 18.09.2015.

Alrosa (2015): <http://eng.alrosa.ru/operations/mining/>

Bergbau (2008): 12 Ausgabe. Internet: <http://www.rdb-ev.de/zeitung08/08-12-566-571.pdf> . Aufgerufen am 17.09.2015.

Hermann, R. (2008): Argyle-Diamanten – Australiens Bergbau-Kronjuwelen. Internet: <http://www.nzz.ch/argyle-diamanten--kronjuwelen-in-australiens-bergbau-kollektion-1.647662>. Aufgerufen am 17.09.2015.

Orris, G.J. und J.D. Bliss (1992): Industrial Minerals Deposit Models: Grade and tonnage models. Reston.

RioTinto (2014): Diavik. Internet: <http://www.riotinto.com/diamondsandminerals/diavik-2232.aspx>. Aufgerufen am 18.09.2015.

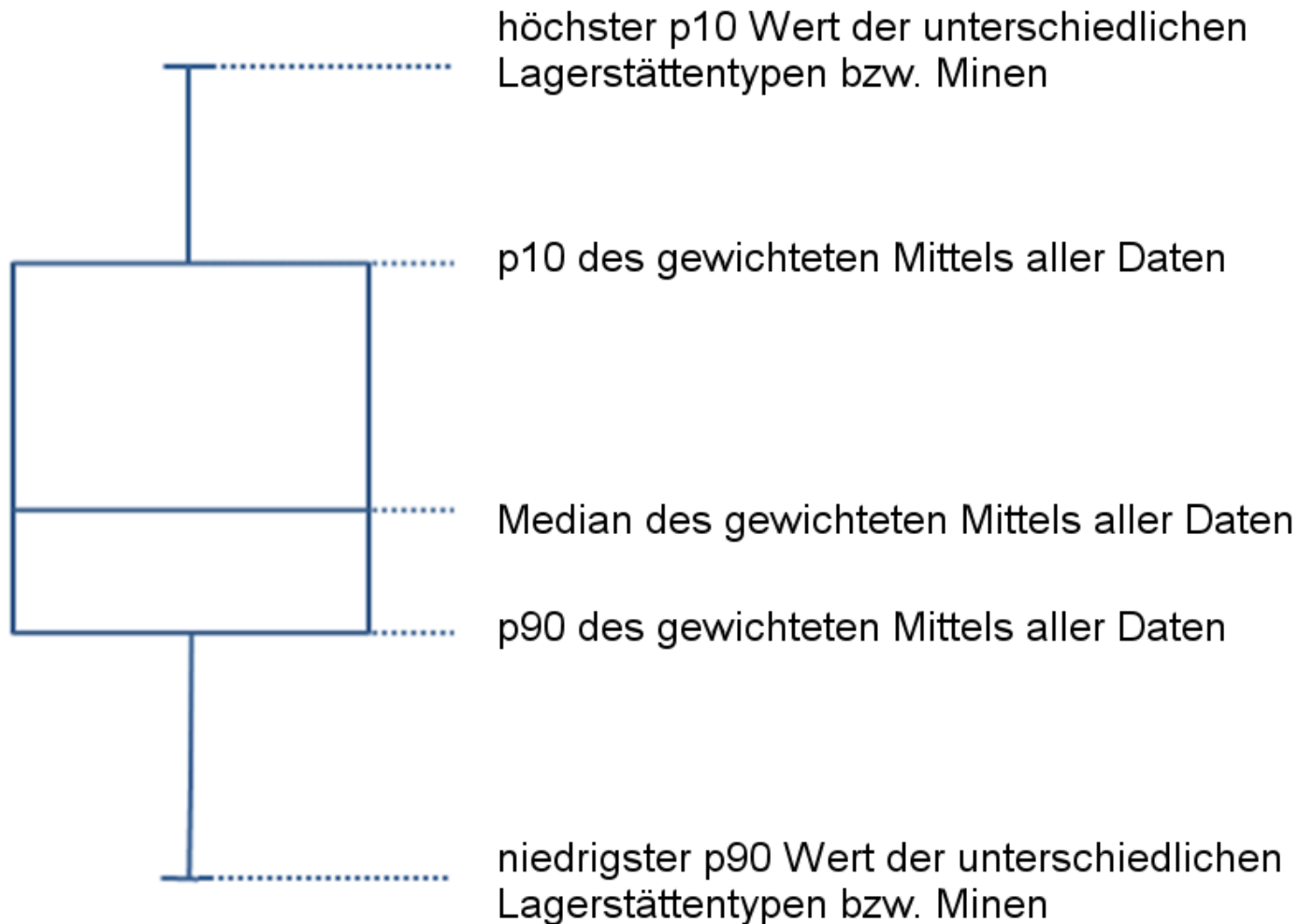
Strack, E. (2011): Hoffnung am Kap der guten Hoffnung? Internet: <http://u.jimdo.com/www32/o/s21fbdf79f53e1017/download/m2b6ae49afe6eeb6d/1326302595/S%C3%BCdafrika.pdf?px-hash=cff537c917451a919c1111ab107ca4fb0414fc4b&px-time=1380879259>. Aufgerufen am 17.09.2015.

Strack, E. (2011): Südafrika – das Zentrum der Diamantmacht gerät aus Familienhand. Internet: u.jimdo.com/www32/o/s21fbdf79f53e1017/download/m3add4a5a335d1f31/1326302585/De_Beers.pdf?px-hash=19da24159d7717d5add6bf10cee7fd4408295dd7&px-time=1379586035 aufgerufen am 17.09.2015.

