

Targeting a Low-Carbon Economy Using China as an Example: The Pros & Cons of a Shift from Coal to Renewables

Climate neutrality is a global goal that requires the high integration and use of renewable energies to ensure such a transition. In this regard, China in particular, as the largest mining country in the world, is at the forefront of renewable energy production, both through hard coal and rare earths. The great potential faces crucial negative aspects: The production of energy alternatives using rare earths generates environmentally harmful gases and wastewater. Furthermore, the recycling of such products is still in its infancy. There-

fore, an applied life cycle assessment (LCA) can give an appropriate classification of the state of research based on a case study of the Bayan Obo Mine in Baotou, Inner Mongolia/China. The long-term consequences for people and the environment will be highlighted and at the same time provide information about the underrepresentation of the methodology around LCA so far. Although this can significantly preshape the policy-making framework and strategic actions needed, sufficient and reliable data is often lacking.

Die Ausrichtung einer kohlenstoffarmen Wirtschaft am Beispiel Chinas: Die Vor- und Nachteile eines Umschwungs von Kohle zu erneuerbaren Energien

Die Klimaneutralität ist ein globales Ziel, welches die hohe Integration und Nutzung von erneuerbaren Energien erfordert, um eine solche Transition zu gewährleisten. Hierbei steht besonders China als größtes Bergbauland der Welt sowohl durch die Steinkohle als auch durch die Seltenen Erden für die Produktion von erneuerbaren Energien an der Spitze. Das große Potential sieht sich entscheidenden Negativaspekten gegenübergestellt: Die Herstellung von Energiealternativen mittels Seltener Erden erzeugt umweltschädliche Gase und Abwässer. Weiterhin ist das Recycling solcher Erzeugnisse noch in den Kinderschuhen. Daher kann

hier eine angewandte Ökobilanzierung oder auch Lebenszyklusanalyse (LCA) eine entsprechende Einordnung des Forschungsstands anhand eines Fallbeispiels der Bayan Obo Mine in Baotou, Innere Mongolei/China, geben. Die langfristigen Konsequenzen für Mensch und Umwelt werden aufgezeigt und geben zeitgleich Aufschluss über die bisherige Unterrepräsentanz der Methodik rund um die Ökobilanzierung. Obwohl diese maßgeblich die politischen Entscheidungsrahmen und strategisch benötigten Maßnahmen vorschattieren kann, fehlen oftmals ausreichende und zuverlässige Daten.

1 Introduction

China recently announced its climate neutrality for 2060, while this is rising plenty of questions regarding Chinas future and existence of their hard coal mining industry. With an annual production of 4 bn t of hard coal, China remains the biggest producer of this resource. The consequences for the environment are tremendous and not just a national issue. It is a global one affecting everyone. Climate neutrality poses new challenges for this country with its abundance of resources. Hard coal is still the easiest and safest way to guarantee the supply of energy to its citizens, whereby energy security is a high priority (1). The switch to and the integration of renewable energies has already started and, according to the latest five-year plan, should become the main driver of growth in the coming years. The transition to a green development with a

1 Einleitung

China hat vor kurzem seine Klimaneutralität für das Jahr 2060 angekündigt. Dies wirft viele Fragen zur Zukunft Chinas und zur Existenz seiner Steinkohlenindustrie auf. Mit einer Jahresproduktion von 4 Mrd. t Steinkohle ist China nach wie vor der größte Produzent dieser Ressource. Die Folgen für die Umwelt sind gewaltig und nicht nur ein nationales Problem, sondern ein globales, das jeden betrifft. Die Klimaneutralität stellt das rohstoffreiche Land vor neue Herausforderungen. Steinkohle ist nach wie vor der einfachste und sicherste Weg, die Energieversorgung der Bürger zu gewährleisten, wobei die Energiesicherheit eine hohe Priorität hat (1). Die Umstellung auf und die Integration von erneuerbaren Energien hat bereits begonnen und soll laut dem jüngsten Fünfjahresplan zum wichtigsten Wachstumsmotor der kommenden Jahre werden. Der Übergang

low carbon economy as one of the most important objectives is imminent (2). These developments will have a decisive impact on the next few years and will drive structural change forward. Since China also has large reserves of rare earths, which are required in particular for the construction of regenerative energy options (electric cars, solar panels and windmills). This presents the market for trade with new challenges. China has a market share of up to 97% and is therefore clearly the dominant player in this trade area, which will become increasingly important worldwide in the future. But here, too, only one environmental problem is shifted to the next, since the recycling of rare earths is not really well developed and the factor of sustainability is a big question mark (3).

2 Mining around rare earths in China

A recently published case study of the environmental and social impacts of rare earth extraction in the Bayan Obo mine in Baotou, located in the western part of the Jiuyan area in Inner Mongolia/China, shows that in order to enable the construction of new, supposedly sustainably generating energy in one country or place, in other large areas pollutions are accepted over entire stretches of land (4). Generally speaking about China or anywhere else on earth, where 1 t of rare earth elements are produced, it can be stated that 60,000m³ of waste gas containing hydrochloric acid is also produced, as well as 200 m³ of acid-containing sewage water and 1 to 1.4 t of radioactive waste. Now thinking about the amounts that are produced in China – up to 85 to 90% of the global production – the destroyed vegetation in intensive producing areas in China can be imagined (5).

