

Erörterung ökologischer Grenzen der Primärroh- stoffgewinnung und Entwicklung einer Methode zur Bewertung der ökologischen Rohstoffverfügbarkeit zur Weiterentwicklung des Kritikalitätskonzeptes (ÖkoRess I)

Methode für einen standortbezogenen Ansatz

TEXTE 87/2017

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3713 93 302
UBA-FB 002560/ANH,1

Erörterung ökologischer Grenzen der Primärrohstoffgewinnung und Entwicklung einer Methode zur Bewertung der ökologischen Rohstoffverfügbarkeit zur Weiterentwicklung des Kritikalitätskonzeptes (ÖkoRess I)

Methode für einen standortbezogenen Ansatz

von

Günter Dehoust, Andreas Manhart, Gerd Schmidt
Öko-Institut e.V., Freiburg

Regine Vogt, Claudia Kämper, Jürgen Giegrich, Andreas Auberger
ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Heidelberg

Dr. Michael Priester, Peter Dolega
Projekt-Consult GmbH, Hamburg

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

Öko-Institut e.V.
Geschäftsstelle Freiburg
Postfach 17 71
79017 Freiburg

Abschlussdatum:

Juni 2017

Redaktion:

Fachgebiet III 2.2 Ressourcenschonung, Stoffkreisläufe, Mineral- und Metallindustrie
Jan Kosmol

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, Oktober 2017

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter der Forschungskennzahl 3713 93 302 finanziert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	8
Abkürzungsverzeichnis.....	9
1 Einleitung.....	10
2 Hintergrund	10
3 Methode zur standortbezogenen Bewertung ökologischer Umweltgefährdungspotenziale.....	11
3.1 Ebene Geologie.....	13
3.1.1 Ebene Geologie, Feld rohstoffspezifisch, Indikatoren zu Schadstoffrisiken resultierend aus der geochemischen Zusammensetzung der Bodenschätze	13
3.1.1.1 Indikator: Voraussetzungen für Acid Mine Drainage (AMD)	13
3.1.1.2 Indikator: Vergesellschaftung mit Schwermetallen	20
3.1.1.3 Indikator: Vergesellschaftung mit radioaktiven Stoffen	23
3.1.2 Ebene Geologie, Feld lagerstättenspezifisch, Indikator Lagerstättengröße	26
3.1.3 Ebene Geologie, Feld lagerstättenspezifisch, Indikator spezifischer Lagerstättengehalt	29
3.2 Ebene Technik.....	30
3.2.1 Ebene Technik, Feld bergbauspezifisch, Indikator Gewinnungsmethode	30
3.2.2 Ebene Technik, Feld aufbereitungsspezifisch, Indikator Einsatz von Hilfsstoffen.....	30
3.2.3 Ebene Technik, Feld managementspezifisch, Indikator Reststoffmanagement.....	32
3.2.4 Ebene Technik, Feld managementspezifisch, Indikator Nachsorgemaßnahmen.....	33
3.3 Ebene Standort (Umfeld).....	33
3.3.1 Ebene Standort (Umfeld), Feld Natürliche Umwelt, Indikator naturbedingte Störfallgefahren	35
3.3.1.1 Erdbebengefahr	36
3.3.1.2 Gefahr Hangrutsch	38
3.3.1.3 Gefahr Tropische Stürme	39
3.3.1.4 Gefahr Überschwemmung	40
3.3.1.5 Sonderregel Gefahren für Arktis und Antarktis	41
3.3.1.6 Zusammenführung der Sub-Indikatoren – Bewertung der „naturbedingten Störfallgefahren“	43
3.3.2 Ebene Standort (Umfeld), Feld Natürliche Umwelt, Indikator Wasserstressindex (WSI) und Wüstengebiete	44
3.3.3 Ebene Standort (Umfeld), Feld Natürliche Umwelt, Indikator ausgewiesene Schutzgebiete und AZE-Sites.....	47
3.3.4 Ebene Standort (Umfeld), Feld Soziale Umwelt, Indikator umweltinduzierte Konflikte	50

4	Einschätzung der Datenqualität.....	52
5	Erkenntnisse aus der Anwendung der Methode	53
6	Fazit und Handlungsempfehlungen.....	53
6.1	Einordnung der Bewertungsergebnisse und Grenzen ihrer Aussage.....	54
6.2	Anwendungs- und Handlungsempfehlungen	54
6.3	Weiterer Forschungsbedarf	57
7	Literaturverzeichnis.....	58

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1:	Darstellung der Goldschmidt-Klassifikation der Elemente	14
Abbildung 3-2:	Geochemische Verteilung der Elemente und wichtigsten Mineralien (Cissarz 1965)	16
Abbildung 3-3:	Metallrad nach Reuter (verändert nach Wellmer, Hagelüken 2015)	22
Abbildung 3-4:	Übersetzung der abgeschätzten Minenausdehnung für die Steinkohlemine El Cerrejón.....	35
Abbildung 3-5:	Skala des Gefahrenpotenzials nach GSHAP.....	37
Abbildung 3-6:	Verteilung der Erdbebengefahr nach ÖkoRess-Bewertung (gelb = mittel; rot = hoch)	37
Abbildung 3-7:	Verteilung der Hangrutschgefahr nach ÖkoRess-Bewertung (gelb = mittel; rot = hoch)	39
Abbildung 3-8:	Verteilung Gefahr tropischer Stürme nach ÖkoRess-Bewertung (gelb = mittel; rot = hoch).....	40
Abbildung 3-9:	Verteilung Überschwemmungsgefahr nach ÖkoRess-Bewertung (rot = hoch).....	41
Abbildung 3-10:	Die arktische Region nach AMAP mit ÖkoRess-Bewertung (gelb = mittel)	43
Abbildung 3-11:	Zusammenführung der Sub-Indikatoren „naturbedingte Störfallgefahren“ mit ÖkoRess-Bewertung (gelb = mittel; rot = hoch)	44
Abbildung 3-12:	Verhältnis zwischen WSI und WTA* und Berechnungsformel WSI	45
Abbildung 3-13:	Terrestrische Ökozonen der Erde nach WWF (in rot sind Wüstenregionen dargestellt).....	46
Abbildung 3-14:	Verteilung der Gefahr von Wassernutzungskonkurrenzen nach ÖkoRess-Bewertung (gelb = mittel; rot = hoch)	47
Abbildung 3-15:	Verteilung ausgewiesene Schutzgebiete und AZE-Sites nach ÖkoRess- Bewertung (Gefahrenpotenzial gelb = mittel; rot = hoch).....	50
Abbildung 3-16:	Die Einteilung von Konflikten nach Intensitäten	51

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1:	Raster zur Bewertung von Umweltauswirkungen des Bergbaus für einzelne Abbaubeispiele – standortbezogene Bewertung	12
Tabelle 3-2:	Richtwerte zur radiologischen Bewertung von Lagerstätten	24
Tabelle 3-3:	Durchschnittliche Aktivitätskonzentrationen von U und Th in chinesischen Lagerstätten und Ableitung der entsprechenden Bewertung	26
Tabelle 3-4:	Russische Größeneinteilung von Lagerstätten (nach Petrow et al. 2008)	27
Tabelle 3-5:	Gehaltsklassen für spezifische Lagerstättengehalte (nach Priester/Ericsson o.D.)	29
Tabelle 3-6:	Ausgewählte Indikatoren für das Ziel „Vermeidung von naturbedingten Störfallgefahren“	36
Tabelle 3-7:	Bewertung für den Sub-Indikator Erdbebengefahr	37
Tabelle 3-8:	Bewertung für den Sub-Indikator Gefahr Hangrutsch	38
Tabelle 3-9:	Bewertung für den Sub-Indikator Gefahr tropische Stürme	40
Tabelle 3-10:	Bewertung für den Sub-Indikator Gefahr Überschwemmung	41
Tabelle 3-11:	Bewertung für den Indikator Wasserstressindex und Wüstengebiete	46
Tabelle 3-12:	Bewertung für den Indikator ausgewiesene Schutzgebiete und AZE-Sites	49

Abkürzungsverzeichnis

AMAP	Arctic Monitoring and Assessment Programme
AMD	Acid Mine Drainage
AZE	Alliance for Zero Extinction
BREF	Best available techniques Reference document
EITI	Initiative für Transparenz im rohstoffgewinnenden Sektor (Extractive Industries Transparency Initiative)
FPIC	free, prior and informed consent
GAR	Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction
GARD	Global Acid Rock Drainage Guide
GRI	Global Reporting Initiative
GSHAP	Global Seismic Hazard Assessment Program
IAEA	International Atomic Energy Agency
IBA	Important Bird Area
ICCA	Indigenous and Community Conserved Areas
ICME	International Council on Metals and the Environment
ICMI	International Cyanide Management Code For the Manufacture, Transport and Use of Cyanide In the Production of Gold
ICMM	International Council on Mining and Metals
ICOLD	International Commission On Large Dams
INAP	International Network for Acid Prevention
IRMA	Initiative for Responsible Mining Assurance
IUCN	International Union for Conservation of Nature
TSM	Towards Sustainable Mining
UGP	Umweltgefährdungspotenzial
UNEP	United Nations Environmental Program
UNISDR	United Nations International Strategy for Disaster Reduction
USGS	US Geological Service
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
WDPA	World Database on Protected Areas
WGI	World Governance Indicator
WSI	Wasser-Stress-Index
WTA	Withdrawal To Availability
VF	Variationsfaktor

1 Einleitung

Der hier vorliegende Bericht „Bewertung ökologischer Gefährdungspotenziale bei der Primärgewinnung abiotischer Rohstoffe - Methode für einen standortbezogenen Ansatz“ ist ein Teilbericht im Rahmen des Projektes ÖkoRess I¹, das von Öko-Institut, ifeu und Projekt Consult im Auftrag des Umweltbundesamtes erarbeitet wurde. Er stellt die Entwicklung einer Methode vor, mit der Bergbaustandorte hinsichtlich ihrer potenziellen Umweltauswirkungen bewertet und miteinander verglichen werden können.

Im Rahmen des Projektes ÖkoRess I wurden außerdem folgende (Teil)Berichte erstellt und veröffentlicht:

- ▶ „Erörterung ökologischer Grenzen der Primärrohstoffgewinnung und Entwicklung einer Methode zur Bewertung der ökologischen Rohstoffverfügbarkeit zur Weiterentwicklung des Kritikalitätskonzeptes“ – ÖkoRess I-Konzeptband
- ▶ „Bewertung ökologischer Gefährdungspotenziale bei der Primärgewinnung abiotischer Rohstoffe – Methode für einen rohstoffbezogenen Ansatz“²
- ▶ „Bergbauliche Reststoffe“ (Dieser Text liegt nicht als UBA-Text vor, sondern wurde bereits im Laufe der Bearbeitung von Öko-Ress I als eigenständiger Bericht des Projektteams veröffentlicht³).

Da die Berichte für sich verständlich sein sollen, war es erforderlich, einige Textteile in mehreren Berichten aufzunehmen. Dies betrifft insbesondere die Berichte zur standort- und rohstoffbezogenen Bewertung, da der hier vorgelegte Bericht zur standortbezogenen Bewertung die Vorarbeiten zu der rohstoffbezogenen Bewertungsmethode darstellt.

Neben den genannten Berichten wurden noch in 40 Fallbeispielen die Umweltauswirkungen von Bergbaustandorten beschrieben und ihre Umweltgefährdungspotentiale nach der hier dargestellten Methode bewertet. Die wichtigsten Fallbeispiele wurden ebenfalls veröffentlicht. Das Vorgehen bei Auswahl, Beschreibung und Bewertung der Fallbeispiele ist zudem im ÖkoRess I-Konzeptband beschrieben.

2 Hintergrund

Die Primärgewinnung abiotischer Rohstoffe wie Erze, Kohle, Industriemineralien und Baustoffe stellt stets einen Eingriff in die natürliche Umwelt dar und ist in vielen Fällen mit signifikanten Umweltauswirkungen verbunden. Je nach Art und Zuschnitt des Bergbaus beinhalten diese u. a. eine großflächige Umgestaltung des Naturraums, den Verlust von Ökosystemen, Eingriffe in den Wasserhaushalt und Belastung von Boden, Luft und Wasser mit Schadstoffen.

Die Auswirkungen der Bergbaumaßnahmen hängen stark von den an den einzelnen Standorten gegebenen Randbedingungen bezüglich der geologischen Voraussetzungen, der angewandten Technik sowie den natürlichen und sozialen Umfeldbedingungen ab.

Die vorgelegte Methode soll dabei helfen, die wichtigsten Aspekte davon auch dann „grob“ zu bewerten, wenn es keine Möglichkeiten gibt, dazu Erhebungen vor Ort durchzuführen.

¹ Langtitel: „Erörterung ökologischer Grenzen der Primärrohstoffgewinnung und Entwicklung einer Methode zur Bewertung der ökologischen Rohstoffverfügbarkeit zur Weiterentwicklung des Kritikalitätskonzeptes“, FKZ 3713 93 302

² Bezugsquellen der drei ÖkoRess I-Texte: <https://www.umweltbundesamt.de/umweltfragen-oekoress>

³ Bezugsquelle: <https://www.umweltbundesamt.de/dokument/oekoress-teilbericht-bergbauliche-reststoffe-dr>

3 Methode zur standortbezogenen Bewertung ökologischer Umweltge-fährdungspotenziale

Die Bewertung von potenziellen oder manifesten Umweltauswirkungen im Bergbaubereich erfordert in der Regel umfassende Methoden sowie detaillierte Analysen, einschließlich einer Betrachtung der lokalen geologischen, hydrologischen und klimatischen Bedingungen, der Bewertung der jeweiligen Standortsensibilität in Bezug auf die Natürliche Umwelt sowie getroffener und geplanter Vor- und Nachsorgemaßnahmen.

Somit erfordert eine fundierte Einschätzung von Umweltauswirkungen eines existierenden oder geplanten Bergbauprojektes eine sehr zeit- und kostenaufwendige Prüfung. Da im Vorfeld einer solchen Prüfung dennoch Entscheidungen hinsichtlich Planung und Finanzierung getroffen werden müssen, erscheint es sinnvoll, ein Prüfraster zu erstellen, das weniger aufwendig in der Durchführung ist, aber dennoch richtungssichere Hinweise auf eventuell besonders relevante Umweltgefahren geben kann. So eine Erstprüfung kann keinesfalls eine vertiefte Umweltverträglichkeitsprüfung ersetzen, sie kann aber v. a. im Vorfeld eines Projektes genutzt werden, um eventuelle und wahrscheinliche Hot Spots zu identifizieren, sodass frühzeitig gegengesteuert werden kann.

Das in der folgenden Tabelle dargestellte Bewertungsraster wurde im Rahmen von ÖkoRess I entwickelt und kann für eine solche Prüfung verwendet werden. Es basiert im Wesentlichen auf Indikatoren (mit Bewertung durch einfaches Ampelsystem), die jeweils einem Umweltziel (z. B. Vermeidung von Schadstoffgefahren), als auch einer Betrachtungsebene zugeordnet sind. Über diese doppelte Zuordnung zu Zielen und Betrachtungsebene soll eine einfache Handhabbarkeit gewährleistet werden. Insbesondere die Betrachtungsebene soll die Art der Datenerhebung erleichtern, indem sie vom Allgemeinen zum Speziellen schreitet (Geologie – Technik – Standort).

Neben der Einschätzung einzelner Bergbauprojekte – so wie dies im Rahmen der Fallbeispiele erfolgte – ist ein solches Raster auch wichtige Voraussetzung für die Bewertung der ökologischen Gefährdungspotenziale eines Rohstoffes allgemein und damit ggf. seiner eingeschränkten Verfügbarkeit. Denn einerseits können manche der gelisteten Indikatoren auf Basis rohstoffspezifischer Betrachtungen beantwortet werden (z. B. typische Vergesellschaftungen mit Schwermetallen oder radioaktiven Stoffen), andererseits kann über Bewertungen der mengenmäßig wichtigsten Förderregionen eines Rohstoffes auf typische Hot Spots allgemein extrapoliert werden.

Das dargestellte Bewertungsraster basiert im Wesentlichen auf den Erfahrungen bei der Erarbeitung der 40 Fallbeispiele im Rahmen dieses Projektes in Verbindung mit der Expertise der Autoren zu Bewertungsfragen.

Zur Anwendung des Rasters wurden für jeden Indikator „Messanleitungen“ entwickelt, die in diesem Bericht vorgestellt sind.

Tabelle 3-1: Raster zur Bewertung von Umweltauswirkungen des Bergbaus für einzelne Abbaubeispiele – standortbezogene Bewertung

	Feld	Ziel	Indikator	Bewertung		
				Geringes UGP	Mittleres UGP	Hohes UGP
Geologie	v.a. rohstoff-spezifisch	Vermeidung von Schadstoffrisiken	Voraussetzungen für Acid Mine Drainage (AMD)	Geochemische Voraussetzungen für AMD sind nicht gegeben	Geochemische Voraussetzungen für AMD sind in Ansätzen gegeben	Geochemische Voraussetzungen für AMD sind gegeben
			Vergesellschaftung mit Schwermetallen	Die Lagerstätte weist keine erhöhten Schwermetallkonzentrationen auf	Die Lagerstätte weist leicht erhöhte Schwermetallkonzentrationen auf	Die Lagerstätte weist stark erhöhte Schwermetallkonzentrationen auf
			Vergesellschaftung mit radioaktiven Stoffen	Die Lagerstätte weist geringe Konzentrationen an Uran und/oder Thorium auf	Die Lagerstätte weist eine leicht erhöhte Konzentration an Uran und/oder Thorium auf	Die Lagerstätte weist eine hohe Konzentration an Uran und/oder Thorium auf
	v.a. lagerstätten-spezifisch	Begrenzung des Eingriffs in den Naturraum	Lagerstättengröße	Klein	Mittel	Groß
		Begrenzung Aufwand zur Gewinnung	Spez. Gehalt	Reich	Mittel	Arm
Technik	v.a. bergbau-spezifisch	Begrenzung des Eingriffs in den Naturraum	Gewinnungsmethode	Tiefbau	Festgesteinstagebau	Alluvial oder andere oberflächen-nahe Lagerstätten
	v.a. aufbereitungs-spezifisch	Vermeidung von Schadstoffrisiken	Einsatz von Hilfsstoffen	Ohne Hilfsstoffe	Mit Hilfsstoffen	Mit toxischen Reagenzien
	v.a. management-spezifisch	Verringerung der Risiken durch Reststoffe	Reststoffmanagement	Gesicherte Verbringung in der Lagerstätte	U.a. standsichere Halden, Vermarktung Reststoffe	Risikobehaftete Verbringung, nicht standsichere Seen, keine Konzepte
		Verringerung der Langfristigkeit des Eingriffs	Nachsorgemaßnahme	Prozessbegleitende Renaturierung	Bilanzielle Rückstellung	Keine Vorkehrungen
Standort (Umfeld)	Natürliche Umwelt	Vermeidung von naturbedingten Störfallgefahren	Störfallgefahr durch Überschwemmung, Erdbeben, Stürme, Hangrutsch	alle Subindikatoren weisen eine geringe Störfallgefahr (grün) auf	mind. ein Subindikator weist eine mittlere Störfallgefahr (gelb) auf, keiner eine hohe*	mind. ein Subindikator weist eine hohe Störfallgefahr (rot) auf
		Vermeidung von Wassernutzungskonkurrenzen	Water Stress Index (WSI) und Wüstengebiete	geringer Wasserstress	moderater Wasserstress	schwerer Wasserstress oder Wüstenregion
		Schutz/Erhalt hochwertiger Ökosysteme	Ausgewiesene Schutzgebiete und AZE-Sites	keine Ausweisung/keine AZE-Site	AZE-Site oder „protected area“ (e.g. IUCN Cat. V-VI, nation. Schutzgebiet)	„highly protected area“ (e.g. World heritage site, IUCN Cat. I-IV)
	Soziale Umwelt	Vermeidung von umweltvermittelten Nutzungskonflikten	Konfliktpotenzial mit lokaler Bevölkerung (2 <i>Worldwide Governance Indicators</i>)	demokratische Grundrechte gegeben; gute Korruptionskontrolle (<i>Indikatorwerte</i> >65%)	demokratischer Grundrechte und/oder Korruptionskontrolle mäßig (<i>Indikatorwerte</i> >45% <65%)	Wenig demokratische Grundrechte und/oder Korruptionskontrolle (<i>Indikatorwerte</i> <45%)

* naturbedingte Störfallgefahren für die Arktis werden in Ermangelung von Gefahrenkarten konservativ generell mit gelb (mittleres Potenzial) bewertet

grün = geringes Gefährdungspotenzial; gelb = mittleres Gefährdungspotenzial; rot = hohes Gefährdungspotenzial

3.1 Ebene Geologie

3.1.1 Ebene Geologie, Feld rohstoffspezifisch, Indikatoren zu Schadstoffrisiken resultierend aus der geochemischen Zusammensetzung der Bodenschätze

Die geochemische Zusammensetzung von Bodenschätzen ist eine entscheidende Einflussgröße für bergbaubezogene Schadstoffrisiken. Insbesondere im Hinblick auf Erze können die Schadstoffrisiken im Wesentlichen wie folgt untergliedert werden:

- ▶ Voraussetzung für Acid Mine Drainage (AMD)
- ▶ Vergesellschaftung mit Schwermetallen und Arsen
- ▶ Vergesellschaftung mit radioaktiven Stoffen

Hinzu kommen Schadstoffrisiken resultierend aus den Hilfsstoffen der Erzaufbereitung. Diese werden in Kapitel 3.2 behandelt.

Zwar können gezielte Managementmaßnahmen Schadstoffemissionen in die Umwelt weitgehend reduzieren, die Effektivität einzelner Maßnahmenkombinationen kann aber i.d.R. nur mit Hilfe aufwändiger vor-Ort Untersuchungen abgeschätzt werden, sodass bei der hier vorgenommenen Erstbewertung von Umweltrisiken diese Dimension zwangsläufig ausgeklammert werden muss.

3.1.1.1 Indikator: Voraussetzungen für Acid Mine Drainage (AMD)

Bewertung

Gering (grün):

Geochemische Voraussetzungen für AMD sind nicht gegeben (Rohstoff und Begleiter sind chemisch inert; Lagerstätten sind durch oxydische, karbonatische oder silikatische Paragenesen gekennzeichnet; keine Präsenz von Sulfidmineralen; Rohstoffe sind lithophil)

Mittel (gelb):

Geochemische Voraussetzungen für AMD sind in Ansätzen gegeben (Rohstoffe sind siderophil, in gediegener Form oder als Oxide mineralisiert)

Hoch (rot):

Geochemische Voraussetzungen für AMD sind gegeben (Rohstoff liegt sulfidisch bzw. in Sulfid-erzlagern vor).

Acid Mine Drainage gilt als eines der großen Umweltprobleme im Bergbau. Es bezeichnet die Bildung saurer Sickerwässer, die beim Austreten zumeist schwere Umweltfolgen für Grund- und Oberflächen- gewässer im jeweiligen Einzugsgebiet nach sich ziehen. Die Bildung der sauren Sickerwässer ist von verschiedenen Faktoren wie der Korngröße und Korngrößenverteilung der Aufbereitungsrückstände bzw. des Abraums, der Feuchtigkeit sowie des Temperaturregimes abhängig (Akçil, Koldas 2006). Ein wesentlicher Faktor ist allerdings die chemische Zusammensetzung der Aufbereitungsrückstände und des Abraums. Generell setzt AMD die Anwesenheit sulfidischer Minerale voraus. Werden diese Feuchtigkeit und (Luft-) Sauerstoff ausgesetzt, so kommt es über eine Kette von chemischen Reaktionen zur Oxidation und Hydrolyse und damit zur Bildung saurer Sickerwässer. Diese sauren Sickerwässer können wiederum Schwermetalle aus dem Gestein lösen und somit das Umweltproblem weiter verschärfen (Udayabhanu, Prasad 2010). Zwar hängt die Größe des Umweltproblems ausgehend von AMD stark von der individuellen Situation in einem Abbaubereich sowie den angewandten Gegenmaßnahmen ab, charakteristische geochemische Zusammensetzungen geben aber dennoch Hinweise auf generelle Gefährdungslagen.

