

Environmental Pressures of Current Mining in Germany: a Critical Comment

Mines interfere with the environment. However, active mining in Germany in its various forms causes only small overall environmental pressures, based on data from the Federal Statistical Office of Germany, due to its limited land use, waste production, water extraction as well as particulate matter and greenhouse gas emissions. Therefore, federal politics should acquire and

present to the public strategies, key issue papers, writings and websites on German mining that reflect these scientific facts. In future, it is important for the German mining sector to remain a global role model for environmental stewardship and land restoration and to move from individual examples of excellence to normality.

Umweltbelastungen durch den aktiven Bergbau in Deutschland: eine kritische Betrachtung

Bergwerke stellen Eingriffe in die Umwelt dar. Jedoch verursacht der aktive Bergbau in Deutschland in seinen vielfältigen Erscheinungsformen, belegt durch Daten des Statistischen Bundesamts, insgesamt nur kleine Umweltbelastungen durch seinen Flächenbedarf, Abfallproduktion, Wasserentnahme sowie Feinstaub- und Treibhausgasemissionen. Daher sollte die Bundespolitik Strategi-

en, Eckpunkte-papiere, Schriften und Webseiten zum deutschen Bergbau erarbeiten und der Öffentlichkeit präsentieren, die diesen wissenschaftlichen Tatsachen entsprechen. In Zukunft gilt es für den deutschen Bergbau, weiterhin globales Vorbild für den Natur- und Umweltschutz sowie Sanierungsbergbau zu bleiben und von Einzel-Exzellenz-Beispielen zur Normalität zu kommen.

1 Introduction

A recognition of the German mining sector in its own country as an important factor for a flourishing economy and its responsible environmental stewardship and nature conservation is missing. Despite its economic performance and the rehabilitation of mining legacies at the highest international level (1), mines and mining companies have a rather poor image among the many facets of German politics and the general public and especially among nature conservationists and environmental groups. Despite world-leading environmental protection measures and standards, German mining is neither accepted nor appreciated in politics or society. Especially in ideologically and politically motivated narratives or poorly researched articles, it is repeatedly pointed out that the mining of raw materials is associated with dramatic consequences for the environment. Such articles, reports, media contributions and websites are limited to purely qualitative and general statements and thus only represent opinions, like the one of the Federal Environment Agency on the responsible supply of raw materials in Germany (2): "Active mining in its diverse manifestations leads to considerable impacts to the environment, in particular to nature and water balances". Such impotent statements are made without quantitative analyses and robust methods and without a presentation of scientific data.

1 Einleitung

Eine Anerkennung des deutschen Bergbausektors im eigenen Land als bedeutender Faktor für eine florierende Wirtschaft und verantwortungsvoller Landschafts- und Naturschützer fehlt. Denn trotz der Wirtschaftsleistung und der Sanierung und Rekultivierung von Bergbauhinterlassenschaften auf höchstem internationalem Niveau (1) besitzen Bergwerke und Rohstoffunternehmen in vielen Teilen der deutschen Politik und Bevölkerung und vor allem bei Naturschützern und Umweltgruppen ein schlechtes Image. Der deutsche Bergbau erfährt trotz weltführenden Umweltschutzmaßnahmen und -standards keine positive Wahrnehmung und Wertschätzung weder in der Politik noch in der Gesellschaft. Besonders in ideologisch und politisch motivierten Narrativen oder schlecht recherchierten Beiträgen wird immer wieder darauf verwiesen, dass der Abbau von mineralischen Rohstoffen mit dramatischen Folgen für die Umwelt verbunden ist. Dabei beschränken sich solche Artikel, Berichte, Medienbeiträge und Webseiten auf rein qualitative und allgemeine Aussagen und stellen somit nur Meinungen dar, wie z. B. die des Umweltbundesamts zur verantwortungsvollen Rohstoffversorgung Deutschlands (2): „Der aktive Bergbau in seinen vielfältigen Erscheinungsformen führt zu erheblichen Eingriffen in die Umwelt, insbesondere den Natur- und

However, documentation and evaluation of quantitative data correspond to good scientific practice and internationally accepted standards, especially in the environmental sciences.

The above opinions on mining are also in stark contrast to international scientific studies, which show that, e.g., in the global context metal mining causes only minor environmental impacts through land use, water abstraction and greenhouse gas emissions (3). It is therefore necessary to clarify the relative contribution and magnitude of environmental pressures caused by the German mining sector.

This article firstly outlines the fundamental factors that determine environmental impacts of mines in general. Subsequently, the pressures of active German mining on the environment are presented using the DPSIR model (Driving Forces, Pressures, States, Impacts, Responses) (4, 5). This contribution thereby refers to publicly available data from the Federal Statistical Office, which, due to data availability, had to be limited to aspects such as land use, waste production, water withdrawal as well as greenhouse gas and particulate matter emissions. The environmental pressures caused by active German mining are compared with other anthropogenic activities, while the environmental impacts of historic and closed mining operations are not considered here. As a result, this article contributes to the scientific discourse on the pressures, impacts, and effects of active German mining on the environment.

2 Effects and impacts of mining on landscapes and the environment

2.1 Controlling parameters

Mining effects the environment, because mineral extraction processes occur in the Earth's natural spheres and they interact with these subsystems, i. e., lithosphere, hydrosphere, biosphere, pedosphere, atmosphere. Mines may emit, e.g., greenhouse gases, particulate matter, pollutants and noise, cause vibrations, produce waste, and have an impact on the individual spheres, e.g., deforestation, loss of biodiversity, water, sediment, soil and air pollution, mine subsidence and hazards. Consequently, mining influences the natural flow of materials and energy in the Earth's spheres. The extraction of primary raw materials is therefore inevitably accompanied by interventions of the natural Earth systems. Mining may cause a variety of effects on the geospheres, with each mine having its own unique set of challenges.

Possible environmental hazards and pollution at terrestrial mining sites are diverse, varied, and site-specific. The fundamental parameters that determine the impact of mining on landscapes and the environment have been known for some time (6). Mineral deposits are accumulations of primary raw materials in the Earth's crust and result from various geological processes. During these processes, the deposits acquire specific geological characteristics, including the amount and type of elements enriched in the deposits, the type of minerals formed and their grain size, and the rock types associated with the deposits. Such fundamental geological aspects of mineral deposits have important and predictable environmental impacts. The geology of a mineral deposit, e.g., can affect the chemistry of local ground and surface waters and the properties of dusts, soils and sediments. Such effects and impacts of mineral deposits on the environment may also occur naturally.

Wasserhaushalt“. Solch nicht belastbaren Aussagen werden ohne quantitative Analysen und robuste Methoden und ohne eine Darlegung von wissenschaftlichen Daten gemacht. Eine Dokumentation und Bewertung von quantitativen Daten entsprechen aber gerade in den Umweltwissenschaften guter wissenschaftlicher Praxis und international akzeptierten Normen.

Die oben angeführten Meinungen zum Bergbau stehen auch im krassen Gegensatz zu internationalen wissenschaftlichen Studien, die belegen, dass z. B. der Metallbergbau im globalen Kontext nur geringfügige Umweltbelastungen durch Flächenbedarf, Wasserentnahme und Treibhausgasemissionen verursacht (3). Daher ist es notwendig klarzustellen, in welchem Verhältnis und in welcher Größenordnung Umweltbelastungen durch den deutschen Bergbau tatsächlich vorliegen.

