

## The Mine Life Cycle and the United Nations 2030 Agenda – A Sustainability Analysis

Agenda 2030 and the sustainable development goals have continued the process of giving equal consideration to social, ecological and economic aspects in the planning and implementation of projects of all kinds. The dynamics associated with the increasing world population, globalization and the fight against the climate crisis have taken on an essential role. This brings to bear developments and instruments that cannot be ignored by the raw materials industry, as they are associated with considerable opportunities and risks. In fact, the provision of geo-resources requires an adjustment of operational activities and communication adapted to these new conditions. This paper identifies the fields of action for sustainable mining processes in the mine life cycle and address-

es the consequences of the circular economy and the recently passed supply chain law on mining. The narrative for mining that can be derived from this can demonstrate its contribution to the implementation of the 17 Sustainable Development Goals (SDG). In the authors' view, these goals can indeed only be realized with mining. However, the extractive sector must actively demonstrate that it is part of the solution. This requires transparent and comprehensive opportunity-risk management, a process based on adapted monitoring data and the involvement of all affected parties and stakeholders. Future mining projects will be significantly influenced by the positioning of the parties involved with regard to transparency, commitment, participation and communication.

## Der bergbauliche Lebenszyklus und die Agenda 2030 der Vereinten Nationen – eine Nachhaltigkeitsanalyse

Mit der Agenda 2030 und der Formulierung von Zielen einer nachhaltigen Entwicklung ist der Prozess zur gleichwertigen Berücksichtigung sozialer, ökologischer und ökonomischer Aspekte bei der Planung und Umsetzung von Vorhaben jedweder Art fortgeschrieben worden. Eine wesentliche Rolle hat dabei die Dynamik eingenommen, die mit der zunehmenden Weltbevölkerung, der Globalisierung und der Bekämpfung des Klimawandels verbunden ist. Damit kommen Entwicklungen und Instrumente zum Tragen, die von der Rohstoffbranche nicht unbeachtet bleiben dürfen, da sie mit erheblichen Chancen und Risiken verbunden sind. Tatsächlich bedarf es für die Bereitstellung von Georessourcen einer neuen und den sich verändernden Rahmenbedingungen angepassten Justierung der operativen Tätigkeiten und der Kommunikation. Der Beitrag identifiziert die im bergbaulichen Lebenszyklus vorhandenen Handlungsfelder

für nachhaltige bergbauliche Prozesse und setzt sich mit den Folgen der Kreislaufwirtschaft sowie des kürzlich verabschiedeten Lieferkettengesetzes auf den Bergbau auseinander. Das daraus abzuleitende Narrativ für den Bergbau kann dessen Beitrag zur Umsetzung der 17 Ziele der nachhaltigen Entwicklung belegen. Nach Auffassung der Autoren lassen sich diese Ziele tatsächlich nur mit dem Bergbau realisieren. Allerdings muss die Rohstoffbranche den aktiven Nachweis führen, dass sie Teil der Lösung ist. Dazu bedarf es eines transparenten und umfassenden Chancen-Risiken-Managements, eines auf angepassten Monitoringdaten beruhenden Prozessverständnisses und einer Einbeziehung aller Betroffenen und Stakeholder. Die Realisierung bergbaulicher Vorhaben wird zukünftig wesentlich von der Positionierung der Beteiligten hinsichtlich Transparenz, Verbindlichkeit, Partizipation und Kommunikation beeinflusst.

### Introduction

The 2030 Agenda was adopted by the 193 member states of the United Nations (UN) in 2015 with the aim of initiating fundamental changes for sustainable developments worldwide (1). At the time, Germany's Environment Minister Barbara Hendricks described the agenda as historic, setting in motion a systematic transformation. Against the backdrop of climate change, the agenda is about combating poverty, global environmental pro-

### Einleitung

Die Agenda 2030 wurde von den 193 Mitgliedstaaten der Vereinten Nationen (UN) im Jahr 2015 mit dem Ziel verabschiedet, grundlegende Veränderungen für nachhaltige Entwicklungen weltweit zu initiieren (1). Die damalige Bundesumweltministerin Barbara Hendricks bezeichnete die Agenda, die eine systematische Transformation auf den Weg bringt, als historisch. Dabei geht es vor dem Hintergrund der Klimaveränderungen im Kern um die Be-

tection, better social standards and climate- and environmentally compatible economic activity.

The World Commission on Environment and Development, also known as Brundtland Commission (2), fundamentally defined sustainable development in 1987. Quote: "Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs and choose their own lifestyles". The further prehistory of the 2030 Agenda includes the Rio Conference in 1992 and the Agenda 21 adopted there, as well as the Millennium Summit in 2000, where the eight Millennium Development Goals (MDGs) for 2015 were adopted (3). Among other goals, the MDGs aim to improve upon poverty reduction, education, health, ecology and partnerships. These goals are also addressed by the 2030 Agenda and adapted to the globally changing framework conditions.

During the preparation phase of the UN Summit in New York in 2015, a document titled "Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development" was drafted (1). The preamble defines the thematic areas of the Agenda under five headings – the 5 Ps: People – Planet – Prosperity – Peace – Partnership. This clarifies the goal of the Agenda: Pursue sustainable development within the context of peace and partnerships, whilst balancing economic, ecological and social goals.

It is immediately apparent that the five key messages address essential elements of the mine life cycle. The deposit at the center of the mining process is part of our planet. Its use is by people for people and, in this respect, is aimed at mutual well-being. The (at least) temporary interventions of mining in the environment and the burdens for the people affected can only be kept on an orderly course through partnerships and peace. In the broadest sense, this aspect is also strikingly expressed by the well-known phrase "mining is not one man's business."

This view is supported by the results of the survey of major international mining companies published by the management consultancy Ernst & Young (EY) (4). According to the survey, the loss of the license to operate has been regarded as the greatest entrepreneurial risk in the last few years. For companies, the license to operate mines has both a legal and a social component. Without the consent of stakeholders – meaning all stakeholders and those affected – it is practically impossible to operate mines. In (5), Parra, Lewis and Ali highlight the importance of mining within primary production and lament that the benefits of mining are often hidden from the end consumer.

In fact, Georg Agricola had already dealt with the social license to operate in his fundamental opus of mining and metallurgy "De re metallica libri" (6). In particular, in the first book, entitled "Arguments for and against this art" he deals with the arguments of the public critical of mining. His analysis of mining-induced damage to the environment and the benefits that mining activities bring to society can be understood as a risk management approach. As a polymath, he has observed, interpreted, and communicated mining, its characteristics, and its impacts. The Research Center of Post-Mining (FZN) at Technische Hochschule Georg Agricola University (THGA) in Bochum/Germany is committed to the tradition of the university's name-sake (7). This applies in particular to the holistic view of mining

kämpfung von Armut, einen globalen Umweltschutz, bessere Sozialstandards sowie klima- und umweltverträgliches Wirtschaften.

Eine grundlegende Definition für nachhaltige Entwicklungen nahm im Jahr 1987 die Weltkommission für Umwelt und Entwicklung vor, auch Brundtland-Kommission genannt (2). Zitat: „Nachhaltig ist eine Entwicklung, die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen und ihren Lebensstil zu wählen“. Zur weiteren Vorgeschichte der Agenda 2030 gehört die Rio-Konferenz 1992 und die dort verabschiedete Agenda 21 sowie der Millenniumsgipfel im Jahr 2000. Damals wurden die acht Millennium Development Goals (MDG) für das Jahr 2015 verabschiedet (3). Die MDGs nehmen u.a. die Ziele Armutsbekämpfung, Bildung, Gesundheit, Ökologie und Partnerschaften in den Blick. Diese Ziele werden auch durch die Agenda 2030 adressiert und den sich global veränderten Rahmenbedingungen angepasst.

In der Phase der Vorbereitung des Gipfeltreffens der UN im Jahr 2015 in New York wurde ein Dokument mit dem Titel „Transformation unserer Welt: Die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung“ erarbeitet (1). In der Präambel werden unter fünf Oberbegriffen – den 5 Ps – die Themenbereiche der Agenda definiert: People – Planet – Prosperity – Peace – Partnership. Damit wird das Ziel der Agenda deutlich. Im Rahmen von Frieden und Partnerschaften sollen nachhaltige Entwicklungen umgesetzt werden, die bekanntermaßen in einer ausgewogenen Verfolgung ökonomischer, ökologischer und gesellschaftlicher Ziele bestehen.

Es ist unmittelbar zu erkennen, dass die fünf Kernbotschaften wesentliche Elemente des bergbaulichen Lebenszyklus adressieren. Die im Zentrum des bergbaulichen Prozesses stehende Lagerstätte ist Teil unseres Planeten. Ihre Nutzung erfolgt durch Menschen für Menschen und ist insofern auf ein beiderseitiges Wohlergehen ausgerichtet. Die (zumindest) temporären Eingriffe des Bergbaus in die Umwelt und die Belastungen für die betroffenen Menschen sind nur in einer partnerschaftlichen und friedlichen Atmosphäre in geordneten Bahnen zu halten. Im weitesten Sinne wird dieser Aspekt auch durch den bekannten Satz „Bergbau ist nicht eines Mannes Sache“ plakativ zum Ausdruck gebracht.