Another example of Baotou shows that an artificial lake has been created there by discharging the polluted and toxic wastewater. The place is primarily known for refining and processing ores, which, among other things, creates the so-called bastnäsite concentrate. The processing of this ore is explained later in this article in more detail. The wastewater left over from this process destroys the vegetation of the soil and possible living beings (3, 4). In addition, the wastewater seeps into the groundwater, where it also pollutes the drinking water and causes possible diseases for the people living there (4). Even though there are attempts to put huge amounts of money into new wastewater recycling equipment, the recycling of rare earth itself is just at the beginning and far not advanced enough. Additionally to China's own problems with non-recyclable waste, other countries, e.g., South Korea, member states of the EU, the USA and Japan, also send their waste illegally to China. In this way, they seemingly only have to deal with the positive leftover, while China gets more waste to handle (5).

Besides that, the occupational safety measures in China are known to be very low, especially in the mining sector. This often ends in accidents or even the death of employees and has an impact on the surrounding environment (6). This is just one of many examples, especially for this area. Another, recent study has focused on the effects of water-soluble particulate matter generated during rare earth processing. Here, the effects on human health were investigated, and it was found that there is a deterioration or inhibition of the development of cells and proteins within the lung. This can even lead to a standstill of the cell cycle and increase the development of diseases such as lung cancer (7).

Because China has the biggest resources of rare earths, its global share of renewable energies is currently estimated at 13.5%

zu einer grünen Entwicklung mit einer kohlenstoffarmen Wirtschaft als einem der wichtigsten Ziele steht unmittelbar bevor (2). Diese Entwicklungen werden die nächsten Jahre entscheidend prägen und den Strukturwandel vorantreiben. Da China auch über große Reserven an Seltenen Erden verfügt, die insbesondere für den Bau von regenerativen Energieoptionen (Elektroautos, Solarpaneele und Windräder) benötigt werden, stellt dies den Markt für den Handel vor neue Herausforderungen. China hat einen Marktanteil von bis zu 97% und ist damit eindeutig der dominierende Akteur in diesem Handelsbereich, der in Zukunft weltweit an Bedeutung gewinnen wird. Aber auch hier wird nur ein Umweltproblem auf das nächste verlagert, da das Recycling von Seltenen Erden noch nicht besonders weit entwickelt ist und der Faktor der Nachhaltigkeit ein großes Fragezeichen darstellt (3).

2 Der Bergbau rund um Seltene Erden in China

Eine kürzlich veröffentlichte Fallstudie über die ökologischen und sozialen Auswirkungen des Abbaus von Seltenen Erden in der Bayan Obo Mine in Baotou im westlichen Teil des Jiuyan-Gebiets in der Inneren Mongolei/China zeigt, dass für den Aufbau neuer, vermeintlich nachhaltiger Energieerzeugung in einem Land oder an einem Ort in anderen großen Gebieten Verschmutzungen über ganze Landstriche hinweg in Kauf genommen werden (4). Generell kann gesagt werden, dass in China oder anderswo auf der Erde, wo 1 t Seltene Erden produziert wird, ca. 60.000 m³ salzsäurehaltige Abgase, 200 m³ säurehaltige Abwässer und 1 bis 1,4 t radioaktive Abfälle entstehen. Wenn nun bedacht wird, welche Mengen in China produziert werden – bis zu 85 bis 90% der weltweiten Produktion – erhält man eine Vorstellung von der zerstörten Vegetation in den intensiven Produktionsgebieten Chinas (5).

Ein weiteres Beispiel ist Baotou, wo durch die Einleitung von verschmutzten und giftigen Abwässern ein künstlicher See entstanden ist. Der Ort ist vor allem für die Veredelung und Verarbeitung von Erzen bekannt, bei der u. a. das sogenannte Bastnäsitkonzentrat entsteht. Die Verarbeitung dieses Erzes wird später in diesem Artikel näher erläutert. Die bei diesem Prozess anfallenden Abwässer zerstören die Bodenvegetation und mögliche Lebewesen (3, 4). Außerdem sickern die Abwässer in das Grundwasser, wo sie ebenfalls das Trinkwasser verunreinigen und mögliche Krankheiten bei den dort lebenden Menschen verursachen (4). Auch wenn versucht wird, viel Geld in neue Abwasserrecyclinganlagen zu stecken, steht das Recycling von Seltenen Erden selbst noch ganz am Anfang und ist bei weitem nicht weit genug fortgeschritten. Zusätzlich zu Chinas eigenen Problemen mit nicht wiederverwertbaren Abfällen schicken auch andere Länder, z. B. Südkorea, Mitgliedsländer der EU, die USA und Japan, ihre Abfälle illegal nach China. Auf diese Weise müssen sie sich anscheinend nur um die „positiven“ Überreste kümmern, während China mehr Abfall in Gänze zu bewältigen hat (5).