In diesem Artikel wird zum einen aufgezeigt, welche grundlegenden Faktoren die Umweltwirkungen von Bergwerken generell bestimmen. Ferner werden die Umweltwirkungen des aktiven deutschen Bergbaus anhand des DPSIR-Modells (Driving Forces, Pressures, States, Impacts, Responses) exemplarisch dargestellt (4, 5). Dabei bezieht sich dieser Beitrag auch auf öffentlich verfügbare Daten des Statistischen Bundesamts, die aufgrund der vorhandenen Datenlage auf Aspekte wie Flächenbedarf, Abfallproduktion, Wasserentnahme sowie Treibhausgas- und Feinstaubemissionen begrenzt sein müssen. Die Umweltbelastungen des aktiven deutschen Bergbaus werden mit anderen anthropogenen Belastungen exemplarisch verglichen, während die Umwelteinflüsse des Altbergbaus und geschlossener Betriebe hier nicht berücksichtigt werden. Somit leistet dieser Artikel einen Beitrag zum wissenschaftlichen Diskurs über die Belastungen, Eingriffe und Auswirkungen des aktiven deutschen Bergbaus auf die Umwelt.

2 Eingriffe und Auswirkungen des Bergbaus auf Landschaften und Natur

2.1 Bestimmende Parameter

Jeglicher Bergbau stellt einen Eingriff in die Umwelt dar, weil sich die Gewinnungsbetriebe in den natürlichen Sphären der Erde befinden und dabei in wechselseitiger Beziehung zu den natürlichen Sphären stehen, d. h. Lithosphäre, Hydrosphäre, Biosphäre, Pedosphäre, Atmosphäre. Bergwerke können z. B. Treibhausgase, Feinstaub, Schadstoffe und Lärm emittieren, Erschütterungen verursachen, Abfall produzieren, Einfluss auf die einzelnen Sphären nehmen, z. B. Entwaldung, Verlust von Biodiversität, Wasser-, Sediment-, Boden- und Luftverschmutzungen, Bergbrüche, Bergschäden, und somit die natürlichen Stoffströme der Erdsphären beeinflussen. Eine Gewinnung von primären Rohstoffen geht also unweigerlich mit Eingriffen in natürliche Erdsysteme einher. Der Bergbau kann eine Reihe von Wirkungen auf die Erdsphären verursachen, wobei jeder Bergbaustandort seine eigenen und einzigartigen Herausforderungen hat.

Mögliche Umweltgefährdungen und -belastungen an terrestrischen Bergbaustandorten sind vielseitig, unterschiedlich und standortspezifisch. Dabei sind die fundamentalen Parameter, welche die Auswirkungen des Bergbaus auf Landschaften und Natur bestimmen, seit langem bekannt (6). Mineralvorkommen sind Ansammlungen von mineralischen Rohstoffen in der Erdkruste und resultieren aus verschiedenen geologischen Prozessen. Während dieser Prozesse erhalten die Lagerstätten spezifische geologische

Alternatively, they can be exacerbated or even caused by improper mining practices.

Local climate, hydrology and topography also play an important role in the type and extent of environmental hazards and pressures at a mine site (6). At a steep topographic location, e.g., contaminants can be transported faster and further than at a mine location that is not so steep. At a humid location, contaminants can be widely distributed via an aqueous transport mode. At an arid location, dust emissions may be the main transport mode of contaminants.

The type and size of the mining and processing operations and their practices also determine the type and size of environmental impacts of a mine. Thus, deposit geology as well as local climate, hydrology and topography, together with mining and mineral processing practices (including crushing), control the nature and magnitude of environmental hazards and pressures at mine sites. Ultimately, the implementation of environmental regulations by the legislator influences the effectiveness of all environmental protection measures. Here, the precautionary principle, the elimination of environmental pressures at their source and the polluter pays principle support the effectiveness of environmental regulations.

2.2 Environmental indicators

Environmental analyses are routine tasks of the environmental management at active mine sites (5). Such monitoring provides information on the current state of the environment at individual locations. In general, environmental analyses aim to track changes in the quality and condition of the Earth's spheres at different geographic and temporal scales. At mine sites, such data provides information about conditions and processes that may exist or develop during the life-of-mine from exploration to closure.

An environmental indicator is based on a parameter, or a value derived from parameters, that describes the state of the environment and its impact on people, ecosystems and materials, the pressures on the environment, the drivers and the responses that control that system (European Environment Agency, Glossary). The DPSIR model is widely used to relate human activities to the state of the environment (4, 5). Within a DPSIR analysis, indicators are assigned to the individual components of the environmental system under consideration to provide information about

- (i) driving forces;
- (ii) resulting environmental pressures;
- (iii) the state of the environment;
- (iv) impacts resulting from changes in environmental quality; and
- (v) responses to these changes in the environment (5).

In mining, pressure indicators describe, e.g., the land use of a mine, the amount of mine waste produced, the extraction of ground and surface water, or the emission of particulate matter and greenhouse gases. By contrast, state indicators provide information on the current exposure, e.g., water quality and noise (Table 1). Impact indicators, on the other hand, communicate the effect on the spheres with their consequences, e.g., loss of biodiversity. Response indicators refer to responses and attempts to prevent, compensate, improve, or adapt to changes in the state of the environment, e.g., through investments in environmental protection.

Eigenschaften, einschließlich der Menge und Art der in den Lagerstätten angereicherten Elemente, der Art der gebildeten Mineralien und ihrer Korngröße sowie der mit der Lagerstätte verbundenen Gesteinsart. Solche grundlegenden geologischen Aspekte von Mineralvorkommen haben wichtige und vorhersagbare Auswirkungen auf die Umwelt. Die Geologie einer Lagerstätte kann beispielsweise die Chemie lokaler Grund- und Oberflächengewässer und die Eigenschaften von Stäuben, Böden und Sedimenten beeinflussen. Die Einflüsse und Wirkungen von Mineralvorkommen auf die Umwelt können auch natürlich auftreten. Alternativ können sie durch unsachgemäße Praktiken im Bergbau verschlimmert oder sogar verursacht werden.

Lokales Klima, Hydrologie und Topographie spielen ebenfalls eine wichtige Rolle bei der Art und dem Ausmaß von Umweltgefährdungen und -belastungen an einem Bergbaustandort (6). An einer steilen Lokation können z.B. Schadstoffe schneller und weiter transportiert werden als an einem nicht so steilen Bergwerksstandort. An einem humiden Ort können Schadstoffe auf einen wässrigen Transportweg weiträumig verteilt werden. In einer ariden Lage können Staubemissionen der Haupttransportweg von Schadstoffen sein.

Die Art und Größe der betrieblichen Rohstoffgewinnung und Aufbereitung und ihre Praktiken bestimmen auch die Art und Größe der Umwelteinflüsse eines Bergwerks. Somit kontrollieren die Geologie der Lagerstätte sowie lokales Klima, Hydrologie und Topographie zusammen mit den Praktiken des Bergbaus und der Mineralverarbeitung – u. a. Zerkleinerung – die Art und Größe von Umweltgefährdungen und -belastungen an Bergwerksstandorten. Letztendlich beeinflusst die Umsetzung von Umweltregularien durch den Gesetzgeber die Wirksamkeit aller Umweltschutzmaßnahmen vor Ort. Hier unterstützen Grundsätze der Vorsorge, der Beseitigung von Umweltbeeinträchtigungen an ihrem Ursprung und auf dem Verursacherprinzip die Wirksamkeit von Umweltregularien.