Gestützt wird diese Betrachtungsweise durch die Ergebnisse der von der Unternehmensberatung Ernst & Young (EY) veröffentlichten Umfrage bei großen internationalen Bergbaugesellschaften (4). Demnach wird seit einigen Jahren unverändert der Verlust der „license to operate“ als größtes unternehmerisches Risiko betrachtet. Die Lizenz zum Betrieb von Bergwerken hat für Unternehmen sowohl eine rechtliche als auch eine gesellschaftliche Komponente. Ohne die Zustimmung der Stakeholder – gemeint sind damit alle Interessenvertreter und die Betroffenen – ist der Betrieb von Bergwerken praktisch nicht möglich. In (5) heben Parra, Lewis und Ali die Bedeutung des Bergbaus innerhalb der Urproduktion hervor und beklagen, dass dem Endverbraucher die Vorteile des Bergbaus oft verborgen bleiben.

Tatsächlich hat sich bereits Georg Agricola in seinem grundlegenden Werk des Berg- und Hüttenwesens „De re metallica libri“ mit der gesellschaftlichen Betreiberverantwortung („social license to operate“) auseinandergesetzt (6). Insbesondere im ersten Buch mit der Überschrift „Vom berg- und hüttenmännischen Beruf und seinem Nutzen“ befasst er sich mit den Argumenten der bergbau-

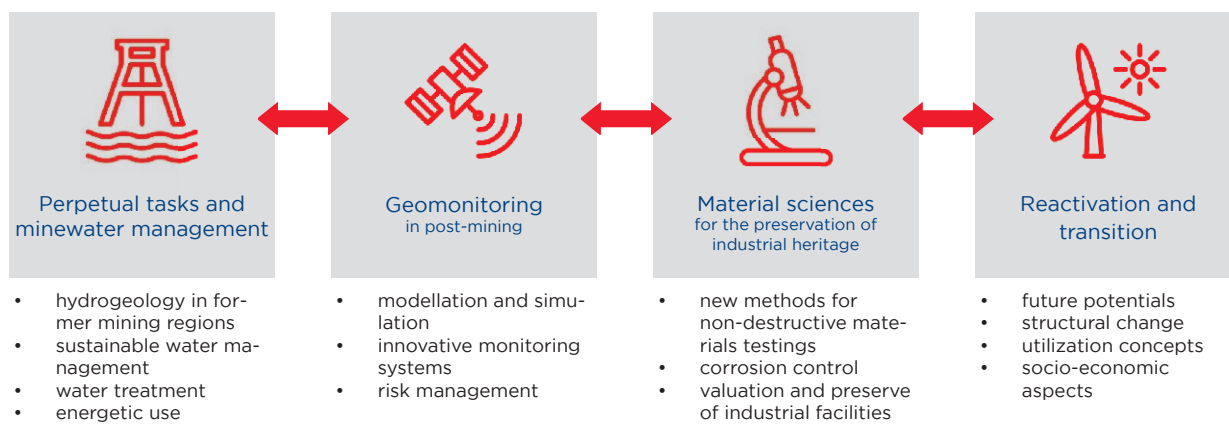


Fig. 1. Focal points of research at the FZN. // Bild 1. Forschungsschwerpunkte im FZN. Source/Quelle: FZN

and its life cycle, which is reflected in the four main research areas of the FZN (Figure 1).

World population growth is expected to increase demand in georesources, and the resource mix will change as a result of technological progress and social processes. In order to enable transparent supply chains and achieve circular value creation, a broad social discussion about the necessity and meaningfulness of mining projects is required. The goal must be to create transparency for the entire mine life cycle and its relevant processes and to create an understanding within the context of comprehensive communication with all relevant stakeholders. At this point, the question arises as to the connection between the use of deposits (georesources) and the concept of sustainability as well as sustainable practice.

Meeting the raw material and energy requirements of the population, manufacturing and industry is not possible without mining and the power industry. This is associated with influences on the environment of the mines and the production facilities that cannot always be limited in space and time. This raises the question whether mining can actually be developed, managed and terminated sustainably. In view of the fundamental definition of the term sustainability, this must probably be answered in the negative.

However, the question formulated above has prompted the authors to find answers and develop arguments. Even with a broad implementation of circular economic processes, mining-derived raw materials to national economies will remain necessary. In this respect, the mining industry must actively engage in the discussion on sustainability. Indeed, the mining sector is intensely involved in the quest to implement the 2030 Agenda. It must be an active participant in the transformation process in order to continuously demonstrate its future viability. This position is also supported by the call for increased transparency in supply chains.

### The 2030 Agenda and the 17 Sustainable Development Goals (SDGs)

The 5 Ps become more concrete through the 17 Sustainable Development Goals (SDGs) (8, 9). In the figures 2 and 3, the 17 goals are assigned to the 5 Ps and shown in full. The content of the 17 SDGs is further described by 169 targets.

kritischen Öffentlichkeit. Seine Analyse der bergbauinduzierten Schäden in der Umwelt und dem Nutzen, den bergbauliche Aktivitäten in der Gesellschaft stiften, kann als Ansatz eines Risikomanagements verstanden werden. Als Universalgelehrter hat er den Bergbau, seine Besonderheiten und seine Auswirkungen beobachtet, interpretiert und kommuniziert. Das Forschungszentrum Nachbergbau (FZN) der Technischen Hochschule Georg Agricola (THGA) in Bochum sieht sich der Tradition des Namensgebers der Hochschule verpflichtet (7). Dies betrifft insbesondere die ganzheitliche Sichtweise auf den Bergbau und seinen Lebenszyklus, die sich in den vier Forschungsschwerpunkten des FZN abbildet (Bild 1).

Angesichts des Wachstums der Weltbevölkerung ist von einem steigenden Bedarf an Georessourcen auszugehen, dessen Mix sich bedingt durch den technologischen Fortschritt sowie durch gesellschaftliche Prozesse verändern wird. Um transparente Lieferketten, Wirkzusammenhänge und eine Umsetzung der zirkulären Wertschöpfung ermöglichen zu können, ist eine breite gesellschaftliche Diskussion über die Notwendigkeit und Sinnhaftigkeit bergbaulicher Vorhaben erforderlich. Das Ziel muss darin bestehen, für den gesamten bergbaulichen Lebenszyklus und seine maßgeblichen Prozesse Transparenz zu schaffen und Verständnis im Rahmen einer umfassenden Kommunikation mit allen relevanten Interessengruppen aufzubauen. An diesem Punkt stellt sich die Frage nach der Verbindung zwischen der Nutzung von Lagerstätten (Georessourcen) und dem Begriff der Nachhaltigkeit sowie einer nachhaltigen Praxis.

Die Befriedigung des Rohstoff- und Energiebedarfs der Bevölkerung, des produzierenden Gewerbes und der Industrie ist ohne den Bergbau und die Energiewirtschaft nicht möglich. Damit verbunden sind Einflüsse auf das Umfeld der Bergwerke und Produktionsanlagen, die sich räumlich und zeitlich nicht immer begrenzen lassen. Es stellt sich vor diesem Hintergrund die Frage, ob der Bergbau im eigentlichen Sinn nachhaltig entwickelt, geführt und beendet werden kann. In Anbetracht der fundamentalen Definition des Begriffs der Nachhaltigkeit muss dies wohl verneint werden.

Die vorstehend formulierte Frage hat die Autoren aber dazu veranlasst, Antworten zu finden und Argumentationen zu entwickeln. Diese gehen von der Grundüberzeugung aus, dass auch bei der breiten Umsetzung der Prozesse der Kreislaufwirtschaft eine Versorgung der Volkswirtschaften mit bergbaulich gewonnenen

## People



## Peace



## Planet



## Partnership



## Prosperity



Fig. 2. The 5 Ps and the 17 Sustainable Development Goals (SDGs).

Bild 2. Die 5 Ps und die 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung. Source/Quelle: FZN

Rohstoffen erforderlich bleiben wird. Insofern muss sich der Bergbau aktiv in die Diskussion über Nachhaltigkeit einbringen. Tatsächlich ist der Bergbau in das Streben nach der Umsetzung der Agenda 2030 intensiv eingebunden. Er muss sich am Transformationsprozess aktiv beteiligen, um seine Zukunftsfähigkeit laufend unter Beweis zu stellen. Diese Position wird auch gestützt durch die Forderung nach einer Erhöhung der Transparenz in den Lieferketten.

### Die Agenda 2030 und die 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung

Die Konkretisierung der 5 Ps erfolgt durch die 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung – im Englischen als Sustainable Development Goals (SDG) bezeichnet (8, 9). In den Bildern 2 und 3 sind die 17 Ziele den 5 Ps zugeordnet und vollständig dargestellt. Die 17 SDGs werden inhaltlich durch 169 Unterziele und Umsetzungsmittel näher beschrieben.

### Addressing mining through the 17 SDGs

In dealing with georesources, the research work of the FZN is increasingly focused on aligning mining processes with sustainability goals on the basis of substantial scientific findings, such as remains from past extraction of georesources as well as current or planned projects for their use. The German Sustainability Strategy has adopted the 17 global SDGs (8). The core messages, the 5 Ps, are directly related to mine life cycles and to economic issues related to the management of georesources:

- Planet: Georesources are part of our planet. Their sustainable use must be in harmony with limiting climate change. As essential parts of the natural basis of life, georesources must be used carefully with a view to future generations.
- People and Prosperity: Available sustainable georesources need to contribute to creating orderly living conditions for people, reduce global inequality and shape globalization.
- Peace and Partnership: The georesource economy can only be organized sustainably on the basis of global solidarity and appropriate partnerships. Only in this way human rights and peaceful coexistence can be guaranteed.