8 Anhang

Anhang 1: Erklärung der Boxplots	36
Anhang 2: Rohstoffspezifisches Bewertungsraster bergbauliche Reststoffe	37
Anhang 3: Bewertung Gold.....	40
Anhang 4: Bewertung Buntmetalle	43
Anhang 5: Bewertung Kali	49
Anhang 6: Bewertung Kohle	53
Anhang 7: Bewertung Eisen	57
Anhang 8: Bewertung Aluminium	61
Anhang 9: Bewertung Diamant	65

Anhang 1: Erklärung der Boxplots



Anhang 2: Rohstoffspezifisches Bewertungsraster bergbauliche Reststoffe

	Eigenschaften	Parameter	Umweltfolgen	Bewertung		
				0 Punkt	1 Punkte	2 Punkte
Physikalisch	Korngröße, bzw. Kornverteilung	Reaktionsgeschwindigkeit für Löslichkeit und oxidative Prozesse sind abhängig von der spezifischen Oberfläche und damit von der Korngröße; Feine Korngrößen bereiten durch die schlechte Absetzbarkeit und Verfestigung Probleme, desweiteren durch Anfälligkeit für Wind- und Wassererosion	Verunreinigung der Grund- und Oberflächenwässer sowie der Böden durch mechanischen Eintrag und chemische Umwandlung in lösliche Stoffe; Verschlammung von Flüssen und Seen; Staubverfrachtung / Kontamination der Luft bei Austrocknung von Schlammteichen Gefahr von Damnbrüchen	Korngrößen überwiegend (>50%) im Bereich der Grobfraction (>10mm)	Korngrößen überwiegend (>50%) im Bereich der Feinfractionen (0,5-10mm)	Korngrößen überwiegend (>50%) im Bereich der sehr feiner Fraction (<0,5mm)
	Fest / trocken bzw. flüssig / feucht / nass / in Suspension	Je nach Aggregatzustand werden unterschiedliche Umweltfaktoren beeinflusst. Bspw. haben feste und trockene Stoffe ein geringeres Risiko Gewässer zu verunreinigen als flüssige.	Verunreinigungen von Wasser, Boden und Luft direkt oder indirekt durch flüssige, feste und gasförmige Reststoffe der Rohstoffgewinnung	Überwiegend feste und trockene Reststoffe	Überwiegend feuchte und nasse Reststoffe	Überwiegend sich in Suspension befindliche Reststoffe und gasförmige Reststoffe
Chemisch	Geogene Zusammensetzung	Möglicherweise geogen vorkommende kontaminierende Stoffe bspw. Sulfide	Veränderung von Boden, Wasser und Luft durch Freisetzung geogen gebundener kontaminierender Stoffe	Keine vergesellschafteten Sulfide, Schwermetalle etc.	Vergesellschaftung mit Schwermetallen oder Sulfiden (<3%)	Vergesellschaftung mit Schwermetallen und Sulfiden (>3%)
	Verunreinigung mit Reagenzien	Je nach Abbau- und Aufbereitungsverfahren sind die Reststoffe mit unterschiedlichen teils toxischen Reagenzien verunreinigt	Verunreinigung von Boden, Wasser und Luft durch toxische Stoffeinträge	Kein Einsatz von Reagenzien bei Abbau und Aufbereitung, Prozesswasser im pH-neutralen Bereich	Einsatz von: Amine / Kiefernöl / Dextrin / Kalziumhydroxyd / Natriumhydroxyd Prozesswasser pH Wert zwischen 4,5 und 8	Einsatz von Zyanid, / Flotationsmittel (langkettige toxische Kohlenwasserstoffe) / Amalgamierung / Säuren Prozesswasser Stark basisch oder sauer

	Eigenschaften	Parameter	Umweltfolgen	Bewertung		
				0 Punkt	1 Punkte	2 Punkte
Umweltwirkungspotential	Radioaktiv	Je größer die Menge an radioaktiven Elementen in den Reststoffen, desto höher ist die Strahlung	Kontamination der Umwelt durch Strahlung	Niedrige Konzentrationen von Uran und Thorium im Erz oder Aufbereitungsrest	<i>(Datenlage schwierig, evtl. alle Rohstoffe, die mit Uran etc. auftreten kritisch einstufen)</i>	Hohe Konzentrationen von Uran und/oder Thorium im Erz und/oder Aufbereitungsrest
	Autooxidativ	Je höher der Gehalt sulfidischer Anteile, desto größer ist das Risiko einer Kontamination durch saure Abflüsse und Lösung von Schwermetallen	Schädigung der Böden und Gewässer durch Sauerwässer (Acid Mine Drainage) und Schwermetalle	Ausschließlich oxydische Erze	Pyrite u.a. Sulfide in geringen Mengen als Begleiter	Ausschließlich sulfidische Erze
	toxisch	Stark von der Art der Lagerstätte und Abbau- und Aufbereitungsverfahren abhängig. Risiko ist hoch bei vergesellschafteten Schwermetallen bspw. As, Sb, Hg, Bi etc. oder löslichen toxischen Bestandteilen	Belastung von Böden und Gewässern mit Schwermetallen, Salzen etc.	inertes Material (z.B. Sand, Kies, Ton, Kohle)	Problematische Begleiter oder Spuren (z.B. Pb, Cd, Hg);	Hohe Konzentrationen toxischer und/oder löslicher /reaktiver Hauptprodukte und/oder Nebenprodukte
					<i>i.d.R. alle Erze</i>	
Massebilanz	Anfall an bergbaulichen Reststoffen	Anfall an Reststoffen aus der Aufbereitung steht in direktem Zusammenhang mit den Lagerstättengehalten. Je höher der Gehalt desto weniger Reststoffe entstehen. Zudem fallen infolge der Standardverfahren der bergbaulichen Gewinnung unterschiedlich hohe Abbaumengen an, die aufgedet werden müssen.	Flächeninanspruchnahme durch Gewinnungsbetrieb und Halden für Reststoffe, Vegetations- und Bodenzerstörung durch Abtrag und Überdeckung, Verlust von Lebensräumen, Landschaftsveränderung, quantitativer Eingriff in den lokalen Wasserhaushalt	Hohe durchschnittliche Rohstoffgehalte in den Lagerstätten (>20% Wertstoffgehalt) – Standardabbauverfahren mit geringem Anteil an Abraum	Mittlere durchschnittliche Rohstoffgehalte in den Lagerstätten (2-20% Wertstoffgehalt) – Standardabbauverfahren mit mittlerem Anteil an Abraum	Geringe durchschnittliche Rohstoffgehalte in den Lagerstätten (<2% Wertstoffgehalt) – Standardabbauverfahren mit hohem Anteil an Abraum