Außerdem ist bekannt, dass die Arbeitsschutzmaßnahmen in China sehr niedrig angesetzt sind, insbesondere im Bergbausektor. Dies führt häufig zu Unfällen oder sogar zum Tod von Mitarbeitern und hat ebenfalls Auswirkungen auf die Umgebung (6). Dies ist nur eines von vielen Beispielen, speziell für diesen Bereich. Eine andere, neuere Studie befasste sich mit den Auswirkungen von wasserlöslichem Feinstaub, der bei der Verarbeitung von Seltenen Erden entsteht. Hier wurden die Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit untersucht, und es wurde festgestellt, dass es zu einer Verschlechterung

Name	Symbol	Atomic no. Ordnungszahl	Applications and products Anwendungen und Produkte
Scandium	Sc	21	Aerospace materials, consumer electronics, magnets, lighting, sporting goods Materialien für die Luft- und Raumfahrt, Unterhaltungselektronik, Magnete, Beleuchtung, Sportartikel
Yttrium	Y	39	Communication systems, lighting, jet engine turbines, televisions Kommunikationssysteme, Beleuchtung, Triebwerksturbinen, Fernsehgeräte
Lanthanum	La	57	Catalyst in petroleum refining, television, energy storage, rechargeable batteries Katalysator in der Erdölraffination, Fernsehen, Energiespeicherung, wiederaufladbare Batterien
Cerium	Ce	58	Catalytic converters, catalyst in petroleum refining, diesel fuel additive Katalysatoren, Katalysator in der Erdölraffination, Dieseldieselkraftstoffadditiv
Praseodymium	Pr	59	Aircraft engine alloy, electric vehicles, magnets, wind turbines Flugzeugtriebwerkslegierungen, Elektrofahrzeuge, Magnete, Windkraftanlagen
Neodymium	Nd	60	Air bags, cell phones, electric vehicles, magnets, wind turbines Airbags, Handys, Elektrofahrzeuge, Magnete, Windkraftanlagen
Promethium	Pm	61	Beta source for thickness gages, lasers for submarine, nuclear powered battery Beta-Quelle für Dickenmessgeräte, Laser für U-Boote, nuklearbetriebene Batterie
Samarium	Sm	62	Aircraft electrical systems, electric vehicles, permanent magnets Elektrische Systeme für Flugzeuge, Elektrofahrzeuge, Permanentmagnete
Europium	Eu	63	Lasers, televisions, tag complex for the medical field Laser, Fernsehgeräte, Tag-Komplex für den medizinischen Bereich
Gadolinium	Gd	64	Computer data technology, microwave applications, power plant radiation leaks detector Computerdatentechnik, Mikrowellenanwendungen, Kraftwerksstrahlenlecksdetektor
Terbium	Tb	65	Electric vehicles, fuel cells, televisions, permanent magnets, wind turbines Elektrofahrzeuge, Brennstoffzellen, Fernsehgeräte, Permanentmagnete, Windkraftanlagen
Dysprosium	Dy	66	Electric vehicles, home electronics, lasers, wind turbines Elektrofahrzeuge, Heimelektronik, Laser, Windkraftanlagen
Holmium	Ho	67	Microwave equipment, color glass Mikrowellengeräte, Farbglas
Erbium	Er	68	Color glass, fiber optic data transmission, lasers Farbglas, faseroptische Datenübertragung, Laser
Thulium	Tm	69	X-ray phosphors Röntgenleuchtstoffe
Ytterbium	Yb	70	Improving stainless steel properties, stress gages Verbesserung der Eigenschaften von rostfreiem Stahl, Spannungsmessgeräte
Lutetium	Lu	71	Catalysts, positron emission tomography (PET) detectors Katalysatoren, Detektoren für die Positronen-Emissions-Tomographie (PET)

Table 1. 17 rare earth elements and their applications (14). // Tabelle 1. 17 Seltene Erden-Elemente und ihre Anwendungen (14).

(2018) of the global primary energy consumption and is expected to double by the year 2050 (8). The different applications of 17 known rare earths can be found in table 1.

3 The Life Cycle Assessment (LCA)

As rare earths continue to gain traction in the coming years as an alternative to, e. g., hard coal and lignite, it is impossible to imagine the transformation process toward decarbonization without this resource. According to the current state of scientific knowledge, the increasing production of alternative energy products such as hybrid vehicles or wind turbines mainly requires the use of rare earths, which are difficult to recycle. The consequences arising from the manufacturing and extraction processes have already been briefly described in the chapter before. Therefore, it makes sense to look at these processes from a Life Cycle Assessment (LCA) perspective. This enables a classification of the precipitation on the environment by passing through the life cycle of a product in the holistic dimension (9).

The life cycle assessment method thus represents an instrument for assessing product development and its optimization. Because of this, it is not only an integral part of political decisions or strategic action, but also standardized according to DIN EN ISO 14040/44 (10, 11). Basically, the LCA analyzes the exist-

oder Hemmung der Entwicklung von Zellen und Proteinen in der Lunge kommt. Dies kann sogar zu einem Stillstand des Zellzyklus führen und die Entwicklung von Krankheiten wie Lungenkrebs fördern (7).