### Adressierung des Bergbaus durch die 17 SDGs

Die Forschungsarbeiten des FZN sind im Umgang mit Georessourcen zunehmend darauf ausgerichtet, die Prozesse auf der Basis substantieller wissenschaftlicher Erkenntnisse in Einklang mit den Nachhaltigkeitszielen zu bringen. Im Fokus stehen dabei sowohl Hinterlassenschaften aus früherer Gewinnung von Georessourcen als auch aktuelle oder geplante Projekte zu deren Nutzung. Die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie hat die 17 SDGs übernommen (8). Die Kernbotschaften, die 5 Ps, weisen einen unmittelbaren Bezug zu bergbaulichen Lebenszyklen und zu wirtschaftlichen Fragestellungen rund um den Umgang mit Georessourcen auf:

- Planet (Planet): Georessourcen sind Teil unseres Planeten. Ihre nachhaltige Nutzung muss im Einklang mit der Begrenzung des Klimawandels erfolgen. Als wesentliche Teile der natürlichen Lebensgrundlagen sind sie im Hinblick auf zukünftige Generationen sorgsam einzusetzen.
- Mensch (People) und Wohlstand (Prosperity): Die Verfügbarkeit nachhaltiger Georessourcen hat die Schaffung geordneter Lebensumstände, die weltweite Beseitigung von Ungleichheiten und die gerechte Gestaltung der Globalisierung zum Ziel.
  - Frieden (Peace) und Partnerschaft (Partnership): Die Georessourcenwirtschaft kann nachhaltig nur auf der Grundlage einer globalen Solidarität und entsprechender Partnerschaften organisiert werden. Nur auf diese Weise lassen sich die Menschenrechte und ein friedliches Zusammenleben gewährleisten.



Fig. 3. The 17 Sustainable Development Goals (8). // Bild 3. Die 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung (8).

Dass bergbauliche Prozesse und die nachhaltige Nutzung von Georessourcen alle 17 SDGs adressiert, lässt sich vor diesem Hintergrund unmittelbar nachvollziehen. Diese Feststellung ist im Sinne eines Narrativs mit konkreten Aspekten zu belegen. Dazu werden die einzelnen SDGs mit entsprechenden Aussagen verbunden. In diese Analyse sind auch

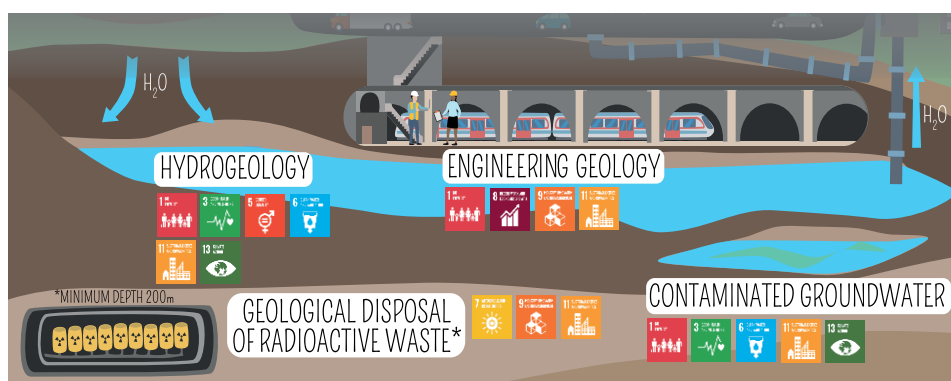


Fig. 4. Geosciences for the future (excerpt) after (10).  
Bild 4. Geowissenschaften für die Zukunft (Ausschnitt nach (10)).

Against this background, it is evident that mining processes and the sustainable use of geo-resources directly addresses all 17 SDGs. To this end, the individual SDGs are linked to corresponding statements. The 169 sub-goals are also included in this analysis. In a poster of the Geological Society entitled “Geosciences for the future”, the SDGs are clearly assigned to individual disciplines and challenges (10). Figure 4 gives an impression of the information content of the poster.

Linking the 17 SDGs with aspects of the mine life cycle leads to the following discussion points:

#### SDG 1 No poverty

Provide access to georesources; ensure land and natural resource ownership; organize participation in the economic process; improve the quality of the environment through revitalization; involve stakeholders and local structures in the economic processes of georesource extraction and use; create skilled jobs with good earning potential; reduce public vulnerability to disasters.

#### SDG 2 Zero hunger

Revitalize former mining areas in a timely manner and make them available for food production; reliably provide fertilizer and water; develop social and economic perspectives for those affected by mining activities; preserve ecosystems.

#### SDG 3 Good health and well-being

Improve occupational safety in the extraction and processing of georesources; minimize/prevent pollution of the environment; promote the reuse of mining sites; preserve the quality of life of those affected; minimize mining risks; stakeholder participation; create economic prosperity through the mining sector; improve management of health risks; observe the transparency of supply chains.

#### SDG 4 Quality education

Provide education opportunities for students; create awareness of sustainable processes; expand existing global networks; enter into global research collaborations; participate in the development of global standards (ISO), intensify communication; provide special vocational training, e.g. mine rescue;

die 169 Unterziele und Umsetzungsmittel einbezogen. In einem Poster der Geological Society mit dem Titel „Geowissenschaften für die Zukunft“ sind die SDGs sehr anschaulich einzelnen Disziplinen und Herausforderungen zugeordnet (10). Bild 4 vermittelt einen Eindruck vom Informationsgehalt des Posters.

Die konkrete Verknüpfung der 17 SDGs mit Aspekten des bergbaulichen Lebenszyklus ist bewusst als lose Auflistung gestaltet. Angestrebt wird eine Diskussion im offenen Gedankenraum.

#### SDG 1 Keine Armut

Zugang zu Georessourcen ermöglichen; Grundeigentum und Verfügungsgewalt über Grund- und Boden sowie natürliche Ressourcen gewährleisten; Teilhabe am wirtschaftlichen Prozess organisieren; Verbesserung der Qualität der Umwelt durch Revitalisierung; Einbeziehung der Betroffenen und der lokalen Strukturen in die wirtschaftlichen Prozesse der Gewinnung und Nutzung der Georessourcen; Schaffung von qualifizierten Arbeitsplätzen mit guten Verdienstmöglichkeiten; Verringerung der Anfälligkeit der Öffentlichkeit gegenüber Katastrophen.

#### SDG 2 Kein Hunger

Ehemalige bergbaulich genutzte Flächen zeitnah revitalisieren und für die Nahrungsmittelproduktion verfügbar machen; zuverlässige Bereitstellung von Düngemitteln und Wasser; Entwicklung von sozialen und ökonomischen Perspektiven für die Betroffenen der bergbaulichen Aktivitäten; Erhalt von Ökosystemen.

#### SDG 3 Gesundheit und Wohlergehen

Verbesserung der Rahmenbedingungen im Hinblick auf die Arbeitssicherheit bei der Gewinnung und Aufbereitung von Georessourcen; Minimierung/Verhinderung der Belastungen der Umweltmedien; Wiedernutzbarmachungen bergbaulicher Areale vorantreiben; Lebensqualität Betroffener erhalten; Minimierung bergbaulicher Risiken; Partizipation der Stakeholder; ökonomisches Wohlergehen durch Arbeit im Bergbau; Management von Gesundheitsrisiken stärken; Transparenz der Lieferketten beachten.

#### SDG 4 Hochwertige Bildung

Qualifizierte Ausbildung von Studierenden; Schaffung eines Bewusstseins für nachhaltige Prozesse; Erweiterung des vorhandenen globalen Netzwerks; globale Forschungsk Kooperationen eingehen; Mitwirkung bei der Erarbeitung globaler Standards (ISO), Kommunikation intensivieren, Spezial-Berufsausbildungen, z.B. Grubenwehr, vornehmen; Qualifizierung durch Aus- und Weiterbildung von Fachkräften im In- und Ausland; Aufbau von Know-how für die Teilhabe am Veränderungsprozess bei Betroffenen; Qualifikation für eine anständige Beschäftigung und eine menschenwürdige Arbeit; Wertschätzung kultureller Aspekte.

#### SDG 5 Geschlechtergerechtigkeit

Schaffung von Transparenz und Akzeptanz bezüglich der Rolle der

upgrade skills through education and training of professionals at home and abroad; build know-how for participation in the change process among affected people; qualify for decent employment and decent work; value cultural aspects.

#### **SDG 5 Gender equity**

Create transparency and acceptance regarding the role of women in the georesource sector; prepare them for leadership roles; strengthen the position of women in decision-making processes; prevent discrimination; improve right of access to economic resources.

#### **SDG 6 Clean water and sanitation**

Follow groundwater and drinking water protection guidelines; manage water as a resource; use geospatial information and environmental and geomonitoring data; deal with mine/groundwater issues; clean groundwater and mine water purification; pollutant analysis and treatment issues; build infrastructure for supply and disposal; increase water use efficiency; protect ecosystems.

#### **SDG 7 Affordable and clean energy**

Utilize geothermal energy and hydrogen; reactivate areas for the production of renewable energy; use energy potentials from the production chain of raw materials (mine water and heat, methane, etc.); minimize environmental impact from energy production; secure access to energy services; support local community energy supply; advance the coupling of the electricity, heat generation and mobility sectors.

#### **SDG 8 Decent work and economic growth**

Decouple economic growth and environmental impact; create transparent supply chains; end forced and child labor; create processes for sustainable use of georesources; optimize processes in extractive industries; improve job prospects; involve affected people in change processes; improve participation; strengthen labor rights.

#### **SDG 9 Industry, innovation and infrastructure**

Invest in science, research and research collaboration; observe reactivation and transition; shape structural transformation; establish innovative post-mining investigation methods; promote growth of start-ups (products, services, etc.); promote qualified laboratories; improve infrastructure reliability; promote local technology development and value creation; minimize CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> emissions; promote climate-neutral processes.