	Eigenschaften	Parameter	Umweltfolgen	Bewertung		
				0 Punkt	1 Punkte	2 Punkte
Lagerungsart	Auf Halde	Hohe sulfidische Anteile in den aufgehaldeten Reststoffen begünstigen die Bildung von Sauerwässern	Beeinträchtigung der Böden und ober- wie unterirdischer Gewässer	Hauptmenge der Reststoffe (>50%) wird aufgehaldet. Sickerwasser sind pH-neutral	Sickerwasser weichen nur geringfügig vom pH-neutralen Bereich ab	Sickerwasser sind stark basisch oder stark sauer
	In Schlamnteich	Die Stabilität von Dämmen an Schlamnteichen ist von der Konstruktionsweise des Dammes, der Dimensionen des Schlamnteiches sowie der physikalischen und chemischen Parameter der abzusetzenden Reststoffe abhängig und die Dammstabilität wird von der Witterung beeinflusst.	Risiken für Dammbüche, mit weitreichenden Folgen für Gewässer und Böden, Ökosysteme und die Bevölkerung	Geringe Mengen an gut kompaktierbaren und pH-neutralen Reststoffen	Nur Geringfügig vom pH-neutralen Bereich abweichende Reststoffe	Anfall großer Mengen (>50% der Gesamtmenge) an schwer absetzbaren und/oder sauren / basischen Reststoffen, bzw. Reststoffe, die zur Autooxidation neigen
Nutzungsoptionen	Baumaterialien	Grober steiniger Abraum kann eine Verwendung im Straßenbau und Wegebau finden; feineres Material ist eher ungeeignet. Landschaftsbau (bei Renaturierung)	Reduktion von Umweltfolgen, bei Wiederverwendung von Material; Verbreitung von Umwelteinflüssen durch Einsatz umweltgefährdender Stoffe	Nutzung inerten Abraumes als Baumaterial	Teilweise Nutzung des Abraums als Baumaterial	Dauerhafte Aufhaltung des Abraums ohne Nutzung
	Versatz	Nutzung von Material zur Verfüllung von Tagebaulöchern und unterirdischen Grubenbauen	Verminderung von Umweltfolgen des Bergbaus (Setzung, Grundwasserregime etc.)	Überwiegende Nutzung des Versatzes zur Verfüllung	Teilweise Verfüllung mit Versatz	Keine Verfüllung des Versatzes

Anhang 3: Bewertung Gold

Gold		
Bergbau		Aufbereitung
Physikalisch		
Korngröße / Luftmissionen	je nach Art der Lagerstätte: bei Primärerzlagerstätten grobe bis feine Hartgesteinsabfälle / (Auffahrungs-)Berge aus der Auffahrung des Grubengebäudes (Untertagebergbau) durch Bohren und Sprengen oder grober bis feiner Abraum oder Berge aus der Freilegung des Erzkörpers (Tagebau); im Alluvialbergbau grobe bis feinste Sedimente (Schotter bis toniges Material) als Abraum; Im Tagebau gesonderter Abtrag und Aufhaltung von Boden für spätere Rekultivierung; Luftimmissionen durch Sprenggase, Abgase etc. z.T. in nennenswertem Umfang, z.B. im Alluvialbergbau pro g Gold bis zu 10 l Diesel für Materialbewegungen hauptsächlich in der Gewinnung	feine und feinste Aufbereitungsberge und -abgänge aus der Sortierstufe nach der Zerkleinerung (und Klassierung) zur Erreichung des Aufschlusses der Wertminerale (Freigold oder Goldtelluride); Korngröße abhängig von der Verwachsungsart (Freigold, Gold in Zwickelräumen von Sulfiden oder Gold gelöst im Kristallgitter von Sulfiden); Korngrößen bis kleiner 10 Mikrometer; schwierig absetzbar; bei Röstung von Arsenkies-reichen (und Refraktär-)Erzen zur Laugung extreme Luftbelastungen durch SO ₃ und verflüchtigte Arsenverbindungen
Aggregat (fest/flüssig)	im Festgesteinsbergbau i.d.R. trockene (bergfeuchte) Massen, im Tagebau ebenfalls, jedoch stärker durch meteorologische Einflüsse durchfeuchtet, im Alluvialbergbau abhängig von der Art der Gewinnung (trocken z.B. mit Bagger; hydraulisch z.B. mit Saugbaggerflößen) trocken oder naß; in jedem Falle aber verhältnismäßig gut absetzbar und aufhaltbar	von Ausnahmen abgesehen (sehr seltene Trockenaufbereitung in Wüsten) immer als Schlämme und Suspensionen;
Chemisch		
Zusammensetzung	aus der Erschließung der Lagerstätte häufig nicht kritisches Nebengestein, je nach Bildungsbedingungen Imprägnationen im Nebengestein mit geringen Wertstoff- und Sulfidanteilen, die fallweise zu ARD führen können; Material unterhalb des Grenzgehaltes höhere Anteile und höheres Risiko für ARD; dieses Material wird aber i.d.R. separat aufgehaldet (für ggfs. spätere Aufarbeitung)	im Primärerzbergbau mehr oder weniger begleitet von Sulfidmineralen oder deren Zersetzungsprodukten (in der Oxidationszone von Lagerstätten: z.B. eiserner Hut); Pyrit, Arsenkies; im Alluvialbergbau inertes Material

Verunreinigung / Reagenzien	keine	je nach Aufbereitungsverfahren mit Reagenzien verunreinigt: bei hydromechanischer Aufbereitung kaum, bei Flotation mit Flotationsreagenzien, bei Laugung mit pH-Reagenzien und Cyaniden/Blausäure, bei Amalgamation mit Quecksilber, bei Biolaugung bioaktive Bakterienstämme in hoher Konzentration; alle Aufbereitungsprozesse= Schwermetallstäube wie z.B. Cadmium und Wismuth, SO ₂ und SO ₃ -Emissionen. Säurenebel aus HCl, Salpetersäure, NO _x und organischen Verbindungen wie VOC oder PCDD/F
Massenbilanz		
Anfall an ungenutzter Entnahme je t Roh-	im Untertagebergbau recht geringer Anfall an Reststoffen, die nicht durch die Aufbereitung gehen: Anteil kleiner 50% der Fördererzmenge; im Tagebau je nach Bonität der Lagerstätte deutlich höherer Anfall, bis etwa zu 5:1	Gold is a very valuable natural resource. Therefore, it is still worth mining if the ore grade is in the grams/tonne-range. This results in large amounts of tailings being produced in gold mining relative to the amount of gold produced. For instance, at a gold grade of 5 g/t, 200000 tonnes of ore have to be mined to produce 1 tonne of gold (assuming 100 % recovery of gold). (EU Bref 62)
Umweltrelevanz		
Radioaktiv	nur in Sonderfällen radioaktive Begleiter: Reeerze aus Südafrika; i.d. R. unproblematisch	nur in Sonderfällen radioaktive Begleiter: Reeerze aus Südafrika; i.d. R. unproblematisch
Autooxidativ	Armerze und Material aus imprägniertem Nebengestein aus sulfidischen Erzen haben Potenzial für ARD; Gefahr ist abhängig von den aktiven Oberflächen, die bei Material aus der bergbaulichen Gewinnung relativ gering sind; Material aus Alluviallagerstätten unkritisch	Aufbereitungsberge von Primärerzen generell kritisch aufgrund sehr hoher aktiven Oberflächen und hoher Gehalte an Mineralen, die zur Autooxidation neigen
toxisch	Bergbauliche Reststoffe nur in Ausnahmefällen toxisch	Aufbereitungsberge von Primärerzen je nach Mineralparagnese fallweise kritisch aufgrund toxischer Begleiter, z.B. Telluride, Hg-Minerale, Schwermetalle, Arsenminerale; Alluviallagerstätten unkritisch