Die Neigung zur Autooxidation der Erze und der bergbaulichen Reststoffe lässt sich aus den bevorzugten Bildungsbedingungen der Erzminerale für die gefördertten Metalle bzw. Wertelemente und deren Begleitminerale ableiten. Die geochemischen Bildungsbedingungen unterscheiden sich nach Art der Elemente; diese sind nach der Goldschmidt-Klassifikation in siderophil (Eisen-liebend), lithophil (Silikat-liebend) und chalkophil (Schwefel-liebend) gekennzeichnet (siehe Abbildung 3-1⁴). Diese Einteilung, die eine erste Orientierung erlaubt, basiert auf der typischen Anreicherung von Elementen in der Geosphäre: Während siderophile Elemente v. a. im Eisenkern des Planeten angereichert sind, treten lithophile Elemente bevorzugt in der Erdkruste in erhöhter Konzentration auf. Letztere zeichnen sich durch hohe Bindungsenergien der Elementoxyde aus, die verhindern, dass das Element in gediegener Form natürlich auftritt, bzw. leicht dissoziiert (White 2013). Chalkophile Elemente liegen wiederum bevorzugt sulfidisch vor. Aus dieser Einteilung können wiederum rohstoffspezifische Voraussetzungen für Acid Mine Drainage abgeleitet werden:

- ▶ Lithophile Elemente werden i.d.R. aus oxydischen Lagerstätten gewonnen
- ▶ Chalkophile Elemente werden i.d.R. aus sulfidischen Lagerstätten gewonnen
- ▶ Siderophile Elemente liegen oft sulfidisch vor, werden aber auch aus oxydischen Lagerstätten gewonnen. Dies trifft vor allem bei Lagerstätten zu, die lange Zeit der atmosphärischen Verwitterung ausgesetzt waren.

Insbesondere bei wirtschaftsgeologischer Betrachtungsweise ist es zur Einordnung bzw. Bewertung notwendig, jeweils die paragenetischen Verhältnisse der Erze wirtschaftlich gewinnbarer Lagerstätten zu betrachten. Dies kann bei siderophilen Elementen häufig zu einer Eingliederung in die Gruppe der lithophilen Elemente führen. Hierzu siehe Abbildung 3-2 und den nachstehenden Text.

Abbildung 3-1: Darstellung der Goldschmidt-Klassifikation der Elemente

Goldschmidt's Classification																			VIII A	
IA	IIA												IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	He		
1	H																			
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne		
3	Na	Mg	IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	—VIII B—		IB	IIB	Al	Si	P	S	Cl	Ar			
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
7	Fr	Ra	Ac																	
				La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
				Ac	Th	Pa	U	Nu	Pu											

Lithophile

Siderophile

Chalcophile

Atmophile

Quelle: White (2013)

⁴ Darin ebenfalls ausgewiesene atmophile (Gas-liebende) Elemente sind im gegebenen Zusammenhang nicht relevant.

Lagerstätteengeologisch übersetzen sich diese elementspezifischen Eigenschaften in Erzminerale und Mineralparagenesen, die für die unterschiedlichen geologischen Bildungsbedingungen nach Cissarz (1965) in der Abbildung 3-2 dargestellt sind.

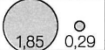
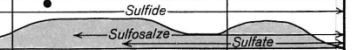
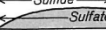
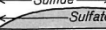
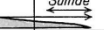
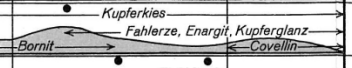
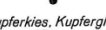
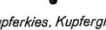
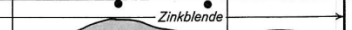
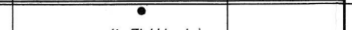
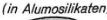
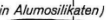
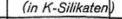
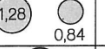
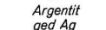
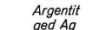
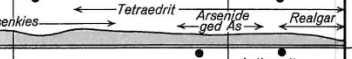
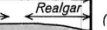
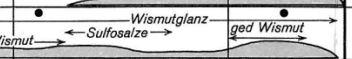
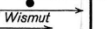
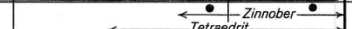
In Abbildung 3-2 sind die wirtschaftlich bedeutenden Erzminerale mit einem schwarzen Punkt gekennzeichnet. Für die jeweiligen Erzminerale tauchen in der Abbildung in der gleichen Spalte Minerale assoziierter Vergesellschaftungen⁵ auf, die ebenfalls für die Bildung von AMD verantwortlich sein können, insbesondere wenn es sich um Sulfid-Minerale handelt.

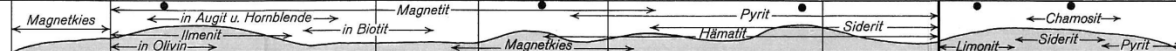
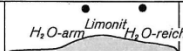
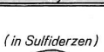
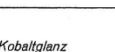
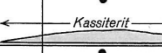
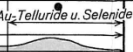
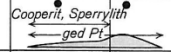
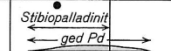
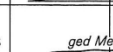
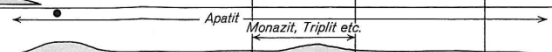
⁵ Zum Beispiel: Nickel aus dem Erzmineral Pentlandit aus Entmischungslagerstätten kommt paragenetisch mit Kupferkies (ebenfalls in der Spalte der Entmischungssegregate), Sperryolith, Selen und Tellursulfiden, Magnetkies, Kobaltglanz, sowie Gold und PGM gemeinsam vor.

Abbildung 3-2: Geochemische Verteilung der Elemente und wichtigsten Mineralien (Cissarz 1965)

Übersicht über die geochemische Verteilung der Elemente und wichtigsten Mineralien auf die Lagerstättengruppen

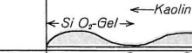
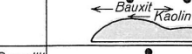
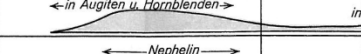
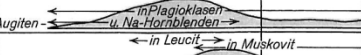
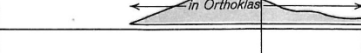
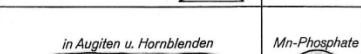
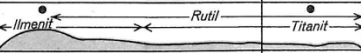
Chalkophile Elemente

Atom Nr.	Atom- Gewicht	Wertig- keit	Jonenradius	Element	Entmischungs- segregate	Silikatkristallisation	Pegmatite	Pneumatolytische Lagerstätten	Plutonisch-hydroth. Lagerstätten	Subvulk.-hydroth. Lagerstätten	Marin - sedimentäre Lagerstätten		Verwitterungslagerstätten auf dem Festland	Element
						basisch → sauer					anorganisch ± biochemisch	Verdunstung d. Meerwassers		
											Oxydationspot.	Reduktionspot.		
16	32,07	2 ⁻ 6 ⁺		S										S
29	63,54	1 ⁺		Cu										Cu
30	65,38	2 ⁺		Zn										Zn
48	112,41	2 ⁺		Cd										Cd
31	69,72	3 ⁺		Ga										Ga
32	72,6	4 ⁺		Ge										Ge
49	114,82	3 ⁺		In										In
81	204,4	1 ⁺		Tl										Tl
82	207,21	2 ⁺ 4 ⁺		Pb										Pb
47	107,88	1 ⁺		Ag										Ag
33	74,91	3 ⁺		As										As
51	121,74	3 ⁺		Sb										Sb
83	209,0	3 ⁺		Bi										Bi
80	200,61	2 ⁺		Hg										Hg
34	78,96	2 ⁻		Se										Se
52	127,61	2 ⁻		Te										Te

Siderophile Elemente											
26	55,85	2+ 3+	 	Fe					Fe		
28	58,71	2+		Ni						Ni	
27	58,94	2+		Co						Co	
42	95,95	4+		Mo						Mo	
50	118,7	4+		Sn						Sn	
79	197,0	1+		Au							Au
78	195,09	2+ 4+	 	Pt							Pt
46	106,4	2+ 4+	 	Pd							Pd
77,44 45,76	192,2;101,1 102,9;190,2	4+		Ir, Ru Rh, Os							Ir, Ru Rh, Os
15	30,97	5+		P							P
6	12,01	4+		C							C

Übersicht über die geochemische Verteilung der Elemente und wichtigsten Mineralien auf die Lagerstättengruppen

Lithophile Elemente

Atom Nr.	Atom- Gewicht	Wertig- keit	Jonenradius	Element	Entmischungs- segregate	Silikatkristallisation	Pegmatite	Pneumatolytische Lagerstätten	Plutonisch-hydroth. Lagerstätten	Subvulk.-hydroth. Lagerstätten	Marin -sedimentäre Lagerstätten		Verwitterungslagerstätten auf dem Festland		Element
						basisch → sauer					anorganisch ± biochemisch Oxydationspot. Reduktionspot.	Verdunstung d. Meerwassers	arid-tropisch-gemäßigt		
14	28,09	4 ⁺	○ 0,40	Si											Si
13	26,98	3 ⁺	○ 0,51	Al								Chamosit			Al
12	24,32	2 ⁺	● 0,66	Mg				in Granat	in Chlorit	in Chlorit, Magnesit	Dolomit		Carnallit, Kieserit	Gelmagnesit	Mg
20	40,08	2 ⁺	● 1,03	Ca				in Ca-Silikaten	Fluorit		Calcit, Dolomit		Anhydrit	Anhydrit	Ca
11	22,99	1 ⁺	● 1,01	Na				in Albit					Steinsalz	Salpeter, Soda etc.	Na
19	39,1	1 ⁺	● 1,45	K					in Sericit	in Sericit			Carnallit, Sylvin	K-Salze	K
38	87,63	2 ⁺	● 1,16	Sr							Strontianit, Coelestin				Sr
56	137,36	2 ⁺	● 1,43	Ba						Baryt	Baryt				Ba
25	54,94	2 ⁺ 4 ⁺	● 0,80 ● 0,57	Mn			Mn-Phosphate	in Wolframit		in Siderit, Pyrolusit	Pyrolusit etc.			Pyrolusit, Psilomelan	Mn
22	47,9	4 ⁺	● 0,68	Ti										(in Bauxit)	Ti
24	52,01	3 ⁺ 6 ⁺	● 0,63 ● 0,49	Cr										(in Fe-Erzen)	Cr
23	50,95	5 ⁺	● 0,56	V					(in Pb-Zn-Erzen)		(in Fe-Erzen) (in Bitumen)		Carnotit, Desloizit (in Bauxit)	V	
4	9,01	2 ⁺	○ 0,33	Be			Beryll								Be
5	10,82	3 ⁺	○ 0,22	B			in Turmalin				(in Tonmineralien)		Boracit	Borax etc.	B
39	88,92	3 ⁺	● 0,92	Y			Gadolinit, Xenotim								Y
40,72	91,22; 178,5	4 ⁺	● 0,82 ● 0,78	Zr, Hf			Zirkon								Zr, Hf
57-71	138,9- 175,0	3 ⁺	● 1,18 ● 0,85	Seltene Erden			vorh. Silikate u. Phosphate								Seltene Erden
90	232	4 ⁺	● 1,02	Th			Thorit, Monazit								Th

41,73	92,91; 180,95	5+	0,69/0,68	Nb, Ta				← Columbit Pyrochlore						Nb, Ta
74	183,86	4+	0,70	W				← Wolframit Scheellit →		Wolframit Scheelit				W
92	238,07	4+	1,01	U				← Uranpecherz			(in Bitumen)		Carnotit	U
9	19,0	1-	1,36	F				← in Phlogopit → in Topas → Fluorit → ← in Zinnwaldit → in F-Apatit →						F
17	35,46	1-	1,81	Cl		← in Sodalith →		← in Apatit →				Steinsalz Sylvinit etc.		Cl
35	79,92	1-	1,96	Br				← in Skapolith →				(in Salzen)		Br
53	126,91	1-	2,20	I								(in Salzen)	(in Salpeter)	I
3	6,94	1+	0,68	Li				Amblygonit Spodumen Zinnwaldit Lepidolith				(in Steinsalz)		Li
55	132,91	1+	1,82	Cs				(in Feldspat) (in Lepidolith)				(in K-Salzen)		Cs
37	85,48	1+	1,60	Rb				(in Silikaten) (in Lepidolith)				(in K-Salzen)		Rb

Daraus können folgende Handreichungen für die Bewertung abgeleitet werden, sofern die genaue mineralogische Zusammensetzung der Lagerstätte nicht bekannt ist:

- ▶ Die lithophilen Elemente weisen durchwegs ein niedriges Gefährdungspotenzial hinsichtlich AMD auf (grün). Dies betrifft folgende Rohstoffe: Bauxit/Aluminium, Magnesit/Magnesium, Silikatsand/Silicium, Kalkstein/Calcium, Kaliumcarbonat/Kalium, Mangan, Titan, Chrom, Vanadium, Baryt, Beryllium, Borate/Bor, Zirkon, Hafnium, Seltene Erden, Niob, Tantal, Wolfram⁶, Lithium.
- ▶ Die chalkophilen Elemente weisen durchwegs ein hohes Gefährdungspotenzial hinsichtlich AMD auf (rot). Dies betrifft folgende Rohstoffe: Schwefel, Kupfer, Zink, Cadmium, Germanium⁷, Indium, Tellur, Blei, Silber, Antimon, Wismut.
- ▶ Eine Ausnahme betrifft Gallium, das zwar je nach Quelle als siderophiles, chalkophiles oder lithophiles Element geführt wird, aber in entsprechenden Lagerstätten nicht in wirtschaftlich gewinnbaren Konzentrationen vorkommt. Da Gallium i.d.R. als Nebenprodukt aus Bauxit gewonnen wird, ist das Gefährdungspotenzial für AMD von Gallium analog zu Aluminium/Bauxit (lithophil) als gering einzustufen (grün).
- ▶ Die siderophilen Elemente Eisen, Nickel, Kobalt, Molybdän, Zinn, Gold, die Platingruppenmetalle, Rhenium und Phosphor sind weniger eindeutig. Die Rohstoffe liegen meist in oxydischen Mineralen vor, wobei der jeweilige Gesamtverband (einschl. Begleitminerale) oftmals auch Sulfide enthalten kann. In diesen Fällen wird eine mittlere Bewertung empfohlen, wobei im Falle von standortbezogenen Bewertungen folgende Ausnahmen beachtet werden müssen:
 1. Seifenlagerstätten (diese können v. a. bei der Gewinnung von Gold, PGMs und Zinn relevant sein) sind i.d.R. oxydisch und weisen ein geringes AMD-Risiko auf (grün).
 2. Molybdän ist meist ein Nebenprodukt der Kupfergewinnung. In diesen Fällen ist von einem hohen AMD-Risiko auszugehen (rot).
 3. Ebenso wird Gold z. T. aus Kupferlagerstätten (mit-)gewonnen. Diese Vorkommen weisen ebenso ein hohes AMD-Risiko auf (rot).
 4. Nickel- und Kobalterze liegen in den meisten Fällen in Form sulfidischer Eisen-Nickel-Kobalt Minerale vor (z. B. Nickelmagnetkies). Entsprechend müssen Nickel- und Kobaltlagerstätten zumeist mit einem hohen AMD-Risiko (rot) bewertet werden.

3.1.1.2 Indikator: Vergesellschaftung mit Schwermetallen

Bewertung

Gering (grün):

Die Lagerstätte weist keine erhöhten Schwermetallkonzentrationen auf.

Mittel (gelb):

Die Lagerstätte weist leicht erhöhte Schwermetallkonzentrationen auf.

Hoch (rot):

Die Lagerstätte weist stark erhöhte Schwermetallkonzentrationen auf.

Schwermetalle sind zumeist ein Problem des Erzbergbaus und der Aufbereitung (Primärgewinnung metallischer Rohstoffe). Zudem sind charakteristische Vergesellschaftungen mit Schwermetallen auch bei sedimentär gebildetem Phosphat (Uran, Cadmium) bekannt (Mar, Okazaki 2012). Andere abioti-

⁶ Wolfram wird zwar in Abbildung 3-1 als siderophiles Element gelistet, aus Abbildung 3-2 geht aber hervor, dass bauwürdige Lagerstätten i. d. R. immer lithophil sind.

⁷ Da die technische Gewinnung von Germanium als Beiprodukt aus komplexen Kupfer- und Zinksulfiderzen erfolgt, ist Germanium als chalkophil eingeordnet (siehe Abbildung 3-2).

sche Rohstoffe (Baustoffe, Industrieminerale) sind meist deutlich weniger kritisch hinsichtlich möglicher Schwermetallkontaminationen. Durch die Tendenz zur Autooxidation wird die Löslichkeit von Schwermetallen aus den bergbaulichen Reststoffen noch verstärkt.

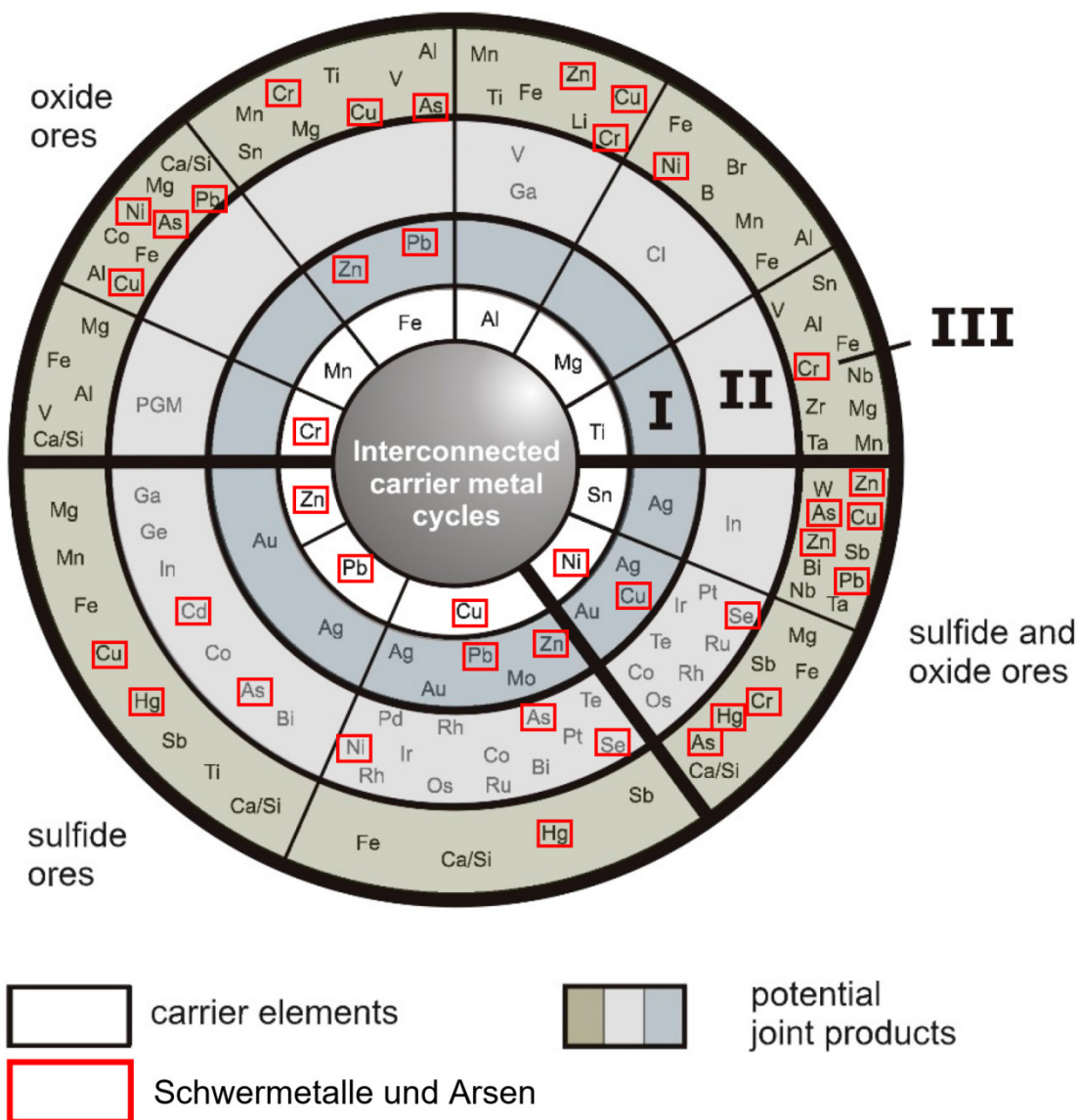
Charakteristische Zusammensetzungen werden im sogenannten Reuter-Rad der Metalle dargestellt (siehe Abbildung 3-3). Die Einteilung geht auf Arbeiten von Professor Markus Reuter an der Universität von Melbourne zurück. Die Darstellung zeigt die typische Vergesellschaftung von Metallen in Erzen und deren Art von Vorkommen hinsichtlich sulfidischer und oxydischer Erze. In der schalenartigen Kreisform ist zudem dargestellt, welche Metalle typischerweise Hauptbestandteil von Erzen sind und welche als Nebenprodukte gefördert werden bzw. nur als nichtnutzbare Bestandteile auftreten.

Die Vergesellschaftungen stehen im engen Zusammenhang mit den wertelementinhärenten Eigenschaften wie sie im Kapitel 3.1.1.1 besprochen sind. Nämlich mit vorwiegend oxidischen, respektive vorwiegend sulfidischen Bildungsbedingungen und den jeweiligen Element- bzw. Mineral-Vergesellschaftungen, die dieses Rad wiedergibt. Hierbei sind mit wachsender Entfernung vom Zentrum erst das Hauptmetall, dann Nebenmetalle, Spurenelemente und schließlich wirtschaftlich nicht relevante Begleitelemente systematisch aufgeführt. Für die Betrachtung der Erze als Schwermetallquelle ist es jedoch unerheblich, ob das Material von wirtschaftlicher Bedeutung ist oder nicht. In diesem Zusammenhang werden Stoffe als Schwermetalle bezeichnet, die sich durch ihre Toxizität gegenüber Tieren und aeroben sowie anaeroben Prozessen kennzeichnen (Duffus 2001):

- ▶ As⁸
- ▶ Cd
- ▶ Cr
- ▶ Pb
- ▶ Hg
- ▶ Cu
- ▶ Ni
- ▶ Se
- ▶ Zn

⁸ Arsen wird hier mit betrachtet, obwohl es als Halbmetall nicht eindeutig den Schwermetallen zuzuordnen ist.

Abbildung 3-3: Metallrad nach Reuter (verändert nach Wellmer, Hagelüken 2015)



Auch für die Wertbestückung dieses Indikators sollte die Kenntnis der mineralogischen Zusammensetzung der Erze und der Begleiter sowie der Spurenelemente maßgeblich sein. Sollten diese Parameter nicht bekannt sein, helfen die folgenden Anleitungen.

Es wird empfohlen, Bergbau auf abiotische nichtmetallische Rohstoffe mit einem geringen Gefährdungspotenzial (grün) durch vergesellschaftete Schwermetalle zu bewerten – außer es liegen Hinweise auf Schwermetall- und/oder Arsenproblematiken vor.

Die Gewinnung von metallischen Rohstoffen ist – so wie in Abbildung 3-3 ersichtlich - zumeist mit einem gewissen Niveau der Schwermetall- und/oder Arsenproblematik behaftet. Hier wird eine pauschale Bewertung mit mittlerem Gefährdungspotenzial empfohlen (gelb).

Bergbau zur gezielten Gewinnung von Schwermetallen wie Blei, Quecksilber, Cadmium, Chrom, Kupfer, Uran und Nickel, sollte mit hohem Gefährdungspotenzial (rot) bewertet werden. Hierzu zählt auch Bergbau auf Zinkerze, da diese fast immer mit Bleierzen vergesellschaftet sind.

3.1.1.3 Indikator: Vergesellschaftung mit radioaktiven Stoffen

Rohstoffe und/oder bergbauliche Reststoffe weisen oft Uran- und/oder Thoriumkonzentrationen auf⁹, die dazu führen, dass bergbauliche Reststoffe auch als radiologisch problematisch eingestuft werden müssen. Dies trifft überwiegend für die Erze und Lagerstätten folgender Rohstoffe zu: Uran, Thorium, Seltene Erden, Tantal, Niob, Zirkon, sedimentär gebildetes Phosphat. Erfahrungen in Deutschland sowie Daten aus China zeigen aber, dass auch bei vielen anderen Rohstoffen sowie zusätzlich auch lagerstättenspezifisch erhöhte Konzentrationen auftreten können.

Bewertung

Gering (grün):

Die Lagerstätte weist geringe Konzentrationen an Uran und/oder Thorium auf.

Mittel (gelb):

Die Lagerstätte weist eine leicht erhöhte Konzentration an Uran und/oder Thorium auf.

Hoch (rot):

Die Lagerstätte weist hohe Konzentrationen an Uran und/oder Thorium auf.