#### **SDG 10 Reduce inequalities**

Improve market access for products from countries in the global south; create transparency in the context of research collaborations and knowledge transfer; promote social and economic inclusion; improve participation in decision-making in global institutions; create jobs for local people; ensure decent pay and social protection.

#### **SDG 11 Sustainable cities and communities**

Create measures for reactivation and transition; conduct environmental- and geomonitoring; optimize management of wa-

Frau in der Georessourcenwirtschaft; Vorbereitung auf Führungsaufgaben; Stärkung der Position von Frauen in Entscheidungsprozessen; Diskriminierung verhindern; Recht auf wirtschaftliche Ressourcen stärken.

#### **SDG 6 Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen**

Grund- und Trinkwasserschutz beachten; geordneter Umgang mit der Ressource Wasser; Nutzung von Geoinformationen sowie Umwelt- und Geomonitoring-Daten; Bearbeitung von Gruben-/Grundwasserthemen bearbeiten; Grund- und Grubenwasser reinigen; Schadstoff-Analysen und -aufbereitungsfragen; Aufbau von Infrastrukturen für die Ver- und Entsorgung; Effizienz der Wassernutzung steigern; Ökosysteme schützen.

#### **SDG 7 Bezahlbare und saubere Energie**

Nutzung von Erdwärme/Geothermie und Wasserstoff; Reaktivierung von Flächen für die Produktion regenerativer Energien; Inwertsetzung energetischer Potentiale aus der Produktionskette von Rohstoffen (Grubenwasser und -wärme, Methan etc.); Minimierung der Umwelteinflüsse aus der Energiegewinnung; Zugang zu Energiedienstleistungen sichern; Energieversorgung für lokale Kommunen übernehmen; Kopplung der Sektoren Strom, Wärme und Mobilität vorantreiben.

#### **SDG 8 Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum**

Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Umweltbelastungen; Schaffung von Transparenz bei den Lieferketten; Zwangs- und Kinderarbeit beenden; Bereitstellung von Verfahren für die nachhaltige Nutzung von Georessourcen; Optimierung von Prozessen in der Rohstoffwirtschaft; neue, gute Jobs mit Perspektive schaffen; Einbeziehung von Betroffenen in die Veränderungsprozesse; Partizipation verbessern; Arbeitsrechte stärken.

#### **SDG 9 Industrie, Innovation und Infrastruktur**

Ausbau von Wissenschaft, Forschung und Forschungsk Kooperationen; Reaktivierung und Transition beachten; Gestaltung des Strukturwandels; innovative Untersuchungsmethoden im Nachbergbau etablieren; Firmengründungen (Produkte, Dienstleistungen etc.) fördern; qualifizierte Labore fördern; verlässliche Infrastrukturen aufbauen und stärken; einheimische Technologieentwicklungen und Wertschöpfungen fördern; Vermeidung von CO<sub>2</sub>- und CH<sub>4</sub>-Emissionen; Förderung klimaneutraler Prozesse.

#### **SDG 10 Weniger Ungleichheiten**

Verbesserung des Marktzugangs für die Produkte aus Ländern des globalen Südens; Schaffung von Transparenz im Rahmen von Forschungsk Kooperationen und Wissenstransfer; soziale und wirtschaftliche Inklusion fördern; Mitsprache bei Entscheidungsfindungen in globalen Institutionen verbessern; Arbeitsplätze für die lokale Bevölkerung schaffen; anständige Bezahlung und soziale Absicherung gewährleisten.

#### **SDG 11 Nachhaltige Städte und Gemeinden**

Maßnahmen im Rahmen von Reaktivierung und Transition; Umwelt- und Geomonitoring betreiben; Umgang mit der Ressource Wasser optimieren; Mikroklima beobachten; nachhaltiger Umgang in der Nutzung von Georessourcen; Kreislaufwirtschaft fördern; Grundwasserschutz verbessern; Umweltbelastungen senken; Bodenbe-

ter resources; monitor microclimate; sustainable georesource management and use; promote circular economy; improve groundwater protection; reduce environmental pollution; minimize ground movements; avoid and regulate mining damage in an orderly manner; make mining legacies reusable in a timely manner; minimize risks to surface safety; create new perspectives in the post-mining phase.

### **SDG 12 Sustainable consumption and production**

Create transparency in supply chains; improve communication; highlight importance of mining raw materials within the circular economy; optimize re-use of tailings and dump materials; plan and organize post-mining phase; organize sustainable management and use of georesources; handle waste materials in an environmentally sound manner; keep social and environmental risks low; plan operating facilities and take into account extreme weather events; carry out raw material processing close to the extraction site; optimize logistics chains; optimize extraction, production and processing from a sustainability perspective; reduce footprint; pursue urban mining; manage decarbonization.

### **SDG 13 Climate action**

Conduct environmental- and geomonitring; prevent CH<sub>4</sub> leakage through active use for power and heat generation; mitigate extreme weather events through use of mining infrastructure; avoid land degradation; undertake reforestation; keep CO<sub>2</sub> sequestration and underground storage in view; generate CO<sub>2</sub> reduction; initiate processes for climate-neutral resource extraction.

### **SDG 14 Life below water**

Reduce discharge of polluted mine water into receiving waters; provide water treatment measures; sustainable extraction of georesources in the marine environment; conduct environmental- and geomonitring; protect ecosystems; plan use of submarine deposits (marine mining) with environmental costs in mind; keep an eye on the post-mining phase.

### **SDG 15 Life on land**

Plan reactivation of mining areas with high standards and implement in a timely manner; consider subsequent use of infrastructure; organize stakeholder participation; improve understanding of ecosystems; optimize water management in mining, e.g., in polder areas; counteract soil degradation; preserve biodiversity; reforestation; develop final disposal of highly radioactive waste in a transparent manner.

### **SDG 16 Peace, justice and strong institutions**

Create transparency regarding the provision and use of georesources; strengthen participation; promote skills development; end human exploitation; strengthen communication; promote rule of law; counter corruption; provide access to raw materials and resources.

### **SDG 17 Partnerships for the goals**

Enter into research collaborations; form networks; intensify communication; organize knowledge transfer; improve col-

wegungen minimieren; Bergschäden vermeiden und geordnet regulieren; bergbauliche Hinterlassenschaften zeitnah wiedernutzbar machen; Risiken für Sicherheit der Tagesoberfläche minimieren; neue Perspektiven in der Nachbergbau-Phase schaffen.

### **SDG 12 Nachhaltiger Konsum und Produktion**

Schaffung von Transparenz in den Lieferketten; Kommunikation intensivieren; Bedeutung bergbaulicher Rohstoffe innerhalb der Kreislaufwirtschaft herausstellen; Optimierung in der Nachnutzung von Aufbereitungsabgängen und Haldenmaterialien; Nachbergbau-Phase planen und organisieren; nachhaltige Bewirtschaftung und Nutzung von Georessourcen organisieren; umweltverträglicher Umgang mit Abfallstoffen; soziale und ökologische Risiken klein halten; Planung von Betriebsanlagen unter Berücksichtigung von Extremwetterereignissen; Rohstoffverarbeitung in der Nähe des Gewinnungsorts vornehmen; Optimierung der Logistikketten; Gewinnungs-, Produktions- und Aufbereitungsverfahren unter Nachhaltigkeitsaspekten optimieren; Fußabdruck verkleinern; Urban Mining verfolgen; Decarbonisierung steuern.

### **SDG 13 Maßnahmen zum Klimaschutz**

Umwelt- und Geomonitring betreiben; Vermeidung von CH<sub>4</sub>-Austritten durch aktive Nutzung zur Strom- und Wärmegewinnung; Abmilderung von Extremwetterereignissen durch Nutzung bergbaulicher Infrastrukturen; Degradation von Flächen vermeiden; Aufforstungen vornehmen; CO<sub>2</sub>-Sequestrierung und untertägige Speicherung im Blick halten; CO<sub>2</sub>-Senken generieren; Prozesse zur klimaneutralen Rohstoffgewinnung initiieren.

### **SDG 14 Leben unter Wasser**

Reduktion der Einleitung belasteter Grubenwässer in die Vorflut; Aufbereitungsmaßnahmen vorsehen; nachhaltige Gewinnung von Georessourcen im marinen Milieu; Umwelt- und Geomonitring betreiben; Schutz von Ökosystemen; Nutzung unterseeischer Lagerstätten (Meeresbergbau) mit Umweltkosten planen; nachbergbauliche Phase im Blick halten.

### **SDG 15 Leben an Land**

Reaktivierung von Bergbauflächen mit hohen Standards planen und zeitnah umsetzen; Folgenutzung von Infrastrukturen bedenken; Partizipation der Stakeholder organisieren; Prozessverständnis bei Ökosystemen verbessern; Optimierung des Wassermanagements im Bergbau, z.B. in Polderflächen; Bodendegradation entgegenwirken; biologische Vielfalt erhalten; Flächen aufforsten; Endlagerung hochradioaktiver Abfälle transparent entwickeln.

### **SDG 16 Frieden, Gerechtigkeit und starke Institutionen**

Schaffung von Transparenz bezüglich der Bereitstellung und Nutzung von Georessourcen; Partizipation stärken; Qualifizierung fördern; Ausbeutung von Menschen beenden; Kommunikation stärken; Rechtsstaatlichkeit fördern; Korruption entgegenwirken; Zugang zu Rohstoffen und Ressourcen ermöglichen.

### **SDG 17 Partnerschaften zur Erreichung der Ziele**

Forschungskooperationen eingehen; Netzwerke bilden; Kommunikation intensivieren; Wissenstransfer organisieren; Zusammenarbeit in Wissenschaft, Innovation und Technologieentwicklung

laboration in science, innovation and technology development; promote skills development; increase market access; design partnership-based business models; develop quality criteria for organizing partnerships and establish measurable criteria; intensify participation.