Da China über die größten Ressourcen an Seltenen Erden verfügt, wird sein globaler Anteil an erneuerbaren Energien auf 13,5% (2018) des globalen Primärenergieverbrauchs geschätzt und soll sich bis zum Jahr 2050 verdoppeln (8). Die verschiedenen Anwendungen von 17 bekannten Seltenen Erden finden sich in Tabelle 1.

3 Die Lebenszyklusanalyse (LCA)

Da Seltene Erden in den kommenden Jahren als Alternative zu beispielsweise Stein- und Braunkohle weiter an Bedeutung gewinnen werden, ist diese Ressource aus dem Transformationsprozess zur Dekarbonisierung nicht mehr wegzudenken. Die zunehmende Produktion von alternativen Energieprodukten wie Hybridfahrzeugen oder Windkraftanlagen erfordert nach heutigem Stand der Wissenschaft vor allem den Einsatz von Seltenen Erden, die schwer zu recyceln sind. Die Folgen, die sich aus den Herstellungs- und Gewinnungsprozessen ergeben, wurden bereits im vorherigen Kapitel kurz beschrieben. Daher ist es sinnvoll, diese Prozesse aus der Perspektive der Lebenszyklusanalyse (LCA), auch Ökobilanzierung genannt, zu betrachten. Diese

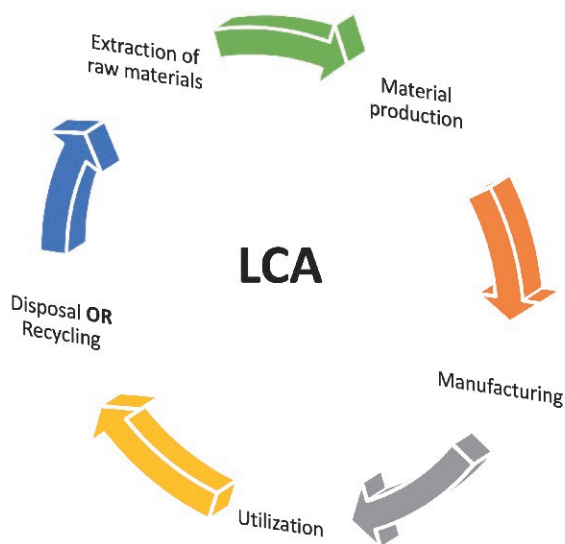


Fig. 1. LCA – own representation based on Fraunhofer IBP (2021) (10).
Bild 1. LCA – eigene Darstellung basierend auf Fraunhofer IBP (2021) (10).

ing energy flows of a specific product over its entire life cycle. All emissions to the environment with regard to soil, air and water are included. These emissions are then assessed in terms of their impact, primarily the negative impact, on the environment. This can be expressed by acidification, greenhouse effect, smog and much more (Figure 1).

The implementation of the LCA is to be divided into four phases:

- Phase 1: The goal and scope are determined, as well as the definition of systematic boundaries and necessary requirements for the required data.
- Phase 2: In the second step, the extent of the data can be summarized and the so-called inventory of the life cycle can be determined individually (LCI). This includes all required substances and generated emissions or waste in the production process.
- Phase 3: Now the life cycle impact assessment takes place through the environmental compatibility assessment (LCIA). This is done by using a software-protected procedure, taking into account possible risks to human health. At the same time, the existence of resources is checked by calculating models for characterization through the life cycle inventory.
- Phase 4: The last step is the interpretation of the results by the present life cycle inventory and the estimation of the ecological impact for the LCA (10).

4 LCA based on the Bayan Obo mine, Inner Mongolia

Even though hard coal is no longer one of the main sources of demand growth in China, it still accounts for half of the world's coal production and consumption. In addition, it can be noted that since 2013 the consumption of hard coal has been relieved by the diversification of the energy mix. In parts, this means less dependence on hard coal and increasing dependence on alternatives such as rare earths. Therefore, the transition to a decarbonized economy has already begun and renewable energies are becoming more and more important (12). A main goal of the latest Five Year Plan (Chinas Five Year Plans list main goals for every following

ermöglicht eine Einordnung des Niederschlags auf die Umwelt, indem der Lebenszyklus eines Produkts in der ganzheitlichen Dimension durchlaufen wird (9).

Die Methode der Ökobilanzierung stellt somit ein Instrument zur Bewertung der Produktentwicklung und deren Optimierung dar. Sie ist daher nicht nur fester Bestandteil politischer Entscheidungen oder strategischen Handelns, sondern auch nach DIN EN ISO 14040/44 genormt (10, 11). Grundsätzlich analysiert die Ökobilanz die vorhandenen Energieströme eines bestimmten Produkts über seinen gesamten Lebenszyklus. Dabei werden alle Emissionen in die Umwelt in Bezug auf Boden, Luft und Wasser einbezogen. Diese Emissionen werden dann im Hinblick auf ihre Auswirkungen, vor allem die negativen, auf die Umwelt bewertet. Dies kann durch Versauerung, Treibhauseffekt, Smog und vieles mehr ausgedrückt werden (Bild 1).