Lagerungsart		
Auf Halde		Both chemical and physical stability of tailings management facilities are of high importance, since the tailings can also have an ARD potential. (EU Bref 63)
Auf Schlammteich		Gold mining tailings are usually in the form of fine slurry which is managed in ponds. (EU Bref 63)
sonstige		Aufgrund schwieriger Absetzbarkeit oder Standfestigkeitsproblemen bei Dämmen aufgrund niederschlagsreicher Klimate oder Erdbebengefahren werden Abgänge teilweise subaquatisch (in Flüssen, Seen oder Submarin) entsorgt bzw. abgelagert, was zu großen Umweltbeeinträchtigungen führt
Nutzungsoptionen		
Baumaterialien	Verwendung von bergbaulichen Reststoffen als (Straßen-)Baumaterial grundsätzlich möglich	keine weitere Nutzung
Versatz	Auffahrungsberge und Abraum häufig für die Verfüllung von Tagebauen genutzt; im Untertagebau auf Gold ist Versatz selten aufgrund i.d.R. standfesten Nebengesteins	keine weitere Nutzung
Sonstiges	Auffahrungsberge und Abraum häufig für den Bau von Dämmen für Schlammteiche genutzt	keine weitere Nutzung

Anhang 4: Bewertung Buntmetalle

Buntmetalle	
Bergbau	Aufbereitung
Physikalisch	
Korngröße / Luftimmisionen	Berge aus Nebengestein häufig grob (Haufwerk nach Sprengung), Aufbereitungsabgänge nach Mahlung, Klassierung und Sortierung häufig feinstkörnig wegen der engen Verwachsung sulfidischer Mineralien, speziell aus komplexen oder subvulkanischen Lagerstätten
Aggregat (fest/flüssig)	Nebengesteinsberge i.d.R. fest, Aufbereitungsabgänge als Schlämme, die gefiltert und getrocknet oder eingedickt oder im Schlammteich sedimentiert werden
Chemisch	
Zusammensetzung	bei klassischen Gangerzlagertstätten im wesentlichen inertes Nebengestein, Imprägnationen nur in geringem Umfang i.d.R. als Sulfiderze ausgebildet, häufig mit Pyrit als Begleiter, die durch Autoxidation Schwefelsäure bilden (acid mine drainage, acid rock drainage). Diese Schwefelsäure bringt teilweise Schwermetalle in Lösung

Verunreinigung / Reagenzien		Da die Sulfiderze vornehmlich durch den Flotationsprozess aufbereitet werden, ist von Verunreinigung mit pH-Reagenzien und Flotationsmitteln (Schäumer, Stabilisatoren, Sammler, Drücker) zu rechnen. Dies sind langkettige toxische Kohlenwasserstoffe
Massenbilanz		
Anfall an ungenutzter Entnahme je t Roh-	Da häufig Buntmetalle im Untertagebergbau gewonnen werden, fallen Auf-fahrungsberge aus der Erstellung des Grubengebäudes im Nebengestein an, zudem ggfs. Erze unterhalb des Grenzgehaltes (cut-off), die separat aufge-haltet werden. Mengenmäßig im Untertagebergbau recht geringer Anfall an Reststoffen, die nicht durch die Aufbereitung gehen: Anteil kleiner 50% der Fördererzmenge; im Tagebau (speziell Kupfer) je nach Bonität der Lager-stätte deutlich höherer Anfall, bis etwa zu 5:1	je nach Mineral und Metall unterschiedlich. Bei Zink und Blei etwa 10:1, bei Zinn, Wolfram, Kupfer etwa 100:1
Umweltrelevanz		
Radioaktiv		eher selten
Autooxidativ		s.o.; stark autooxidativ
toxisch		Schwermetalle, stark von der Art der Lagerstätte abhängig, aber häufig As, Sb, Hg, Bi etc.

Lagerungsart	
Auf Halde	metallhaltige Reststoffe bilden saure und (schwer)metallhaltige Eluate
Auf Schlammteich	Schlammteichmaterialien aus Flotationsaufbereitung sind teilweise selbstverfestigend und recht einfach zu trocknen, da die Korngröße der Aufmahlung nicht zu klein gewählt werden darf (Grenze der Flotierbarkeit)
sonstige	
Nutzungsoptionen	
Baumaterialien	kaum als Baumaterial nutzbar
Versatz	teilweise Aufbereitungsabgänge als Spülversatz genutzt
Sonstiges	

Buntmetalle		
Bergbau		Aufbereitung
Physikalisch		
Korngröße / Luftimmissionen	Berge aus Nebengestein häufig grob (Haufwerk nach Sprengung),	Aufbereitungsabgänge nach Mahlung, Klassierung und Sortierung häufig fein- und feinstkörnig wegen der engen Verwachsung sulfidischer Mineralien, speziell aus komplexen oder subvulkanischen Lagerstätten
Aggregat (fest/flüssig)	Nebengesteinsberge i.d.R. fest,	Aufbereitungsabgänge als Schlämme, die gefiltert und getrocknet oder eingedickt oder im Schlammteich sedimentiert werden
Chemisch		
Zusammensetzung	bei klassischen Gangerzlagerstätten im wesentlichen inertes Nebengestein, Imprägnationen nur in geringem Umfang	i.d.R. als Sulfiderze ausgebildet, häufig mit Pyrit als Begleiter, die durch Autoxidation Schwefelsäure bilden (acid mine drainage, acid rock drainage). Diese Schwefelsäure bringt teilweise Schwermetalle in Lösung