2.2 Umweltindikatoren

Umweltanalysen gehören zu den routinemäßigen Umweltmessaufgaben von aktiven Bergwerken (5). Solche Überwachungsaufgaben geben Aufschluss über den aktuellen Zustand der Umwelt an einzelnen Standorten. Im Allgemeinen sollen Umweltanalysen Änderungen der Qualität und des Zustands der Erdsphären auf verschiedenen geografischen und zeitlichen Skalen verfolgen. An Bergbaustandorten geben solche Daten Auskunft über Bedingungen und Prozesse, die während der Lebensdauer des Bergwerks von der Exploration bis zur Stilllegungsphase bestehen oder sich entwickeln können.

Ein Umweltindikator beruht auf einem Parameter oder einem aus Parametern abgeleiteten Wert, der den Zustand der Umwelt und ihre Auswirkungen auf Menschen, Ökosysteme und Materialien, die Belastungen der Umwelt, die treibenden Kräfte und die Reaktionen, die dieses System steuern, beschreibt (European Environment Agency, Glossary). Das DPSIR-Modell wird häufig verwendet, um menschliche Aktivitäten mit dem Zustand der Umwelt in Beziehung zu setzen (4, 5). Innerhalb einer DPSIR-Analyse werden den einzelnen Komponenten des betrachteten Umweltsystems Indikatoren zugeordnet, um Informationen über

Driving forces indicators	Pressure indicators	State indicators	Impact indicators	Response indicators
<ul style="list-style-type: none"> • economic benefit / Wirtschaftlicher Vorteil • employment / Beschäftigung 	<ul style="list-style-type: none"> • land use / Flächenbedarf • emissions (greenhouse gases, dust) / Emissionen (Treibhausgase, Feinstaub) • waste production / Abfallproduktion • water extraction / Wasserentnahme 	<ul style="list-style-type: none"> • water quality / Wassergüte • noise / Immissionen (Lärm) 	<ul style="list-style-type: none"> • loss of biodiversity / Verlust der Biodiversität 	<ul style="list-style-type: none"> • investments in environmental protection / Investitionen in Umweltschutz

Table 1. Examples of environmental indicators describing the interactions between mining and the environment according to the DPSIR framework (Driving Forces, Pressures, States, Impacts, Responses) (5). // Tabelle 1. Beispiele für Umweltindikatoren zur Beschreibung der Wechselwirkungen zwischen Bergbau und Umwelt gemäß DPSIR-Framework (Driving Forces, Pressures, States, Impacts, Responses) (5).

2.3 Environmental pressures of mining in Germany

This article refers to data which, as indicators, mainly allow statements to be made about the environmental pressures of active mining in Germany, i. e. land use, waste production, water withdrawal, greenhouse gas and particulate matter emissions. On the other hand, there is no comprehensive national data on the state and impact of mining on the environment for certain environmental media and impacts, e. g., loss of biodiversity, water quality. Due to the data situation, the focus of this article is on pressure indicators, while no quantitative statements on status and impact indicators are possible (state and impact indicators). As a result, the following indicators are particularly relevant for assessing the environmental pressures of active mining in Germany.

2.3.1 Land use

The area required by German mining (mining operations, open-cast mines, pits, quarries) is only a fraction of the land area of the Federal Republic of Germany (2021: 1,407 km², approximately 0.4%) (7). This is a tiny fraction compared to the vast tracts of land used for agriculture and forestry (180,590 km², 50.5%; 106,699 km², 29.8%, respectively) and compared to the area of wind power plants, which is increase from currently 0.8% to 2%. Mining areas, on the other hand, are areas of temporary land use because closed and rehabilitated areas become once again available for industrial, agricultural or other subsequent uses. Therefore, the area of mining land in Germany calculated annually by the Federal Statistical Office does not increase any further. It has even been declining continuously for decades (1992: 1,878 km²; 2000: 1,796 km²; 2010: 1,623 km²; 2021: 1,407 km²) (7, 8). Since 1992, the mining area in Germany has decreased by 471 km² or 25%.

2.3.2 Emissions

The extraction of mineral raw materials and coal, especially in open-cast mines, is associated with emissions of greenhouse gases, coarse and fine dust as well as noise. The greenhouse gas and fine dust emissions in the extraction of stone and aggregate, coal and ores decreased between 2000 and 2020 (Figures 1, 2, 3). The greenhouse gas emissions of the mining sector are only a small fraction (2020: 4.5 Mt CO₂ equivalent, approximately 0.5%) compared to the total emissions from all German economic sectors and private households (824 Mt CO₂ equivalent, according to Kyoto-Protocol) (9).

Particulate matter emissions from the mining sector also only represent fractions (2020: approximately 9.3% PM₁₀, approximately 3.4% PM_{2.5}) compared to the particulate matter emissions of all German economic sectors and private households (180,138 t PM₁₀

- (i) treibende Kräfte,
- (ii) resultierende Umweltbelastungen,
- (iii) den Zustand der Umwelt,
- (iv) Auswirkungen, die sich aus Änderungen der Umweltqualität ergeben und
- (v) Reaktionen auf diese Änderungen in der Umwelt zu liefern (5).

Im Bergbau beschreiben Belastungsindikatoren (pressure indicators) beispielsweise den Flächenbedarf eines Bergwerks, die Menge an produziertem bergbaulichem Abfall, die Entnahme von Grund- und Oberflächenwasser oder die Emission von Feinstaub und Treibhausgasen. Dagegen stellen Zustandsindikatoren (state indicators) Informationen zur gegenwärtigen Belastung bereit, z. B. zur Wassergüte und der Immission von Lärm (Tabelle 1). Wirkungsindikatoren (impact indicators) kommunizieren dagegen den Eingriff in die Sphären mit ihren Folgen, wie z. B. den Verlust an Biodiversität. Reaktionsindikatoren (response indicators) beziehen sich auf Reaktionen und Versuche, Veränderungen des Umweltzustands zu verhindern, zu kompensieren, zu verbessern oder sich an sie anzupassen, z. B. durch Investitionen in den Umweltschutz.

2.3 Umweltbelastungen des deutschen Bergbaus

In diesem Beitrag wird auf Daten verwiesen, die als Indikatoren hauptsächlich Aussagen zu den Belastungen der Umwelt durch den aktiven deutschen Bergbau erlauben, d. h. Flächenbedarf, Abfallproduktion, Wasserentnahme, Treibhausgas- und Feinstaubemissionen. Dagegen liegen umfassende, nationale Daten zum Zustand und zur Wirkung des Bergbaus auf die Umwelt für bestimmte Umweltmedien und Auswirkungen nicht vor, z. B. Verlust der Biodiversität, Wassergüte. Somit liegt der Fokus dieses Beitrags aufgrund der Datenlage auf Belastungsindikatoren (pressure indicators), während keine quantitativen Aussagen zu Zustands- und Wirkungsindikatoren möglich sind (state und impact indicators). Dadurch sind die folgenden Indikatoren besonders für eine Abschätzung der Umweltbelastungen bei der aktiven Gewinnung von Bodenschätzen in Deutschland relevant.