Die Durchführung der Lebenszyklusanalyse ist in vier Phasen zu unterteilen:

- Phase 1: Ziel und Umfang werden festgelegt, ebenso die Definition von systematischen Grenzen und notwendigen Anforderungen an die benötigten Daten.
- Phase 2: Im zweiten Schritt können der Umfang der Daten zusammengefasst und das sogenannte Inventar des Lebenszyklus individuell ermittelt werden (LCI). Dieses umfasst alle benötigten Stoffe und die im Produktionsprozess entstehenden Emissionen oder Abfälle.
- Phase 3: Nun erfolgt die Ökobilanzierung durch die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP). Dies geschieht mit Hilfe eines softwaregeschützten Verfahrens, das mögliche Risiken für die menschliche Gesundheit berücksichtigt. Gleichzeitig wird das Vorhandensein von Ressourcen überprüft, indem Modelle zur Charakterisierung durch die Sachbilanz berechnet werden.
- Phase 4: Der letzte Schritt ist die Interpretation der Ergebnisse aus der vorliegenden Sachbilanz und die Abschätzung der ökologischen Auswirkungen für die Ökobilanz (10).

4 LCA anhand der Bayan Obo Mine, Innere Mongolei

Auch wenn die Steinkohle nicht mehr die einzige Hauptquelle des Nachfragewachstums in China ist, macht sie immer noch die Hälfte der weltweiten Kohleproduktion und des Verbrauchs aus. Außerdem kann festgestellt werden, dass der Verbrauch von Steinkohle seit 2013 durch die Diversifizierung des Energiemixes entlastet wird. Dies bedeutet in Teilen eine geringere Abhängigkeit von Steinkohle und eine zunehmende Abhängigkeit von Alternativen wie Seltenen Erden. Der Übergang zu einer dekarbonisierten Wirtschaft hat also bereits begonnen, und erneuerbare Energien gewinnen immer mehr an Bedeutung (12). Ein Hauptziel des jüngsten Fünfjahresplans – Chinas Fünfjahrespläne listen die Hauptziele für die jeweils folgenden fünf Jahre auf, um eine verbesserte Wirtschaft und Gesamtentwicklung zu erreichen – ist die Entwicklung erneuerbarer Energien als einen der Haupttreiber für den Energieverbrauch (2, 13). Dennoch werden derzeit wieder vermehrt Kohlekraftwerke gebaut, was den Entwicklungen um eine grüne Wirtschaft und erneuerbare Alternativen zuwiderläuft. Gerade im Fall Chinas spielt jedoch ein Faktor eine entscheidende Rolle: das Wirtschaftswachstum. Dies ist auch eines der Hauptziele der Fünfjahrespläne, sowohl jetzt als auch in der Vergangenheit. Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen dem Wirtschaftswachstum und der Zufriedenheit der chinesischen

five years to achieve an enhanced economy and overall development) is to evolve renewable energies as one of the main drivers for the energy consumption (2, 13). Nevertheless, there is currently a renewed increase in the construction of coal-fired power plants, which runs counter to the developments around a green economy and renewable alternatives. However, in the case of China in particular, one factor plays a decisive role: economic growth. This is also one of the main goals of the five-year plans, both now and in the past. There is a close link between economic growth and the satisfaction of China's population in terms of a secure energy supply, secure jobs and salaries, the financing of pension funds and, quite simply, social welfare. The closure of coal-fired power plants means many kinds of consequences, such as job losses and dissatisfaction, due to lack of alternatives, faltering security of supply, regional further development, especially in coal-intensive regions. Reconciling these large gaps is not immediately achievable, but requires long-term planning and takes time (14).

While these developments in the coal industry are important to consider in detail, they are not intended to be the focus of this article. Rather, it is important to know this background and to put it in relation to the growing renewable energy generation sector. After all, this energy is supposed to be clean and "green" and thus a better substitute than coal, but is it?

In the meantime, it seems that the green image of renewable energies is crumbling, because the production processes resort to the use and extraction of rare earths in high quantities. These are rarely environmentally friendly, because they require a lot of material and produce large amounts of emissions for air and water. Solid waste with entire landfills created for this purpose also play a major role here. As the production of rare earths is expected to further increase, it is even more important to provide an assessment of the issue by means of LCA. Furthermore, this can help to possibly reduce the ecological footprint in the future, if these alternatives are to be used increasingly and permanently (14). Looking now at production using rare earths in China, large-scale production there has also drawn international attention to environmental impacts. In particular, emissions of heavy metals and radioactivity have caused major damage to groundwater and rivers, as well as to soil vegetation. Due to the long-term affection of this emissions in combination with factors considering the human health, e.g., through the constant inhalation of mining dust, lasting damages are caused to the ecology and to the human development (8, 15).