Radioaktive Stoffe in Bodenschätzen und Aufbereitungsrückständen sind vielfach zentrale Umwelt-, Gesundheits- und Sicherheitsprobleme in der Rohstoffgewinnung. Allgemein gilt, dass der Belastungspfad „ionisierende Strahlung“ im Zusammenhang mit Bergbau ausschließlich auf die Gehalte an natürlichem Uran und Thorium zurückzuführen ist, die beim Aufbereitungsprozess in der Regel in die Aufbereitungsrückstände gelangen¹⁰ und sich beim Aufbereitungsprozess anreichern können¹¹. Andere radioaktive Elemente, wie z. B. gasförmig gebildetes Radon, befinden sich in der Zerfallsreihe von Uran und Thorium und können auf anderen Belastungspfaden (Inhalation) radiologische Wirkungen entfalten. Da das Auftreten dieser Elemente aber stets die Existenz von Uran oder Thorium voraussetzt, kann eine richtungssichere Bewertung auf die Konzentration von Uran und Thorium im Ausgangsmaterial basieren.

Für die radiologische Bewertung, zur Unterscheidung zwischen geringer (grün) und mittlerer (gelb) Gefährdung, können Aktivitätskonzentrationen und Minimumgehalte in Erzen und/oder Aufbereitungsrückständen entsprechend Tabelle 3-2 verwendet werden¹²:

- ▶ Thorium 200 Bq/kg (entspricht einer Konzentration von 49 ppm)
- ▶ Uran 300 Bq/kg (entspricht einer Konzentration von 24 ppm).

Diese Konzentrationen leiten sich aus der Gammastrahlung der Zerfallsprodukte her, die bei einer Verwendung als Baumaterial Schutzgrenzwerte (hier: 1 mSv /a) überschreiten würden. Unterhalb dieser Gehalte liegt kein Erfordernis vor, die Erze bzw. Rückstände aus radiologischen Gründen¹³ zu isolieren. Oberhalb dieser Gehalte muss das Substrat als ungeeignet für den dauerhaften Aufenthalt darauf oder den Kontakt damit (Verwendung als Baumaterial) eingestuft werden. Menschen die sich

⁹ Diese werden in der Literatur oftmals mit dem Kürzel NORM (= Naturally Occurring Radioactive Material) bezeichnet.

¹⁰ Ausnahme: Bei der Aufbereitung von Apatit mit Schwefelsäure gelangt das Uran in die Phosphorsäure und wird daher in den daraus hergestellten Phosphatdünger übernommen, während die radioaktiven Zerfallsprodukte (insbesondere Radium) in den Phosphatgips gelangen. Da aus 310 g Phosphaterz 510 g Gips entstehen, verdünnt sich die Aktivitätskonzentration an Radium dabei etwa um den Faktor 2.

¹¹ Dieses in Aufbereitungsrückständen konzentrierte radioaktive Material wird auch als TENORM (Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material) bezeichnet.

¹² Richtlinie 2013/59/EURATOM des Rates, ANHANG VIII: Definition und Verwendung des Aktivitätskonzentrationsindex für die von Baustoffen emittierte Gammastrahlung nach Artikel 75

¹³ Die Langzeitverwahrung der Aufbereitungsrückstände kann davon unabhängig dennoch erforderlich sein und kann sich beispielsweise aus den Gehalten an nicht-radioaktiven Bestandteilen herleiten.

dauerhaft auf solchem unbedeckten Substrat aufhalten, sind dem Risiko einer Strahlenbelastung von über 1 mSv pro Jahr ausgesetzt¹⁴. Diese Grenzwertbetrachtung wurde im Rahmen des Projektes Öko-Ress und eines weiteren laufenden Projektes des Öko-Instituts (Deutschland 2049 - Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Rohstoffwirtschaft)¹⁵ entwickelt und leitet sich aus den Vorgaben der EU Richtlinie 2013/59/EURATOM zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor der Gefahr einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung¹⁶ sowie aus den internationalen Strahlenschutznormen ab.

Ein zweiter, höher angesetzter Grenzwert (Grenze für hohe Gefährdung = rot) ist 1 Bq/g (oder 1.000 Bq/kg). Dieser ergibt sich daraus, dass internationale Strahlenschutzregeln eine Freigabe solchen Materials nicht mehr erlauben (exemption level) (IAEA 2014). Daraus ergeben sich für die konkrete Bewertung die in Tabelle 3-2 aufgeführten Richtwerte.

Tabelle 3-2: Richtwerte zur radiologischen Bewertung von Lagerstätten

Bewertung	Richtwerte		Begründung
gering	Richtwert 1a: Th-Gehalt [ppm] / 49 ppm + U-Gehalt [ppm] / 24 ppm < 1	Wenn U- und Th-Gehalte bekannt sind	Verwendung des Substrates als Baumaterial möglich, da hieraus keine Gefahr einer Strahlenbelastung > 1mS/a resultiert.
	Richtwert 1b: A_{Th} [Bq/g] / 0,2 Bq/g + A_U [Bq/g] / 0,3 Bq/g < 1	Wenn Aktivitätskonzentrationen (A) von U und Th bekannt sind	
mittel	Richtwert 2a: Th-Gehalt [ppm] / 246 ppm + U-Gehalt [ppm] / 80 ppm < 1	Wenn U- und Th-Gehalte bekannt sind und Richtwert 1a ist >1	Substrat darf nicht als Baumaterial verwendet werden, da hierbei die Gefahr einer Strahlenbelastung < 1mS/a resultiert.
	Richtwert 2b: A_{Th} [Bq/g] + A_U [Bq/g] < 1 Bq/g	Wenn Aktivitätskonzentrationen (A) von U und Th bekannt sind und Richtwert 1b ist >1	
hoch	Richtwert 2a: Th-Gehalt [ppm] / 246 ppm + U-Gehalt [ppm] / 80 ppm ≥ 1	Wenn U- und Th-Gehalte bekannt sind	Das Substrat muss nach internationalen Sicherheitsstandards der IAEA unter radiologische Aufsicht gestellt werden.
	Richtwert 2b: A_{Th} [Bq/g] + A_U [Bq/g] ≥ 1 Bq/g	Wenn Aktivitätskonzentrationen (A) von U und Th bekannt sind	

Für ausgewählte Rohstoffe chinesischer Lagerstätten liegen Durchschnittswerte zu den Aktivitätskonzentrationen von Thorium und Uran vor (siehe Tabelle 3-3). Sie zeigen, dass chinesische Lagerstätten für Vanadium, Seltene Erden, Niob/Tantal und Zirkon Th- und U-Konzentrationen aufweisen, weshalb diese mit hohem Gefährdungspotenzial (rot) zu bewerten sind. Ebenso legen die Daten nahe, dass auch die meisten anderen Lagerstätten Th- und U-Konzentrationen aufweisen, die einer Verwendung des Materials als Baumaterial entgegenstehen.

¹⁴ In Fällen, in denen sowohl Thorium als auch Uran im Gemisch auftreten, müssen die Werte so kombiniert werden, dass die kombinierte Strahlendosis bei dauerhaftem Kontakt 1 mSv pro Jahr nicht übersteigt (siehe die Formeln in Tabelle 3-2).

¹⁵ s. a. Buchert et al. (2016)

¹⁶ Richtlinie 2013/59/EURATOM des Rates vom 5. Dezember 2013 zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor der Gefahr einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/EURATOM, 90/641/EURATOM, 96/29/EURATOM, 97/43/EURATOM und 2003/122/EURATOM.

Sind keine spezifischen Daten zu Aktivitätskonzentrationen und/oder Th- und U-Konzentrationen vorhanden, kann eine Bewertung anhand folgender Näherungen getroffen werden:

- ▶ Bergbau zur Gewinnung von Uran sollte pauschal mit hohem Gefährdungspotenzial (rot) bewertet werden¹⁷. Die Minimalkonzentrationen, ab denen sich ein Abbau unter heutigen technischen und ökonomischen Bedingungen lohnt, liegen bei 0,03 % Uran im Erz, was 3,72 Bq/g entspricht und beide Vergleichswerte klar überschreitet.
- ▶ Liegen keine spezifischen Daten vor, sollten Seltene Erden, Tantal, Niob, Zirkon und sedimentär gebildetes Phosphat (u.a. Sahara- und Florida-Phosphat) pauschal mit hohem Gefährdungspotenzial (rot) bewertet werden.
- ▶ Wie Tabelle 3-3 zeigt, muss bei den meisten anderen Lagerstätten von einer gewissen Grundproblematik hinsichtlich der Th- und U-Konzentrationen ausgegangen werden. Hier sollte im Zweifelsfall ein mittleres Gefährdungspotenzial (gelb) zugeordnet werden.
- ▶ Eine Bewertung mit geringem Gefährdungspotenzial kommt für folgende Rohstoffe in Frage:
 1. Lagerstätten aus oxidischen Sedimenten (z. B. Seifenlagerstätten auf Schwemmfächern)
 2. Sedimentgesteine (z. B. Kalk und Sandstein)
 3. Lagerstätten auf Basalt
- ▶ Dabei sollten aber zudem folgende Aspekte beachtet werden, die ggf. zu einer höheren Bewertung führen können:
 1. Uran ist bei Kontakt mit Luftsauerstoff in sechswertiger oxidiert Form leicht wasserlöslich, weshalb eventuelle Urangelhalte in oxidischen Sedimenten (z. B. Schwemmfächer) zumeist ausgewaschen sind. Dennoch haben die geochemische Lösung und der Transport oxidischen Urans aber auch zur Folge, dass Uran oft in tiefere Schichten oder auch horizontal verlagert und z. T. dort wieder angereichert wird. Die geochemische Anreicherung aus der Lösung findet insbesondere in reduzierenden Schichten statt (z. B. in kohle- oder pyrithaltigen Schichten). Lagerstättenkonzentrationen sind daher nur in Ausnahmefällen homogen.
 2. Zudem sind bei Kobalt und Gold stark radioaktiv belastete Lagerstätten bekannt. Für Kobalt befinden sich diese in Teilen Katangas (Demokratische Republik Kongo) (Tsurukawa et al. 2011), für Gold in Teilen Südafrikas (Durand 2012).

¹⁷ Bergbau auf Thorium kommt insofern nicht in Betracht, als dass dieser angesichts des niedrigen Weltmarktpreises und der existierenden Vorräte nicht praktiziert wird.

Tabelle 3-3: Durchschnittliche Aktivitätskonzentrationen von U und Th in chinesischen Lagerstätten und Ableitung der entsprechenden Bewertung

Rohstoff	A _{Th} [Bq/g]	A _U [Bq/g]	Richtwert 1 (Abgrenzung grün zu gelb)	Richtwert 2 (Abgrenzung gelb zu rot)	Be- wer- tung	Anteil Chinas an der Weltproduktion (2013)
Vanadium	27,0	1,036	138,5	28,036	hoch	51,9%
Seltene Erden	5,782	3,972	42,2	9,754	hoch	86,4%
Niob / Tan- tal	2,015	4,476	25,0	6,491	hoch	Nb: <2%, Ta: 5,1%
Zirkon	1,733	1,289	13,0	3,022	hoch	9,9%
Aluminium (Bauxit)	0,240	0,482	2,8	0,722	mittel	16,3%
Blei / Zink	0,069	0,649	2,5	0,718	mittel	Pb: 52,8%, Zn: 37,3%
Kohle	0,051	0,383	1,5	0,434	mittel	k.A.
Phosphat	0,026	0,396	1,5	0,422	mittel	48,0%
Zinn	0,133	0,218	1,4	0,351	mittel	37,4%
Eisen	0,068	0,270	1,2	0,338	mittel	46,6%
Kohle (Gangge- stein)	0,082	0,171	1,0	0,253	mittel	k.A.
Kupfer	0,034	0,142	0,6	0,176	gering	8,7%
andere	0,508	0,503	4,2	1,011	hoch	k.A.

Quellen: Hua 2011, USGS 2015

3.1.2 Ebene Geologie, Feld lagerstättenspezifisch, Indikator Lagerstättengröße

Die Größe von Lagerstätten mineralischer Bodenschätze ist eine entscheidende Einflussgröße für bergbauinduzierte Eingriffe in die Natur. Dies betrifft in erster Linie folgende Aspekte:

- ▶ Flächenverbrauch,
- ▶ Degradation von Vegetation,
- ▶ Umfang der Massenbewegungen,
- ▶ Umfang der Halden und Reststoffe,
- ▶ Eingriff in den Wasserhaushalt.

Je größer die Lagerstätten sind, desto größer sind die zu erwartenden Gesamteingriffe in die natürliche Umwelt. Die Größe dieser Lagerstätten unterscheidet sich naturgemäß nach dem zu gewinnenden Rohstoff. Diese stehen in Relation zu der geochemischen Häufigkeit der jeweiligen Elemente in der Erdkruste (Lide 2005). Sie wird durch den Clarke-Wert beschrieben.

Bewertung**Gering (grün):**

Kleine und sehr kleine Lagerstätte

Mittel (gelb):

Mittelgroße Lagerstätte

Hoch (rot):

Große, sehr große oder gigantische Lagerstätte

Für die Einteilung der Lagerstätten der unterschiedlichen Rohstoffe in Größenklassen kann auf Arbeiten von Petrow zurückgegriffen werden. Die in Tabelle 3-4 wiedergegebenen Angaben in der Petrow-Tabelle beziehen sich auf den gesamten Wertmetallinhalt in einer Lagerstätte.

Tabelle 3-4: Russische Größeneinteilung von Lagerstätten (nach Petrow et al. 2008)

Rohstoffe	Einheit	klein	mittelgroß	groß	sehr groß	gigantisch
Ag	t	<500	500-2.000	2.000-10.000	>10.000	
Al (Bauxit)	Mio. t Erz	<10	10-100	>100		
As	1.000 t	<10	10-100	>100		
Au (primär)	t	<25	25-100	100-400	>400	
Au (Seife)	t	<0,5	0,5-1	1-5	5-50	>50
Be	1.000 t BeO	<1	1-5	5-20	20-50	>50
Bi	1.000 t	<1	1-40	45-10	> 10	
Cd	t	<0,5	0,5-3	3-10	> 10	
Co	1.000 t	<2	2-15	> 15		
Cr	Mio. t	<0,1	0,1-1	1-10	10-100	>100
Cu	Mio. t	<0,5	0,5-3	3-10	>10	
Fe	Mrd. t	<0,1	0,1-1	1-5	5-10	>10
Hg	t	n-n*10	n*100	n*1.000	n*10.000	
Li	1.000 t Li ₂ O	<40-100	100-300	300-600	600-1.200	>1.200
Mn	Mio. t	<25	25-75	75-100	>100	
Mo	1.000 t	<25	25-150	150-500	>500	
Ni	1.000 t	<100	100-1.000	1.000-5.000	>5.000	
Pb	Mio. t	<0,1	0,1-1	1-2	>2	
PGM	t	<10	10-100	100-1000	>1.000	
Sb	1.000 t	<50	50-100	100-300	>300	
Se	1.000 t Se	<100	100-1.000	1.000-10.000	>10.000	
Seltene Erden ¹⁾	1.000 t Y	<10	10-100	100-500	>500	
Sn	1.000 t	<20	20-50	50-100	>100	
Sr	1.000 t SrO	n*10	n*100	n*1.000	n*10.000	

Rohstoffe	Einheit	klein	mittelgroß	groß	sehr groß	gigantisch
Ti (Erz)	Mio. t TiO_2	<5	5-10	10-50	>50	
Ti (Seifen)	Mio. t TiO_2	<1	1-5	5-10	>10	
U	1.000 t	0,5-5	5-20	>20	>	
V	1.000 t V_2O_5	<100	100-1.000	>1.000		
W	1.000 t WO_3	<10	10-100	>100		
Zn	Mio. t	<0,5	0,5-1	1-5	>5	
Zr	Mio. t ZrO_2	0,01-0,1	0,1-1	1-10	>10	
Baryt	Mio. t	<0,1	0,1-0,5	0,5-5	>5	
Bentonit	Mio. t	<10	10-20	>20		
Bor	Mio. t B_2O_3	0,1-0,3	0,3-0,5	0,5-1	1-10	> 10
Chrys.-Asbest	Mio. t	<1	1-5	5-50	>50	
Diamant (Erz)	Mio. Karat	<50	50-150	150-500	>500	
Diamant (Seifen)	Mio. Karat	<1	1-5	5-25	>25	
Fluorit	Mio. t	<0,5-2	2-5	5-10	>10	
Graphit	Mio. t	<0,5	0,5-1	>1		
Halit	Mio. t	<50	50-150	150-500	>500	
Kalisalz	Mio. t K_2O	<10	10-50	50-150	>150	
Kaolin	Mio. t	<5	5-20	20-50	>50	
Mg-Salz	Mio. t MgO	<10	10-50	50-150	>150	
Magnesit & Brucit	Mio. t	<30	30-100	100-300	>300	
Muskovit	1.000 t	<5	5-25	25-50	>50	
Nephelin	Mio. t	<100	100-500	>500		
Quarzsand	Mio. t	<1	1-5	5-10	>50	
Formsand	Mio. t	<10	10-50	50-200	>200	
Perlit	Mio. m^3	<5	5-50	50-200	>200	
P (Aparit)	Mio. t P_2O_5	<10	10-50	50-100	>100	
P Phosphorit)	Mio. t P_2O_5	<10	10-50	50-100	>100	
S (Sulfid)	Mio. t	<1	1-10	>10		
S (gediegen)	Mio. t	<10	10-50	>50		
Talk	Mio. t	<0,03	0,03-0,5	0,5-5	>5-20	> 20
Vermikulit	Mio. t	<1	1-10	>10		
Zeolith	Mio. t	<erste n	n*10	n*100	>	

1) Yttriumgehalte als Repräsentant für Seltene Erden

In der Petrow-Tabelle fehlen Angaben zu einigen ausgewählten Rohstoffen wie beispielsweise Niob und Tantal als Hauptfördererelemente sowie einige Neben- und Koppelprodukte.

Für die Bewertung ist zu berücksichtigen, dass die o.a. Tabelle den Wertstoffinhalt der gesamten Lagerstätte umfasst. Sofern dieser nicht ausgewiesen ist, bedeutet dies bei laufenden Bergbaubetrieben, dass sich der für die Bewertung relevante Parameter aus den noch abbaubaren Reserven plus der bereits abgebauten Produkte ermittelt. Letztere können durch Hochrechnung der Fördermenge über die Betriebszeit ermittelt werden.

3.1.3 Ebene Geologie, Feld lagerstättenspezifisch, Indikator spezifischer Lagerstättengehalt

Die in Abbau befindlichen Lagerstätten unterscheiden sich nicht nur hinsichtlich der Größe bzw. wie oben definiert durch den Wertmetallinhalt, sondern auch hinsichtlich des Gehaltes (angegeben in %, g/t oder ct/t). Der spezifische Gehalt einer Lagerstätte gibt näherungsweise Auskunft über die relative Dimension von umweltrelevanten Kenngrößen:

- ▶ Anfall an festen Bergbauabfällen wie Abraum, Aufbereitungsrückständen oder taubem Gestein;
- ▶ Produktspezifischer Energiebedarf für Gewinnung, Transport, Zerkleinerung, Sortierung und Reststoffbehandlung;
- ▶ Menge an Hilfsstoffen und Reagenzien bei der Aufbereitung der Rohmaterialien.

Bewertung

Gering (grün):

Reicherzlagerstätte

Mittel (gelb):

Lagerstätte durchschnittlicher Gehalte

Hoch (rot):

Armerzlagerstätte

Eine Gesamtdarstellung der Durchschnittsgehalte von Erzlagerstätten analog zu der o. g. Darstellung der Lagerstättengrößen gibt es bislang nicht. Referenzdaten sind einerseits aus der Auswertung geologischer Lagerstättendaten statistisch zu gewinnen, wie dies Singer und verschiedene weitere Autoren für das USGS und die University of Queensland verfasst und publiziert hat (Singer et al. 2008 und 2009, Berger et al. 2009, 2011 und 2014, Cox et al. 2003, Cox/Singer 2007, Ludington/Plumlee 2009, Ludington et al. 2009, Mosier et al. 2009 und 2012).

Eine weitere wesentliche Datenquelle sind betriebliche Angaben über die Lagerstättengehalte von im Abbau befindlichen Lagerstätten. Diese Angaben unterliegen jedoch häufig der Geheimhaltung.

Im Rahmen der Erarbeitung einer Publikation zu mineralischen Gehalten (Priester/Ericsson o.D.) wurden statistische Daten zu Lagerstätten nach Don Singer und Jahresberichten laufender Betriebe ausgewertet, die insgesamt 4.000 Einzelstandorte betreffen. Die daraus ermittelten Gehaltsklassen der in ÖkoRess untersuchten sechs Rohstoffe zeigt Tabelle 3-5).

Tabelle 3-5: Gehaltsklassen für spezifische Lagerstättengehalte (nach Priester/Ericsson o.D.)

	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

Für weitere Metalle können zum gegenwärtigen Stand keine analog belastbaren Angaben gemacht werden. Die Angabe von Schätz- oder Orientierungswerten ist nicht sinnvoll. Insofern kann die Bewertung fundiert zunächst nur für die obigen sechs Rohstoffe vorgenommen werden. Eine Arbeitsgruppe der Universität Lund arbeitet derzeit daran, Gehaltsklassen unter anderem für Kupfer, Zink, Blei, Nickel, PGM, Chrom, Lithium, Kobalt und Eisen zu ermitteln. Ergebnisse wurden bisher nur teilweise veröffentlicht (Sverdrup et al. 2017). Für die Ausweitung auf weitere Metalle besteht Forschungsbedarf, nicht nur um eine Bewertung vornehmen zu können, sondern auch, da die unterschiedlichen Lagerstättengehalte das geologische Potenzial für den zukünftigen Bergbau darstellen. Hier besteht ein enger Zusammenhang zu der Diskussion um abnehmende Erzgehalte in der Vergangenheit und Prognosen für die zukünftige Entwicklung der Gehalte.

Bei fehlenden Angaben für die Gehaltsklassen kann die Bewertung deduktiv erfolgen: entweder, wenn die Lagerstätte als vergleichsweise reich oder arm beschrieben wurde oder anhand der Gewinnungsmethode. Wenn bei Rohstoffen, die sowohl im Tage-, als auch im Tiefbau abgebaut werden können, der Tiefbau gewählt wurde, ist mit großer Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass es sich um ein vergleichsweise reiches Vorkommen handelt. Nur durch hohe Gehalte sind die vergleichsweise hohen Gestehungskosten im Tiefbau zu erwirtschaften. Diese Abschätzung ist für Rohstoffe wie Kupfer und Gold, aber auch für Niob/Tantal, Chrom, Wolfram, Antimon, Flussspat und Schwerspat möglich.

3.2 Ebene Technik

3.2.1 Ebene Technik, Feld bergbauspezifisch, Indikator Gewinnungsmethode

Die beim Bergbau angewandte Gewinnungsmethode gibt einen Hinweis auf die für die Extraktion des Rohstoffes notwendigen Eingriffe an der Erdoberfläche. Diese sind naturgemäß beim Untertagebergbau am geringsten, wofür die ehemalige Grube Käfersteige bei Pforzheim (Flussspat) ein Musterbeispiel war, bei der zwei Öffnungen an der Tagesoberfläche (eine zur Fahrung, eine zur Bewetterung) die einzigen Anzeichen eines Bergbaubetriebes waren. Im Festgesteinstagebau (Steinbrüche, Erztagebaue) ist der Eingriff in der Regel auf eine Fläche begrenzt, die nur unwesentlich größer ist als die Projektion des Lagerstättenkörpers an die Tagesoberfläche. Zudem wird der Tagebau häufig für die Deposition von Reststoffen genutzt, womit sich auch die Fläche für Halden und Schlammteich weiter vermindert. Den massivsten Eingriff hat der Bergbau auf sedimentäre Lagerstätten in Lockergesteinen (Alluvial- und Colluviallagerstätten), wie z. B. auf Gold, Diamanten, Zinnstein, Titansande etc., aber auch auf Braunkohle oder Bauxit). Daher wird dieses Kriterium neben der Lagerstättengröße als ein weiterer Indikator für den Flächenverbrauch und die Eingriffe in das Ökosystem betrachtet.