2.3.1 Flächenbedarf

Der Flächenbedarf des deutschen Bergbaus (Bergbaubetrieb, Tagebau, Grube, Steinbruch) beträgt nur einen Bruchteil der Landfläche der Bundesrepublik Deutschland (2021: 1.407 km², ca. 0,4%) (7). Das ist ein winziger Bruchteil im Vergleich zu den riesigen Landstrichen, die land- und forstwirtschaftlich genutzt werden (180.590 km², 50,5%; bzw. 106.699, 29,8%) (7), und im Vergleich zur Fläche von Windkraftanlagen, die von gegenwärtig 0,8% auf 2% der Fläche wachsen soll. Bergbauflächen sind dagegen Flächen der temporären Landnutzung, weil abgebaute und sanierte

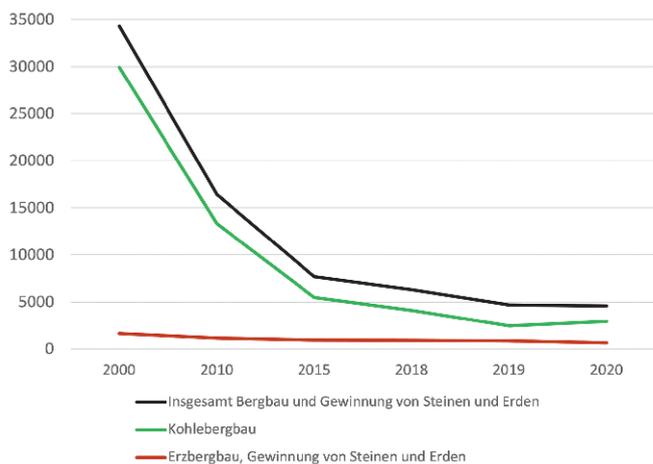


Fig. 1. Total greenhouse gas emissions (CO_2 , CH_4 , N_2O , HFC, PFC, SF_6 , NF_3) (1,000 t CO_2 equivalent) for the German mining sector over the years 2000 to 2020, including CO_2 emissions from biomass (9).
Bild 1. Treibhausgas-Emissionen (CO_2 , CH_4 , N_2O , HFC, PFC, SF_6 , NF_3) insgesamt (1.000 t CO_2 -Äquivalent) für den deutschen Bergbausektor über die Jahre 2000 bis 2020 (9), einschließlich CO_2 -Emissionen aus Biomasse (9).

and 81,181 t PM2.5 emissions in total, according to the Kyoto Protocol) (Figures 2, 3). In a whole year (2020), coal mining produced the same magnitude of PM10 fine dust (2,978 t) (9), as the burning of fireworks on New Year's Eve (2,050 t) (10). Nevertheless, innovations in dust suppression at mine sites are still needed. Recent research at RWTH Aachen University, Aachen/Germany, has shown by-products and wastes from food processing to be potentially environmentally friendly alternatives to traditional dust suppressants (11, 12).

In the Federal Immission Control Act (BImSchG), open-cast mines are classified as "installations not requiring approval". The noise limit values for opencast mines are therefore only guideline values, which have been set at 60 dB(A) during day time and 45 dB(A) at night for commercial centers, villages and mixed housing and commercial areas around opencast mines (13). Operators must also set up and operate systems in such a way that harmful environmental effects are prevented, and unavoidable harmful

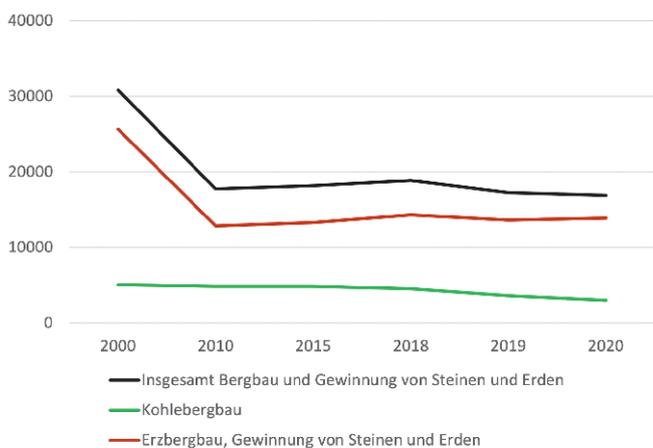


Fig. 2. Total particulate matter emissions (PM10, tonnes) for the German mining sector over the years 2000 to 2020 (9).
Bild 2. Feinstaub-Emissionen (PM10, Tonnen) insgesamt für den deutschen Bergbausektor über die Jahre 2000 bis 2020 (9).

Flächen für industrielle, landwirtschaftliche oder andere Folgenutzungen wieder zur Verfügung stehen. Deshalb erhöht sich die vom Statistischen Bundesamt jährlich berechnete Abbauandfläche in Deutschland auch nicht weiter. Sie ist sogar seit Jahrzehnten kontinuierlich rückläufig (1992: 1.878 km²; 2000: 1.796 km²; 2010: 1.623 km²; 2021: 1.407 km²) (7, 8). Seit 1992 hat die Landfläche des Bergbaus in Deutschland um 471 km² bzw. 25% abgenommen.

2.3.2 Emissionen

Die Gewinnung von mineralischen Rohstoffen und Kohle, besonders im Tagebau, ist mit Emissionen von Treibhausgasen, Grob- und Feinstaub sowie Lärm verbunden. Dabei sind die Treibhausgas- und Feinstaubemissionen in der Gewinnung von Steinen und Erden, Kohle und Erzen in den Jahren 2000 bis 2020 gesunken (Bilder 1, 2, 3). Die Treibhausgasemissionen des Bergbausektors sind nur ein geringer Bruchteil (2020: 4,5 Mio. t CO_2 -Äquivalent, ca. 0,5%) im Vergleich zur Gesamtsumme der Emissionen aus allen deutschen Wirtschaftszweigen und Privathaushalten (824 Mio. t CO_2 -Äquivalent, gemäß Kyoto-Protokoll) (9).

Auch die Feinstaubemissionen des Bergbausektors repräsentieren nur Anteile (2020: ca. 9,3% PM10, ca. 3,4% PM2,5) verglichen mit den Feinstaubemissionen aller deutschen Wirtschaftszweige und Privathaushalte (180.138 t PM10 und 81.181 t PM 2,5 Emissionen insgesamt, gemäß Kyoto-Protokoll) (Bilder 2, 3). Dabei produzierte der Kohlebergbau in einem ganzen Jahr (2020) dieselbe Größenordnung an PM10-Feinstaub (2.978 t) (9) wie in einer Silvesternacht das Abbrennen von Feuerwerkskörpern freisetzt (2.050 t) (10). Nichtsdestotrotz sind Innovationen in der Staubunterdrückung an Bergwerksstandorten weiterhin notwendig. Hier haben sich in jüngster Zeit durch Forschung an der RWTH Aachen University (RWTH), Aachen, Nebenprodukte und Abfälle aus der Lebensmittelverarbeitung als potentiell umweltfreundliche Alternativen zu herkömmlichen Staubunterdrückungsmitteln bewiesen (11, 12).

Tagebaue unter Bergrecht fallen im Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) unter „nicht genehmigungsbedürftige Anlagen“, und die Regularien werden dann aber im bergrechtlichen Genehmigungsverfahren überprüft. Dabei haben Betreiber Anlagen so zu errichten und zu betreiben, dass schädliche Umwelteinwirkungen verhindert werden und unvermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen auf ein Mindestmaß beschränkt werden. Die Lärmrichtwerte für Tagebaue unter Bergrecht betragen für Kern-, Dorf- und Misch-

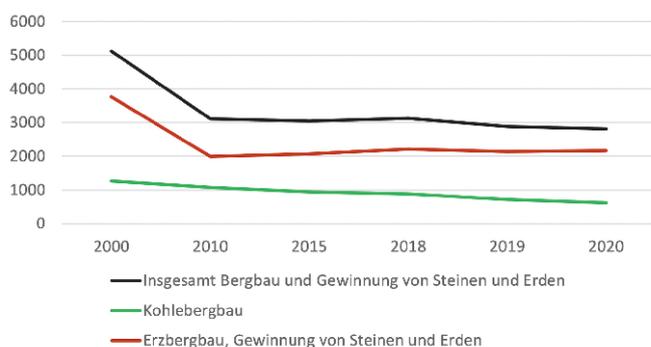


Fig. 3. Total particulate matter emissions (PM2.5, tonnes) for the German mining sector over the years 2000 to 2020 (9).
Bild 3. Feinstaub-Emissionen (PM2,5, Tonnen) insgesamt für den deutschen Bergbausektor über die Jahre 2000 bis 2020 (9).