When considering China with regard to the use of rare earths, something stands out in particular: The city of Baotou and the Bayan Obo mine located there are mentioned repeatedly in sources and scientific analyses on this issue. Here, the negative effects seem to be particularly present and representative, forming a negative example to this rising trend. Therefore, the LCA is applied to the Bayan Obo mine in Baotou to examine the consequences in more detail. For the following analysis of the processes of the rare earth extraction the results of Navarro and Zhao (2014) are used. They used the method of LCA to apply them in the production process of rare earth elements (15).

The Bayan Obo mine is currently the biggest deposit for rare earths worldwide. "The reported total reserves are at least 1.5 bn t of iron (average grade 35%), (and) at least 48 Mt of RE oxides (REO) (average grade 6%)..." (16). The mine mainly contains

Bevölkerung in Bezug auf eine sichere Energieversorgung, sichere Arbeitsplätze und Löhne, die Finanzierung der Rentenfonds und ganz einfach den sozialen Wohlstand. Die Schließung von Kohlekraftwerken bedeutet viele Arten von Konsequenzen wie Arbeitsplatzverlust und Unzufriedenheit durch mangelnde Alternativen, stockende Versorgungssicherheit, regionale Weiterentwicklung, insbesondere in kohleintensiven Regionen. Ein Ausgleich dieser großen Lücken ist nicht sofort möglich, sondern erfordert langfristige Planung und nimmt Zeit in Anspruch (14).

Diese Entwicklungen in der Kohleindustrie sind zwar wichtig, um sie im Detail zu betrachten, sie sollen aber nicht im Mittelpunkt dieses Artikels stehen. Vielmehr ist es wichtig, diesen Hintergrund zu kennen und ihn mit dem wachsenden Sektor der erneuerbaren Energieerzeugung in Relation zu setzen. Schließlich soll diese Energie sauber und „grün“ und damit ein besserer Ersatz für Kohle sein, aber ist sie das auch?

Inzwischen scheint das grüne Image der erneuerbaren Energien zu bröckeln, denn die Produktionsverfahren greifen auf den Einsatz und die Gewinnung von Seltenen Erden in großen Mengen zurück. Diese sind selten umweltfreundlich, da sie viel Material benötigen und große Mengen an Emissionen für Luft und Wasser erzeugen. Auch feste Abfälle mit ganzen Deponien, die zu diesem Zweck angelegt werden, spielen hier eine große Rolle. Da die Produktion von Seltenen Erden voraussichtlich weiter zunehmen wird, ist es umso wichtiger, eine Bewertung des Themas mittels des LCA-Verfahrens vorzunehmen. Außerdem kann dies dazu beitragen, den ökologischen Fußabdruck in Zukunft möglicherweise zu verringern, wenn diese Alternativen verstärkt und dauerhaft eingesetzt werden sollen (14). Wird nur die Produktion mittels Seltener Erden in China betrachtet, so hat die dortige Großproduktion auch die internationale Aufmerksamkeit auf die Umweltauswirkungen gelenkt. Vor allem die Emissionen von Schwermetallen und Radioaktivität haben das Grundwasser und die Flüsse sowie die Bodenvegetation stark geschädigt. Durch die langfristige Einwirkung dieser Emissionen in Kombination mit Faktoren, die auch die menschliche Gesundheit betreffen, z.B. durch das ständige Einatmen von Bergbaustaub, werden die Ökologie und die menschliche Entwicklung nachhaltig geschädigt (8, 15).

Im Hinblick auf die Verwendung von Seltenen Erden innerhalb Chinas fällt eines besonders auf: Die Stadt Baotou und das dortige Bergwerk Bayan Obo werden in Quellen und wissenschaftlichen Analysen zu diesem Thema immer wieder erwähnt. Hier scheinen die negativen Auswirkungen präsent und repräsentativ zu sein und bilden ein Negativbeispiel für diesen steigenden Trend. Daher wird die LCA auf das Bergwerk Bayan Obo in Baotou angewandt, um die Folgen genauer zu untersuchen. Für die folgende Analyse der Prozesse der Seltene Erden-Gewinnung werden die Ergebnisse von Navarro und Zhao (2014) verwendet. Sie nutzten die Methode der LCA, um sie auf den Produktionsprozess von Seltenen Erden anzuwenden (15).

Das Bergwerk Bayan Obo ist derzeit die größte Lagerstätte für Seltene Erden weltweit. „Die gemeldeten Gesamtreserven belaufen sich auf mindestens 1,5 Mrd. t Eisen (Durchschnittsgehalt 35%) und mindestens 48 Mio. t RE-Oxide (REO) (RE = Rare Earth – Seltener Erden) (Durchschnittsgehalt 6%) ...“ (16). Das Bergwerk enthält hauptsächlich Bastnäsit und Monazit als Seltene Erden, die dort verarbeitet werden. Die Gewinnung dieser Elemente ist jedoch nur ein Nebenprodukt der dort stattfindenden Hauptgewinnung von Eisenerz. Das Erz wiederum wird klassisch

bastnäsite and monazite as rare earth elements, which are processed there. However, the extraction of these elements is only the by-product of the main extraction of iron ore that takes place there. The ore, in turn, is extracted classically with the help of shovels and then transported by rail over the railroad line to Baotou. Here, the grinding and processing processes take place. According to research, the mining of the iron ore alone produces 11.9 kg of carbon dioxide per ton. Therefore, the emission of the by-products, i.e., the rare earths, can only be calculated by allocation. Furthermore, there are a total of six different ways of ore beneficiation in this mine. The most common method is the creation of the bastnäsite concentrate and the monazite concentrate by using the crude ore. First, the method of