Verunreinigung / Reagenzien		Da die Sulfiderze vornehmlich durch den Flotationsprozess aufbereitet werden, ist von Verunreinigung mit pH-Reagenzien und Flotationsmitteln (Schäumer, Stabilisatoren, Sammler, Drücker) zu rechnen. Dies sind langkettige toxische Kohlenwasserstoffe
Massenbilanz		
Anfall an ungenutzter Entnahme je t Roh-	Da häufig Buntmetalle im Untertagebergbau gewonnen werden, fallen Auf-fahrungsberge aus der Erstellung des Grubengebäudes im Nebengestein an, zudem ggfs. Erze unterhalb des Grenzgehaltes (cut-off), die separat aufge-haltet werden. Mengenmäßig im Untertagebergbau recht geringer Anfall an Reststoffen, die nicht durch die Aufbereitung gehen: Anteil kleiner 50% der Fördererzmenge; im Tagebau (speziell Kupfer) je nach Bonität der Lager-stätte deutlich höherer Anfall, bis etwa zu 5:1	je nach Mineral und Metall unterschiedlich. Bei Zink und Blei etwa 10:1, bei Zinn, Wolfram, Kupfer etwa 100:1
Umweltrelevanz		
Radioaktiv		eher selten
Autooxidativ		s.o.; stark autooxidativ
toxisch		Schwermetalle, stark von der Art der Lagerstätte abhängig, aber häufig As, Sb, Hg, Bi etc.

Lagerungsart	
Auf Halde	metallhaltige Reststoffe bilden saure und (schwer)metallhaltige Eluate
Auf Schlammteich	Schlammteichmaterialien aus Flotationsaufbereitung sind teilweise selbstverfestigend und recht einfach zu trocknen, da die Korngröße der Aufmahlung nicht zu klein gewählt werden darf (Grenze der Flotierbarkeit)
sonstige	
Nutzungsoptionen	
Baumaterialien	kaum als Baumaterial nutzbar
Versatz	teilweise Aufbereitungsabgänge als Spülversatz genutzt
Sonstiges	

Anhang 5: Bewertung Kali

Kali	
Physikalisch	
Bergbau	Aufbereitung
Korngröße / Luftmissionen	Korngrößen abhängig von der Quelle: aus der bergbaulichen Auffahrung des Grubengebäudes außerhalb des Kalilagers durch Gewinnung mit Bohr und Sprengarbeit grobes Haufwerk, das ggfs. für die Förderung mit Bandanlagen vorgebrochen wird.
Aggregat (fest/flüssig)	Reststoffe aus der Aufbereitung abhängig vom Aufbereitungsverfahren: beim Heiz-Kalt-Löseverfahren flüssig (s.u.), beim Elektrostatischen Verfahren (ESTA) feinkörnig (nach Aufmahlung bis zur Aufschlußkorngröße)
Aggregat (fest/flüssig)	Berge aus der ESTA Aufbereitung fest und trocken, aus der Flotationsaufbereitung fein als Suspension in gesättigter Salzlösung, beim Heiß-Kalt-Löseverfahren hochkonzentrierte Salzlaugen; Aus Auswaschungen der Halden salzhaltige Lösungen
Chemisch	
Zusammensetzung	Die Nebengesteine der Kalilager sind Steinsalze, teilweise Anhydrite, die Deckgesteine des Salzstockes Gips und jüngere Sedimente. Reststoffe aus dem Deckgebirge fallen nur beim Schachtteufen an. Dies ist eine Spezialaufgabe, die häufig im Gefrierverfahren stattfindet. Dieses Material wird gesondert aufgehaldet, ist aber inert. Salze aus dem Nebengestein fallen immer wieder bei der Auffahrung des Grubengebäudes an und werden auf der normalen Salzhalde gemeinsam mit den Aufbereitungsabgängen (so sie in fester Form vorliegen) aufgehaldet
Zusammensetzung	Die Salze sind alle Halogenide und Sulfate der Erdalkalimetalle (Sylvinit, bestehend aus Steinsalz (Halit - NaCl) und Sylvin (KCl), Hartsalz, bestehend aus Steinsalz, Sylvin und Kieserit (MgSO ₄ • H ₂ O) sowie Carnallit, bestehend aus Steinsalz, Kieserit und Carnallit (KCl • MgCl ₂ • 6 H ₂ O)); alle sind löslich, dazu im Salzlager Spuren von Gips und Ton, die sich auf der Oberfläche von Halden durch Auswaschung der löslichen Salze konzentrieren und relativ unlösliche Krusten bilden

Verunreinigung / Reagenzien	keine Verunreinigungen	Verunreinigungen kommen nur in sehr geringer Menge vor, und zwar als Reagenzien für die Flotation oder die elektrostatischen Aufbereitungsprozesse; dies sind dann organische Substanzen (Salicylsäuren und Fettsäureamine)
Massenbilanz		
Anfall an ungenutzter Entnahme	sehr geringer Anteil an Bergematerial, da die Mehrzahl der Strecken im Lager aufgefahren wird und die entsprechenden Materialien als Rohfördererz aufbereitet werden. Anteil der Berge deutlich kleiner 10%	ca 5:1
Umweltrelevanz		
Radioaktiv	keine	keine
Autooxidativ	keine	keine

toxisch	Abraumsalze auf Halden führen zur Bildung salzhaltiger Eluate	Toxizität von Salzlauge in Abhängigkeit von der Konzentration bzw. Verdünnung. Einleitung der Laugen des Heiß-Kalt-Löseverfahrens in die Werra im mitteleuropäischen Kali hat zu einem Absterben der Süßwasserfauna und -flora geführt, die dann von Salzwasserspezies ersetzt wurde.
Lagerungsart		
Auf Halde	Auffahrungen im kaliarmen oder -freien Salz (Schachte, Rampen, Bunker etc.) werden aufgehaldet oder teilweise als Versatz genutzt. Im Werrakali werden zudem Salze aus CO ₂ -Ausbrüchen gefördert und aufgehaldet.	Aufbereitungsabgänge sind nach Verfahren unterschiedlich. Die Salzzusammensetzung bestimmt die Anwendbarkeit der drei Verfahren, wovon die ESTA das präferierte Verfahren darstellt, die Flotation darauf folgt und -wegen der hohen Energieverbräuche und des problematischen Laugeanfalls - das Heiß-Kalt-Löseverfahren eher ungern angewandt wird. <ul style="list-style-type: none"> • fester Abraum wird aufgehaldet • Verfüllung festen Abraums im Untertagebau • Entsorgung von Schlämmen in Brunnen (EU BREF: 72) Halden aus Kalibergabu bestehen zu großen Teilen aus Natriumchlorid und zu geringen Anteilen aus anderen Salzen (Chloride, Kaliumsulfat, Magnesium und Kalzium) sowie aus unlöslichen Stoffen wie Ton und Anhydrite --> bei entsprechender Witterung kommt es zu salzigen Auswaschungen (EU BREF: 72)
Auf Schlammteich		entfällt
sonstige		Laugen werden vielfach entweder in die Vorflut gegeben oder in tiefliegenden permeablen Gesteinen (z.B. Zellendolomit) oder Aquiferen über Schluckbrunnen versenkt. Letzteres ist auch die Entsorgungsoption für salzhaltige Schlämme. Beides ist problematisch: einmal wegen der hohen Salzkonzentration im Oberflächenwasser, zum anderen wegen des hohen hydrostatischen Drucks der versenkten Laugen und der sich dadurch ergebenden Migration der Laugen in andere Aquifere.