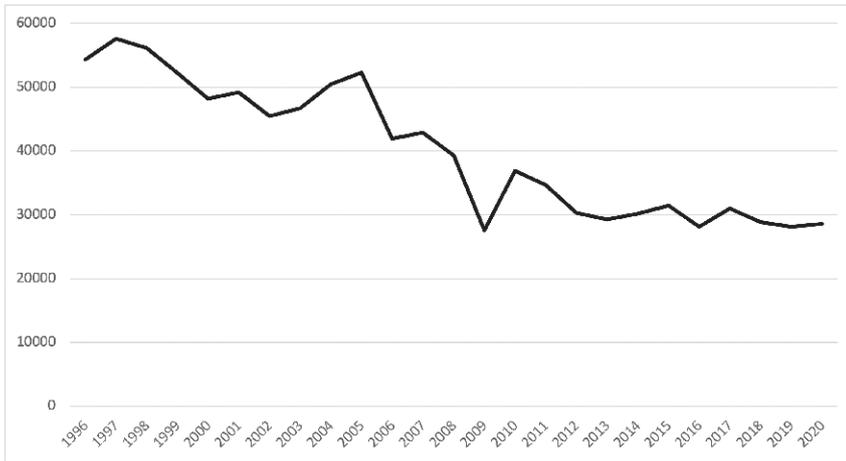


Fig. 4. Mining wastes and wastes from the extraction and treatment of mineral resources (1,000 t) in the years 1996 to 2020 (16).

Bild 4. Bergematerial aus dem Bergbau bzw. Abfälle aus Gewinnung und Behandlung von Bodenschätzen (1.000 t) in den Jahren 1996 bis 2020 (16).

environmental effects are reduced to a minimum. In the Rhenish lignite mining area, emission measurements have shown, e.g., that these have been below the guideline values in almost all cases for years (14). On the other hand, significantly lower environmental standards apply to a state-owned company such as the Deutsche Bahn, since there is a 18,500 km DB route network with > 57 dB(A), i.e. 18,500 km of DB route network are at least twice as loud as the nightly reference values for opencast mines. These gigantic DB noise emission routes are not to be rectified until 2050 (15).

2.3.3 Waste production

Depending on the characteristics of a deposit and the extraction and processing practices, large amounts of waste can be produced at mine sites. In the German mining sector, non-hazardous waste predominates (> 99%), and the amount of waste from the mining sector is a small proportion (2020: 28.6 Mt; approximately 6.9%) of the total waste generated in Germany (413 Mt) (16). In addition, the amount of hazardous and non-hazardous waste generated during extraction and treatment of mineral resources fell continuously between 1996 and 2020 in Germany (Figure 4).

2.3.4 Ground and surface waters

At many sites, the extraction of mineral raw materials and coal using open pits requires pumping of groundwater. This is where the German mining sector is having a major impact on the Earth's spheres, with over 1,288 M m³ of water being extracted in 2019 (17). However, water abstraction by the mining sector is only a fraction (approximately 6.2%) of the total amount of abstraction by the public and non-public water supply and sanitation (total water extraction ca. 20,716 M m³) (17). Most of the water withdrawn is returned back into receiving waters and aquifers via seepages and direct discharges (approximately 1,079 M m³) (17). The most significant pumping and reintroduction of groundwater takes place in opencast lignite mining (approximately 1,000 M m³, so the remaining water withdrawal from other mining operations is only a fraction of the total water withdrawal in Germany (approximately 209 M m³, 1%).

gebiete um die Tagebaue in der Regel tagsüber 60 dB(A) und nachts 45 dB(A) (13). Emissionsmessungen im Rheinischen Braunkohlenrevier haben z. B. ergeben, dass diese fast ausnahmslos und über Jahre hinweg unter den Richtwerten liegen (14). Dagegen gelten wesentlich niedrigere Umweltstandards für ein Staatsunternehmen wie die Deutsche Bahn, da hier ein 18.500 km DB-Streckennetz mit > 57 dB(A) besteht, d.h. 18.500 km DB-Streckennetz sind mindestens doppelt so laut wie die nächtlichen Richtwerte für Tagebaue. Diese gigantischen DB-Lärmemissionsstrecken sollen erst zum Jahr 2050 saniert werden (15).

2.3.3 Abfallproduktion

Abhängig von den Eigenschaften einer Lagerstätte und den Gewinnungs- und Aufbereitungspraktiken können größere Abfallmengen an Bergwerken aufkommen. Im deutschen Bergbausektor überwiegen die nicht-gefährlichen Abfälle (> 99%), und

die Abfallmengen des Bergbausektors sind ein geringer Anteil (2020: 28,6 Mio. t; ca. 6,9%) im Vergleich zum deutschen Abfallaufkommen insgesamt (413 Mio. t) (16). Darüber hinaus sind in Deutschland die Mengen an gefährlichen und nicht gefährlichen Abfällen in der Gewinnung und Behandlung von Bodenschätzen in den Jahren 1996 bis 2020 kontinuierlich gesunken (Bild 4).

2.3.4 Grund- und Oberflächenwasser

Die Gewinnung von mineralischen Rohstoffen und Kohle im Tagebau verlangt vielerorts das Abpumpen von Grundwasser. Hier findet ein großer Mengeneingriff des deutschen Bergbausektors in die Erdsphären statt, mit über 1.288 Mio. m³ Eigengewinnung von Wasser im Jahr 2019 (17). Die Entnahme von Wasser durch den Bergbausektor ist aber nur ein Anteil (ca. 6,2%) der Gesamtsumme einer Entnahme durch die öffentliche und nicht öffentliche Wasserversorgung und Abwasserentsorgung (insgesamt Eigengewinnung von Wasser ca. 20.716 Mio. m³) (17). Der überwiegende Anteil des entnommenen Wassers wird wieder über Versickerungen und Direktleitungen in Vorfluter und Aquifere eingeleitet (ca. 1.079 Mio. m³) (17). Das bedeutendste Abpumpen und Wiedereinleiten von Grundwasser erfolgt dabei im Braunkohlentagebau (ca. 1.000 Mio. m³). Somit ist die verbleibende Wasserentnahme des übrigen Bergbaus nur ein Bruchteil der gesamten Wasserentnahme in Deutschland (ca. 209 Mio. m³, 1%).