Bewertung (Eingriff an der Erdoberfläche)

Gering (grün):

Tiefbau / Untertagebergbau

Mittel (gelb):

Festgesteinstagebau

Hoch (rot):

Bergbau auf sedimentäre Lagerstätten in Lockergesteinen (Alluvial- und Colluviallagerstätten)

3.2.2 Ebene Technik, Feld aufbereitungsspezifisch, Indikator Einsatz von Hilfsstoffen

Im Gewinnungs- und Aufbereitungsprozess kommen teilweise toxische und anderweitig umweltgefährdende Hilfs- und Betriebsstoffe zum Einsatz, die bei Freisetzung in die Umwelt negative Umweltwirkungen entfalten können. Insofern zeigt dieser Indikator ein Belastungspotenzial durch umweltgefährdende Hilfs- und Betriebsstoffe, das den Indikator zum geogenen Umweltgefährdungspotenzial (siehe Kapitel 3.1.1) durch Mineralvergesellschaftung ergänzen soll. Bei der Bewertung mit dem Indikator ist neben dem Regelbetrieb des Bergbaus und der Aufbereitung, der insbesondere bei industri-

len Betrieben durch Umweltmanagementsysteme (Risikoanalysen, Definition von Verantwortlichkeiten, Kommunikationsketten, Arbeitsplatzbeschreibungen und Festschreibung von Schutzmaßnahmen) abgesichert ist, auch die Konsequenz möglicher Störfälle mitbedacht, die durch menschliches oder technisches Versagen, aber auch durch Naturereignisse (siehe auch Kapitel 3.3.1) ausgelöst werden können. Viele der in der Öffentlichkeit diskutierten Probleme des Bergbaus und soziale Konflikte entzündeten sich an diesen Störfällen.

Bewertung (Gefährdungspotenzial Schadstofffreisetzung)

Gering (grün):

Ohne Hilfsstoffe

Mittel (gelb):

Mit Hilfsstoffen, die nicht als toxisch eingestuft werden

Hoch (rot):

Mit toxischen Reagenzien

Nachfolgend sind Gewinnungs- und Aufbereitungsverfahren aufgeführt, die sich auf die klassischen bergmännischen und aufbereitungstechnischen Verfahren beziehen und eine Orientierung für die Einordnung der jeweiligen Betriebspraxis zur Bewertung bieten sollen.

Zu den Gewinnungs- und Aufbereitungsprozessen **ohne Hilfsstoffe** zählen die folgenden:

In der bergbaulichen Gewinnung:

- ▶ Mechanisches Lösen und Laden des Gesteins.

In der Aufbereitung:

- ▶ Rein mechanische Prozesse der Aufbereitung (einfache gravimetrische Aufbereitung, selektive Zerkleinerung)
- ▶ Optische Sortierung
- ▶ Handklaubung
- ▶ Elektrostatische Aufbereitung
- ▶ Heiß-Kalt-Löseverfahren.

Zu den Gewinnungs- und Aufbereitungsprozessen **mit Hilfsstoffen, die nicht als toxisch eingestuft werden**, zählen die folgenden:

In der bergbaulichen Gewinnung:

- ▶ Bohren und Sprengen.

In der Aufbereitung:

- ▶ Schwertrübetrennung mit FeSi
- ▶ Biolaugung, Thioharnstofflaugung
- ▶ Diamantenaufbereitung auf dem Fettherd.

Zu den Gewinnungs- und Aufbereitungsprozessen **mit toxischen Hilfsstoffen** zählen die folgenden:

In der bergbaulichen Gewinnung:

- ▶ In-situ-Laugung.

In der Aufbereitung:

- ▶ Amalgamation in der Goldaufbereitung (Verwendung von Quecksilber, auf das gemäß der Minamata-Konvention vollständig verzichtet werden sollte).
- ▶ Zyanidische Laugung und Chlorination (beides stark toxische Substanzen, bei denen es häufiger zu Unfällen gekommen ist).
- ▶ Solvent-Extraktion (die hierbei eingesetzten Lösemittel sind i.d.R. als toxisch einzustufen).
- ▶ Flotation (in der Regel mit langkettigen organischen Kohlenwasserstoffen mit hoher Toxizität, die nur schwer abbaubar sind).

3.2.3 Ebene Technik, Feld managementspezifisch, Indikator Reststoffmanagement

Von den bergbaulichen und Aufbereitungsreststoffen gehen häufig Langzeitwirkungen auf die Umwelt aus, sei dies durch Autooxidation, durch Auslaugung, durch Verwitterungsprozesse, durch Verfrachtung oder andere natürliche Prozesse. Insofern stellt dieser Indikator ein Maß für das betriebspraxisabhängige Umweltgefährdungspotential durch bergbauliche Reststoffe dar.

Als Bewertungshilfe kann das Dokument „Bergbauliche Reststoffe“^{16F}¹⁸ herangezogen werden, in dem auch Gefährdungsrisiken im Umgang mit bergbaulichen Reststoffen beschrieben sind.

Bewertung (Gefährdungspotenzial Langzeitwirkung bergbauliche Reststoffe)

Gering (grün):

Gesicherte Verbringung in der Lagerstätte (Verfüllung der Grube parallel zum fortschreitenden Abbau, Versatz von Reststoffen zur Stabilisierung des Grubengebäudes)

Mittel (gelb):

Vermarktung der Reststoffe z. B. als Baumaterialien; standsichere Halden (in Abhängigkeit von Korngröße, -zusammensetzung, Steilheit, Höhe); kleinere Absetzbecken und/oder Schlammteiche (< 15 m strukturelle Höhe, s.u.).

Hoch (rot):

Risikobehaftete Verbringung: nicht standsichere Halden, Kippen und Seen, großvolumige bzw. großflächige Absetzbecken und/oder Schlammteiche, Verbringung in Flüsse oder Tiefsee; keine Konzepte zur Sicherung der Reststoffe nach Beendigung des Bergbaus.

Die Größe von Schlammteichen wird z. B. von ICOLD, bzw. durch das World Register of Dams definiert. Dabei gilt eine strukturelle Höhe von 15 m über der Geländeoberfläche als Mindestkriterium^{17F}¹⁹.

Häufig sind Daten über Reststoffmanagement kaum verfügbar, obgleich die Berichtspflichten, z. B. nach der GRI Auskünfte über Umweltmanagement und damit auch über Reststoffverbringung einfordern. Die Kenntnis der Lagerstätte (Mineralisation, Verwachsungsgrad), der Produktionsmengen und der angewandten Aufbereitungstechnik lässt Aussagen darüber zu, in welchen Mengen fein- und feinstkörnige Abgänge anfallen, die in Absetzbecken und Schlammteichen behandelt bzw. deponiert werden müssen. Polymetallische, fein- und feinstverwachsene Erze, die eine Aufbereitung mit Flotation oder Rührlaugung erfordern, führen zu einem hohen mengenmäßigen Anteil feiner und feinsten Reststoffe, die in Kombination mit großen Fördermengen die Existenz großer Schlammteiche erwarten lassen, sofern der Betrieb nicht (und dies ist nur in Ausnahmefällen und bei extremer Wasserknappheit der Fall) eine Fest-Flüssig-Trennung der Abgänge vornimmt und die Feststoffe der Schlämme trocken deponiert. Die Kenntnis der Topographie und Satellitenaufnahmen können bei der

¹⁸ Michael Priester und Peter Dolega: „Bergbauliche Reststoffe“. Erarbeitet im Rahmen des Vorhabens ÖkoRess, Juli 2015. <https://www.umweltbundesamt.de/umweltfragen-oeoress>

¹⁹ Definition siehe: http://www.icold-cigb.org/GB/World_register/general_synthesis.asp

Einordnung helfen, ob es sich um kleinere (mittleres Gefährdungspotenzial, gelb) oder großvolumige bzw. großflächige Schlammteiche (hohes Gefährdungspotenzial, rot) handelt.

3.2.4 Ebene Technik, Feld managementspezifisch, Indikator Nachsorgemaßnahmen

Der Indikator zu den Nachsorgemaßnahmen ist ein Maß für die betriebspraxisabhängige Langfristigkeit des Eingriffs in den Naturhaushalt. Dies kommt in erster Linie in der Planung, Vorsorge und Durchführung von Maßnahmen zur Rekultivierung, Renaturierung oder Sanierung der von Bergbau und Aufbereitung beeinträchtigten Flächen zum Ausdruck. Dies beinhaltet Teilaspekte wie den Rückbau von Maschinen und Anlagen sowie der Gebäude, das Verfüllen oder die Sicherung von Schächten und Stollen, die Wiederherstellung eines naturnahen Grund- und Oberflächenwasserregimes, die Verfüllung von Gewinnungsstätten (Tagebauen), die Wiederherstellung einer angemessenen Topografie, des Bodens und die Wiederaufforstung bzw. Vorbereitung einer anderweitigen Nachnutzung (z. B. Fluten von Tagebauen für Freizeit Zwecke).

Bewertung (Langfristigkeit Eingriff in den Naturhaushalt)

Gering (grün):

Prozessbegleitende Renaturierung oder Rekultivierung

Mittel (gelb):

Bilanzielle Rückstellung

Hoch (rot):

Keine Vorkehrungen

Für die Nachsorgemaßnahmen, die Rehabilitierung, Rekultivierung und Renaturierung gilt analog, dass diese von den nationalen Berg- und Umweltgesetzen, sowie den internationalen Normen für verantwortliche Bergbaupraxis (z. B. ICMM) gefordert werden und i.d.R. eine Vergabe von Lizenzen oder Rechtstiteln ohne deren Vorlage, z. B. im Rahmen der UVP und Umweltmanagementplanung, gar nicht möglich ist. Über die Einhaltung der Verpflichtungen ist im Rahmen der Berichtspflichten Rechenschaft abzulegen, z. B. in Umweltberichten. Dort sollten sich die entsprechenden Informationen finden lassen. Generell ist davon auszugehen, dass der formelle, industrialisierte Bergbau, besonders bei Kontrolle durch (kritische) Aktionäre diese Normen erfüllt, weshalb hier eher ein geringes Gefährdungspotenzial zuzuordnen ist (grün). In Ländern mit hohem Vollzugsdefizit oder minderer Governancequalität, sowie bei Public-Private-Partnerships, halbstaatlichen oder staatlichen Bergbaugesellschaften und lokalen Firmen ist die Gefahr der Vernachlässigung von Sorgfaltspflichten erfahrungsgemäß hoch und die Einhaltung der Normen im Einzelfall zu validieren. Problematisch wird die Situation im informellen oder gar illegalen Umfeld, was häufig den Kleinst- und Kleinbergbau betrifft, der sich der Verpflichtung zu Nachsorge erfolgreich entziehen kann. Hier sollte eher ein hohes Gefährdungspotenzial (rot) zugeordnet werden.

3.3 Ebene Standort (Umfeld)

Für den Standort von Minen wurde zwischen „Natürliche Umwelt“ und „Soziale Umwelt“ unterschieden. Das Feld „Natürliche Umwelt“ umfasst dabei mögliche standortbezogene Umweltgefährdungspotenziale, während das Feld „Soziale Umwelt“ auf umweltvermittelte Nutzungskonflikte an Standorten bzw. in deren Umfeld abzielt.

Dabei ist zu beachten, dass der gewählte Bewertungsansatz für die soziale Umwelt de facto auf länderspezifischen Indikatoren zu den Möglichkeiten der gesellschaftlichen Mitbestimmung und der Korruptionskontrolle beruht. Entsprechend werden lokale und fallspezifische Charakteristika der sozialen Umwelt in der Bewertung nicht mit berücksichtigt. Zwar ergeben sich hieraus einerseits Einschränkungen bei standortspezifischen Bewertungen, andererseits kann im Sinne einer Ersteinschätzung auf

flächendeckend vorhandene und gut dokumentierte Daten zurückgegriffen werden. Damit ermöglicht der Ansatz zwar keine Analyse der tatsächlichen sozialen Umwelt und den gegebenen lokalen Konfliktpotenzialen, er gibt aber dennoch über eine länderspezifische Betrachtung Hinweise auf Risiken ausgehend von unterschiedlich ausgeprägten Governance-Indikatoren. Die wissenschaftliche Betrachtung der sozialen Umwelt wird im Nachfolgeprojekt ÖkoRess II (FKZ 3715 32 310 0) vertieft.

Für einzelne Minenstandorte besteht im Feld „Natürliche Umwelt“ eine Vielzahl von möglichen Umweltgefährdungspotenzialen, die durch die geografische Lage bestimmt sind. Hierzu zählen klimatische oder seismologische Gegebenheiten, durch die Störfälle ausgelöst werden können, des Weiteren die Gefahr der Beeinträchtigung von Wasserverfügbarkeiten sowie die Gefahr, dass ökologisch sensible Gebiete beeinträchtigt werden. In der Bewertungsmatrix wurden für das Feld „Natürliche Umwelt“ zur Abbildung und Messung dieser Standortgefährdungspotenziale Ziele und zugehörige Indikatoren abgeleitet. Im Einzelnen sind diese sowie die dafür entwickelten Bewertungsvorschriften in den nachfolgenden Unterkapiteln beschrieben. Für alle Indikatoren konnten zu ihrer Ermittlung öffentlich zugängliche räumliche Datensätze identifiziert werden, so dass auch Dritte auf einfache Art einzelne Minenstandorte bewerten können.

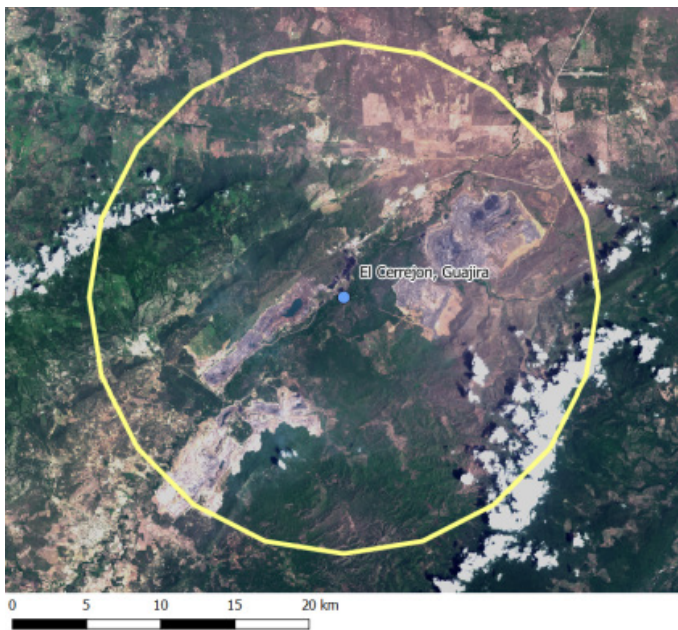
Im Rahmen des Projektes erfolgte die Bewertung der 40 Fallbeispiele mit Hilfe einer räumlichen Auswertung über das Geoinformationssystem QGIS²⁰. Hierbei handelt es sich um eine freie Software, die unter der GNU (General Public License²¹) lizenziert ist. QGIS findet immer mehr Anwendung bei Unternehmen und öffentlichen Behörden. Im Zuge der Anpassung der Datensätze an die Kriterien der Messanleitung wurden Karten generiert, die in Raster- bzw. Vektorformat exportiert wurden und damit reproduzierbar sind.

Voraussetzung zur räumlichen Analyse von einzelnen Minenstandorten ist die Angabe der Koordinaten und der Ausdehnung. Mit Hilfe dieser Angaben können die georeferenzierten Indikatorwerte mit den Minenstandorten verschnitten werden. Da die räumliche Ausdehnung von Minenaktivitäten sehr unterschiedlich sein kann, ist hier eine genaue Angabe notwendig. Sofern keine Daten der Minenbetreiber zur Verfügung stehen, kann die Ausdehnung über einfache Visualisierungen von Satellitendaten (z. B. GoogleEarth) oder Fernerkundungssoftware abgeschätzt werden. Im besten Fall lässt sich die Flächenausdehnung als differenziertes Polygon abbilden. Eine vereinfachte Herangehensweise ist die Übersetzung der durchschnittlichen Ausdehnung in einen Kreis um den Schwerpunkt des Minenstandortes (vgl. Abbildung 3-4). Das kann im Extremfall bei sehr langgestreckten Minenstandorten dazu führen, dass die Fläche insgesamt stark überschätzt wird, jedoch ist die Kreisfläche das am besten geeignete Raummuster für die Analysen mit einem Geoinformationssystem. Zur besseren Abbildung sehr langgestreckter Abbaugebiete können mehrere kleinere Kreise angesetzt werden.

²⁰ <http://www.qgis.org/de/site/> (zuletzt zugegriffen am 13.7.2015)

²¹ Software-Lizenz, die Nutzern gewährt, die Software auszuführen, zu studieren, zu ändern und zu verbreiten. Diese Software wird Freie Software genannt. <http://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.html> (zuletzt zugegriffen am 13.7.2015)

Abbildung 3-4: Übersetzung der abgeschätzten Minenausdehnung für die Steinkohlemine El Cerrejón



Basisdaten: Landsat8. Image courtesy of the U.S. Geological Survey, 2015-10-03T18:19:35Z. Kartographie: ifeu.

In Abbildung 3-4 zeigt der gelbe Kreis die Ausdehnung (Durchmesser) von 35 km, die für die räumliche Analyse des Standorts berücksichtigt wurde.

3.3.1 Ebene Standort (Umfeld), Feld Natürliche Umwelt, Indikator naturbedingte Störfallgefahren

Bergbautätigkeiten erhöhen durch Abbau-, und Aufbereitungsprozesse die Gefahr von Umweltschäden innerhalb einer Region. Diese Gefahr kann durch die geographischen Gegebenheiten des Standorts verstärkt werden. Dazu zählen Bedingungen, welche die Anlagen und die Infrastruktur des Bergbaus beeinträchtigen und so dazu führen, dass umweltschädliche Substanzen freigesetzt werden und die Umgebung kontaminiert wird. Naturbedingte Extremereignisse lassen sich nicht für alle Regionen hinreichend vorhersagen, aber aus bekannten natürlichen Gegebenheiten kann das Gefahrenpotenzial für besonders exponierte Regionen abgeleitet werden. Dazu gehört bspw. die Kenntnis über Hochwasserregionen (Überschwemmungen), steile Hanglagen in Hochgebirgen (Hangrutsch, Bergsturz), Sturmereignisse (Windschäden, Sturmfluten) oder Erdbebenzonen (Massenbewegungen).

Zur Beurteilung des Ziels „Vermeidung von naturbedingten Störfallgefahren“ dienen vier Indikatoren (vgl. Tabelle 3-6) sowie eine Sonderregel für den arktischen Raum, die als maßgeblich zur Abbildung naturbedingter Störfallgefahren gesehen werden. Die Gefahrenpotenziale zu Erdbeben, Hangrutsch, tropische Stürme und Überschwemmungen wurden u. a. für die Analysen des Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction (GAR) entwickelt. Der Bericht wird seit 2009 alle zwei Jahre von der UNISDR²² veröffentlicht und analysiert Daten und Informationen zu Naturkatastrophen. UNISDR stellt die verwendeten räumlichen Datengrundlagen und Hintergrundpapiere über eine Internet-Plattform zur Verfügung²³. Die ausgewählten Sub-Indikatoren für den Indikator „naturbedingte Störfallgefahren“ basieren auf den Datensätzen des GAR. Darin nicht umfasst sind extreme Naturereignisse für den arktischen Raum wie Überschwemmungen oder Polarstürme. Da durch diese jedoch ebenfalls eine erhöh-

²² United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR).

²³ GAR 2013: <http://preview.grid.unep.ch> (zuletzt zugegriffen am 13.7.2015)

GAR 2015: <http://www.preventionweb.net/english/hvogo/gar/2015/en/home/> (zuletzt zugegriffen am 13.7.2015)

te Störfallgefahr besteht, wurde hier eine Sonderregel abgeleitet. In den folgenden Kapiteln werden die ausgewählten Sub-Indikatoren näher beschrieben.

Tabelle 3-6: Ausgewählte Indikatoren für das Ziel „Vermeidung von naturbedingten Störfallgefahren“

Indikator	Potenzial Umwelt Ereignisse	Resultierende Störfallgefahren
Erdbebengefahr	Felssturz, Bergsturz, Tsunami	Dammbrüche Zerstörung von Leitungssystemen Beschleunigte Auswaschung von Schadstoffen
Gefahr Hangrutsch	Felssturz, Bergsturz	
Gefahr tropische Stürme	Sturmflut, Sturmschäden	
Gefahr Überschwemmung	Überschwemmung	
Sonderregel Gefahren für Arktis und Antarktis	Polarstürme, Überflutung durch Schneeschmelze, Dynamik Permafrost	

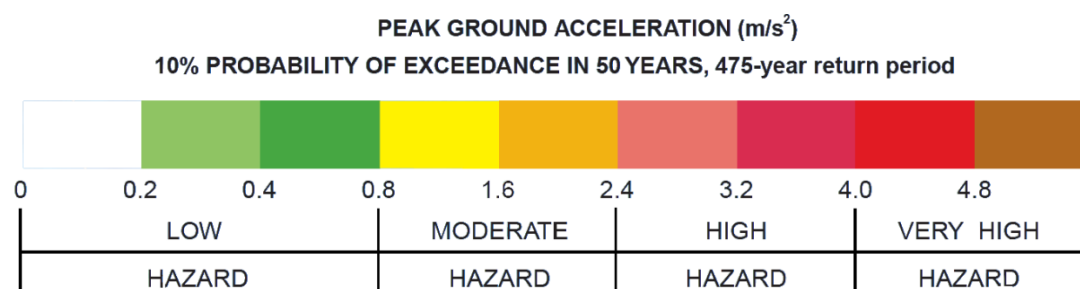
3.3.1.1 Erdbebengefahr

Erdbeben gehören zu den verheerendsten Naturereignissen der Erde, da innerhalb von wenigen Minuten enorme Kräfte frei gesetzt werden, die auf Spannungen innerhalb der Erdkruste zurückzuführen sind. Diese Kräfte wirken auf die Umweltmedien der Erdoberfläche und können hier zu Umlagerungen und Transformationen führen. Der Lebensraum des Menschen kann durch die Kräfte des Erdbebens direkt zerstört werden oder durch Folgeereignisse wie Erdrutsche, Dammbrüche oder Tsunamis indirekt betroffen sein. Die Auswirkungen können punktuell auftreten oder je nach Intensität und Ausdehnung des Erdbebens größere räumliche Einheiten umfassen.

Es herrscht eine relativ gute Kenntnis über die Erdbebenzonen der Erde und die Aufzeichnung von Erdbeben hat eine vergleichsweise lange Geschichte. Das „Global Seismic Hazard Assessment Program“ (GSHAP) wurde 1992 ins Leben gerufen. Im Zuge dieses Projektes wurden weltweit Daten gesammelt und Erdbeben-Gefahrenkarten entwickelt (Shedlock et al. 2000). Die Kategorisierung der Erbebengefahr erfolgt mit Hilfe einer Wahrscheinlichkeitsbetrachtung. Als Einheit dient die horizontale Spitzenbodenbeschleunigung (engl. peak ground acceleration, PGA), die, bezogen auf eine Region, mit einer Wahrscheinlichkeit von 10 % in den nächsten 50 Jahren überschritten werden kann. Die PGA einer Region ist eine wichtige Kenngröße zur Planung und wurde als Datengrundlage für die Gefahrenkarten des UNISDR Global Risk Assessment Reports verwendet. Tabelle 3-7 zeigt die Messvorschrift zur Einordnung der Ergebnisse. Die Einteilung orientiert sich dabei an der Zuordnung der Global Seismic Hazard Map nach GSHAP ²⁴ (Abbildung 3-5).