The analysis shows a considerable range of options for action regard the opportunities and risks as well as the challenges of the mining life cycle. To develop a narrative for mining, the three fundamental aspects of a sustainable process – ecological, social and economical – will need to be considered. The following section provides a summary of the main points.

### **Ecology**

During the entire life cycle of a mine, i.e. from exploration through the production phase to closure and reclamation, a variety of impacts on soil, water and air can be observed. Methane, a greenhouse gas found in coal and lignite, oil and natural gas, is released. Dumps and industrial tailings ponds take up land and can lead to substance inputs into groundwater and surface water. Surface facilities cause soil sealing. The extraction of georesources in the subsurface or on the surface also interferes with the natural groundwater balance or can lead to permanent alteration of water bodies. These impacts do not end with the cessation of mining, but also influence the post-mining phase to a considerable extent. Among other things, this raises the question of how sustainable processes can be organized in the course of the remediation and restructuring of mining facilities when perpetual tasks are at issue. In this context, the resource water is of particular importance.

An adapted monitoring program in connection with risk management permanently improves the understanding of processes taking place. This also increases the certainty of forecasts and develops knowledge essential for binding, reliable and trustworthy communication with stakeholders, including those affected (11).

### **Social**

Sustainable use of georesources is an important prerequisite for the acceptance of future resource extraction, also in Germany. Transparent communication of the ecological, social and economic impacts, as well as broad public approval, are key prerequisites for the social license to operate, i.e. social acceptance. This also applies to the post-mining phase, since successful structural change is an essential ingredient for acceptance of measures.

Mining processes often exhibit enormous spatiotemporal dynamics that can only be communicated to the public through a holistic approach. In other words, communication must find comprehensible, clear and credible arguments for all aspects of the mine life cycle. This also includes a very early look at issues of transition and reactivation of areas used for mining. Successful structural change can only be achieved with the involvement of all stakeholders and the assessment of the socio-ecological and socio-economic framework conditions.

### **Economics**

The authors are aware of the complexity of mining processes. Central aspects are the location-dependency of deposit sites and

verbessern; Qualifizierung fördern; Marktzugänge erhöhen; partnerschaftliche Geschäftsmodelle gestalten; Qualitätskriterien für die Organisation von Partnerschaften entwickeln und messbare Kriterien festlegen; Partizipation intensivieren.

Die Auflistung offenbart im Hinblick auf die Chancen und Risiken sowie die Herausforderungen des bergbaulichen Lebenszyklus eine erhebliche Bandbreite an Handlungsoptionen. Zur Entwicklung eines Narrativs für den Bergbau sollen zusätzlich die drei fundamentalen Gesichtspunkte eines nachhaltigen Prozesses, also Ökologie, Soziales und Ökonomie, in den Blick genommen werden. Im Sinne einer Synthese ergeben sich folgende Gedankenansätze:

### **Ökologie**

Während des gesamten Lebenszyklus eines Bergwerks, also von der Exploration über die Produktionsphase bis zur Stilllegung und Verwahrung, sind vielfältige Auswirkungen auf Boden, Wasser und Luft zu konstatieren. Das Treibhausgas Methan, welches in Stein- und Braunkohlen, Erdöl und Erdgas vorkommt, wird freigesetzt. Halden und industrielle Absetzbecken nehmen Land in Anspruch und können zu Stoffeinträgen in Grund- und Oberflächenwasser führen. Anlagen an der Tagesoberfläche bewirken eine Bodenversiegelung. Die Gewinnung von Georessourcen im Untergrund oder an der Tagesoberfläche greift außerdem in den natürlichen Grundwasserhaushalt ein bzw. kann zu einer permanenten Veränderung von Wasserkörpern führen. Diese Einwirkungen enden nicht mit der Einstellung des Abbaus, sondern beeinflussen auch die Nachbergbauphase in erheblichem Ausmaß. Hier stellt sich u.a. die Frage, wie nachhaltige Prozesse im Zug der Verwahrung und Restrukturierung von bergbaulichen Anlagen organisiert werden können, wenn Ewigkeitsaufgaben in Rede stehen. In diesem Kontext ist insbesondere die Ressource Wasser von Bedeutung.

Durch ein angepasstes Monitoringprogramm wird in Verbindung mit einem Risikomanagement das Verständnis der sich vollziehenden Prozesse permanent verbessert. Damit erhöht sich auch die Sicherheit von Prognosen und es entwickelt sich eine Wissensbasis, die für die verbindliche, verlässliche und vertrauensvolle Kommunikation mit den Stakeholdern, also auch den Betroffenen, unerlässlich ist (11).

### **Soziales**

Eine nachhaltige Nutzung von Georessourcen ist eine wichtige Voraussetzung für die Akzeptanz der zukünftigen Gewinnung, auch in Deutschland. Transparenz und Kommunikation zu den ökologischen, sozialen und ökonomischen Effekten sowie eine breite Zustimmung in der Öffentlichkeit sind die zentralen Voraussetzungen für die Social Licence to Operate, also der gesellschaftlichen Akzeptanz. Dies trifft auch auf die Nachbergbauphase zu, denn ein erfolgreicher Strukturwandel nach der Beendigung des Bergbaus benötigt die Akzeptanz der umzusetzenden Maßnahmen.

Bergbauliche Prozesse weisen häufig eine enorme raumzeitliche Dynamik auf, die der Öffentlichkeit nur durch eine holistische Herangehensweise zu vermitteln ist. Mit anderen Worten, die Kommunikation muss für alle Aspekte des bergbaulichen Lebenszyklus nachvollziehbare, klare und glaubwürdige Argumentationen finden. Dazu gehört auch der sehr frühzeitige Blick auf Fragestellungen der Transition und der Reaktivierung bergbaulich genutzter Areale. Ein erfolgreicher Strukturwandel kann nur unter intensiver



the question of legal availability. Forecasts document mining risk regarding the nature and creditworthiness of the deposit and the long-term nature of the life cycle with low certainty. Reference should also be made here to the ultimately almost non-existent flexibility of primary production industry branches. These remarks could be continued at will. It should be noted that the above-mentioned risks need to be adequately hedged. Sociopolitical debates need to discuss whether such risks only apply to economic dimensions or whether there are other incentives to take up mining activities in the future. Does the attempt to locally overcome the Saint Florian principle (nimby-attitude) with regard to raw material projects relevant to society as a whole seem too ambitious? A debate about the necessary preconditions shall be supported by this paper.

Beyond the consideration of the three central aspects, it should be noted that mining processes can only be designed sustainably if the responsible individuals are qualified and educated. In this respect, the proven system of close links between research and teaching must be continued. This also applies to the permanent exchange between practice and science on the basis of existing national and international platforms. These include professional organizations as well as specialist committees and standardization institutions.

As part of the transformation, science is tasked with helping further develop knowledge of the public and to shape the narratives for mining companies. This includes taking up on-the-ground projects and presenting their significance in the context of society as a whole. In the anthology edited by Parra, Lewis and Ali (5), an evidence-based analysis of the linkages between mining and the SDGs is pursued. Through the supporting and inhibiting factors discussed in 17 individual chapters, it aims to advance the general discourse and defuse polarizing positions between policymakers and industry.

From the point of view of corporate practice, one might conclude that the sustainability paradigm has not yet been a great success. This view is the basis of the analysis by Blühdorn et al. (12), in which a team of authors takes a critical look at the status of the transformation process. They criticize the fact that sustainability policy is not empirically concerned with conditions and changes in the environment, but more with the concerns and fears of social actors. The word "hope narrative" is used to express skepticism about its broad effectiveness of transformation. In the opinion of the authors of this paper, this assessment falls short with regard to the use of georesources. The intersection of "sustainability," "increasing transparency in supply chains," and the "circular economy" creates considerable opportunities for the raw materials sector that should not remain unexamined.

### Supply chain transparency

The Supply Chain Act (Gesetz über die unternehmerischen Sorgfaltspflichten zur Vermeidung von Menschenrechtsverletzungen in Lieferketten – Lieferkettensorgfaltspflichten-gesetz – LkSG) – was published on 16th July 2021 (13) and will enter into on 1st January 2023. The aim of the law is to improve the protection of human rights in global supply chains, including the prohibition of child and forced labor (14). The act

Einbindung aller Stakeholder und der Bewertung der sozioökologischen und -ökonomischen Rahmenbedingungen gelingen.

### Ökonomie

Den Autoren ist die besondere Komplexität bergbaulicher Prozesse bewusst. Zentrale Aspekte sind ihre Standortgebundenheit an den Ort der Lagerstätte und die Frage der rechtlichen Verfügbarkeit. Das bergbauliche Risiko dokumentiert sich in unsicheren Prognosen bezüglich der Beschaffenheit, der Bonität der Lagerstätte und der Langfristigkeit des Lebenszyklus. Hier ist auch auf die letztlich kaum vorhandene Flexibilität eines Wirtschaftszweigs in der Urproduktion zu verweisen. Diese Ausführungen ließen sich beliebig fortsetzen. Festzuhalten ist, dass die genannten Risiken einer angemessenen Absicherung bedürfen. Ob diese ausschließlich in ökonomischen Dimensionen zu betrachten ist oder ob es weitere Anreize für die Aufnahme bergbaulicher Tätigkeiten gibt oder in Zukunft geben könnte, sollte im Rahmen gesellschaftspolitischer Diskussionen erörtert werden. Erscheint der Versuch, die lokale Überwindung des Sankt-Florians-Prinzips (Nimby-attitude) im Hinblick auf gesamtgesellschaftlich relevante Rohstoffprojekte zu unternehmen, zu ambitioniert? Eine Debatte über die notwendigen Voraussetzungen soll durch diesen Beitrag unterstützt werden.