Deutschland war bis vor kurzem von bergbauverursachten, plötzlich eingetretenen Umweltkatastrophen verschont. Aber im August 2022 war die Oder auf circa 500 km Länge von einem schweren Umweltschaden betroffen, bei dem in einem bisher nicht bekannten Ausmaß Fische, Muscheln, Krebse und Schnecken verendeten (18). Die grundlegenden Ursachen für die toxische Blüte von Algen könnte in niedrigen Pegeln, geringen Sauerstoffwerten, hohen Wassertemperaturen und der schnellen Einleitung von großen Mengen salzigen Grubenwassers aus Bergwerksbetrieben in Polen liegen (18). Um solche Unglücke in Zukunft zu verhindern, braucht es mobile und stationäre Messeinrichtungen, Online-Verfügbarkeit der Überwachungsdaten und behördliche Meldekettens, wie sie schon für andere Bergbauregionen der Welt

Until recently, Germany was spared mining-related, sudden environmental catastrophes. Yet in August 2022, the river Oder was affected by severe environmental damage over a length of around 500 km, in which fish, mussels, crabs and snails died on an unprecedented scale (18). Toxic algae blooms caused by low water levels, low oxygen levels, high water temperatures and the rapid discharge of large amounts of saline mine water from operations in Poland are likely to blame (18). In order to prevent such accidents in the future, mobile and lab-based measuring devices, online availability of the monitoring data, and official reporting chains are required, as they already exist in other mining regions of the world, e.g., Hunter River Salinity Trading Scheme, Australia. Moreover, innovations in determining mine water quality are needed. Recent research at RWTH has shown portable devices to be potentially low-cost methods compared to traditional laboratory approaches (19, 20).

2.3.5 Biodiversity

The decline in terrestrial biodiversity is mainly attributed to land use changes. The fact that agriculture is a driving force behind the loss of biodiversity in Germany has been acknowledged for some time (21). Mines also have a land use, albeit a small one, are connected to the biosphere and can therefore have an impact on biodiversity. In this context, however, it has been established that mining contributes to less than 1% of the total land-use-related biodiversity loss worldwide (22).

Active and disused mine sites have a high ecological value and offer opportunities as “wandering biotopes” (23). Half of all Bavarian owls, e.g., breed in quarries (24). During recultivation, former mine sites can contribute to the development of biodiversity due to their diverse terrain types, because site diversity favors species diversity and the rich structure allows the development of a wide variety of small-scale habitats. In addition, German post-mining landscapes offer great potential as wilderness areas. These locations often consist of different ecosystems and developing into different ecosystems and, as large, (largely) undivided, use-free areas, which allow the (re)development of biodiversity (25).

Despite the above facts, descriptions of the various threats to biodiversity in Germany repeatedly and extensively refer to mining (26). However, the Federal Environment Agency does not point out to the public other and far greater causes of biodiversity loss. The largest global human-related loss of birds and mammals, e.g., is caused by the domestic cat *Felis catus*, ranging from domestic to feral domestic cats (27). In Germany, the approximately 15 million domestic cats and 2 million feral cats are responsible for the loss of approximately 1 million birds, mammals and reptiles per day (28). However, only 9% of all German cities and municipalities are currently following the Paderborn model (registration and castration of domestic cats). Ultimately, many governments, including Germany's, are failing to meet their international obligations to prevent, reduce or eliminate the impact of free-roaming and feral domestic cats on biodiversity (27).

3 Ecological approach to domestic mining

The existing German raw materials strategy, the key issues paper on raw material supply and the coalition agreement of the federal government repeatedly emphasize that domestic raw material extraction in Germany should be ecologically oriented (29, 30, 31).

existieren, z. B. Hunter River Salinity Trading Scheme, Australien. Auch hier sind Innovationen in der Bestimmung von Grubenwasserqualitäten weiterhin notwendig. Dabei haben sich in jüngster Zeit durch Forschung an der RWTH tragbare Geräte als potentielle Low cost-Methoden verglichen zu herkömmlichen Labormethoden bewiesen (19, 20).

2.3.5 Biodiversität

Der Rückgang der terrestrischen Biodiversität wird hauptsächlich auf Landnutzungsänderungen zurückgeführt. Die Tatsache, dass in Deutschland die Landwirtschaft eine treibende Kraft für den Verlust an biologischer Vielfalt darstellt, ist seit langem bekannt (21). Auch Bergwerke haben einen, wenn auch geringen Flächenbedarf, sind mit der Biosphäre verbunden und können somit Auswirkungen auf die Biodiversität haben. In diesem Zusammenhang ist jedoch festgestellt worden, dass der Bergbau weltweit zu weniger als 1% des gesamten landnutzungsbedingten Biodiversitätsverlusts beiträgt (22).

Aktive und stillgelegte Bergwerksstandorte haben einen hohen ökologischen Wert und bieten Chancen als „Wanderbiotope“ (23). Die Hälfte aller bayerischen Uhus brüdet z. B. in Steinbrüchen (24). Bei der Rekultivierung können ehemalige Bergbaustandorte aufgrund ihrer vielseitigen Geländetypen zur Entwicklung von Biodiversität beitragen, denn Standortvielfalt begünstigt Artenvielfalt und die reichhaltige Struktur erlaubt die Entwicklung von unterschiedlichsten kleinräumigen Lebensbedingungen. Darüber hinaus bieten deutsche Bergbaufolgelandschaften ein großes Potential als Wildnisgebiete, die oft aus verschiedenen und sich zu verschieden entwickelnden Ökosystemen bestehen und als große, (weitgehend) unzerschnittene, nutzungsfreie Gebiete eine (Wieder-)Entwicklung der Biodiversität erlauben (25).

Trotz dieser oben angeführten Tatsachen wird in Darstellungen der verschiedenen Gefährdungen der biologischen Vielfalt in Deutschland immer wieder und ausführlich auf den Bergbau verwiesen (26), aber andere und größere Ursachen des Verlusts der Biodiversität werden vom Umweltbundesamt nicht der Öffentlichkeit aufgezeigt. Der global größte menschenbedingte Verlust an Vögeln und Säugetieren ist z. B. durch die Hauskatze *Felis catus* verursacht, von eigenen Haustieren bis hin zu verwilderten Hauskatzen (27). In Deutschland sind die ca. 15 Mio. Hauskatzen und 2 Mio. verwilderte Katzen verantwortlich für den Verlust von ca. 1 Mio. Vögeln, Säugetiere und Reptilien pro Tag (28). Zurzeit verfolgen aber nur 9% aller deutschen Städte und Kommunen das Paderborner Modell (Registrierung und Kastration von Hauskatzen). Letztendlich erfüllen viele Regierungen und auch die deutschen nicht ihre internationalen Verpflichtungen, die Auswirkungen von freilaufenden und verwilderten Hauskatzen auf die Biodiversität zu verhindern, zu verringern oder zu beseitigen (27).

3 Ökologische Ausrichtung der heimischen Rohstoffgewinnung

Die bestehende deutsche Rohstoffstrategie, das Eckpunktepapier zur Rohstoffversorgung und der Koalitionsvertrag der Bundesregierung betonen wiederholt, dass der heimische Rohstoffabbau in Deutschland ökologisch ausgerichtet sein soll (29, 30, 31). (Un)bewusst wurde in diesen strategischen Dokumenten der Bundespolitik der Begriff „ökologisch“ nicht definiert. Es wird hier angenommen, dass mit einer ökologischen Ausrichtung des hei-

The term “ecological” was (un)consciously not defined in these strategic policy documents. Here, it is assumed that an ecological orientation of domestic mining means an ecological industrial policy according to the definition of the Federal Environment Agency, i. e. a strategic orientation of the industrial policy instruments to the central challenges of climate protection, global environmental destruction, scarcity of resources.