Nutzungsoptionen	
Bauma- terialien	keine Verwendung
Versatz	je nach Abbauverfahren werden Reststoffe als Versatz ins ausgebeutete Gruben- gebäude eingebracht
Sonstiges	teilweise als Tausalze nutzbar

Anhang 6: Bewertung Kohle

Kohle	
Bergbau	Aufbereitung
Physikalisch	
Korngröße / Luftmissionen	<p>Abbau von Steinkohle erfolgt sowohl unter, als auch über Tage, Braunkohle wird vornehmlich im Tagebau gewonnen. Nach der Extraktion variiert die Größe zwischen 1m und ultrafeinen Korngrößen (<5µm) (EU BREF: 335) Luftmissionen treten durch austretendes Grubengas (Methan) auf, das teilweise im Vorfeld abgesaugt und partiell energetisch genutzt wird.</p>
Aggregat (fest/flüssig)	<p>Das in Tagebauen anfallende Wasser wird zur Staubbekämpfung und zur Bewässerung rekultivierter Flächen genutzt; oder in Vorfluter gelietet sowie in Teichen verdunstet (SH4: 9) Freisetzung von Methan bei Abbau (SH10: 19)</p>
Chemisch	
Zusammensetzung	<p>Nebengestein ist als sedimentäres Gestein i.d.R. chemisch inert und unproblematisch (Tonsteine, Tonschiefer, Tone, Sande und Kiese). Unterscheidung unterschiedlicher Kohlen nach Anteil flüchtiger Bestandteile und Aschegehalt. Kohlenstoff aus reduzierter pflanzlicher Materie ist brennbar aber umweltchemisch unproblematisch. Problematisch können Flöz- oder Haldenbrände sein, die sich extrem schwer löschen lassen und große Mengen CO₂ freisetzen.</p>
	<p>Produkt der Aufbereitung ist ein von Nebengesteinspartikeln abgereichertes Kohlenkonzentrat (Eigenschaften wie nebenstehend). Braunkohlen haben zudem fallweise Pyrit- oder Markasitknollen als Begleiter, bzw. haben Schwefelverbindungen in den Maceralen gebunden (Schwefelgehalt der Kohlen). Einige Kohlen (z.B. Penzberg) hatten geringe Urangehalte, die sich nach der Verbrennung in den Kohlenaschen angereichert hatten.</p>

Verunreinigung / Reagenzien	Abwasser sowie Gruben- und Waschberge können schwefelhaltig sein (SH4:10)	Flotation erfolgt in pH-neutralem Bereich, Prozesswasser wird weitestgehend recycelt (SH4:10)
Massenbilanz		
Anfall an ungenutzter Entnahme	ein wesentlicher Teil der beim Steinkohlenbergbau anfallenden Reststoffe wird genutzt (SH4: 9)	
Umweltrelevanz		
Radioaktiv	gering	gering
Autooxidativ	teilweise geringe Neigung zur Autooxidation durch Anteile an Pyrit und Markasit	teilweise geringe Neigung zur Autooxidation durch Anteile an Pyrit und Markasit

toxisch	nicht toxisch	Bei ungünstigen Bedingungen kann es zur Selbstentzündung der Halden kommen. Diese entsteht durch Oxidation der in den Bergen enthaltenen Kohle (SH4: 121)
Lagerungsart		
Auf Halde	der größte Teil der Waschberge aus Tiefbaubetrieben wird aufgehaldet und kann schwefelhaltige Bestandteile enthalten (SH: 10)	Bei der Aufbereitung anfallende Abgänge bzw. Berge bestehen überwiegend aus Schiefen, Sandschiefern, Sandsteinen, Brandschiefern, Ton, Kalkstein, Gips, Kohle und Schwefelverbindungen (Pyrit) (SH4: 121) Bei der Verwitterung der Berge kommt es zu chemischen Reaktionen, die die Zusammensetzung des Sickerwassers verändern. Es werden Salze und Sulfate gelöst, sodass deren Konzentrationen im Sickerwasser steigen. Im weiteren Verlauf der Verwitterung wird Pyrit oxidiert, wodurch Schwefelsäure entsteht. Diese löst z.B. Tone und Karbonate und kann den pH-Wert des Sickerwassers erheblich reduzieren (SH4: 121)
Auf Schlammteich		Schlammteiche können Pyrite enthalten und Reagenzien aus der Flotation (EU BREF 73)
sonstige		
Nutzungsoptionen		
Baumaterialien	Untertage werden 20% der Waschberge als Schotter für den Straßenbau verwendet (SH4: 10) Nutzung als Baustoff im Damm- und Deichbau (SH4: 33)	Aufgrund der geringen Wasserdurchlässigkeit wird getrocknete Feinkohle nach der Flotation als Unterlage für Deponien verwendet (EU BREF: 73)

Versatz	Untertage wird Abraum zum Teil als Versatz verwendet (EU BREF 73)	Abraum wird im Tagebau zur Rekultivierung der Landschaft verwendet (EU BREF 73)
Sonstiges		