Über die Betrachtung der drei zentralen Aspekte hinaus ist im Übrigen festzuhalten, dass bergbauliche Prozesse nur nachhaltig gestaltet werden können, wenn die verantwortlichen Personen über eine qualifizierte Ausbildung verfügen. Insofern ist das bewährte System der engen Verknüpfung von Forschung und Lehre fortzuschreiben. Dies betrifft auch den permanenten Austausch zwischen Praxis und Wissenschaft auf der Basis der national wie international bestehenden Plattformen. Dazu gehören die berufsständischen Organisationen ebenso wie Fachgremien und Normungsinstitutionen.

Der Wissenschaft kommt im Rahmen der Transformation die Aufgabe zu, an der Weiterentwicklung der Informationsbasis für die Öffentlichkeit und der Gestaltung der Narrative für die Bergbauunternehmen mitzuwirken. Dazu gehört auch, Vorort-Projekte aufzugreifen und ihre Bedeutung im gesamtgesellschaftlichen Kontext darzustellen. Im von Parra, Lewis und Ali bearbeiteten Sammelband (5) wird eine evidenzbasierte Analyse der Verbindungen zwischen dem Bergbau und den SDG verfolgt. Durch die in 17 Einzelkapiteln behandelten unterstützenden und hemmenden Faktoren sollen der allgemeine Diskurs vorangebracht und polarisierende Positionen zwischen Politik und Industrie entschärft werden.

Aus Sicht der unternehmerischen Praxis mag man zu dem Schluss kommen, dass dem Nachhaltigkeitsparadigma bisher noch kein großer Erfolg beschieden war. Diese Auffassung ist Basis der Analyse von Blühdorn et al. (12), in der sich ein Autorenteam kritisch mit dem Stand des Transformationsprozesses auseinandersetzt. Es wird kritisiert, dass sich die Nachhaltigkeitspolitik nicht empirisch mit Zuständen und Veränderungen in der Umwelt befasst, sondern mehr mit den Sorgen und Ängsten gesellschaftlicher Akteure. Mit dem Wort „Hoffnungsnarrativ“ wird der Skepsis über dessen breite Wirksamkeit der Transformation Ausdruck verliehen. Nach Auffassung der Autoren des vorliegenden Beitrags greift diese Beurteilung im Hinblick auf die Nutzung von Georessourcen zu kurz. Aus der Verknüpfung der Themen „Nachhaltigkeit“, „Erhöhung der Transparenz in den Lieferketten“ und „Kreislaufwirtschaft“ resultieren erhebliche Chancen für die Rohstoffbranche, die nicht ungenutzt bleiben sollten.

also specifies the due diligence obligations of companies in Germany. These relate to the entire supply chain, i.e. from raw material to the final product. In this context, the requirements placed on companies are graded in terms of their ability to exert influence.

The adoption of the Supply Chain Act brings about a paradigm shift (15). This is aligned with the demand of NGOs to reform Germany's raw materials strategy and policy. It is lamented that raw material extraction far too often creates problems that cannot be solved by those affected alone. In this respect, raw material wealth can become a curse. In fact, there are numerous indications that human rights are violated and environmental damage is caused in the raw materials sector (16). These undesirable developments must be countered by greater diligence and transparency along the supply chains. By moving away from voluntary corporate social responsibility and toward binding requirements, due diligence and environmental obligations are being established and regulations enforced. These efforts are supported at the EU level by the Conflict Minerals Regulation, which came into force on 1st January 2021. Importers of tin, tantalum, tungsten and gold are now subject to specific due diligence and verification obligations along the supply chain (17). Reference should also be made here to the European Green Deal, which aims to promote resource-efficient measures and improve the participation of the population and regions (18).

The initiated processes should have an influence on society's overall perception of the global availability of raw materials. In fact, the general public hardly engages with its own consumption behavior and with questions about the origin of the raw materials in the products it consumes. As in other sectors of primary production, there is considerable alienation of the public regarding the context in which raw materials are extracted and processed. In the discussion about the energy and mobility turnaround, this attitude is particularly evident. Thus, a broad discussion about the availability of the required raw materials has hardly taken place so far. In this context, reference should be made to the work of the German Mining Network, which consists of eight competence centers for mining and raw materials at foreign chambers of commerce in important raw material nations (19), supported by the Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Protection (BMWi). Among other institutions, the THGA is a member of this network.

Creating transparency should be combined with improved communication efforts. In this way, a better public understanding can be generated for national and global challenges facing the extractive industries. The Extractive Industries Transparency Initiative (EITI) is a transparency initiative currently supported by 56 countries (20). Its objectives are to provide data for processes along the entire value chain of raw materials, to shape the dialogue on the use of revenues from the extractive sector and to contribute to better governance. By transposing the international standards into the national framework, the German government, together with experts from industry and associations, among others, already set the course in 2015 for improving transparency in the domestic mining sector as well

## Transparenz der Lieferketten

Das sogenannte Lieferkettengesetz – Gesetz über die unternehmerischen Sorgfaltspflichten zur Vermeidung von Menschenrechtsverletzungen in Lieferketten (Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz – LkSG) – wurde am 16. Juli 2021 im Bundesgesetzblatt veröffentlicht (13). Es tritt mit seinem wesentlichen Inhalt am 1. Januar 2023 in Kraft. Ziel des Gesetzes ist es, in den globalen Lieferketten den Schutz der Menschenrechte zu verbessern, was u. a. auch das Verbot von Kinder- und Zwangsarbeit einschließt (14). Die Sorgfaltspflichten von Unternehmen in Deutschland werden festgelegt. Diese beziehen sich auf die gesamte Lieferkette, also vom Rohstoff bis zum Endprodukt. Dabei sind die Anforderungen, die an die Unternehmen gestellt werden, im Hinblick auf ihr Einflussvermögen abgestuft.

Durch die Verabschiedung des Lieferkettengesetzes tritt gewissermaßen ein Paradigmenwechsel ein (15). Dieser verbindet sich mit der Forderung von NGOs nach einer Reform der deutschen Rohstoffstrategie und -politik. Es wird beklagt, dass der Rohstoffabbau viel zu häufig Probleme hinterlässt, die von den Betroffenen allein nicht gelöst werden können. Insofern kann Rohstoffreichtum zum Fluch geraten. Tatsächlich gibt es zahlreiche Hinweise darauf, dass im Rohstoffsektor Menschenrechte verletzt und Schäden in der Umwelt verursacht werden (16). Diesen Fehlentwicklungen gilt es, durch mehr Sorgfalt und Transparenz entlang der Lieferketten entgegenzuwirken. Mit der Abkehr von freiwilliger Corporate Social Responsibility und der Hinwendung zu verbindlichen Vorgaben werden Sorgfalts- und umweltbezogene Pflichten festgeschrieben und behördliche Durchsetzungen geregelt. Diese Bemühungen werden auf der EU-Ebene durch die am 1. Januar 2021 in Kraft getretene Konfliktmineralien-Verordnung unterstützt. Für die Importeure von Zinn, Tantal, Wolfram und Gold gelten damit spezifische Sorgfalts- und Prüfpflichten entlang der Lieferkette (17). Hier ist auch auf den europäischen Green Deal zu verweisen, der u. a. auf ressourceneffiziente Maßnahmen und eine Verbesserung der Partizipation der Bevölkerung und der Regionen ausgerichtet ist (18).

Die nun angestoßenen Prozesse sollten auf die gesamtgesellschaftliche Wahrnehmung der globalen Verfügbarkeit von Rohstoffen Einfluss haben. Tatsächlich setzt sich die breite Öffentlichkeit kaum mit dem eigenen Konsumverhalten und mit Fragen nach der Herkunft der Rohstoffe in den konsumierten Produkten auseinander. Wie auch in anderen Sektoren der Urproduktion ist eine erhebliche Entfremdung der Öffentlichkeit hinsichtlich der Rahmenbedingungen der Gewinnung und Verarbeitung von Rohstoffen festzustellen. Im Zusammenhang mit der Diskussion über die Energie- und Mobilitätswende wird diese Haltung besonders deutlich. So findet eine breite Auseinandersetzung über die Verfügbarkeit der benötigten Rohstoffe bisher kaum statt. In diesem Kontext ist auf die Arbeit des German Mining Network hinzuweisen, das aus acht Kompetenzzentren für Bergbau und Rohstoffe an Auslandshandelskammern in wichtigen Rohstoffnationen besteht, die vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWi) unterstützt werden (19). Neben weiteren Institutionen ist die THGA Mitglied in diesem Netzwerk.

Die Schaffung von Transparenz sollte sich mit kommunikativen Anstrengungen verbinden. Auf diesem Weg kann mehr Verständnis in der Öffentlichkeit für nationale wie globale Herausforderungen der Rohstoffbranche erzeugt werden. In diesem Zusammenhang ist auf die Aktivitäten der Extractive Industries Transparency

(21). In its current contribution on the topic of “raw materials”, the BMWi explicitly highlights the advantages of domestic extraction of raw materials. It is more ecological, safer (occupational health and safety) and more participatory (local jobs) (22). The declared aim of the German government is to bring national mining in line with the 17 SDGs and to align the entire raw materials sector with the circular economy (23). This position is supported by a discussion paper from the raw materials specialist group of Scientists for Future (24). It proposes strengthening domestic mining with regard to critical raw materials and addresses responsible mining and the promotion of the circular economy.