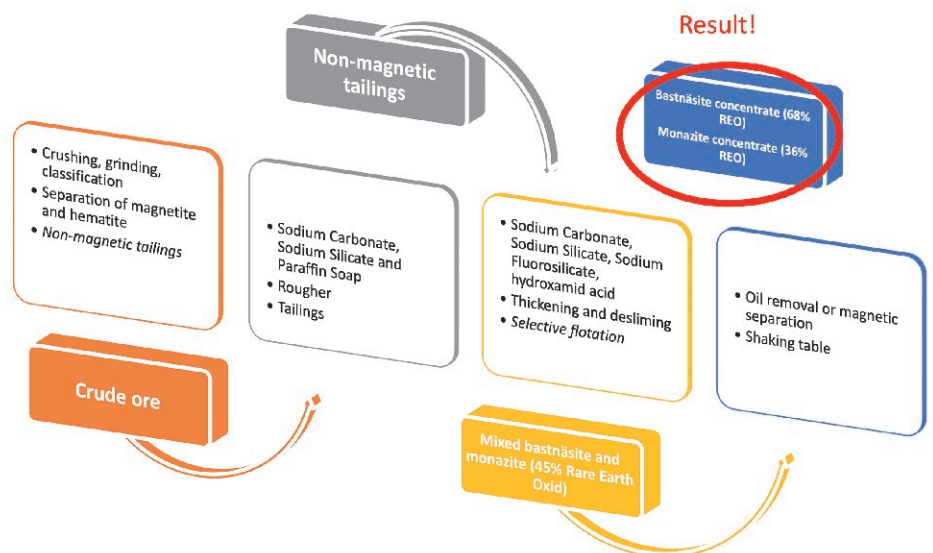


Fig. 2. Common method for beneficiation (own representation based on Navarro and Zhao, 2014) (15).
 Bild 2. Gängige Methode zur Erzaufbereitung (eigene Darstellung basierend auf Navarro und Zhao 2014) (15).

classification and magnetic separation helps to get to the non-magnetic tailings. Through the using of different additives, e.g., sodium carbonate, it is possible to then produce mixed bastnäsite and monazite REO, but also tailings. A last removal of oil or magnetic separation from the mixed oxides leads to the concentrate of bastnäsite and monazite (Figure 2) (15).

This is followed by the chemical treatment. One possibility of this treatment is to take the mixed high grade bastnäsite and monazite concentrate for a roasting with sulfuric acid. This leads to a split of releasing the scrubbed off gas into the air and creating a neutralization of the residue through leaching with water and adding magnesium oxide, as well as Iron (III) chloride. After the neutralization, there is still residue that also contains radioactivity to some extent. On the other hand there is the purified leachate, which is then used to determine the age of the rocks, but also to produce the rare earth carbonate through mainly filtration (Figure 3) (15).

With regard to LCA for these processes, in summary, a general organic chemical is often used. This serves as a surrogate and sometimes leads to large errors. Furthermore, in terms of allocation, both mass-based and turnover-based were used, with the aim of avoiding the problems that often arise from the various steps in the processing of rare earth elements. The standardization according to DIN standard 14040 provides here for an extension of the system for the allocations, but this cannot be implemented. Furthermore, both possibilities of allocation have insufficient requirements. In the case of the mass-based allocation, frequently existing metals are loaded to an increased degree. In the case of the revenue-based allocation, the unstable market for rare earth elements poses a problem, as prices fluctuate here, sometimes strongly, depending on which metal is in demand (15).

Other approaches exist that will go too far at this point and are very specific to the chemical processes. Therefore, with regard to LCA, it can be stated that the number of LCA studies to date is manageable. Furthermore, much of the data used relates to information that has been provided from China itself. It must therefore be taken into account that only little usable and reliable informa-

mit Hilfe von Schaufeln abgebaut und dann per Bahn über die Eisenbahnlinie nach Baotou transportiert. Dort finden die Mahl- und Verarbeitungsprozesse statt. Untersuchungen haben ergeben, dass allein beim Abbau des Eisenerzes 11,9 kg Kohlendioxid pro Tonne entstehen. Der Ausstoß der Nebenprodukte, also der Seltenen Erden, kann daher nur über die Zuteilung berechnet werden. Darüber hinaus gibt es in diesem Bergwerk insgesamt sechs verschiedene Arten der Erzaufbereitung. Die gängigste Methode ist die Herstellung von Bastnäsit- und Monazitkonzentrat aus dem Roherz. Die Methode der Klassifizierung und magnetischen Trennung hilft zunächst, an die nichtmagnetischen Abgänge zu gelangen. Durch die Verwendung verschiedener Zusätze, z. B. Natriumcarbonat, ist es dann möglich, gemischte Bastnäsit- und Monazit-REO, aber auch Rückstände herzustellen. Eine letzte Entölung oder magnetische Abtrennung der Mischoxide führt zu einem Konzentrat aus Bastnäsit und Monazit (Bild 2) (15).