The German mining sector has made phenomenal progress in its ability to observe, measure and describe mining environments. This also includes best practice environmental protection protocols, standards and remediation technologies for waste management, sewage management, noise and vibration protection, air pollution control, species and landscape protection, protection and remediation of soil, groundwater and surface water, avoidance and reduction of greenhouse gases, use of renewable energies, energy efficiency and energy savings. Germany is a global leader here and German mining companies invested comparatively more in environmental protection in 2020 (805 M €) than many other manufacturing industries such as the textile, clothing and furniture industries (32), which generate higher gross added values. However, investment in environmental protection by the mining sector is only a fraction (approximately 0.9%) of the total investment by the manufacturing industry excluding construction (a total of 89,734 M €) (32). The comparatively low investments in environmental protection could also be due to the fact that, as explained, only minor environmental pressures are caused by active mining and > 99% of mine waste can be classified as non-hazardous (16).

From a scientific point of view, political strategies on domestic mining should take into account the relatively low environmental pressures of active mining, illustrated by the pressure indicators mentioned above, and the progress in climate and environmental protection as well as resource efficiency. Here, the German mining industry has individual examples of excellence that have been accepted internationally. The European Aggregate Association, e. g., has repeatedly awarded sustainability prizes to German companies, and the Federal German Agency for Nature Conservation has recognized RWE's recultivation of open-cast lignite mining for its biodiversity as part of the UN Decade on Biological Diversity. When formulating the German raw materials policy, it is also not taken into account that the domestic mining industry is committed to climate protection, e. g., by reducing energy consumption with the help of continuous conveyor belts. It has also proven itself as an energy producer by installing renewable energy systems on its properties.

4 Conclusion

Mines interfere with the natural spheres, and individual mines can cause significant impacts to the environment. However, environmental indicators based on a DPSIR model and derived from data from the Federal Statistical Office show that overall active mining in Germany

- causes only small percentages of the total environmental pressures through land use, waste production, water extraction and greenhouse gas and particulate matter emissions; and
- causes smaller environmental pressures than many other public and non-public activities.

mischen Bergbaus eine ökologische Industriepolitik gemäß der Definition des Umweltbundesamts gemeint ist, d. h. eine strategische Ausrichtung des industriepolitischen Instrumentariums auf die zentralen Herausforderungen Klimaschutz, globale Umweltzerstörung, Ressourcenknappheit.

Der deutsche Bergbausektor hat phänomenale Fortschritte in seiner Fähigkeit gemacht, Bergbauumgebungen zu beobachten, zu messen und zu beschreiben. Dabei sind auch Best-Practice-Umweltschutzprotokolle, Standards und Sanierungstechnologien für die Abfallwirtschaft, Abwasserwirtschaft, Lärm- und Erschütterungsschutz, Luftreinhaltung, Arten- und Landschaftsschutz, Schutz und Sanierung von Boden, Grund- und Oberflächenwasser, Vermeidung und Verminderung von Treibhausgasen, Nutzung erneuerbarer Energien, Energieeffizienz und Energieeinsparung entwickelt worden. Deutschland ist hier global führend und deutsche Bergbauunternehmen haben im Jahr 2020 vergleichsweise mehr in den Umweltschutz investiert (805 Mio. €) als viele andere verarbeitende Gewerbe, wie z. B. die Textil-, Bekleidungs- und Möbelindustrie (32), die eine höhere Bruttowertschöpfung ausweisen. Die Investition in den Umweltschutz durch den Bergbau ist aber nur ein Bruchteil (ca. 0,9%) der Gesamtsumme der Investitionen des produzierenden Gewerbes ohne Baugewerbe (insgesamt 89.734 Mio. €) (32). Die vergleichsweise niedrigen Investitionen in den Umweltschutz könnten auch in den Tatsachen begründet sein, dass wie dargelegt nur geringe Umweltbelastungen durch den aktiven Bergbau verursacht werden und > 99% der bergbaulichen Abfälle als nicht gefährlich einzustufen sind (16).

Aus wissenschaftlicher Sicht sollten politische Strategien zur Ausrichtung des heimischen Bergbaus zum einen die verhältnismäßig geringen Belastungen der Umwelt durch den aktiven heimischen Bergbau, veranschaulicht durch die oben genannten Belastungsindikatoren, und zum anderen den Fortschritt im Klima- und Umweltschutz sowie Ressourceneffizienz berücksichtigen. Hier hat der deutsche Bergbau Einzel-Exzellenz-Beispiele von internationaler Akzeptanz vorzuweisen. Der Europäische Gesteinsverband hat z. B. wiederholt deutsche Unternehmen mit Nachhaltigkeitspreisen und das Bundesamt für Naturschutz im Rahmen der UN-Dekade Biologische Vielfalt die Rekultivierung der RWE im Braunkohlentagebau für seine Biodiversität ausgezeichnet. Bei der Formulierung der deutschen Rohstoffpolitik wird auch nicht berücksichtigt, dass sich der heimische Bergbau beim Klimaschutz engagiert, zum einen durch die Reduzierung des Energieverbrauchs mithilfe kontinuierlicher Fördertechnik oder indem er sich durch das Errichten von erneuerbaren Energiesystemen auf seinen Flächen als Energieerzeuger bereits bewiesen hat.

4 Fazit

Bergwerke sind mit Eingriffen in die natürlichen Sphären verbunden, und einzelne Bergwerke können erhebliche Eingriffe in die Natur bewirken. Aber Umweltindikatoren basierend auf einem DPSIR-Modell und abgeleitet von Daten des Statistischen Bundesamts zeigen, dass der aktive Bergbau in Deutschland zurzeit insgesamt

- nur kleinere Prozentanteile der gesamten Umweltbelastungen durch Flächenbedarf, Abfallproduktion, Wasserentnahme sowie Treibhausgas- und Feinstaub-Emissionen bewirkt und
- geringere Umweltbelastungen als viele andere öffentliche und nichtöffentliche Aktivitäten verursacht.

Global mining contributes less than 1% of total land-use-related biodiversity loss, and in terms of biodiversity threats, mines and their post-mining activities provide opportunities for biodiversity, biotopes and habitats for many threatened and rare animals and plants. In addition, the German mining sector has proven for some time through individual examples of excellence and international recognition that environmental protection, nature conservation, species protection, renewable energies and resource efficiency can be combined with mining. In future, the German mining industry will have to remain a global role model for environmental stewardship and land restoration in the raw materials sector and move from individual examples of excellence to normality.

Federal politics is currently pursuing an ecological focus for domestic mining, although very high environmental standards already exist for German mining operations. Federal politics and especially the Federal Environment Agency should rather

- comply with Germany's international obligations for species protection;
- design exemplary environmental standards for state-owned enterprises and use them as pioneers and leaders in an exemplary manner; and
- develop and present to the public strategies, key issues papers, publications and websites on the environmental impact of active German mining that reflect scientific facts.

Acknowledgements

Aspects of this contribution were presented at the 15th Deutschen Naturschutzrechtstag 2023.

References / Quellenverzeichnis

- (1) Brock, A. (2020): Securing accumulation by restoration – Exploring spectacular corporate conservation, coal mining and biodiversity compensation in the German Rhineland. In: Environment and Planning E: Nature and Space 0(0), pp 1 – 32.
- (2) Umweltbundesamt (2020): Politikempfehlungen für eine verantwortungsvolle Rohstoffversorgung Deutschlands als Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung. Teil I – Handlungsvorschläge für eine umwelt- und ressourcenschonende Rohstoffgewinnung in Deutschland. 44 S.
- (3) Tost, M.; Bayer, B.; Hitch, M.; Lutter, S.; Moser, P.; Feiel, S. (2018): Metal mining's environmental pressures: a review and updated estimates on CO₂ emissions, water use, and land requirements. In: Sustainability 10(8), pp 2881.
- (4) EEA (1999): Environmental indicators: typology and overview. Technical Report No. 25, 19 pp.
- (5) Lottermoser, B. G. (2017): Environmental Indicators in Metal Mining. Springer Nature, Springer International Publishing Switzerland, 413 pp.
- (6) Lottermoser, B. G. (2010): Mine Wastes: Characterization, Treatment and Environmental Impacts. 3rd edition. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 400 pp.
- (7) Statistisches Bundesamt (Destatis) (2022): Flächennutzung – Bodenfläche insgesamt nach Nutzungsarten in Deutschland am 31.12.2021. 1 S.
- (8) BGR (2022): Deutschland – Rohstoffsituation 2021. 162 S.