²⁴ <http://www.seismo.ethz.ch/static/GSHAP/> (zuletzt zugegriffen am 10.07.2015)

Abbildung 3-5: Skala des Gefahrenpotenzials nach GSHAP



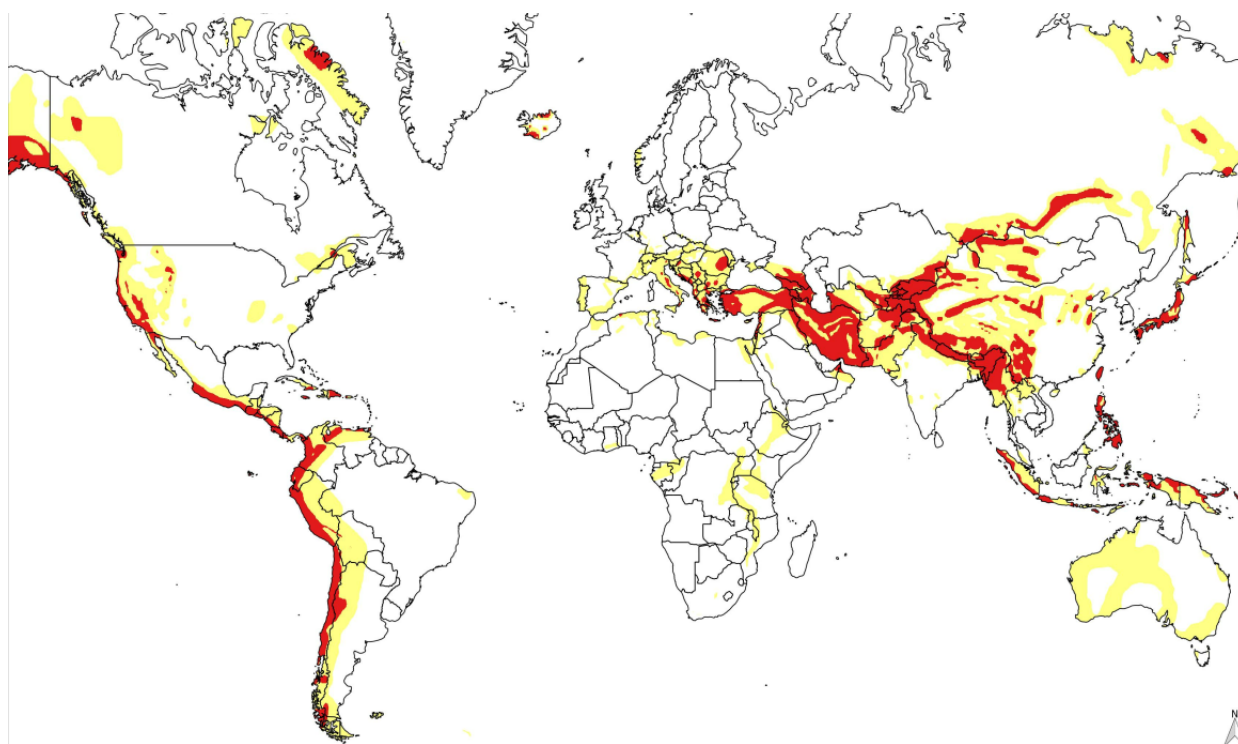
Quelle: Legende der „GLOBAL SEISMIC HAZARD MAP“ (Shedlock et al. 2000) ²⁵.

Zur Ermittlung der Erdbebengefahr für Minenstandorte wurden die räumlichen Daten von GSHAP heruntergeladen und entsprechend der ÖkoRess-Bewertung angepasst. Das Ergebnis ist in Abbildung 3-6 dargestellt. Danach sind 9 % der Landfläche mit mittlerem (gelb) und weitere 3,6 % mit hohem (rot) Gefahrenpotenzial bewertet.

Tabelle 3-7: Bewertung für den Sub-Indikator Erdbebengefahr

Bewertung Erdbebengefahr nach „peakground acceleration“ (PGA)	
0 bis < 0,8 m/s ² PGA (10 % Überschreitungswahrscheinlichkeit in 50 Jahren)	gering (grün)
0,8 bis 2,4 m/s ² PGA (10 % Überschreitungswahrscheinlichkeit in 50 Jahren)	mittel (gelb)
> 2,4 m/s ² PGA (10 % Überschreitungswahrscheinlichkeit in 50 Jahren)	hoch (rot)

Abbildung 3-6: Verteilung der Erdbebengefahr nach ÖkoRess-Bewertung (gelb = mittel; rot = hoch)



Basisdaten (Shedlock, K. M. et al. 2000); Kartographie ifeu.

²⁵ „All GSHAP products and maps are available freely and are not covered by copyright, provided that the source is cited“
<http://www.seismo.ethz.ch/static/GSHAP/> (zuletzt zugegriffen am 10.07.2015)

3.3.1.2 Gefahr Hangrutsch

Ein Hangrutsch ist eine durch Gravitation ausgelöste Massenbewegung und ein dynamischer Prozess an der Erdoberfläche, der die Landschaft formt und ständig verändert. In kleinem Maßstab finden Hangrutschungen (engl. landslides) grundsätzlich an allen Orten mit einer Neigung statt. Je steiler diese Neigung ausgeprägt ist, desto beschleunigter die Massenbewegung im zeitlichen Verlauf. Die eigentliche Gefahr für den Menschen sind eher großräumige Massenbewegungen, wie große Erdrutsche, Felsstürze oder ganze Bergstürze. Ausgelöst werden diese Massenbewegungen durch ein Zusammenspiel von Feuchtigkeit und gravitativen Zugkräften (Zepp 2011). Besonders exponiert sind steile Hänge und Böschungen, da hier die Zugkräfte am größten sind. Demnach ist das Gefahrenpotential von Hangrutschungen nicht auf Hochgebirge begrenzt, aber hier ist die Wahrscheinlichkeit von steilen Hängen größer. Für die Auswertung von spezifischen Standorten auf Mikroebene kann über die Methode der Fernerkundung anhand von Satellitendaten die Reliefenergie analysiert und bewertet werden. Bei der globalen Betrachtung werden räumliche Daten zu Gefahrenzonen von Hangrutschungen verwendet, die in dem „Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2013“ von UNISDR publiziert wurden (UNISDR 2013). Zentrale Eingangsgrößen zur Berechnung des Indikators sind die Hangneigung, geologische Faktoren, Bodenfeuchte, Vegetationsdecke und Niederschlag eines Gebietes²⁶. Daraus ergibt sich eine Gefahrenkarte für gravitative Massenbewegungen, ausgelöst durch Niederschlag. Gravitative Massenbewegungen können weiterhin durch Erdbeben ausgelöst werden, diese Gefahrenzonen sind aber schon hinreichend durch den Indikator Erdbebengefahr in diesem Vorhaben abgedeckt. Der Indikator wurde in dem neuen GAR 2015 nicht mehr berücksichtigt, weshalb die Daten des GAR 2013 verwendet wurden. Zur Abbildung des Gefahrenpotentials wurde von den Datenurhebern ein Index mit vier Kategorien (low, medium, high, very high) gebildet. Die Umsetzung dieses Indexes in der Messanleitung zeigt Tabelle 3-8.

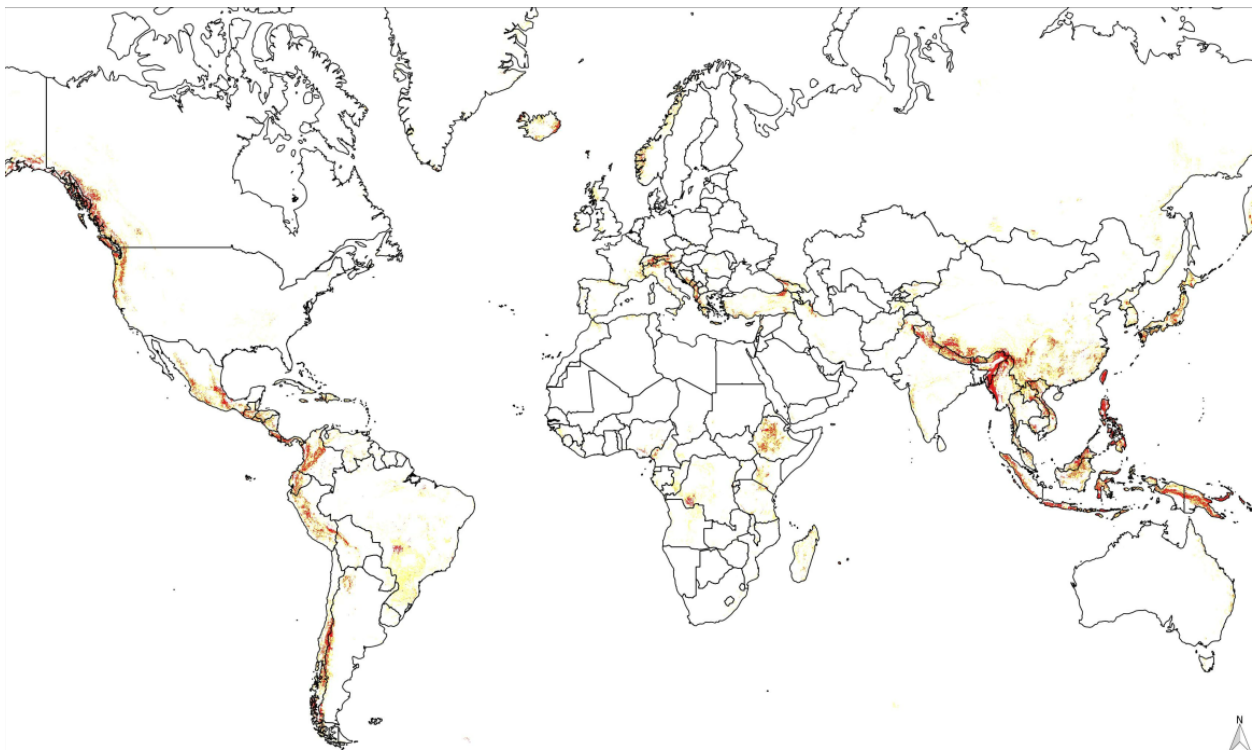
Tabelle 3-8: Bewertung für den Sub-Indikator Gefahr Hangrutsch

Bewertung „Gefahr Hangrutschungen ausgelöst durch Niederschlag“	
Low	gering (grün)
Medium	mittel (gelb)
High, Very High	hoch (rot)

Abbildung 3-7 gibt eine Übersicht der globalen Verteilung der Hangrutschgefahren mit Zuordnung nach Tabelle 3-8. Danach sind 5,2 % der Landfläche mit mittlerem (gelb) und 2,4 % mit hohem (rot) Gefahrenpotential bewertet.

²⁶ Die Daten wurden von dem International Centre for Geohazards (NGI) im Rahmen des „Global Assessment Report on Risk Reduction 2013 berechnet und über eine Internetplattform zur Verfügung gestellt. <http://preview.grid.unep.ch> (zuletzt zugegriffen am 24.06.2015)

Abbildung 3-7: Verteilung der Hangrutschgefahr nach ÖkoRess-Bewertung (gelb = mittel; rot = hoch)



Basisdaten UNISDR 2013; Kartographie ifeu.

3.3.1.3 Gefahr Tropische Stürme

Tropische Stürme kosten jedes Jahr hunderte Menschen das Leben und richten hohe wirtschaftliche Schäden an. Durch Tropische Stürme wird eine Reihe von Ereignissen ausgelöst, die den Menschen und seine Infrastruktur gefährden. So bilden sich starke Windgeschwindigkeiten, heftige Niederschläge und Sturmfluten. Die Bildung von tropischen Stürmen ist auf die Zone zwischen dem 5. und 30. Breitengrad (nördlich und südlich) konzentriert (Schönwiese 2013). In dieser Region bilden sich pro Jahr ca. 80 Stürme. Nicht jeder Sturm verläuft gleich stark in seiner Ausprägung. So gibt es verhältnismäßig ruhige Jahre, aber auch katastrophale Ereignisse, wie das Sturmtief Katrina, das 2005 in den USA 1.800 Menschenleben forderte.

Die Daten von tropischen Stürmen werden über lange Zeitreihen in meteorologischen Datenbanken aufgezeichnet. Daraus wurden in dem „Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction“ von UNISDR Gefahrenkarten bereitgestellt (UNISDR 2015a). Über eine statistische Analyse der Sturmverteilung über die verfügbaren Zeitreihen wurden Gefahrenkarten erzeugt, welche die zu erwartenden Spitzenwindgeschwindigkeiten für unterschiedliche Wiederkehr-Zeiträume darstellen.

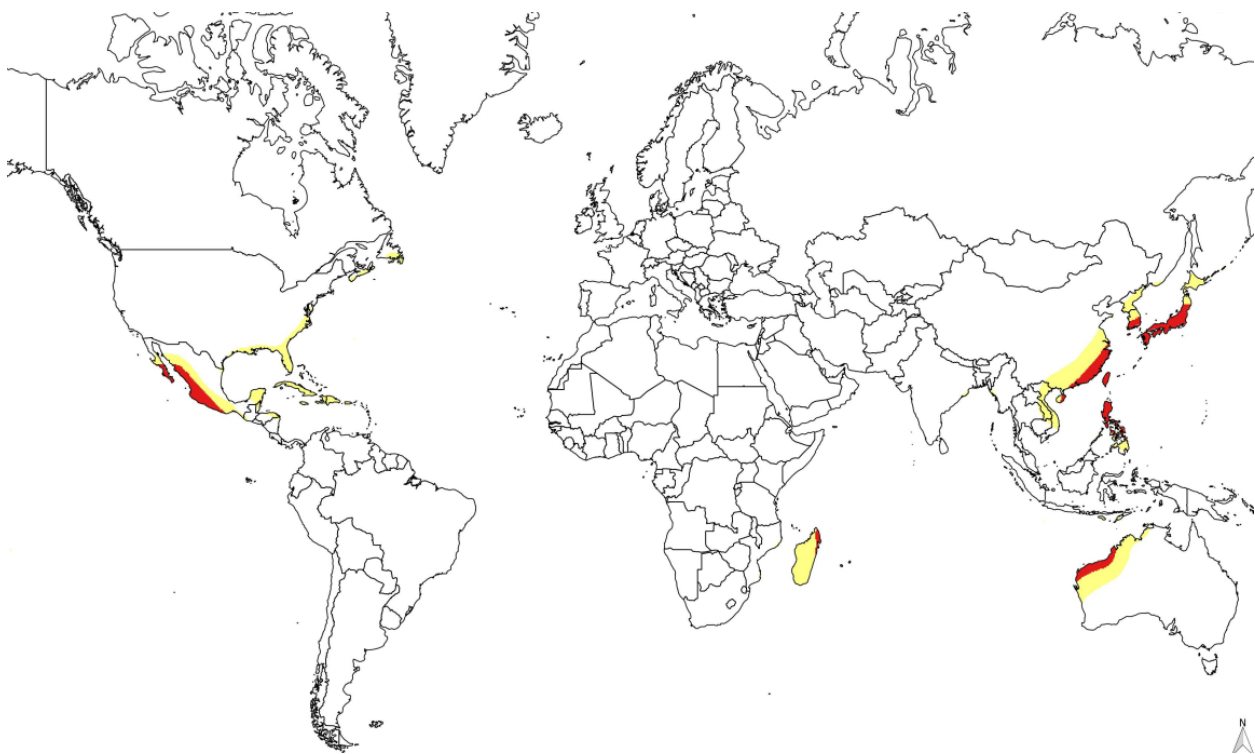
Für dieses Vorhaben wurde der Datensatz „Gefahr Tropische Stürme“ in dem Zeitraum von 100 Jahren gewählt (UNISDR 2015a). Er drückt, ähnlich wie die Bezeichnung Jahrhunderthochwasser, die zu erwartenden Spitzenwindgeschwindigkeiten für tropische Stürme in einem Betrachtungszeitraum von 100 Jahren aus. Zur Abbildung des Gefahrenpotenzials wurde in der Darstellung des GAR 2015 ein Index mit fünf Intensitätsgruppen gebildet. Die Umsetzung dieser Gruppen in die Messanleitung zeigt Tabelle 3-9.

Tabelle 3-9: Bewertung für den Sub-Indikator Gefahr tropische Stürme

Bewertung „Gefahr durch tropische Stürme mit Jahrhundert Spitzenwindgeschwindigkeiten“	
119 – 153 km/h	gering (grün)
154 – 177 km/h und 178 – 208 km/h	mittel (gelb)
209 – 251 km/h und > 252 km/h	hoch (rot)

Abbildung 3-8 gibt eine Übersicht der globalen Verteilung der Gefahr tropischer Stürme mit Zuordnung nach Tabelle 3-9. Danach sind 3 % der Landfläche mit mittlerem (gelb) und 1 % mit hohem (rot) Gefahrenpotenzial bewertet.

Abbildung 3-8: Verteilung Gefahr tropischer Stürme nach ÖkoRess-Bewertung (gelb = mittel; rot = hoch)



Basisdaten UNISDR 2015b; Kartographie ifeu.

3.3.1.4 Gefahr Überschwemmung

Überschwemmungen sind die häufigsten Katastrophenereignisse, von denen Menschen betroffen sind. Diese können unterschiedliche Ursachen und Ausprägungen haben. Periodisch auftretende Überschwemmungen sind natürliche Prozesse, auf die sich der Mensch eingestellt hat. Zu humanitären Katastrophen und Zerstörungen kommt es in den Fällen, in denen die Intensität der Überschwemmung stark von der Norm abweicht oder Überschwemmungen durch besondere Ereignisse wie Starkniederschläge oder plötzliche Schneeschmelze ausgelöst werden. Diese Extremereignisse führen zu humanitären und ökonomischen Schäden, da Gesellschaft und Infrastruktur nicht auf die Auswirkungen eingestellt sind. Hochwasser stellt demnach auch eine Gefahr für Minenstandorte dar, weil Anlagen überflutet und Schadstoffe ausgespült werden können.

Der GAR 2015 betrachtet die Gefahr von Überschwemmungen ausgelöst durch Flusshochwasser. Gegenüber dem GAR 2013 wurde der Datensatz für den GAR 2015 von CIMA Foundation und UNEP-GRID überarbeitet und weiterentwickelt. Daraus entstanden Gefahrenkarten für Überschwemmungen mit sechs unterschiedlichen Betrachtungshorizonten (T= 25, 50, 100, 200, 500, 1.000 Jahre). Die räumli-

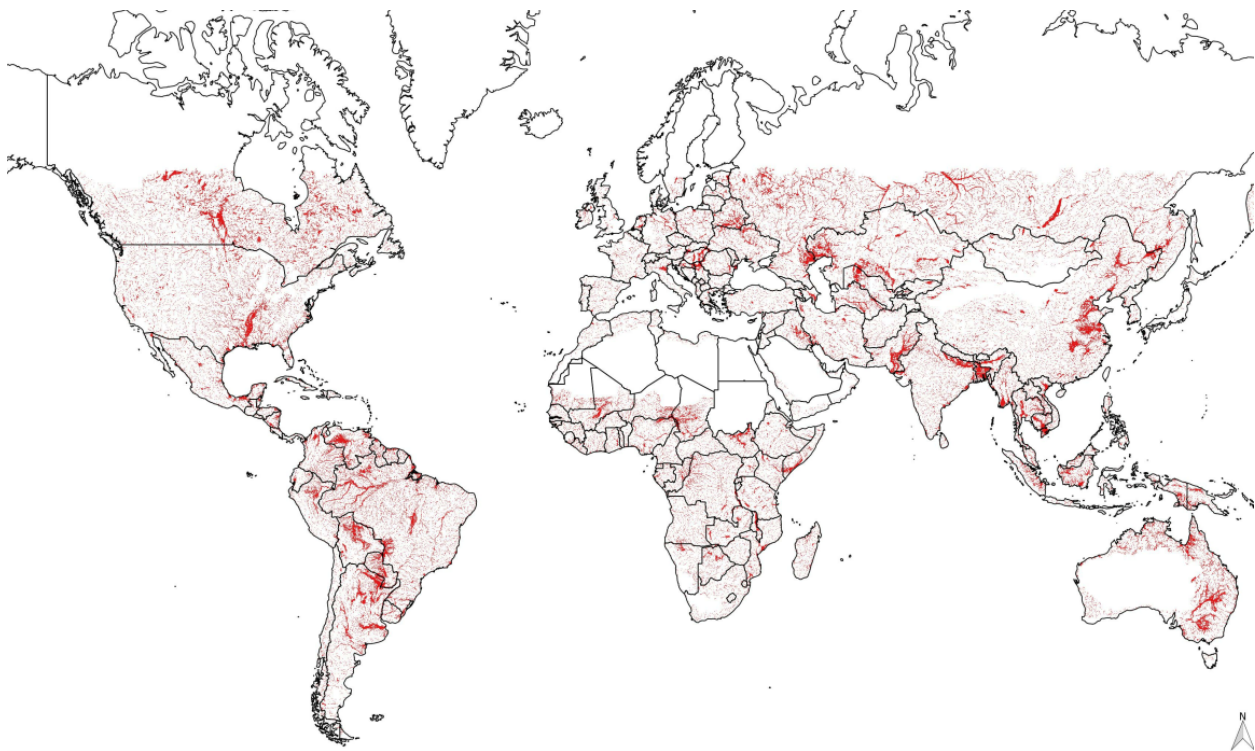
che Auflösung beträgt 1 km x 1 km. Für die Analyse von Standortgefährdungspotenzialen für Minen wurde der Betrachtungshorizont von 100 Jahren ausgewählt. Die Einheit der Gefahrenkarte ist die zu erwartende maximale Hochwassertiefe innerhalb von 100 Jahren (in Zentimetern). In der Darstellung von GAR 2015 wurde keine weitere Gruppierung in Gefahrenkategorien vorgenommen, deshalb wird ein hohes Gefahrenpotenzial (rot) zugeordnet, sobald es zu einem messbaren Hochwasser von mindestens 5 cm kommt. Tabelle 3-10 zeigt die Umsetzung der Grenzen in der Messanleitung.

Tabelle 3-10: Bewertung für den Sub-Indikator Gefahr Überschwemmung

Bewertung Überschwemmungsgefahr nach „maximaler Hochwassertiefe in 100 Jahren“	
Keine Angaben und < 5 cm	gering (grün)
≥ 5 cm	hoch (rot)

Abbildung 3-9 gibt eine Übersicht der globalen Verteilung der Gebiete mit Überschwemmungsgefahr mit Zuordnung nach Tabelle 3-10. Danach sind ca. 10 % der Landfläche mit einem hohen Gefahrenpotenzial (rot) bewertet. Aufgrund der begrenzten räumlichen Ausdehnung von Eingangsparametern²⁷ für das Modell, können nur Überschwemmungen zwischen dem 60. nördlichen und dem 56. südlichen Breitengrad dargestellt werden.

Abbildung 3-9: Verteilung Überschwemmungsgefahr nach ÖkoRess-Bewertung (rot = hoch)



Basisdaten UNISDR 2015b, Basisdaten CIMA Foundation und UNEP-GRID; Kartographie ifeu.

3.3.1.5 Sonderregel Gefahren für Arktis und Antarktis

Für den arktischen und antarktischen Raum besteht ein erhöhtes Gefährdungspotenzial aufgrund der extremen Witterungsverhältnisse. Polarstürme, Überschwemmungen aufgrund von Schneeschmelzen

²⁷ Die Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) hat Höhendaten der Erdoberfläche zwischen dem 60. nördlichen und dem 56. südlichen Breitengrad aufgezeichnet. Diese Daten gehören u. a. zu den Eingangsparametern des Überschwemmungs-Datensatzes von CIMA Foundation und UNEP-GRID.

sowie die Dynamik des Permafrosts im Jahresverlauf bergen u. a. erhöhte Gefahren in Bezug auf die Standortsicherheit technischer Installationen des Bergbaus wie v. a. Schlammteiche und Halden. In den zuvor beschriebenen vier Sub-Indikatoren sind diese Wetterereignisse nicht hinreichend abgebildet und es steht kein entsprechender globaler Datensatz für die genannten Extremereignisse zur Verfügung.

Da es sich bei Arktis und Antarktis um hochsensible Ökosysteme handelt und aufgrund der geringen Mineralisationsraten und der gehemmten biologischen Zersetzung nur eine geringe Regenerationsfähigkeit des Ökosystems gegeben ist, wurde für diese Regionen eine gesonderte Bewertungsregel festgelegt.

Die Antarktis ist zeitlich befristet über den Antarktisvertrag und dessen Folgeabkommen²⁸ geschützt. Insbesondere mit dem Beschluss der XVI. Konsultativtagung zu antarktischen Schutzgebieten wurde der Antarktisvertrag durch das Protokoll von 1991 ergänzt, das ein umfassendes Umweltschutzsystem für die Antarktis begründet, mit Verfahrensregeln für umweltgerechtes Verhalten und einem Verbot für Bergbauaktivitäten. Die Bestimmungen können erst nach 50 Jahren auf einer Revisionskonferenz aufgehoben werden. Deshalb wird die Antarktis in der Messanleitung nicht weiter berücksichtigt.