Anhang 7: Bewertung Eisen

Eisen		
	Bergbau	Aufbereitung
	Physikalisch	
Korngröße / Luftimmissionen	Eisen wird meist im Tagebau abgebaut (SH6: 8) Bei der Gewinnung im Tagebau werden zunächst Die Deckschichten (Abraum) entfernt. Der Abraum wird je nach Festigkeit durch Bohr- und Sprengarbeiten aufgelockert, oder mit Ladegeräten entfernt. Der Erzabbau erfolgt durch Bohr- und Sprengarbeit. Das aufgelockerte Erz wird entweder mit Schwerlastkraftwagen oder auf einem Förderband zur Aufbereitung transportiert (SH6: 9-10) Sprengstoffverbrauch liegt in der Regel bei 250g/t	Nach dem Brechen und Sieben überwiegend unter 30mm zerkleinert und bei 6,3 und ca. 0,2mm abgesiebt. Die Fraktion 30-6,3 mm wird als Stückerz und die Fraktion 6,3 bis 0,2 mm als Aufgabe für die Agglomeration nach dem Sinterverfahren gewonnen. Die Körnung unter 0,2mm stellt Abgänge dar (SH6: 41)
Aggregat (fest/flüssig)		Je nach mineralogischer Zusammensetzung: Zerkleinerung und Klassierung; Nassklassierung und Entschlammung; gravimetrische Sortierung; magnetische Sortierung; Flotation; Entwässerung (SH6: 41)
	Chemisch	
Zusammensetzung	Eisen kommt in der Natur fast nie gediegen sondern überwiegend in Verbindungen vor und zwar in 400 unterschiedlichen Mineralen. Für den Eisenerzabbau sind Oxide, Karbonate, Sulfide und Silikate von Bedeutung, wobei Oxide die größte wirtschaftliche Bedeutung haben. (SH6: 34)	

Verunreinigung / Reagenzien		Bei direkter Flotation werden Eisenminerale und bei indirekter Begleitminerale aufgeschwommen. Bei Eisenerzen kommt nur indirekte Flotation zur Anwendung. Dabei werden als Reagenzien vorwiegend Amine, Kiefernöl, Dextrin, Kalziumoxid und Natriumhydroxid verwendet. (SH6: 43)
Massenbilanz		
Anfall an ungenutzter Entnahme	das Verhältnis von Abraum zu Erz liegt Überwiegend zwischen 0,5:1 und 1,5:1 (t/t) (SH6: 10)	
Umweltrelevanz		
Radioaktiv		
Autooxidativ		

toxisch		
Lagerungsart		
Auf Halde	Da Eisen vorwiegend in oxydischer Form abgebaut wird, enthält das Erz kaum Sulfide. Die Halden haben dementsprechend keine ARD potential. Grober Abraum wird auf Halden gelagert und feiner in Schlammteichen. (EU BREF: 57)	Bei der Aufbereitung anfallende Berge werden überwiegend auf Halden deponiert. Sie bestehen zum größte Teil aus Quarz, Eisenoxiden, Kalzium- und Magnesiumkarbonaten (SH6: 149)
Auf Schlammteich		feinkörnige Erze werden entschlämmt und Körnungen <0,2mm werden häufig als Berge abgestoßen. (SH6: 148)
sonstige		
Nutzungsoptionen		
Baumaterialien	grober steiniger Abraum kann eine Verwendung im Straßenbau und Wegebau finden. Stehen über der Lagerstätte Kalksteine mit mehr als 75% CaCo3 an, kommt es als Ersatzmaterial in einer Zementfabrik in Frage (SH6: 147)	Quarz, Eisenoxiden, Kalzium- und Magnesiumkarbonaten können in manchen Fällen für Straßenbau, Zement und Ziegelherstellung verwendet werden. Der Bedarf ist allerdings gering, da der Abbau meist in dünn besiedelten Regionen stattfindet. (SH6: 149).
Versatz	Die anfallenden Aufbereitungsabgänge werden zur Verfüllung und Rekultivierung der Tagebauräume verwendet oder auf Halden deponiert (SH6: 10)	

Sonstiges		
-----------	--	--

Anhang 8: Bewertung Aluminium

Aluminium	
Bergbau	Aufbereitung
Physikalisch	
Korngröße / Luftmissionen	Deckgebirge und Material aus der eigentlichen Lagerstätte sehr fein, das Produkt lateritischer Verwitterung. Vor allem Streifenabbau; Härtere Bauxite werden durch Sprengung gelockert (SH2: 41)
Aggregat (fest/flüssig)	Feinstpartikel werden als Berge abgeschieden (SH 2: 44)
	nach der Aufbereitung Reststoffe als Schlämme, die extrem schwierig absetzbar und kompaktierbar sind (Rotschlämme); erhöhte PH-Werte, Lagerung in Schlamnteichen; Als Abwasser ins Gewässer geleitet oder soweit getrocknet, sodass eine trockene Aufhaldung möglich wird (EU Bref 9)
Chemisch	
Zusammensetzung	Material ist chemisch als Oxyd und Verwitterungsprodukt inert. Hohe Aluminiumgehalte.
	reaktiver SiO ₂ Anteil liegt zwischen 1-5%. Aluminiumoxid schwankt zwischen 33 und 56%. (SH2: 45)

Verunreinigung / Reagenzien		Rotschlamm enthält zunächst noch große Mengen Natronlauge, die durch ihre basische Reaktion den pH-Wert der Umwelt aus dem Gleichgewicht bringen kann (Beitrag der Abfallwirtschaft zum Aluminiumhaushalt Österreichs: 55) Waschen zur Beseitigung von Tonen und Kieselsäure. (SH2: 45)
Massenbilanz		
Anfall an ungenutzter Entnahme	die Verhältnis von Erz zu Abraum weniger als 1; Tonnage des Abraums geringer als die des Bauxits (SH 2: 41)	4-6t Bauxit enthalten etwa 2t Aluminium-Oxid, darin wiederum 1t Aluminium (EU Bref 144)
Umweltrelevanz		
Radioaktiv	nicht radioaktiv	nicht radioaktiv
Autooxidativ	nicht autooxidativ	nicht autooxidativ

toxisch	nicht toxisch	nicht toxisch
Lagerungsart		
Auf Halde		Berge und Abgänge bestehen aus zwei Teilen. Eine Feinfraktion die etwa 80-95% ausmacht. (Rotschlamm) Und eine Grobfraktion, die als Prozesssand bezeichnet wird. Zusammen machen beide Fraktionen etwa 97-100% der Reststoffe aus. Bis zu 3% können zusätzlich aus Salzen bestehen (EU Bref 144)
Auf Schlammteich		nach der Aufbereitung Reststoffe als Schlämme, die extrem schwierig absetzbar und kompaktierbar sind (Rotschlämme); erhöhte PH-Werte, Lagerung in Schlammteichen; Als Abwasser ins Gewässer geleitet oder soweit getrocknet, sodass eine trockene Aufhaldung möglich wird (EU Bref 9)
sonstige		
Nutzungsoptionen		
Baumaterialien	nicht nutzbar	
Versatz	Nach der Gewinnung des Bauxits wird der Abraum üblicherweise zur Verfüllung und Rekultivierung der Abbaufächen genutzt(SH 2: 41)	