Der Bergbau weltweit trägt zu weniger als 1% des gesamten landnutzungsbedingten Biodiversitätsverlusts bei, und bei den Gefährdungen der Biodiversität bieten Bergwerke und deren Nachbergbau Chancen für biologische Vielfalt, Biotope und Lebensräume für zahlreiche bedrohte und seltene Tiere und Pflanzen. Darüber hinaus hat der deutsche Bergbausektor seit langem durch Einzel-Exzellenz-Beispiele und internationale Anerkennung bewiesen, dass sich Umweltschutz, Naturschutz, Artenschutz, erneuerbare Energien und Ressourceneffizienz mit Rohstoffgewinnung verknüpfen lassen. In Zukunft gilt es für die deutsche Bergbauindustrie weiterhin globales Vorbild für Natur- und Umweltschutz im Rohstoffsektor sowie Sanierungsbergbau zu bleiben und von Einzel-Exzellenz-Beispielen zur Normalität zu kommen.

Die Bundespolitik verfolgt zurzeit eine ökologische Ausrichtung der heimischen Rohstoffgewinnung, obwohl sehr hohe Umweltstandards für deutsche Bergwerksbetriebe bereits bestehen. Die Bundespolitik und besonders das Umweltbundesamt sollten

- den internationalen Verpflichtungen Deutschlands im Artenschutz nachkommen,
- vorbildliche Umweltstandards für die eigenen Staatsunternehmen gestalten und diese als Pioniere und Wegbereiter beispielhaft anwenden und
- Strategien, Eckpunktepapiere, Schriften und Webseiten zu den Umweltbelastungen des aktiven deutschen Bergbaus erarbeiten und der Öffentlichkeit präsentieren, die den wissenschaftlichen Fakten entsprechen.

Danksagung

Aspekte dieses Beitrages wurden auf dem 15. Deutschen Naturschutzrechtstag 2023 präsentiert.

- (9) Statistisches Bundesamt (Destatis) (2022): Umweltökonomische Gesamtrechnungen. Anthropogene Luftemissionen. Berichtszeitraum 2000 – 2020. 65 S.
- (10) Umweltbundesamt (2022): Zum Jahreswechsel: Wenn die Luft „zum Schneiden“ ist. Hintergrund // November 2022. 16 S.
- (11) Freer, J.; Lübeck, M.; Sieger, J.; Lottermoser, B.G.; Braun, M. (2022): Effectiveness of food processing by-products as dust suppressants for exposed mine soils: results from laboratory experiments and field trials. In: Applied Sciences 12(22), pp 11551.
- (12) Sieger, J.; Lottermoser, B. G.; Freer, J. (2023): Effectiveness of protein and polysaccharide biopolymers as dust suppressants on mine soils: results from wind tunnel and penetrometer testing. In: Applied Sciences 13(7), pp 4158.
- (13) Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) (2017): www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_26081998_IG19980826.htm
- (14) Bezirksregierung Arnsberg (2023): Messwerte der Lärmmessungen im Rheinischen Braunkohlenrevier. www.bra.nrw.de/energie-bergbau/umweltschutz-im-bergbau/laermmessungen-im-rheinischen-braunkohlenrevier
- (15) BMDV (2022): Lärmschutz im Schienenverkehr. 282 pp.
- (16) Statistisches Bundesamt (Destatis) (2022): Umwelt – Abfallbilanz. (Abfallaufkommen/-verbleib, Abfallintensität, Abfallaufkommen nach Wirtschaftszweigen). 82 S.

- (17) Statistisches Bundesamt (Destatis) (2023): Wasserwirtschaft – Eigengewinnung und Fremdbezug von Wasser sowie Einleitung von Abwasser und ungenutztem Wasser. 1 S.
- (18) IGB (2022): Die Zukunft der Oder. Forschungsbasierte Handlungsempfehlungen nach der menschengemachten Umweltkatastrophe. IGB Policy Brief, Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Berlin, 9 S.
- (19) Knobloch, M.; Palmer, L. W.; Roethe, R. G.; Lottermoser, B. G. (2022): Infrared thermographic investigation of the oxidation behaviour of sulfide minerals from antimony-bearing rocks exemplified by the Podkozara deposit, Bosnia-Herzegovina. In: Applied Geochemistry 137, pp 105181.
- (20) Schlatter, N.; Lottermoser, B. G. (2023): Quantitative analysis of Li, Na, and K in single element standard solutions using portable laser-induced breakdown spectroscopy (pLIBS). In: Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis <https://doi.org/10.1144/geochem2023-019>
- (21) Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften, acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, Union der deutschen Akademien der Wissenschaften (2020): Biodiversität und Management von Agrarlandschaften – Umfassendes Handeln ist jetzt wichtig. Halle (Saale) 80 S.
- (22) Cabernard, L.; Pfister, S. (2022): Hotspots of mining-related biodiversity loss in global supply chains and the potential for reduction through renewable electricity. In: Environmental Science & Technology 56(22), pp 16357 – 16368.
- (23) BGR (2017): Heimische mineralische Rohstoffe – unverzichtbar für Deutschland. 84 S.
- (24) Bayerisches Landesamt für Umwelt (2023): Uhu – Bestand und Gefährdung. https://www.lfu.bayern.de/natur/artenhilfsprogramme_voegel/uhu/bestand_gefahrdung/index.htm
- (25) Schumacher, H.; Finck, P.; Riecken, U.; Klein, M. (2018): More wilderness for Germany: Implementing an important objective of Germany's National Strategy on Biological Diversity. In: Journal for Nature Conservation 42, pp 45 – 52.
- (26) Umweltbundesamt (2015): Durch Umweltschutz die biologische Vielfalt erhalten. 100 S.
- (27) Trouwborst, A.; McCormack P. C.; Camacho E. M. (2022): Domestic cats and their impacts on biodiversity: A blind spot in the application of nature conservation law. In: People and Nature 2, pp 235 – 250.
- (28) DJV (2020): Freilaufende Katzen bedrohen die weltweite Artenvielfalt. <https://www.jagdverband.de/freilaufende-katzen-bedrohen-die-weltweite-artenvielfalt>
- (29) BMWi (2019): Rohstoffstrategie der Bundesregierung – Sicherung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung Deutschlands mit nichtenergetischen mineralischen Rohstoffen. 40 S.
- (30) Bundesregierung (2021): Mehr Fortschritt wagen. Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. Koalitionsvertrag zwischen SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP, 178 S.
- (31) BMWK (2023) Eckpunktepapier: Wege zu einer nachhaltigen und resilienten Rohstoffversorgung. 10 S.
- (32) Statistisches Bundesamt (Destatis) (2022): Umwelt. Investitionen für den Umweltschutz im produzierenden Gewerbe. 71 S.

Author / Autor

Univ.-Prof. PhD Bernd G. Lottermoser, Lehrstuhl für nachhaltige Rohstoffgewinnung, Institute of Mineral Resources Engineering (MRE), RWTH Aachen University (RWTH), Aachen/Germany