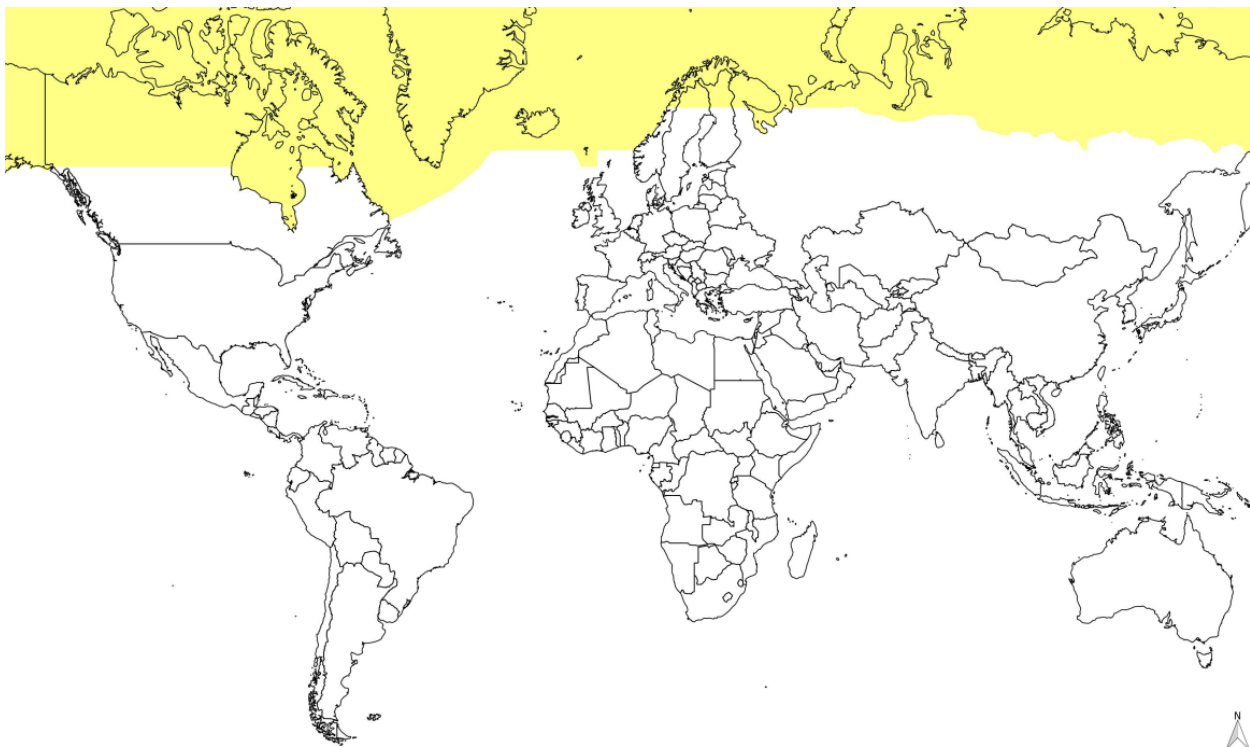
Für die Arktis gibt es keinen entsprechend umfassenden Schutz. Für diese Region wurde deswegen konservativ generell ein mittleres Gefahrenpotenzial (gelb) zugeordnet. Die Abgrenzung der Arktis folgt in dieser Bewertung dem Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), eine Arbeitsgruppe des Arctic Council²⁹. AMAP ist beteiligt an internationalen Programmen zur Reduzierung von Emissionen und Auswirkungen des Klimawandels. Dazu veröffentlicht AMAP in regelmäßigen Abständen einen Bericht über den Zustand der Arktis. Als Grundlage für die Arbeiten ist nach AMAP der arktische Raum³⁰ nach einer Reihe von verschiedenen Kriterien definiert (Murray et al. 1998). Dieser Raum umfasst 13,4 Mio. km² oder 9 % der gesamten Landfläche (vgl. Abbildung 3-10).

²⁸ Der Antarktisvertrag wurde am 1.12.1959 von 12 Vertragsstaaten unterzeichnet und trat am 23.6.1961 in Kraft. Er bezieht sich auf das Gebiet südlich des 60. südlichen Breitengrades. Der Vertrag wurde seither von 41 weiteren Staaten unterschrieben, von denen zusätzlich zu den 12 Erstunterzeichnern 17 Konsultativstaaten (stimmberechtigte Staaten) wurden. Das 1991 zugefügte Umweltschutzprotokoll trat am 14.1.1998 in Kraft. Es ist von allen derzeit 29 Konsultativstaaten ratifiziert. Von den 24 Nicht-Konsultativstaaten haben acht das Umweltprotokoll unterzeichnet (http://www.ats.aq/e/ats_meetings_atcm.htm; http://www.ats.aq/devAS/ats_parties.aspx?lang=e).

²⁹ Zwischenstaatliches Forum, welches die Zusammenarbeit der arktischen Staaten und ihrer Einwohner stärken soll. Im Fokus sind die speziellen Bedürfnisse der Einwohner und Umweltschutz der Arktis.

³⁰ Die räumlichen Daten können hier heruntergeladen werden: <http://www.amap.no/about/geographical-coverage> (zuletzt zugegriffen am 04.08.2016).

Abbildung 3-10: Die arktische Region nach AMAP mit ÖkoRess-Bewertung (gelb = mittel)



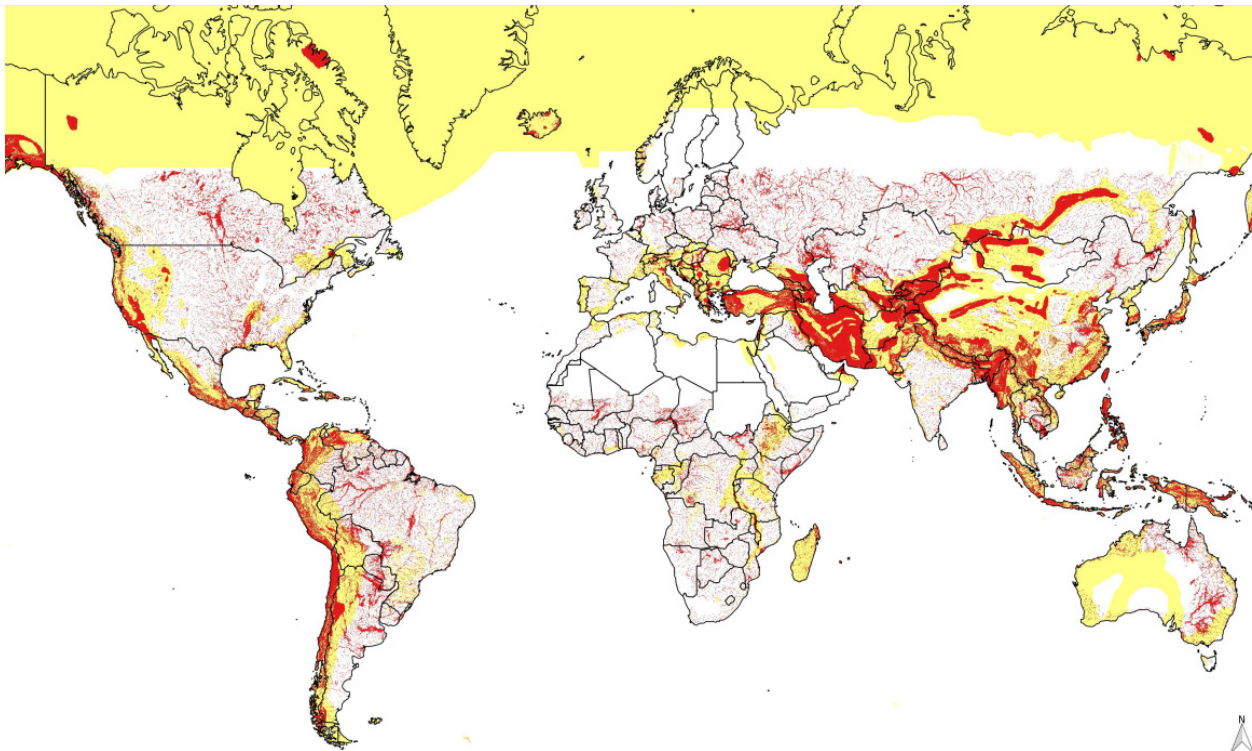
Basisdaten AMAP 1998; Kartographie ifeu.

3.3.1.6 Zusammenführung der Sub-Indikatoren – Bewertung der „naturbedingten Störfallgefahren“

Das Ziel „Vermeidung von naturbedingten Störfallgefahren“ kann nicht mit einem einzelnen Indikator ausreichend beurteilt werden. Die zuvor beschriebenen Sub-Indikatoren mit der Sonderregel für die Arktis sind exklusiv. Allerdings werden sie für das Bewertungsraster zu einem Beurteilungswert zusammengeführt, um das Ziel „Vermeidung von naturbedingten Störfallgefahren“ mit einem Indikatorergebnis abzubilden.

Da jeder der Sub-Indikatoren für sich genommen bedeutend ist, erfolgt die zusammenfassende Bewertung nach dem Maximalprinzip: Der Standort erhält das höchste zugewiesene Gefahrenpotenzial aus den Sub-Indikatoren. Das heißt, wenn einer der vier Sub-Indikatoren „rot“ für eine Lagerstätte anzeigt, wird ein hohes Gefahrenpotenzial zugeordnet, zeigt einer der Sub-Indikatoren „gelb“ ein mittleres. Nur wenn keiner der Indikatoren „rot“ oder „gelb“ anzeigt, wird ein geringes Gefahrenpotenzial zugeordnet. Abbildung 3-11 stellt die Zusammenführung der Sub-Indikatoren nach dem Maximalprinzip in einer Karte dar.

Abbildung 3-11: Zusammenführung der Sub-Indikatoren „naturbedingte Störfallgefahren“ mit ÖkoRess-Bewertung (gelb = mittel; rot = hoch)



Basisdaten Shedlock, K. M. et al. 2000; UNISDR 2013, 2015b; CIMA Foundation und UNEP-GRID; AMAP 1998; Kartographiefeu.

3.3.2 Ebene Standort (Umfeld), Feld Natürliche Umwelt, Indikator Wasserstressindex (WSI) und Wüstengebiete

Die Gewinnung von Rohstoffen ist je nach Größe des Bergbaubetriebs, der Intensität, Technik und Geologie mit einem hohen Wasserbedarf verbunden. Je nach hydrologischer Situation können hierdurch Nutzungskonkurrenzen, z. B. mit der Landwirtschaft, entstehen. Die Gefahr von Wassernutzungskonkurrenzen ist insbesondere an Standorten gegeben, bei denen entweder bereits eine geringe Wasserverfügbarkeit oder eine bereits hohe Wasserentnahme besteht.

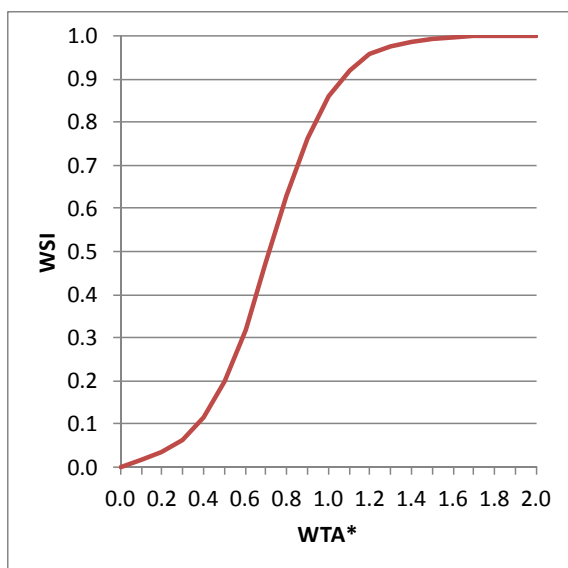
Die beiden Aspekte werden gut über den Wasserstressindex (Water Stress Index, WSI) abgebildet, der hier als Indikator herangezogen wird. Der Wasserstressindex WSI nach Pfister et al. (2009) basiert auf dem Verhältnis der jährlichen Frischwasserentnahme zur erneuerbaren Verfügbarkeit³¹:

$$WTA = \text{water use} / \text{water availability}$$

Die erneuerbare Wasserverfügbarkeit ist darin ein auf Daten der sogenannten „klimanormalen Periode 1961-1990“ basierender Jahresdurchschnitt. Um demgegenüber saisonale Schwankungen der Wasserverfügbarkeit bedingt durch variierende Niederschlagsmengen oder Verdunstung zu berücksichtigen, wurde ein Variationsfaktor (VF) (je Wassereinzugsgebiet) eingeführt und ein modifizierter WTA* berechnet. Der WTA* ist nicht linear. Um für eine Beurteilung kontinuierliche Werte zwischen 0,01 und 1 zu erhalten, wurde der WTA* mittels einer logarithmischen Funktion in den WSI überführt. Unterhalb des WSI von 0,01 besteht nur ein minimaler Wasserstress, da jegliche Wassernutzung nur marginale lokale Effekte hat (Pfister et al. 2009). Abbildung 3-12 zeigt das Verhältnis zwischen WTA* und WSI sowie die Berechnungsformel für den WSI.

³¹ Pfister et al. (2009): „hydrological availability“ (WTA, Withdrawal To Availability)

Abbildung 3-12: Verhältnis zwischen WSI und WTA* und Berechnungsformel WSI



$$WSI = \frac{1}{1 + e^{-6,4 \times WTA^*} \left(\frac{1}{0,01} - 1 \right)}$$

Datengrundlage nach Pfister et al. (2009)

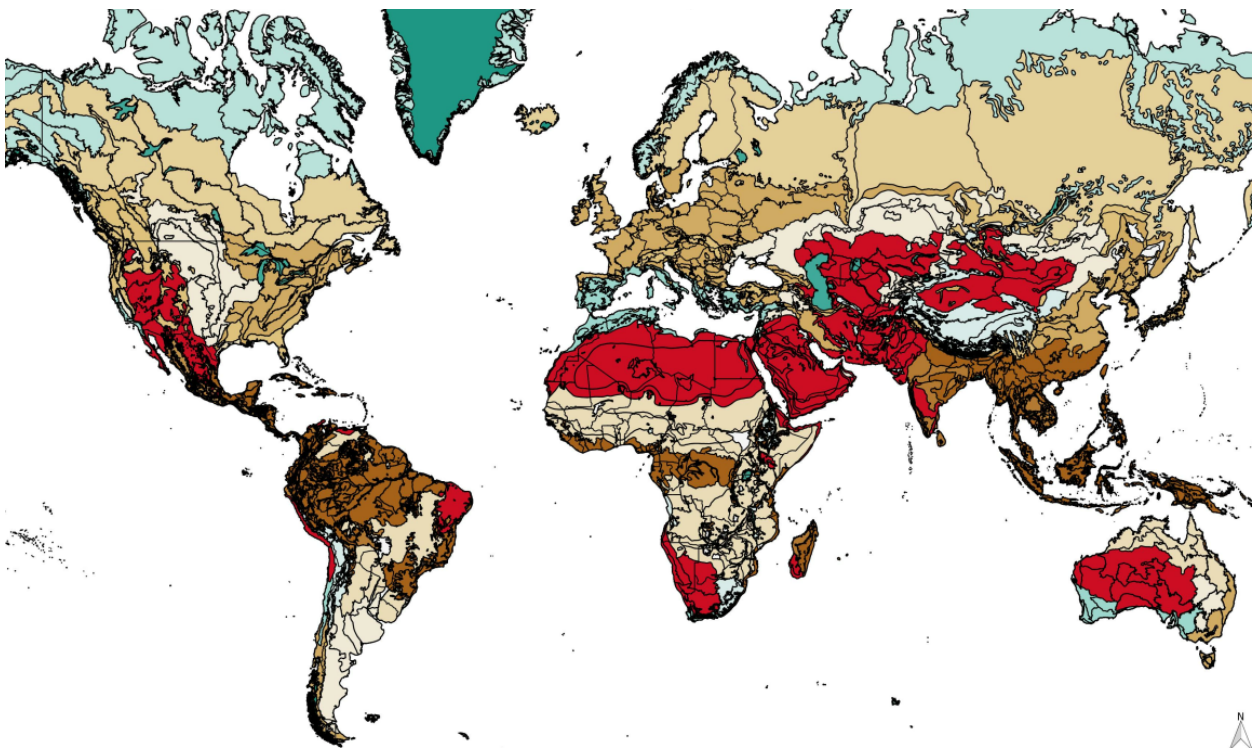
Die WSI-Kurve wurde so angelegt, dass der Wendepunkt bei WSI=0,5 dem WTA von 0,4 entspricht, der den Schwellenwert zwischen moderatem und schwerem Wasserstress darstellt (mit VFmedian = 1,8; WTA* = 0,72). Eine Abgrenzung zwischen minimalem und moderatem Wasserstress findet sich in Pfister et al. (2009) nicht. Der mittlere Wert zwischen „minimal“ (WSI < 0,01) und „schwer“ (WSI > 0,5) liegt bei einem WSI von 0,09 (WTA 0,2; WTA* 0,36). In Deutschland liegen WSI-Werte i.d.R. unter 0,13³². Nach Aussage des Umweltbundesamtes zeigen nationale Daten, dass in Deutschland kein Wasserstress gegeben ist (UBA 2015). Ausgehend davon wird die Grenze zwischen „niedrigem“ und „moderatem“ Wasserstress auf 0,15 gesetzt.

Der WSI bildet allerdings einige Wüstenregionen der Welt nur unzureichend ab (z. B. sehr geringer Wasserstress in den westaustralischen Wüsten). Dies ist auf die Definition des Indikators zurückzuführen, der neben dem Wasserdargebot auch die Wasserentnahme berücksichtigt. In sehr dünn besiedelten Regionen kommt es so auch zu einer geringen Wasserentnahme und in manchen Wüstenregionen zu einem geringen WSI-Wert. Für das Ziel „Vermeidung von Wassernutzungskonkurrenzen“ ist damit die Beschränkung auf den WSI zu kurz gegriffen. Deshalb wird neben dem WSI zusätzlich der Standortfaktor „Wüstenregion“ berücksichtigt. Abbildung 3-13 stellt die terrestrischen Wüstenregionen nach der Klassifikation von WWF dar³³. In rot sind Wüsten und Dornstrauchsavannen dargestellt, denen in der ÖkoRess-Bewertung ein hohes Gefahrenpotenzial (rot) zugeordnet wurde.

³² Ausnahme Grenzgebiet Nordrhein-Westfalen zu Belgien/Holland (WSI 0,2981)

³³ Datengrundlage kann auf der Homepage des WWF heruntergeladen werden: <http://www.worldwildlife.org/publications/terrestrial-ecoregions-of-the-world> (zuletzt zugegriffen am 04.08.2016).

Abbildung 3-13: Terrestrische Ökozonen der Erde nach WWF (in rot sind Wüstenregionen dargestellt)



Basisdaten: Olson et al. 2001; Kartographie: ifeu

Die resultierende Bewertung für den Indikator Wasserstressindex und Wüstengebiete zeigt Tabelle 3-11.

Tabelle 3-11: Bewertung für den Indikator Wasserstressindex und Wüstengebiete

Bewertung „Water Stress Index“ (WSI) und Wüstengebiete			
WSI	0 bis < 0,15	niedriger Wasserstress	gering (grün)
WSI	0,15 bis 0,5	moderater Wasserstress	mittel (gelb)
WSI	> 0,5	schwerer Wasserstress	hoch (rot)
Wüstengebiete	Wüstenregion nach Klassifikation WWF		

Zur Ermittlung des WSI für Minenstandorte wurde der von Pfister et al. (2009) veröffentlichte Google Earth™-Layer verwendet, der weltweit den WSI auf Ebene von Wassereinzugsgebieten darstellt³⁴. Abbildung 3-14 zeigt die globale Verteilung des WSI mit der Bewertung nach Tabelle 3-11.

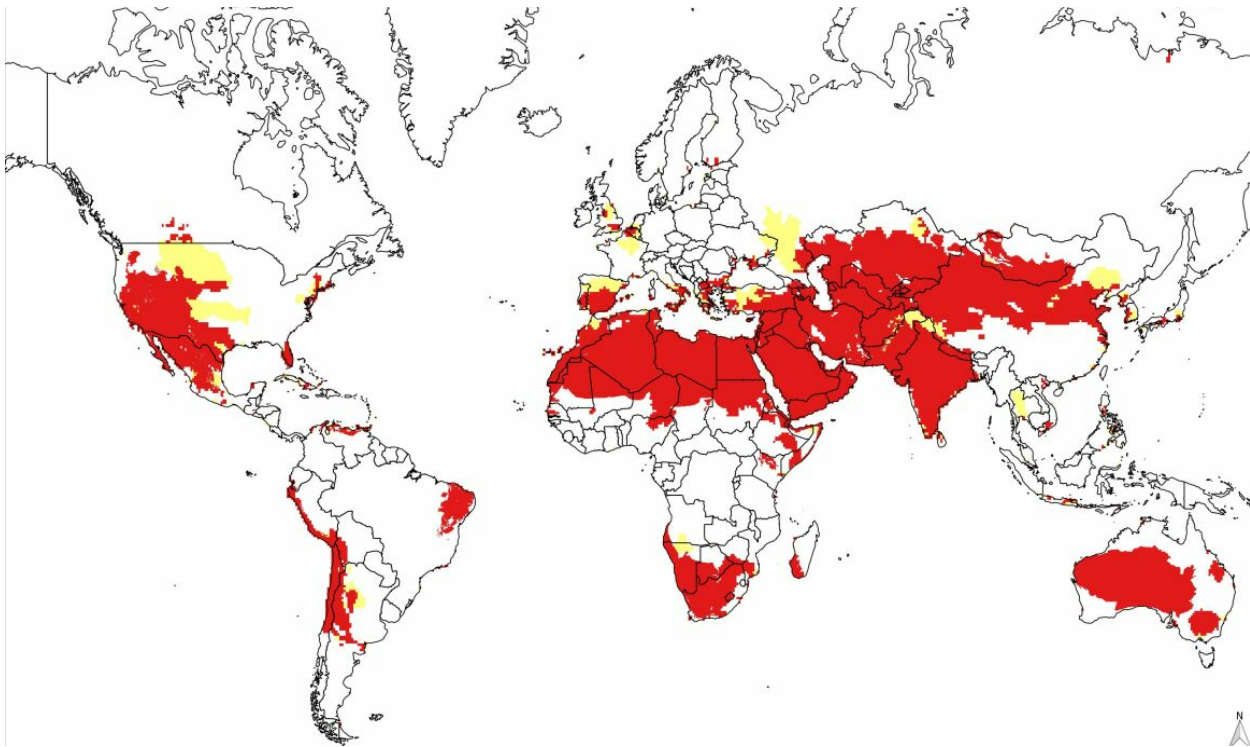
Bei Kenntnis der geographischen Lage der zu bewertenden Abbauregion können die WSI-Werte direkt abgelesen werden. In den Fällen, in denen eine Abbauregion in mehreren Wassereinzugsgebieten mit unterschiedlichen WSI-Werten liegt, soll konservativ immer der höchste Wert angenommen werden.

Der WSI berücksichtigt quantitative Aspekte der Wassernutzung. Darüber hinaus sind auch qualitative Aspekte für die Beeinträchtigung der Wassernutzung von Bedeutung (Veränderung der Wasserqualität). Dieser Aspekt lässt sich bislang allerdings auf der globalen Ebene noch nicht systematisch bewerten. In dem hier abgeleiteten Bewertungssystem ist das Gefährdungspotenzial für Wasserkontamina-

³⁴ http://www.ifu.ethz.ch/ESD/downloads/EI99plus/Impact_factors_Water_LCA_pfister_et_al.kmz (zuletzt zugegriffen am 13.07.2015)

tion, wie auch für die Kontamination andere Umweltmedien, indirekt durch die Indikatoren zum Ziel „Vermeidung von Schadstoffrisiken“ abgebildet (s. Kap. 3.1.1)

Abbildung 3-14: Verteilung der Gefahr von Wassernutzungskonkurrenzen nach ÖkoRess-Bewertung (gelb = mittel; rot = hoch)



Basisdaten Pfister et al. (2009); WWF; Kartographie ifeu.

3.3.3 Ebene Standort (Umfeld), Feld Natürliche Umwelt, Indikator ausgewiesene Schutzgebiete und AZE-Sites

Die Gewinnung von abiotischen Rohstoffen im Bergbau stellt den Schritt in der globalen Produktionskette dar, der am unmittelbarsten in die Natur eingreift. Zudem können Belastungen weit über den eigentlichen Gewinnungsort hinauswirken (z. B. Wegebau, Wasserverschmutzung). Idealerweise sollte ein Indikator zur Beurteilung des Schutzes bzw. Erhalts von hochwertigen Ökosystemen bzw. Ökosystemleistungen alle ökologisch sensiblen Gebiete anzeigen, die es zu schützen gilt. Dies ist jedoch bislang nicht möglich, da es hierzu global keine abschließenden systematischen Erhebungen und Kartierungen gibt.