Sonstiges		kalzinierter Bauxit wird zu Feuerfeststeinen und zur Herstellung von Schleifmaterial (Korund) verwendet (SH2: 45)
-----------	--	---

Anhang 9: Bewertung Diamant

Diamant	
eine eindeutige Trennung von Bergbau und Aufbereitung ist vor allem im alluvialen Diamantbergbau sehr schwierig, da Gewinnung und Aufbereitung in einem Prozessschritt ablaufen	
Physikalisch	
Korngröße / Luftimmissionen	<p>Es werden 5 Arten des Diamantabbaus unterschieden</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Der artisanale Kleinbergbau wird mit einfachsten Methoden vollzogen. Hierbei werden in der Regel alluviale Bereiche mit Schaufeln, Sieben oder den bloßen Händen bearbeitet um Diamanten zu fördern. Grundsätzlich handelt es sich um nicht-mechanisierte Subsistenzwirtschaft. 2. Das Fördern von Diamanten aus Festgestein geschieht untertage durch das Anlegen von Gängen, die zu den Abbaukammern in den diamantreichen Lagerstätten führen. 3. Im Festgesteins-Tagebau werden Kimberlit-Schlote bis zu einer Tiefe von 1km mithilfe von Baggern freigelegt. Dies geschieht vor allem dann, wenn das Deckgebirge aus Lockermaterial wie Sand oder Kies besteht. Hierbei fällt Abraum in riesigen Mengen an. Im formellen Bergbau wird dieser wieder verfüllt. Beim Abbau kommen insbesondere Strom und Diesel in großen Mengen zum Einsatz. Hierdurch wird viel CO2 emittiert. 4. Beim Abbau im marinen Bereich werden Sedimente, welche Diamanten enthalten (Strand- und Meeresseifen) hydraulisch vertikal vom Meeresgrund abgesaugt oder mechanisch horizontal abgetragen. Anschließend wird das Material sortiert und die mittlere Fraktion wird dann nach Diamanten sortiert. 5. Diamantführende alluviale Lagerstätten in rezenten oder fossilen Flussbetten werden ebenfalls im Tagebau, und zwar mit Nassbaggertechniken oder trockener Gewinnung abgebaut. Strandseifen. Die Aufbereitung der Diamanten erfolgt dann über Siebverfahren und gravimetrische Verfahren, teilweise direkt auf dem Gewinnungsgerät (z.B. Baggerflöße). Häufig kommen dabei große Mengen Wasser zum Einsatz. <p>Beim Festgesteinsbergbau wird das Material zunächst zerkleinert und/oder gemahlen. Anschließend wird das Material gewaschen und gesiebt. Die eigentliche Trennung erfolgt nach den Prinzipien der hydromechanischen Schwerkrafttrennung (Jigs, diamond pans, etc.). Ferner werden auch weitere Methoden zum Separieren der Diamanten verwendet. Beim Fettherd nutzt man die Unterschiede in der Benetzbarkeit zwischen Diamanten und den mit ihnen vergesellschafteten Mineralen zur Trennung. Weiterhin wird mit Röntgenstrahlung über die Lumineszenz der Diamanten eine Trennung vollzogen. (academic-emporia)</p>

Aggregat (fest/flüssig)	im Tagebau und Untertagebau fest; beim alluvialen Abbau entstehen Schlämme	Nach der Aufbereitung hat das Material eine Größe zwischen 20mm und 75 Mikrometer; es wird als "soft aggregate" kategorisiert. http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsid=18959384
Chemisch		
Zusammensetzung	Kimberlit besteht aus Magnesiumsilikat-Mineralen und Carbonat-Mineralen. Spuren sulphidischer Minerale sind häufig anzutreffen. Aufgrund des hohen Carbonatgehalts und der geringen sulphidischen Anteile ist ein Acid Mine Drainage eher unwahrscheinlich (SRK: 4)	die Zusammensetzung nach der Aufbereitung besteht ebenso wie die Abgänge aus der Gewinnung hauptsächlich aus Siliciumdioxid, Aluminium, Eisenoxid und Magnesium. http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsid=18959384
Verunreinigung / Reagenzien	keine (www.worlddiamondcouncil.org)	zum Herauswaschen und Lösen der Diamanten kommt vor allem Wasser zum Einsatz. Daher ist von keiner Verunreinigung auszugehen. In vielen Teilen Afrikas in denen Diamanten abgebaut werden, herrscht Wasserknappheit. Dementsprechend ist der hohe Wasserverbrauch als kritisch zu betrachten. (www.worlddiamondcouncil.org)
Massenbilanz		
Anfall an ungenutzter Entnahme je t Rohstoff	Für die Gewinnung von einem Karat Rohdiamanten muss in Catoca eine metrische Tonne Abraum bewegt werden (http://de.wikipedia.org/wiki/Catoca-Mine)	Für die Gewinnung von 1 Karat Diamant fällt aufgrund der geringen Gehalte eine große Menge an Aufbereitungsabgängen an, und zwar zwischen etwa 0,5 bis 5 t.

Umweltrelevanz		
Radioaktiv	nicht radioaktiv	nicht radioaktiv
Autooxidativ	nicht autooxidativ	nicht autooxidativ
toxisch	nicht toxisch	die Konzentration von Schwermetallen auf den Halden ist so gering dass kein Risiko besteht. (van Ravensburg et. al. 2004)
Lagerungsart		
Auf Halde	Große Mengen an Abraum aus dem Tagebau; -->aufgehaldet	Das Haldenmaterial besteht im Schnitt aus 76,5% Sand 9,7% Lehm, und 13,8% Ton. (van Ravensburg et. al. 2004)
Auf Schlammteich	Speziell im Alluivalbergbau fallen große Mengen an Feinfraktionen an, die entweder in die Vorflut gegeben werden oder in Becken abgesetzt werden.	Siehe nebenstehend.

sonstige		
Nutzungsoptionen		
Bauma- terialien		Kimberlit Halden finden im Straßenbau Verwendung.
Versatz	wird bei formellem Bergbau häufig wieder verfüllt	
Sonstiges		