### Circular Economy

The concept of the circular economy is based on closed cycles in the development, production, use and disposal of products (25). The entire life cycle of a product, its value creation process and its benefits for consumers are considered. In contrast to the current linear economic model, economic growth in a circular economy is ideally not based on the use of primary raw materials, but still creates room for innovation and economic development. Such an economic system can also be considered sustainable in light of the 17 SDGs. The process of circular value creation and its elements is illustrated by Figure 5.

The importance of the circular concept for mining and the raw materials economy is obvious. However, it is important to note that primary raw materials are also needed within this economic model. The proportion of raw materials produced by mining is likely to vary greatly from product to product. In this respect, the comprehensive description of different life cycle stages of individual products is indispensable. At this point, a variation of the well-known saying, “If you can’t grow it or reuse it, you have to mine it,” fits.

A look at the arguments of the skeptics of the concept of circular value creation reveals several points (27). The example of the raw material sand shows that, among other things, the final product concrete is essentially dependent on a “fresh” aggregate. Also, applicable technical and safety regulations are

Initiative (EITI) hinzuweisen (20). Diese Transparenzinitiative wird aktuell von 56 Staaten getragen. Ihre Ziele bestehen darin, für die Prozesse entlang der gesamten Wertschöpfung von Rohstoffen Daten bereitzustellen, den Dialog über die Verwendung von Einnahmen aus dem Rohstoffsektor zu gestalten und einen Beitrag zur guten Regierungsführung zu leisten. Mit der Umsetzung der internationalen Standards in den nationalen Rahmen hat die Bundesregierung bereits im Jahr 2015 gemeinsam mit Experten u.a. aus der Wirtschaft und aus Verbänden Weichen für eine Erhöhung der Transparenz auch im heimischen Bergbau gestellt (21). In seinem aktuellen Beitrag zum Thema „Rohstoffe“ stellt das BMWi ausdrücklich die Vorteile der heimischen Gewinnung von Rohstoffen heraus. Sie ist ökologischer, sicherer (Arbeitsschutz) und partizipativer (lokale Arbeitsplätze) (22). Erklärtes Ziel der Bundesregierung ist es, den nationalen Bergbau mit den 17 SDGs in Einklang zu bringen und die gesamte Rohstoffbranche auf die Kreislaufwirtschaft abzustimmen (23). Diese Position unterstützt ein Diskussionspapier der Fachgruppe Rohstoffe von Scientists for Future (24). Darin werden im Hinblick auf kritische Rohstoffe die Stärkung des heimischen Bergbaus vorgeschlagen sowie ein verantwortlicher Bergbau (Responsible Mining) und die Förderung der Kreislaufwirtschaft thematisiert.

### Zirkuläre Wertschöpfung

Das Konzept der zirkulären Wertschöpfung (Circular Economy) orientiert sich an geschlossenen Kreisläufen bei der Entwicklung, Fertigung, Nutzung und Entsorgung von Produkten (25). Betrachtet werden der gesamte Lebenszyklus eines Produkts, dessen Wertschöpfungsprozess sowie dessen Nutzen für die Verbraucher. Im Gegensatz zum aktuellen linearen Wirtschaftsmodell basiert das wirtschaftliche Wachstum in einer zirkulären Wirtschaft im Idealfall nicht auf dem Einsatz von Primärrohstoffen, schafft aber dennoch Raum für Innovationen und wirtschaftliche Entwicklung. Ein derartiges Wirtschaftssystem kann auch vor dem Hintergrund der 17 SDGs als nachhaltig betrachtet werden. Der Prozess der zirkulären Wertschöpfung und seiner Elemente wird durch Bild 5 veranschaulicht.

Die Bedeutung des zirkulären Konzepts für den Bergbau und die Rohstoffwirtschaft ist offenkundig. Allerdings gilt es darauf hinzuweisen, dass primäre Rohstoffe auch innerhalb dieses Wirtschaftsmodells benötigt werden. Der Anteil der bergbaulich produzierten Rohstoffe dürfte von Produkt zu Produkt sehr unterschiedlich sein. Insofern ist die umfassende Beschreibung der Lebenszyklen der einzelnen Produkte unabdingbar. An dieser Stelle passt eine Abwandlung des bekannten Spruchs: “Wenn man es nicht anbauen oder wiederverwenden kann, muss man es abbauen”.

Der Blick auf die Argumentationen der Skeptiker des Konzepts der zirkulären Wertschöpfung offenbart aufschlussreiche Aspekte (27). So lässt sich am Beispiel des Rohstoffs Sand zeigen, dass es u.a. bei dem Produkt Beton ganz wesentlich um den Bedarf an einem „frischen“ Zuschlagstoff geht. Auch geltende technisch-sicherheitsliche Regularien sind kaum abgestimmt auf den umfassenderen Einsatz recycelter Materialien, deren Qualitätseigenschaften un zertifiziert sind. Betrachtet man das Rohstoffvorkommen Elektroschrott, so ist festzustellen, dass die Konzentrationen bestimmter Elemente in natürlichen Lagerstätten deutlich grösser sind. Tatsächlich wird das Argument der Umweltverträglichkeit des Prozesses häufig als



Fig. 5. Circular Economy (26). // Bild 5. Zirkuläre Wertschöpfung (26).

hardly adapted to the more extensive use of recycled materials whose quality properties are uncertified. A look at the raw material deposit of e-waste shows that concentrations of certain elements are significantly greater in natural deposits. The environmental compatibility argument of the process is often assumed to be inherent in the system, but lacks concrete proof. With regard to Germany as a major exporting nation, it should be noted that the raw materials present in exported goods have left the closed loop and are no longer available to balance circular value creation.

This is also where the question of the so-called rebound effect comes into play. According to this effect, a reduction in manufacturing costs of a product – which would ultimately have to result from circularity – increases consumption. It is therefore also interesting to better understand the wishes and reactions of consumers. There is a risk that the technical view of circular value creation is misaligned with consumer preferences (27).

The strategy of circular value creation must be seen as a consistent response to the new sustainability paradigm. The transformation process associated with this is particularly challenging due to the holistic nature of the circular economy. Thus, fact-based thinking in terms of opportunities and risks, constant observation of the processes taking place, and the creation of transparency through communication with all stakeholders is also crucial for this concept.

## Conclusions

A world population of almost 8 bn people and their right to decent living conditions pose enormous challenges for the use of georesources. Dealing with climate change, the energy and mobility transition as well as the digitalization will change the composition and scope of the raw materials mix. The provision of these resources must be guided by the Sustainable Development Goals formulated in the UN Agenda 2030. Otherwise, the alienation of consumers from mining as an essential element of primary production that exists today would be further reinforced. The associated loss of the social license to operate must be effectively countered under all circumstances in the interests of the financing and feasibility of mining projects.

The key for the extractive industry is to actively address the implementation of the 17 SDGs, which cover many aspects of mining. The opportunity-risk potential of mining projects must be managed over the entire life cycle, accompanied by appropriate geomonitoring programs and made transparent through binding communication with stakeholders.

Sustainability is also a key part of supply chain transparency for a wide variety of raw materials and products, as well as in the design of processes for circular value creation. Companies and institutions involved in the provision of georesources will have to become involved in these developments. This requires a narrative for mining that convincingly expresses its active efforts toward sustainability, transparency and communication. In the future, corporate responsibility will include a broader group of stakeholders in addition to shareholders. Mining could thus assume the role of a provider of raw materials that the world can count on to tackle global challenges.

systemimmanent unterstellt, es fehlt aber an einem konkreten Nachweis. Mit Blick auf Deutschland als großer Exportnation ist für die Bilanz der zirkulären Wertschöpfung festzuhalten, dass die in den exportierten Produkten vorhandenen Rohstoffe den geschlossenen Kreislauf verlassen haben und nicht mehr verfügbar sind.

Hier macht sich auch die Frage nach dem sogenannten Rebound-Effekt fest. Danach resultiert eine Verringerung der Herstellungskosten eines Produkts – dazu müsste in letzter Konsequenz die Zirkularität führen – in einem erhöhten Verbrauch. Interessant ist deshalb auch die Frage nach den Wünschen und Reaktionen der Konsumenten. Möglicherweise verstellt die Sichtweise auf die technischen Aspekte der zirkulären Wertschöpfung den Blick auf den Menschen und dessen Wünsche und Anforderungen (27).

Die Strategie der zirkulären Wertschöpfung muss als konsequente Reaktion auf das Nachhaltigkeitsparadigma gewertet werden. Der hiermit verbundene Transformationsprozess ist insbesondere auch wegen des holistischen Charakters der Kreislaufwirtschaft herausfordernd. Damit ist auch für dieses Konzept das faktenbasierte Denken in Chancen und Risiken, die beständige Beobachtung der ablaufenden Prozesse und die Schaffung von Transparenz durch Kommunikation mit allen Stakeholdern entscheidend.

## Fazit

Eine Weltbevölkerung von fast 8 Mrd. Menschen und deren Recht auf menschenwürdige Lebensumstände bedeuten für die Nutzung von Georessourcen enorme Herausforderungen. Der Klimawandel, die Energie- und Mobilitätswende sowie die Digitalisierung werden den Rohstoffmix in seiner Zusammensetzung und seinem Umfang verändern. Die Bereitstellung dieser Ressourcen muss sich an den in der Agenda 2030 der UN formulierten Ziele der nachhaltigen Entwicklung orientieren. Anderenfalls würde sich die heute vorhandene Entfremdung der Konsumenten vom Bergbau als einem wesentlichen Element der Urproduktion weiter verstärken. Dem damit verbundenen Verlust der Social License to Operate muss im Interesse der Finanzier- und Durchführbarkeit bergbaulicher Projekte unter allen Umständen wirksam begegnet werden.