Als Mindesttherangehensweise werden zunächst bestehende, bereits offiziell ausgewiesene Schutzgebiete als Indikator für das Ziel „Schutz/Erhalt von hochwertigen Ökosystemen“ zugrunde gelegt. Zu den offiziell ausgewiesenen Schutzgebieten gehören z. B. die auf Basis der Welterbekonvention ausgewiesenen „natural world Heritage sites“ der UNESCO³⁵ und die „protected areas“ aus dem „global protected areas programme“ der IUCN (International Union for Conservation of Nature)³⁶. Des Weiteren zählen hierzu Schutzgebiete, die im Rahmen der Ramsar-Konvention³⁷ oder zur Zielerfüllung der Biodiversitätskonvention³⁸ ausgewiesen wurden.

³⁵ <http://whc.unesco.org/en/list/>

³⁶ http://www.iucn.org/about/work/programmes/gpap_home/gpap_quality/gpap_pacategories/

³⁷ http://www.bfn.de/0310_ramsar.html

³⁸ Convention on Biological Diversity, CBD

Zur Einteilung in das Bewertungsraster müssen die Schutzgebiete nach ihrer „Hochwertigkeit“ unterschieden werden. Dies erfolgt in Anlehnung an den Entwurfs-Standard der „Initiative for Responsible Mining Assurance“ (IRMA). IRMA setzt „highly protected areas“ als „no-go-zones“, während „protected areas“ als Sonderfälle zu behandeln wären (Exploration und Abbau können stattfinden, wenn die Aktivitäten in Einklang mit den Schutzzielen des Schutzgebietes stehen, ggf. ist auch Kompensation erforderlich).

„Highly protected areas“ sind:

- ▶ World Heritage Sites
- ▶ Nominated World Heritage Sites
- ▶ IUCN category I-IV protected areas
- ▶ Category I-V marine protected areas³⁹
- ▶ Core areas of UNESCO biosphere reserves⁴⁰.

„Protected areas“ sind:

- ▶ IUCN Category V-VI protected areas
- ▶ Ramsar sites that are not already IUCN category I-IV protected areas
- ▶ Natura 2000 sites
- ▶ UNESCO Biosphere Reserves beyond the core areas
- ▶ Indigenous and Community Conserved Areas (ICCAs) in which free, prior and informed consent (FPIC) has been demonstrated, in compliance with the requirements of Chapter 2.10
- ▶ Important Bird Areas (IBAs)
- ▶ Official buffer zones of sites designated as Highly Protected Areas and other areas outside the boundaries of Highly Protected Areas in which mining activities may affect the values for which the Highly Protected Area was designated for protection
- ▶ Sites that are currently included on a State Party's official Tentative List for World Heritage Site inscription⁴¹
- ▶ Other officially designated protected areas.

Über die offiziell ausgewiesenen Schutzgebiete hinaus gibt es international anerkannte Ausweisungen von besonders ökologisch sensiblen Gebieten, wie beispielsweise die AZE-Sites, die von der „Alliance for Zero Extinction“ (AZE) ausgewiesen werden. Dabei handelt es sich um Gebiete, in denen mindestens eine vom Aussterben bedrohte Art nachgewiesen wurde (endangered or critically endangered on the IUCN Red List of Threatened Species). Informationen zu AZE-Sites finden sich in einem Bericht von 2005⁴². Der Stand wurde 2010 aktualisiert, weltweit wurden 920 Arten in 588 Gebieten identifiziert⁴³.

³⁹ http://cmsdata.iucn.org/downloads/uicn_categoriesamp_eng.pdf

⁴⁰ <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/ecological-sciences/biosphere-reserves/world-network-wnbr/wnbr/>

⁴¹ <http://whc.unesco.org/en/tentative-lists>

⁴² http://www.abcbirds.org/newsandreports/special_reports/AZE_report.pdf

⁴³ <http://www.zeroextinction.org/sitesspecies.htm>

Tabelle 3-12: Bewertung für den Indikator ausgewiesene Schutzgebiete und AZE-Sites

Bewertung Gefahrenpotenzial für ausgewiesene Schutzgebiete und AZE-Sites		
Kein Schutzgebiet	keine Ausweisung/keine AZE-Site	gering (grün)
„protected area“	alle sonstigen offiziellen Schutzgebiete und AZE-Sites	mittel (gelb)
„highly protected area“	UNESCO World Heritage Sites, nominated World Heritage Sites, IUCN category I-IV protected areas, core areas of UNESCO biosphere reserves	hoch (rot)

Soweit möglich sollten Gebiete, die hochwertige Ökosysteme ausweisen, in die Bewertung mit aufgenommen werden. Die in Tabelle 3-12 gezeigte Messvorschrift zur Einordnung der Auswertungsergebnisse umfasst entsprechend alle offiziell ausgewiesenen Schutzgebiete und AZE-Sites, soweit sie für dieses Vorhaben relevant sind ⁴⁴.

Offiziell ausgewiesene Schutzgebiete sind in einer globalen Datenbank zu Schutzgebieten dokumentiert, der World Database on Protected Areas (WDPA), eine gemeinsame Initiative der IUCN und der UNEP-WCMC. Die Daten sind online über ProtectedPlanet.net verfügbar.

<http://www.protectedplanet.net/>

Über die Karte können weiterführende Informationen aufgerufen werden, wie z. B. die IUCN Kategorie, was die Zuordnung in „highly protected area“ oder „protected area“ ermöglicht.

AZE-Sites können aus einer pdf-Karte oder einer live map ermittelt werden:

<http://www.zeroextinction.org/sitesspecies.htm>

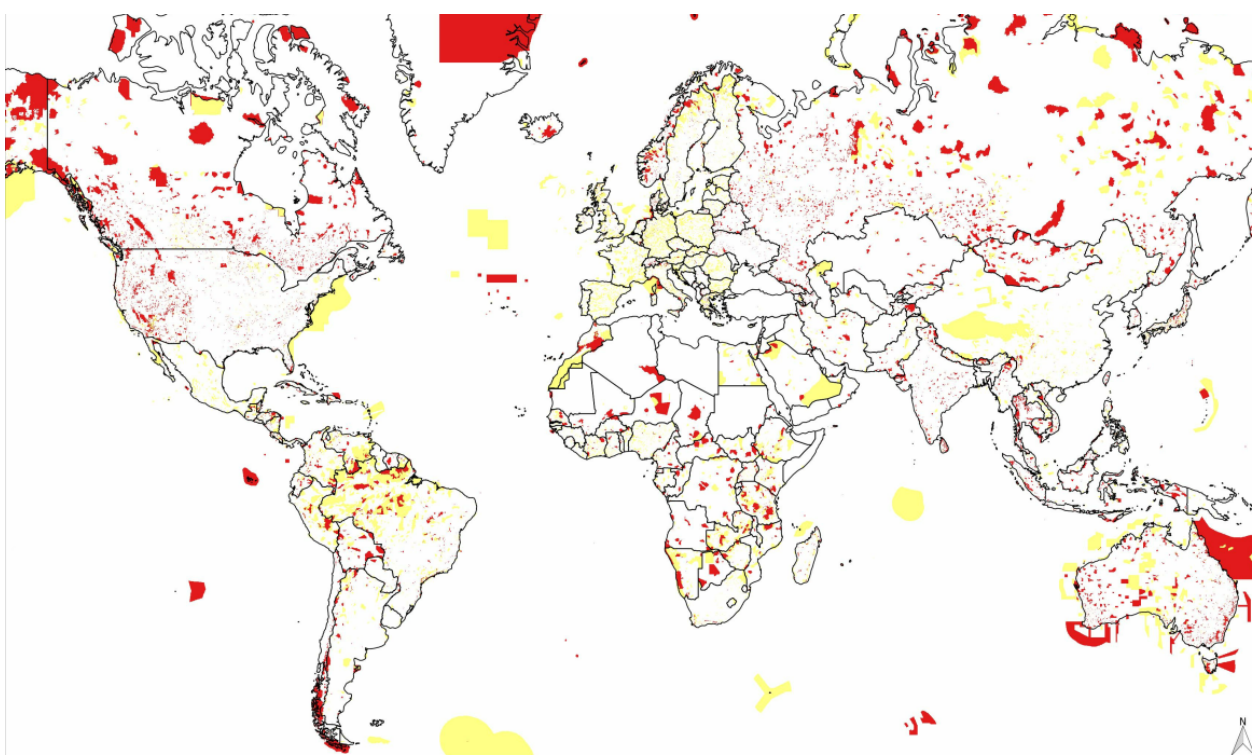
Die den beiden Karten hinterlegten Datensätze konnten heruntergeladen ⁴⁵ werden und sind für Auswertungen nutzbar ⁴⁶. Abbildung 3-15 gibt eine Übersicht der globalen Verteilung der Schutzgebiete mit der Bewertung nach Tabelle 3-12.

⁴⁴ Die IUCN category I-V marine protected areas sind nicht ausgewertet, da in diesem Vorhaben nur landgebundene Abbau-standorte betrachtet werden.

⁴⁵ Die verarbeiteten Daten wurden am 15.4.2015 heruntergeladen.

⁴⁶ Es gilt an dieser Stelle zu beachten, dass der Datensatz von protectedplanet.net ständig aktualisiert wird und zum Teil noch Datenlücken aufweist. Weiterhin sind in dem Datensatz nur die ernannten World Heritage Sites und die gesamte Fläche (Kerngebiet und Pufferzone) der UNESCO biosphere reserves ausgewiesenen. Nominierte World Heritage Sites und die Kernflächen UNESCO biosphere reserves können über den Datensatz bisher nicht gesondert dargestellt werden. Bei einer Einzelfallbetrachtung von Minenvorhaben sollte dies jedoch berücksichtigt werden.

Abbildung 3-15: Verteilung ausgewiesene Schutzgebiete und AZE-Sites nach ÖkoRess-Bewertung (Gefahrenpotenzial gelb = mittel; rot = hoch)



Basisdaten IUCN/ UNEP-WCMC 2015 und Alliance for Zero Extinction 2010; Kartographie ifeu.

3.3.4 Ebene Standort (Umfeld), Feld Soziale Umwelt, Indikator umweltinduzierte Konflikte

Hintergrund

In der Konfliktforschung gilt es als unbestritten, dass es einen Zusammenhang zwischen Bodenschätzen und Konflikten geben kann⁴⁷. Allgemein muss angemerkt werden, dass die Existenz eines Konfliktes in der sozialwissenschaftlichen Forschung nicht per se als negativ bewertet wird. Konflikte gelten allgemein als Ausdruck divergierender Interessen, also Situationen, die in modernen Gesellschaften unvermeidbar sind. Die Bewertung von Konflikten knüpft sich letztendlich an die Frage, wie diese ausgetragen werden. Allgemein reicht das Spektrum von Fällen, in denen Konflikte gewaltfrei und zur Zufriedenheit aller Beteiligten ausgehandelt werden, bis zu Situationen, in denen die beteiligten Gruppen versuchen, ihre Interessen mit Gewalt durchzusetzen. Zwischenformen sind Situationen, in denen Interessenskonflikte über längere Zeit nicht zufriedenstellend verhandelt werden können, sodass Ausbrüche von Gewalt in Zukunft möglich erscheinen.

Aufbauend auf dieses Kontinuum von Konfliktsituationen hat das Heidelberger Institut für Internationale Konfliktforschung eine fünfteilige Systematik entwickelt, die bestehende Konflikte nach ihrer Intensität einteilt (HIK 2014).

⁴⁷ Dabei ist allerdings strittig, ob das Vorhandensein von Bodenschätzen die Wahrscheinlichkeit für bewaffnete Konflikte tatsächlich erhöht oder nicht (siehe u.a. McNeish 2010). Diese Debatte ist für die weitere Bewertungsmethode nicht unmittelbar relevant.

Abbildung 3-16: Die Einteilung von Konflikten nach Intensitäten

intensity Level	terminology	level of violence	intensity class
1	dispute	non-violent conflicts	low intensity
2	non-violent crisis		
3	violent crisis	violent conflicts	medium intensity
4	limited war		high intensity
5	war		

Quelle: HIIK 2014

Unter Anwendung dieses Systems erfasst das Heidelberger Institut für Internationale Konfliktforschung jährlich weltweite Konflikte und ordnet diese einem oder mehreren Konfliktgegenständen („items“) zu. Dabei sind „Ressourcen“, gemeint sind Bodenschätze, einer von insgesamt zehn möglichen Konfliktgegenständen, sodass mit Hilfe dieses Konfliktbarometers zumindest retrospektiv eine Abschätzung der Konfliktwirkung eines Bergbauprojektes möglich ist.

Da dieses Vorgehen allerdings nur bei bestehenden Projekten angewendet werden kann, empfehlen die Autoren für die Bewertung ein alternatives Vorgehen, das im Wesentlichen auf einer eigenen Abschätzung der politisch-gesellschaftlichen Voraussetzungen für eine friedliche und umfassende Auseinandersetzung von Konflikten beruht. Dabei nehmen die Autoren an, dass umweltinduzierte Nutzungskonflikte i. d. R. friedlich ausgehandelt werden können, wenn folgende Voraussetzungen gegeben sind:

- ▶ wenn durch Umweltauswirkungen betroffene Bevölkerungsgruppen ihre Anliegen öffentlich und ohne Angst vor weiteren Benachteiligungen äußern können und diese auch im politischen Diskurs gehört werden.
- ▶ die Umsetzung politischer Entscheidungen nicht systematisch durch Korruption unterwandert werden.

Zur annähernden Abschätzung dieser Faktoren können zumindest auf nationalstaatlicher Ebene die World Governance Indikatoren (WGI) der Weltbank herangezogen werden:

Die Weltbank veröffentlicht länderspezifische Daten zu sechs verschiedenen Governance-Aspekten⁴⁸. Die Daten beruhen wiederum auf einer Vielzahl anderer Governance-basierter Länderrankings. Insgesamt genießen die World Bank Governance Indikatoren große Anerkennung. Folgenden Indikatoren sind verfügbar:

- ▶ Gesellschaftliche Mitbestimmung (engl.: Voice and Accountability)
- ▶ Politische Stabilität und Abwesenheit von Gewalt/Terrorismus (engl.: Political Stability and Absence of Violence/Terrorism)
- ▶ Effektivität der Regierungsführung (engl.: Government Effectiveness)

⁴⁸ <http://info.worldbank.org/governance/wgi/index.aspx#reports>

- ▶ Qualität staatlicher Regulierung (engl.: Regulatory Quality)
- ▶ Rechtssicherheit (engl.: Rule of Law)
- ▶ Korruptionskontrolle (engl.: Control of Corruption).

Die Indikatorwerte werden im Originaldatensatz in einem Bereich von -2,5 (schlechtester Wert) bis 2,5 (bester Wert) angegeben. Darauf aufbauend werden die Länder in allen sechs Kategorien in einer Rangliste geführt. Je nach Position in dieser Rangliste wird wiederum ein Prozentwert angegeben (100 % für den besten Platz, 0 % für den schlechtesten Platz).

Für eine abschätzende Bewertung der umweltinduzierten Konfliktrisiken wird empfohlen, die jeweiligen Länderwerte für „Voice and Accountability“ sowie „Control of Corruption“ zu verwenden. Damit kann ein Hinweis geliefert werden, wie hoch Risiken hinsichtlich nicht ausreichender Einbeziehung lokal ansässiger Bevölkerungsgruppen sind und wie die Risiken ausgehend von Standardunterwanderung mittels Korruption einzuschätzen sind.

Konkret wird folgender Bewertungsschlüssel vorgeschlagen:

Bewertung (Gefahrenpotenzial umweltvermittelte Nutzungskonflikte)

Gering (grün):

Beide Indikatorwerte ≥ 65 %

Mittel (gelb):

- Mindestens ein Indikatorwert im Bereich 45 % bis 65 %
- Kein Indikatorwert < 45 %

Hoch (rot):

Mindestens ein Indikatorwert < 45 %

4 Einschätzung der Datenqualität

Bei Anwendung des dargelegten Bewertungsrasters muss im Einzelfall mit Lücken bzw. Bewertungen auf Basis nicht vollständig repräsentativer Daten ausgegangen werden. Um die Datenqualität transparent darzustellen, wird empfohlen, die Bewertung einzelner Indikatoren stets mit einer Angabe zur dahinterliegenden Datenqualität zu versehen. Dabei soll neben der Qualität der Daten auch berücksichtigt werden, ob die Bewertung auf Daten beruht, die vor Ort recherchiert werden konnten, oder auf der Anwendung der zahlreichen Handreichungen basiert, die der Messanleitung beigelegt sind. Falls für einzelne Indikatoren keine Bewertung möglich ist, soll kurz auf die Gründe eingegangen werden. Konkret werden folgende Qualitätsklassen empfohlen:

- A = hoch, direkt aus verfügbaren Daten ableitbar
- B1 = mittel, anhand verfügbarer Informationen einschätzbar
- B2 = mittel, pauschal nach Messanleitung eingestuft
- C = niedrig, keine konkreten Informationen, keine pauschalen Vorgaben der Messanleitung, (Experten)schätzung
- Y = Bewertung wegen fehlender Daten am Standort nicht möglich, da auch keine Hinweise für eine Abschätzung vorliegen und pauschale Bewertungsregeln in Methode nicht gegeben sind.
- Z = Bewertung wegen (noch) fehlender methodischer Grundlagen oder Vergleichsdaten nicht möglich.

Daneben können im Einzelfall formlos zusätzliche Anmerkungen zur Datenlage gegeben werden.

5 Erkenntnisse aus der Anwendung der Methode

Parallel zur Erarbeitung der standortbezogenen Bewertungsmethode, wurden für 40 Fallbeispiele die für die Bewertung notwendigen Fakten zur Bewertung von Minenstandorten recherchiert und beschrieben sowie sukzessive gegenseitig angepasst (vgl. hierzu auch die Kapitel 7 und 9 im Konzeptband zu ÖkoRess I). Dazu wurden die jeweiligen Arbeitsstände der Bewertungsmethode häufig an den gerade vorliegenden Fallbeispielen angewendet, die Ergebnisse abgeglichen und die daraus gewonnenen Erkenntnisse zur Weiterentwicklung bzw. zur Fertigstellung der Methode genutzt.

Die Bewertungsmethode wurde anhand der Erfahrungen aus der Bewertung der Fallbeispiele im Laufe des Projekts ständig weiterentwickelt. Insbesondere wurden in den Ebenen Geologie und Technik umfassende Messanleitungen und Bewertungshilfen erstellt und z. T. im Rahmen des Projekts erst hergeleitet und erarbeitet, z. B. zu den Lagerstättengrößen, die eine Bewertung auch bei schlechter Datenlage ermöglichen. Bei dem Indikator spezifischer Gehalt gibt es eine Bewertungshilfe bisher nur für die Rohstoffe Gold, Kupfer, Zink, Blei, Nickel und Diamant. Grundsätzlich nimmt die Aussagekraft der Bewertung mit der Güte der Datenlage am konkreten Standort zu.

Für die Indikatoren natürliches und soziales Umfeld wurden internetbasierte Kartenwerke genutzt und Auswertungshilfen erarbeitet, die bei Vorhandensein der genauen Lage und Ausdehnung der Standorte eine eindeutige Zuordnung erlauben.

Es wurde festgestellt, dass Fachwissen in den Bereichen Geologie und Bergbau bei der Beschreibung und Bewertung von Minenstandorten sehr hilfreich, aber nicht unbedingte Voraussetzung ist.

Die Beschreibung und Bewertung der Standorte sollte möglichst in einer Hand liegen und die Beschreibung sollte sich möglichst exakt an dem Bewertungsraster orientieren. Durch eine transparente Dokumentation des Vorgehens, insbesondere bezüglich der Beschreibung der Datenqualität, stellen kombinierte Beschreibungs- und Bewertungsberichte die beste Grundlage für eine Bewertung durch Dritte dar⁴⁹.

6 Fazit und Handlungsempfehlungen

Mit der standortbezogenen Methode zur Bewertung ökologischer Gefährdungspotenziale bei der Primärgewinnung abiotischer Rohstoffe liegt nun ein neu entwickeltes Instrument zur Einschätzung und Bewertung der Umweltgefährdungspotenziale für einzelne Bergbauprojekte vor.

Die Methode basiert auf zahlreichen vorliegenden wissenschaftlichen Analysen und Ergebnissen, stellt aber hinsichtlich ihres methodischen Ansatzes dennoch eine Neuerung dar. Sie ist in iterativen Prozessen als Bewertungsansatz für Umweltgefährdungspotenziale von Bergbaustandorten entwickelt und anhand praktischer Beispiele angepasst und validiert worden. Trotz einer gewollten Beschränkung auf nur wenige Indikatoren, werden die Systeme der Bandbreite der geologischen, technischen, sowie Standortbedingungen gerecht und zeigen die Vielfalt der vom Bergbau ausgehenden möglichen Umweltauswirkungen. Die Tragweite der Umweltauswirkungen wird ebenso durch viele der 40 bearbeiteten Fallbeispiele veranschaulicht, die insbesondere zur Erkenntnis geführt haben, dass die durch Bergbau verursachten Auswirkungen sowohl hinsichtlich der Art, als auch der Größenordnung sehr heterogen sind und sowohl von den jeweils geförderten Rohstoffen, als auch von standortbedingten Faktoren und den getätigten Umweltschutzmaßnahmen abhängen. Auffällig ist dabei, dass zwar vielerorts Umweltschutzmaßnahmen ergriffen werden, diese aber meist nicht ausreichen, um alle Umweltwirkungen auf ein mögliches Minimum zu reduzieren bzw. die Umweltkosten umfassend zu internalisieren. Gleichzeitig ist in vielen Weltregionen weiterhin Bergbau anzutreffen, der keinerlei

⁴⁹ Im Konzeptband zum ÖkoRess I Projekt ist die Auswahl der Standorte für die 40 Fallbeispiele sowie das Vorgehen bei der Beschreibung und Bewertung und die Bewertungsergebnisse inklusive Bewertung der Datenqualität beschrieben.

umweltbezogene Schutzmaßnahmen beachtet. Eine besondere Bedeutung kommt dabei der Umweltgovernance-Qualität zu.

6.1 Einordnung der Bewertungsergebnisse und Grenzen ihrer Aussage

Die in diesem Bericht vorgestellte **standortbezogene Bewertung** beschreibt ein Umweltgefährdungspotenzial mit 13 Indikatorbewertungen in jeweils drei Klassen (geringes, mittleres und hohes Umweltgefährdungspotenzial) für Einzelfallbetrachtungen.

Das Bewertungssystem ist so ausgelegt, dass die Auswertung der Indikatoren ohne Vor-Ort-Erhebungen und durch Fachleute ohne spezifischen bergbaulichen Erfahrungshintergrund möglich ist. Für die geologischen und technischen Indikatoren liegen im besten Falle die bewertungsrelevanten Angaben für den jeweiligen Standort vor. Sollte dies nicht der Fall sein, erlauben die Bewertungshilfen eine Bewertung aufgrund rohstoffspezifischer Zusammenhänge. Die Standortindikatoren können mit den geographischen Koordinaten ermittelt werden. Der Indikator für die Umweltgovernance ergibt sich aus Länderindices für den Standort. Das führt naturgemäß zu starken Vereinfachungen und damit zu begrenzter Aussagekraft der Ergebnisse. Folgende Einschränkungen sind zu berücksichtigen:

- Die Ergebnisse sind nur als Umweltgefährdungspotenziale für einen Standort aussagefähig. Die Ergebnisse stellen stets Ersteinschätzungen dar, die keinesfalls eine Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) ersetzen können oder sollen.
- Aussagen zu konkreten Schadenshöhen bei eintretenden Unfällen oder Schadstofffreisetzungen im Normalbetrieb können mit den Methoden nicht abgebildet werden.
- Die Ergebnisse der standortbezogenen Bewertung geben keinen Hinweis auf das Umweltmanagement eines Betriebes und stellen damit keine Bewertung des Bergbaubetreibers dar. Sie geben nur Auskunft über standort-, lagerstätten-, technik- und governancespezifische Gefährdungspotenziale.
- Für konkrete Einschätzungen z. B. Investitionsentscheidungen, die Planung von Maßnahmen etc. sind die Ergebnisse immer durch Erhebungen vor Ort, z. B. eine UVP zu komplettieren. Die Bewertung kann allerdings qualifizierte Einschätzungen liefern, welche Teilaspekte besonders zu beleuchten sind.
- Die Bewertungsergebnisse mehrerer Standorte verleiten zum Vergleich von (Minen)-Standorten untereinander. Dies ist weder beabsichtigt, noch führt es immer zu aussagekräftigen Ergebnissen, da die Bewertung qualitativ ohne Bezug zu einer Vergleichsbasis erfolgt. Stattdessen soll jedes Bewertungsergebnis individuell betrachtet werden und gibt als solches Auskunft über standort- bzw. reststoffimmanente Gefahren und mögliche Schwerpunkte (Hot-Spots) von Sorgfaltspflichten, Genehmigungsaufgaben, Umweltverträglichkeitsprüfungen etc.
- Trotz fehlender Vergleichsbasis und qualitativer Bewertung können die Bewertungsergebnisse möglicher Standorte als Einstieg in einen bzw. als ein Bestandteil eines Standortvergleichs herangezogen werden, der aber durch konkrete Vor-Ort-Untersuchungen ergänzt werden muss.
- Die Autoren empfehlen, auf eine Aggregation der Ergebnisse der einzelnen Indikatoren zu verzichten und stattdessen die Ergebnismatrix als Endergebnis zu nutzen, die noch alle Fakten der Einzelbewertungen erkennen lässt. Deshalb wurde auf die in der Praxis gegebenen Zusammenhänge zwischen einzelnen Indikatoren (Interdependenzen), die unterschiedlich stark die Potenziale verstärken oder auch hemmen können, nicht eingegangen.