Der Schlüssel für die Rohstoffbranche findet sich in der aktiven Befassung mit den Handlungsfeldern zur Umsetzung der 17 Ziele der nachhaltigen Entwicklung, die vielfältige Aspekte des Bergbaus adressieren. Das Chancen-Risiken-Potential bergbaulicher Projekte muss dazu über den gesamten Lebenszyklus gehandhabt, durch angepasste Geomonitoring-Programme begleitet und durch eine verbindliche Kommunikation mit den Stakeholdern transparent gemacht werden.

Die verstärkte Berücksichtigung von Nachhaltigkeit dokumentiert sich auch in der Schaffung von Transparenz der Lieferketten für verschiedenste Rohstoffe und Produkte sowie in der Gestaltung von Prozessen zur zirkulären Wertschöpfung. Die mit der Bereitstellung von Georessourcen befassten Unternehmen und Institutionen werden sich in diese Entwicklungen einbringen müssen. Dazu bedarf es der Entwicklung eines Narrativs für den Bergbau, das dessen aktives Bemühen um Nachhaltigkeit, Transparenz und Kommunikation überzeugend zum Ausdruck bringt. Die Positionierung der Unternehmen würde zukünftig neben der Verantwortung für die Shareholder auch die für die Stakeholder umfassen. Der Bergbau könnte damit die Rolle eines Anbieters von Rohstoffen übernehmen, auf welche die Welt bei der Bewältigung globaler Aufgaben zählen kann.

## References / Quellenverzeichnis

- (1) Martens, J.; Obenland, W. (2017): Die Agenda 2030. Globale Zukunftsziele für nachhaltige Entwicklung. Online: [https://www.globalpolicy.org/sites/default/files/Agenda\\_2030\\_online.pdf](https://www.globalpolicy.org/sites/default/files/Agenda_2030_online.pdf), zuletzt aufgerufen am 27.11.2021.
- (2) Lexikon der Nachhaltigkeit: Brundtland Bericht, 1987. Online: [https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/brundtland\\_report\\_563.htm](https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/brundtland_report_563.htm), zuletzt aufgerufen am 27.11.2021.
- (3) Die Millenniums-Entwicklungsziele (Millennium Development Goals, MDG) (2009). Online: <https://reset.org/die-millenniums-entwicklungsziele-millennium-development-goals-mdg/>, zuletzt aufgerufen am 27.11.2021.
- (4) Ernst & Young (EY) (2020): Top 10 business risks and opportunities – 2020. URL: [https://www.ey.com/en\\_gl/mining-metals/10-business-risks-facing-mining-and-metals](https://www.ey.com/en_gl/mining-metals/10-business-risks-facing-mining-and-metals), zuletzt aufgerufen am 28.12.2021.
- (5) Cristian Parra, C.; Lewis, B.; Ali, S. H. (Hrg.) (2021): Mining, Materials, and the Sustainable Development Goals (SDGs) 2030 and Beyond. Taylor & Francis Group, LLC, 240 S.
- (6) Georg Agricola, G.: Vom Berg- und Hüttenwesen. Deutscher Taschenbuch Verlag, München, 1977, 610 S.
- (7) Goerke-Mallet, P.; Rudolph, T.; Brune, J. F.; Kretschmann, J. (2020): Die Bedeutung der Social Licence to Operate für den bergbaulichen Lebenszyklus. In: Mining Report Glückauf (156), Heft 4, S. 323–332.
- (8) Bundesregierung (2021): Nachhaltigkeitsziele verständlich erklärt. Online: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/nachhaltigkeitspolitik/nachhaltigkeitsziele-verstaendlich-erklart-232174> und <https://sdgs.un.org/goals>, zuletzt aufgerufen am 18.12.2021.
- (9) Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung BMZ: Agenda 2030. Die globalen Ziele für nachhaltige Entwicklung. Online: <https://www.bmz.de/de/agenda-2030>, zuletzt aufgerufen am 18.12.2021.
- (10) The Geological Society: Geowissenschaften für die Zukunft. Online: <https://www.geolosc.org.uk/Posters>, zuletzt aufgerufen am 19.12.2021.
- (11) Rudolph, T., Goerke-Mallet, P. (2021): Steigerung der gesellschaftlichen Akzeptanz im Management von Tailings-Storage-Facilities (TSF). In: GeoResources Zeitschrift 3/2021, S. 35–40. Online: <https://www.georesources.net/images/Sonderdrucke/Steigerung-der-gesellschaftlichen-Akzeptanz-im-Management-von-Tailings-Storage-Facilities-GeoResources-Sonderdruck.pdf> und <https://www.georesources.net/images/Sonderdrucke/Increasing-social-Acceptance-in-the-Management-of-Tailings-Storage-Facilities-GeoResources-Special-Edition.pdf>
- (12) Blühdorn, I. et al. (2020): Nachhaltige Nicht-Nachhaltigkeit. Warum die ökologische Transformation der Gesellschaft nicht stattfindet. 2. Auflage, transcript Verlag Bielefeld. ProQuest Ebook Central, 346 S.
- (13) Buzer.de Bundesrecht. Online: <https://www.buzer.de/LkSG.htm>, zuletzt aufgerufen am 18.12.2021.
- (14) Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung BMZ (2021): Das Lieferkettengesetz ist da. Online: <https://www.bmz.de/de/entwicklungspolitik/lieferkettengesetz>, zuletzt aufgerufen am 30.11.2021.
- (15) Initiative Lieferkettengesetz.de (2021): Was das neue Lieferkettengesetz liefert – und was nicht. Online: [https://www.germanwatch.org/sites/default/files/Initiative-Lieferkettengesetz\\_Analyse\\_Was-das-neue-Gesetz-liefert\\_o.pdf](https://www.germanwatch.org/sites/default/files/Initiative-Lieferkettengesetz_Analyse_Was-das-neue-Gesetz-liefert_o.pdf), zuletzt aufgerufen am 18.12.2021.
- (16) Extractive Industries Transparency Initiative EITI (2021): Was nützt (D)EITI? Die Transparenzinitiative über Rohstoffabbau in Deutschland auf dem Prüfstand. Online: <https://www.forumue.de/was-nuetzt-d-eiti-die-transparenzinitiative-ueber-rohstoffabbau-in-deutschland-auf-dem-pruefstand/>, zuletzt aufgerufen am 28.12.2021.
- (17) IHK Düsseldorf (2021): EU-Konfliktmineralien-Verordnung. Online: <https://www.duesseldorf.ihk.de/aussenwirtschaft/aktuelles/eu-konfliktmineralien-verordnung-5078304>, zuletzt aufgerufen 18.12.2021.
- (18) Europäische Kommission: Umsetzung des europäischen Grünen Deals. Online: [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal\\_de](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_de) und [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en), zuletzt aufgerufen am 20.12.2021.
- (19) German Mining Network: Internationale Bergbau- und Rohstoffkompetenz für deutsche Unternehmen. Online: <https://germanmining.net/>, zuletzt aufgerufen am 20.12.2021.
- (20) Extractive Industries Transparency Initiative EITI (2021): The global standard for the good governance of oil, gas and mineral resources. Online: <https://eiti.org/>, zuletzt aufgerufen 18.12.2021.
- (21) Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz BMWi (2021): Transparenz in der rohstoffgewinnenden Industrie. Online: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/gewinnung-heimischer-rohstoffe-transparenz-06.html>, zuletzt aufgerufen am 28.12.2021.
- (22) Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2021): Rohstoffe. Bergbau, Recycling, Ressourceneffizienz – wichtig für Wohlstand und Arbeitsplätze [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/rohstoffe-bergbau-recycling-ressourceneffizienz.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=18](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/rohstoffe-bergbau-recycling-ressourceneffizienz.pdf?__blob=publicationFile&v=18), zuletzt aufgerufen am 28.12.2021
- (23) Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2019): Rohstoffstrategie der Bundesregierung Sicherung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung Deutschlands mit nichtenergetischen mineralischen Rohstoffen. Online: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/rohstoffstrategie-bundesregierung.html>, zuletzt aufgerufen am 18.12.2021.
- (24) Ganswind, F.; Neumann, M.; Diedel, R.; Engelbrecht, H.; Junge, M.; Masurenko, C. (2021): Positionen zu einer nachhaltigen Rohstoffstrategie Deutschlands. Diskussionspapier der Fachgruppe Rohstoffe von Scientists for Future (S4F). 4 S., doi:10.5281/zenodo.5768187
- (25) Prosperkolleg (2021): Was ist zirkuläre Wertschöpfung. Online: <https://prosperkolleg.de/was-ist-zirkulaere-wertschoepfung/>, zuletzt aufgerufen am 17.12.2021.
- (26) Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes NRW: Perspektive auf die wertschöpfungskette/ Zirkuläre Wertschöpfung. Online: <http://www.zirkulaere-wertschoepfung-nrw.de/Zirkul%C3%A4re-Wertsch%C3%B6pfung/Perspektive-auf-die-Wertsch%C3%B6pfungskette/> und <https://www.europarl.europa.eu/committees/de/circular-economy-action-plan-/product-details/20201106CDTO4441>, zuletzt aufgerufen am 19.12.2021.
- (27) Loviscach, J. (2020): Zirkuläre Wertschöpfung: Wo knirscht es? Online: <https://www.youtube.com/watch?v=yrtTioN2RdQ>, zuletzt aufgerufen am 17.12.2021.

## Authors / Autoren

Prof. Dr.-Ing. Peter Goerke-Mallet, Prof. Dr. rer. nat. Christian Melchers, Forschungszentrum Nachbergbau (FZN), Technische Hochschule Georg Agricola (THGA), Bochum