6.2 Anwendungs- und Handlungsempfehlungen

Mit dem standortbezogenen Bewertungssystem liegt nun ein Bewertungssystem für bergbauliche Gewinnungs- und Aufbereitungsstandorte vor, das lagerstättenspezifische, technische sowie geografische

und Umweltgovernance-relevante Parameter berücksichtigt und eine multifaktorielle, reproduzierbare, richtungssichere und transparente Bewertung von Umweltgefährdungspotentialen ermöglicht. Das Anwendungsspektrum ist vielfältig:

- Standortbezogene Entscheidungen – sei es bei der (Mit-)Finanzierung von Bergbauprojekten, dem Bezug von Erzen und Konzentraten aus abgelegenen Bergbauprojekten oder der unabhängigen Abschätzung von bislang nicht dokumentierten Auswirkungen und Gefahren – bedürfen einer soliden wissenschaftlichen Grundlage, welche aber vielfach nur mit erheblichen finanziellen und logistischen Aufwendungen erstellt werden kann. Für viele Akteure der Industrie, Finanzwirtschaft und Zivilgesellschaft kommt die Erstellung solch umfassender Prüfungen erst dann in Frage, wenn sich Projekte konkretisieren bzw. erste Berichte über Umweltprobleme bekannt werden. Diese Lücke kann durch die hier vorgestellte Methode zur Abschätzung von Umweltgefährdungspotenzialen einzelner Bergbauprojekte, ergänzt durch die Methode zu bergbaulichen Reststoffen geschlossen werden. Zwar können und sollen diese Methoden keine umfassende Umweltverträglichkeitsprüfung ersetzen, sie können aber Unternehmen, Finanzinstitutionen und zivilgesellschaftlichen Gruppen richtungssichere Ersteinschätzungen ermöglichen und als erstes umweltbezogenes „Gefahrenradar“ genutzt werden.
- Ein weiteres Anwendungsfeld eines solchen Gefahrenradars liegt bei Entscheidungsträgern und geologischen Diensten in Entwicklungsländern. Während die entsprechenden Gremien und Behörden i. d. R. sehr schwach mit personellen und finanziellen Ressourcen ausgestattet sind, obliegt ihnen dennoch die Aufgabe, Konzessionsvergaben und Bergbaubetriebe hinsichtlich deren Umweltauswirkungen zu prüfen und ggf. mit entsprechenden Einschränkungen und Auflagen zu versehen. Zwar kann auch hier die vorgestellte standortbezogene Bewertungsmethode keine vertieften Umweltverträglichkeitsprüfungen ersetzen, sie bietet aber dennoch einen guten Ansatz, um mit vergleichsweise geringem Aufwand richtungssichere Ersteinschätzungen zu geben und weiterführende Untersuchungen zu planen. Ferner kann diese Ersteinschätzung eine Unterstützung bei der Prüfung von Umweltverträglichkeitsuntersuchungen, z. B. in Genehmigungsverfahren, bieten. Hier ist zu beachten, dass die entsprechenden Methodendokumente derzeit nur in deutscher Sprache vorliegen.
- Aus den Ergebnissen der Bewertungen mehrerer Standorte in einem Entwicklungsland könnten im Rahmen von Politikberatung Empfehlungen und Hinweise auf unterstützendes Capacity Building zum Umgang mit umweltbedingten Konfliktpotenzialen und auf Schwerpunkte bei Genehmigung und Überwachung in den jeweiligen Ländern abgeleitet werden.
- Zudem lässt sich aus den Ergebnissen ableiten, wo Berichtspflichten der Bergbauunternehmen vertieft werden sollten.
- Schließlich können das Bewertungssystem und dessen Ergebnisse für einzelne Standorte hilfreich sein, Standards und Guidelines fortzuentwickeln bzw. diese verbindlich zu vereinbaren, und zwar sowohl durch Regierungen, Finanzierungsinstitutionen, Bergbauinitiativen als auch entlang von Lieferketten in Handels- und Geschäftsbeziehungen (BMUB/UBA 2017). Die einzelnen Umweltgefährdungspotenziale haben Bezug zu bestehenden Richtlinien bzw. Leitfäden, bspw. in Bezug auf
 - o Acid Mine Drainage: GARD (Global Acid Rock Drainage Guide), der unter der Schirmherrschaft des International Network for Acid Prevention (INAP) mit Finanzierung der Global Alliance durch Golder Associates erarbeitet wurde und ein Rahmenwerk zu sauren Grubenwässern,

deren Entstehung und Vorbeugung darstellt⁵⁰. Vergleiche hierzu auch die Steckbriefe aus dem UFOPLAN-Vorhaben „UmSoRess“⁵¹.

- o Hilfsstoffe/Reagenzien:
Cyanide Code (ICMI - International Cyanide Management Code For the Manufacture, Transport, and Use of Cyanide In the Production of Gold), wurde als Multiakteursinitiative unter der Leitung des Umweltprogramms der Vereinten Nationen - United Nations Environmental Program (UNEP) – und dem International Council on Metals and the Environment (ICME) entwickelt und stellt einen Standard für den sicheren Umgang mit Zyanid im Goldbergbau dar⁵². Vergleiche hierzu auch den UmSoRess-Steckbrief zu Cyanid⁵³.
- o Störfälle:
Unter anderem haben folgende Initiativen Standards zu sicherer Bergbaupraxis formuliert:
ICMM (International Council on Mining & Metals) im Rahmen der 10 Prinzipien für nachhaltigen Bergbau⁵⁴ und als „position statement“ zu Tailing Dams⁵⁵. Vergleiche hierzu auch den UmSoRess-Steckbrief zu ICMM⁵⁶.
ICOLD (International Commission on Large Dams) hat best practice-Standards zu sicherem Design von Bergbaudämmen entwickelt⁵⁷ und zu Dämmen und Umwelt publiziert⁵⁸.
- o TSM (Towards Sustainable Mining), eine Initiative des Kanadischen Bergbaudachverbandes, setzt international anerkannte Standards für nachhaltige Bergbaupraxis⁵⁹. Weitere Standards wurden zu Themen wie Reststoffmanagement, Krisensituationen und Kommunikation, Grubenschließung, Wassermanagement erarbeitet und werden aus aktuellen Anlässen (z. B. nach dem Dammbruch in 2014⁶⁰) aktualisiert. Vergleiche hierzu auch den UmSoRess-Steckbrief zu TSM⁶¹.
- o Reststoffmanagement:
EU Mining Waste BREF - Das Referenzdokument über „Best Available Technology“ zum Management von Abgängen und Bergen des Bergbaus ist von der EU herausgegeben, um die Umsetzung der EU-Bergbauabfallrichtlinie⁶² (Mine Waste Direktive⁶³) zu unterstützen. Das Dokument wird derzeit überarbeitet.

⁵⁰ http://www.gardguide.com/index.php?title=Main_Page

⁵¹ <https://www.umweltbundesamt.de/umweltfragen-umsoress> und <https://www.umweltbundesamt.de/dokument/umsoress-steckbrief-global-acid-rock-drainage-gard>

⁵² https://www.cyanidecode.org/sites/default/files/pdf/18_CyanideCode12-2016.pdf

⁵³ <https://www.umweltbundesamt.de/dokument/umsoress-steckbrief-international-cyanide>

⁵⁴ <https://www.icmm.com/en-gb/about-us/member-commitments/icmm-10-principles>

⁵⁵ <https://www.icmm.com/tailings-report> und <https://www.icmm.com/en-gb/environment/tailings>

⁵⁶ <https://www.umweltbundesamt.de/dokument/umsoress-steckbrief-international-council-on-mining>

⁵⁷ http://www.icold-cigb.net/GB/dams/dams_safety.asp

⁵⁸ http://www.icold-cigb.net/GB/dams/dams_and_environment.asp

⁵⁹ <http://mining.ca/towards-sustainable-mining>

⁶⁰ Case-Study Canada im Rahmen von Öko-Ress II (noch nicht veröffentlicht)

⁶¹ <https://www.umweltbundesamt.de/dokument/umsoress-steckbrief-towards-sustainable-mining-tsm>

⁶² <https://www.umweltbundesamt.de/dokument/umsoress-steckbrief-eu-bergbauabfallrichtlinieund>

⁶³ http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/mmr_adopted_0109.pdf

- o Schutzgebiete: ICMM Good Practice Guidance for Mining and Biodiversity und Position Statement zu Mining and Protected Areas⁶⁴
- o Governance: EITI, evtl. auch National Resource Charter oder Africa Mining Vision⁶⁵.

Viele der vorstehend angesprochenen Anwendungsfälle bedingen internationale Abstimmungen, die über eine rein deutsche Initiative hinausgehen. Dafür wären eine Publikation in englischer Sprache, sowie eine Diskussion auf europäischer Ebene über eine entsprechende höher aufgehängte Initiative unabdingbar.

6.3 Weiterer Forschungsbedarf

Die Autoren sehen durchaus noch weiteren Forschungsbedarf, insbesondere um die Datenlage für die Anwendung der Methode zu verbessern, vereinzelt auch um die Bewertungshilfen zu ergänzen, z. B. sind bei dem Indikator spezifischer Gehalt Bewertungshilfen für möglichst viele weitere Rohstoffe zu erstellen. Bisher liegen nur für Gold, Kupfer, Zink, Blei, Nickel und Diamant Bewertungshilfen vor.

Die Methode ist im vorgelegten Stadium aber durchaus ausgereift. Die Weiterentwicklung erfolgt am besten innerhalb einer zahl- und umfangreichen Anwendung der Methode. So könnten dann die erhobenen Werte in einer Datenbank zusammengetragen werden und damit die Bewertungshilfen überprüft und weiter ausgebaut werden. Zudem kann durch die Auswertung der Nutzungserfahrungen mit dem vorliegenden Bewertungssystem identifiziert werden, welche Indikatoren schwierig mit Daten zu unterlegen sind. Aus diesen Erkenntnissen kann abgeleitet werden:

- wie die Bewertungshilfen verfeinert werden müssen,
- in welchen Fällen die Bewertungshilfen zu falsch-positiven oder falsch-negativen Ergebnissen führen und
- welche Ausnahmeumstände berücksichtigt werden sollten.

⁶⁴ <https://www.umweltbundesamt.de/dokument/umsoreess-steckbrief-icmm-good-practice-guidance-for>

⁶⁵ <https://www.umweltbundesamt.de/dokument/umsoreess-steckbrief-the-natural-resource-charter>

7 Literaturverzeichnis

- Akcil, Koldas (2006): Akcil, A.; Koldas, S.: Acid Mine Drainage (AMD): causes, treatment and case studies. In: Journal of Cleaner Production 14 (2006) 1139-1145.
- Alliance for Zero Extinction (2010): 2010 AZE Update. Washington D.C. www.zeroextinction.org (aufgerufen am 01.07.2015).
- AMAP (1998): Geographical Coverage. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP).
<http://www.amap.no/about/geographical-coverage> (aufgerufen am: 21.01.2016).
- Basedeau (2009): Basedeau, M.: Ressourcenkonflikte. In: Wissenschaft & Frieden, 2009-2: Ressourcen: Ausbeutung, Krieg, Elend. Internet: <http://wissenschaft-und-frieden.de/index.php?mid=0&pid=11&jvar=126> (aufgerufen am 18.11.2015).
- BMUB (Hg.) (2012): Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess). Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Berlin. Online verfügbar unter http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/progress_broschuere_de_bf.pdf, zuletzt geprüft am 19.01.2016.
- BMUB/UBA (Hg.) (2017): Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit | Umweltbundesamt: Schritt für Schritt zum nachhaltigen Lieferkettenmanagement - Praxisleitfaden für Unternehmen; Berlin, Dessau, Januar 2017
- Berger et al. (2009): Berger, V. I., Singer, D. A., Orris, G. J.: Carbonatites of the world, explored deposits of Nb and REE: Database and grade and tonnage models. U.S. Geological Survey Open-File Report 2009-1139, 17 p. and database, Online verfügbar unter <http://pubs.usgs.gov/of/2009/1139/>.
- Berger et al. (2011): Berger, V. I., Singer, D. A., Bliss, J. D., and Moring, B. C.: Ni-Co laterite deposits of the world; database and grade and tonnage models. U.S. Geological Survey Open-File Report 2011-1058, Online verfügbar unter <http://pubs.usgs.gov/of/2011/1058/>.
- Berger et al. (2014): Berger, V. I., Mosier, D. L., Bliss, JD, and Moring, BC: Sediment-hosted gold deposits of the world—database and grade and tonnage models: U.S. Geological Survey Open-File Report 2014-1074, 46 p.
<http://pubs.usgs.gov/of/2014/1074/>.
- Buchert et al. (2016): Buchert, M.; Bulach, W.; Degreif, S.; Hermann, A.; Hünecke, K.; Mottschall, M.; Schleicher, T.; Schmidt, G.; Stahl, G.; Ustohalova, V.: Policy Paper 2: Deutschland 2049 - Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Rohstoffwirtschaft, Darmstadt, Juni 2016, Verfügbar unter <https://www.oeko.de/oekodoc/2600/2016-607-de.pdf>, zuletzt abgerufen am 30.11.2016.
- Bundesinstitut für Risikobewertung (Hg.) (2016): Toxikologische Bewertung von chemischen Stoffen. Online verfügbar unter http://mobil.bfr.bund.de/en/toxikologische_beurteilung_von_chemischen_stoffen-70287.html, zuletzt geprüft am 19.02.2016.
- Cissarz, A. (1965): Einführung in die allgemeine und systematische Lagerstättenlehre. Stuttgart: Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- Cox et al. (2003, revised 2007): Cox, D. P., Lindsey, D. A., Singer, D. A., Diggles, M. F.: Sediment-hosted copper deposits of the world—Deposit models and database. U. S. Geological Survey Open-File Report 2003-107, 1.3,
<http://pubs.usgs.gov/of/2003/of03-107/>
- Cox, Singer (2007): Cox, D. P., Singer, D. A: Descriptive and grade-tonnage models and database for iron oxide Cu-Au deposits. U.S. Geological Survey Open-File Report 2007-1155 [<http://pubs.usgs.gov/of/2007/1155/>]
- Duffus, J.H. (2001): „Heavy Metals“ – A Meaningless Term. In: Chemistry International Vol.23, No. 6.
- Durand, J.F. (2012): The impact of gold mining on the Witwatersrand on the the rivers and karst systems of Gauteng and North West Province, South Africa. In: Journal of African Earth Science, 68, pp. 24-43, 2012.
- European Commission (Hg.) (2014): Report on critical raw materials for the EU. Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials.
- European Commission (Hg.) (2010): Critical raw materials for the EU. Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials. Brussels.
- Graedel et al. (2012): Graedel, T. E.; Barr, R.; Chandler, C.; Chase, T.; Choi, J.; Christofferson, L. et al.: Methodology of Metal Criticality Determination. In: *Environmental Science & Technology* 46 (2), S. 1063–1070, 2012

- Graedel et al. (2015): Graedel, T. E.; Harper, E. M.; Nassar, N. T.; Nuss, Philip; Reck, Barbara K.: Criticality of metals and metalloids. In: *Proc Natl Acad Sci USA* 112 (14), S. 4257–4262. DOI: 10.1073/pnas.1500415112. 2015
- Ludington, Plumlee (2009): Ludington, S., Plumlee, G.S.: Climax-type porphyry molybdenum deposits. U.S. Geological Survey Open-file Report 2009–1215, 16. <http://pubs.usgs.gov/of/2009/1215/>
- Ludington et al. (2009): Ludington, S., Hammarstrom, J., and Pataak, N.: Low-fluorine stockwork molybdenite deposits. U.S. Geological Survey Open-file Report 2009–1211, 9 <http://pubs.usgs.gov/of/2009/1211/>
- IIK (2014): Heidelberger Institut für Internationale Konfliktforschung: Conflict Barometer 2013. Heidelberg, 2014.
- Hua, L. (2011): The Situation of NORM in Non-Uranium Mining in China. China National Nuclear safety Administration. Internet: <http://www.icrp.org/docs/Liu%20Hua%20NORM%20in%20Non-Uranium%20Mining%20in%20China.pdf> (aufgerufen am 22.01.2016).
- Humphreys (2005): Humphreys, M.: Natural Resources, Conflict, and Conflict Resolution. Uncovering the Mechanisms. In: *Journal of Conflict Resolution*, Vol. 49/4, 2005, p. 508-537.
- IAEA (2014): Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. General Safety Requirements Part 3. Wien, 2014.
- IUCN/UNEP-WCMC (2015): The World Database on Protected Areas (WDPA) [On-line]. UNEP-WCMC. Cambridge, UK. www.protectedplanet.net (aufgerufen am 01.07.2015).
- Kuenzer et al. (2006): Kuenzer, C.; Zhang, J.; Tetzlaff, A.; van Dijk, P.; Voigt, S.; Mehl, H.; Wagner, W.: Uncontrolled coal fires and their environmental impacts: Investigating two arid mining regions in north-central China. In: *Applied Geography* 27 (1), S. 42–62. 2006
- Lide, David R. (2005): CRC Handbook of Chemistry and Physics, 85. Auflage, CRC Press, , Section 14, Geophysics, Astronomy, and Acoustics; Abundance of Elements in the Earth's Crust and in the Sea. Boca Raton, Florida.
- Manhart, Schleicher (2013): Manhart, A., Schleicher, T.: Conflict minerals – An evaluation of the Dodd-Frank Act and other resource related measures. Öko-Institut e.V., Freiburg, 2013.
- Mar, Okazaki (2012): Mar, S.S.; Okazaki, M.: Investigation of Cd contents in several phosphate rocks used for the production of fertilizer. In: *Microchemical Journal* 104 (2012) 17-21.
- McNeish (2010): McNeish, J.-A.: Rethinking Resource Conflict. World Development Report 2011, Background Paper. New York, 2010.
- Mosier et al. (2012): Mosier, D. L., Singer, D. A., Moring, B. C., Galloway, J.P.: Podiform chromite deposits; database and grade and tonnage models. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2012-5157, 45. and database. (Available at <http://pubs.usgs.gov/sir/2012/5157/>.)
- Mosier et al. (2009): Mosier, D. L., Berger, V. I., Singer, D.A.: Volcanogenic massive sulfide deposits of the world—Database and grade and tonnage models. U.S. Geological Survey Open-file Report 2009–1034, <http://pubs.usgs.gov/of/2009/1034/>
- Murray et al. (1998): Murray, J. L.; Hacquebord, L.; Gregor, D. J.; Loeng, H.: Physical / Geographical Characteristics of the Arctic. In: AMAP Assessment Report: Arctic Pollution Issues. S. 9–24. 1998
- National Research Council of the National Academies (Hg.) (2008): Minerals, Critical Minerals, and the U.S. Economy. Washington D.C.
- Nuss, Eckelman (2014): Nuss, P.; Eckelman, M. J.: Life Cycle Assessment of Metals: A Scientific Synthesis. In: *PLoS ONE* 9 (7), S. e101298. DOI: 10.1371/journal.pone.0101298.
- Olsen et al. (2001): Olson, D. M., Dinerstein, E., Wikramanayake, E. D., Burgess, N. D., Powell, G. V., Underwood, E. C., D'amico, J.A., Itoua, I., Strand, H. E., Morrison, J. C., others: Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth A new global map of terrestrial ecoregions provides an innovative tool for conserving biodiversity. In: *BioScience*. Vol. 51, No.11, S. 933–938. 2001
- Pfister et al. (2009): Pfister, S., Koehler, A., Hellweg, S: Assessing the Environmental Impacts of Freshwater Consumption in LCA. In: *Environmental science & technology*. Vol. 43, No.11, S. 4098–104.
- Priester/Ericsson (o.J.): Mineral Grades, bisher noch unveröffentlicht

- Priester et al. (2013): Priester, M., Wetzstein, W., Lewis, S., Hentschel, T., Kirch, E., Dorn, R.: Costs of social protests in mining areas. Projekt-Consult, Bad Vilbel, 2013.
- Priester, Dolega (2015): Priester, M.; Dolega, P.: Bergbauliche Reststoffe - Teilbericht ÖkoRess. Berlin. Online verfügbar unter http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/dokumente/bergbauliche_reststoffe_final_151106.pdf, zuletzt geprüft am 19.01.2016.
- Prior et al. (2012): Prior, T.; Giurco, D.; Mudd, G.; Mason, L.; Behrisch, J.: Resource depletion, peak mineral and the implications for sustainable resource management. In: *Global Environmental Change* 22 (3), S. 577–587. 2012
- Ross (2003): Ross, M.: The Natural Resource Curse: How Wealth Can Make You Poor. In: Bannan, Collier 2003: Natural Resources and Violent Conflict. Options and Actions. World Bank, New York, 2003.
- Salomons, W. (1995): Environmental impact of metals derived from mining activities: Processes, prediction, prevention. In: *Journal of Geochemical Exploration* 52 (1-2), S. 5–23.
- Singer et al. (2008): Singer, D. A., Berger, V. I., Moring, B. C.: Porphyry copper deposits of the world: Database, map, and grade and tonnage models, 2008. U.S. Geological Survey Open-file Report 2008–1155, <http://pubs.usgs.gov/of/2008/1155/>
- Singer et al. (2009): Singer, D. A., Berger, V. I., Moring, B. C.: Sediment-hosted zinc-lead deposits of the world: Database and grade and tonnage models. U.S. Geological Survey Open-file Report 2009–1252, <http://pubs.usgs.gov/of/2009/1252/>
- Schönwiese, C.-D. (2013): Klimatologie. Ulmer. Stuttgart.
- Shedlock et al. (2000): Shedlock, K. M., Giardini, D., Grünthal, G., Zhang, P.: The GSHAP Global Seismic Hazard Map. In: *Seismological Research Letters*. Vol. 71, No.6, S. 679–689. 2000
- Sverdrup et al. (2017): Singer, D. A., Berger, V. I., Moring, B. C.: 'Integrated Modelling of the Global Cobalt Extraction, Supply, Price and Depletion of Extractable Resources Using the WORLD6 Model', *Biophysical Economics And Resource Quality*, 2, 1, p. 1.
- Tsurukawa et al. (2011): Tsurukawa, N.; Prakash, S.; Manhart, A.: Social impacts of artisanal cobalt mining in Katanga, Democratic Republic of Congo. Oeko-Institut e.V., 2011.
- UBA (2015): Umweltbundesamt: persönliche Kommunikation beim Projekttreffen im UBA Berlin am 8.10.2015
- Udayabhanu, Prasad (2010): Udayabhanu, S.G.; Prasad, B.: Studies on Environmental Impact of Acid Mine Drainage Generation and its Treatment: An Appraisal. In: *Indian Journal of Environmental Protection* 30 (2010) 953-967.
- UNISDR (2013): From Shared Risk to Shared Value –The Business Case for Disaster Risk Reduction. In: *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction*. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR). Genf.
- UNISDR (2015a): Making Development Sustainable: The Future of Disaster Risk Management. *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction*. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR). Genf.
- UNISDR (2015b): Annex 1: GAR Global Risk Assessment: Data, Methodology, Sources and Usage. *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction*. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR). Genf.
- USGS (2015): Mineral commodity summaries 2015. U.S. Geological Survey, Reston.
- Wellmer, Hagelüken (2015): Wellmer, F.W., Hagelüken, C.: The Feedback Control Cycle of Mineral Supply, Increase of Raw Material Efficiency, and Sustainable Development. In: *Minerals* 2015, 5(4). 815-836.
- White, W.M. (2013): Geochemistry. Chichester. Wiley-Blackwell.
- Zepp, H. (2011): Geomorphologie. Schöningh. Paderborn.