Danach folgt die chemische Behandlung. Eine Möglichkeit dieser Behandlung besteht darin, das gemischte hochgradige Bastnäsit- und Monazitkonzentrat einer Röstung mit Schwefelsäure zu unterziehen. Dies führt zu einer Aufspaltung der Freisetzung des ausgewaschenen Gases in die Luft und zu einer Neutralisierung des Rückstands durch Auslaugen mit Wasser und Zugabe von Magnesiumoxid sowie Eisen(III)-chlorid. Nach der Neutralisierung verbleibt ein Rückstand, der in gewissem Umfang auch Radioaktivität enthält. Auf der anderen Seite steht das gereinigte Sickerwasser, das dann zur Altersbestimmung der Gesteine, aber auch zur Herstellung des Seltenerdcarbonats hauptsächlich durch Filtration verwendet wird (Bild 3) (15).

Was die LCA für diese Prozesse angeht, so wird häufig eine allgemeine organische Chemikalie verwendet. Diese dient als Surrogat und führt manchmal zu großen Fehlern. Des Weiteren wurde bei der Allokation sowohl eine massenbasierte als auch eine umsatzbasierte verwendet, um die Probleme zu vermeiden, die oft durch die verschiedenen Schritte bei der Verarbeitung von Seltenen Erden entstehen. Die Normung nach DIN 14040 sieht hier eine Erweiterung des Systems für die Allokationen vor, die aber nicht umgesetzt werden

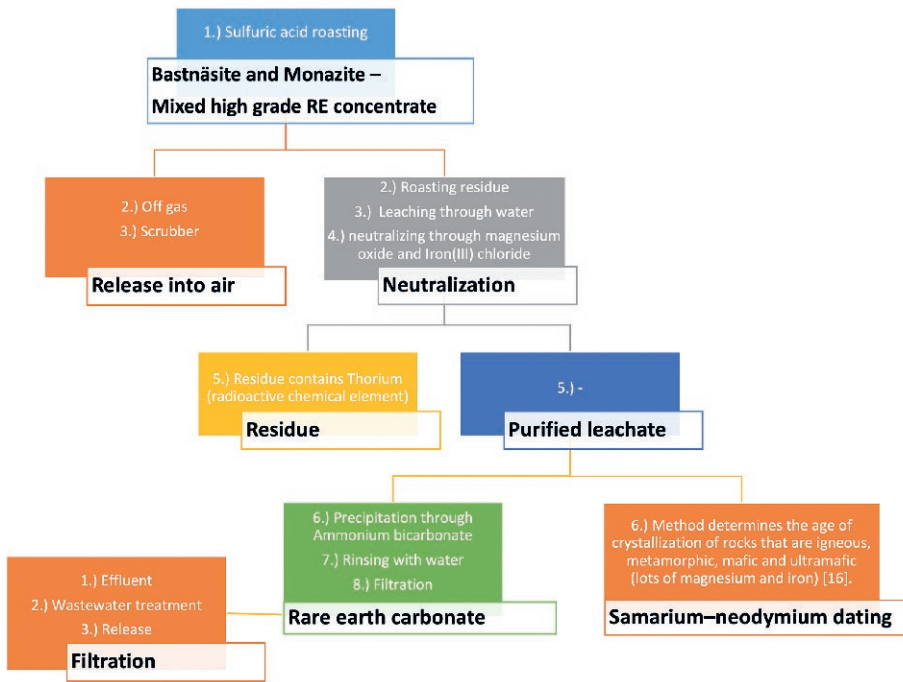


Fig. 3. Chemical process for producing the rare earth carbonate (own representation based on Navarro and Zhao, 2014) (15, 17). // Bild 3. Chemischer Prozess für die Herstellung von Seltenerdkarbonat (eigene Darstellung basierend auf Navarro und Zhao 2014) (15).

tion is available. As a result, there is not only a lack of accuracy and completeness of the data, but also a lack of representativeness. Especially in the case of the clear impact of the manufacturing processes at the Bayan Obo Mine, further analysis should be conducted to be able to determine the LCA. Otherwise, this cannot contribute to an improved development for the future (15).

5 Conclusion

In terms of the announced climate neutrality in China, major shifts in the hard coal industry can be expected. Especially, the rising of renewable energies has just begun and is going to be the global future potential of a low carbon economy. Environmental protection is becoming an important part in the policy-making of nations, which led to the decision of climate neutrality in China. Furthermore, China recognized this growing importance and is already a global leader in producing renewable energy alternatives, like windmills or solar panels by using their large amount of rare earth reserves.

Recapping the results shown in this article in regard of environmental consequences leads to the fact that no matter if looking at renewable energies through producing with rare earths or using hard coal, it arises the question: What impact will this then have in the future, with the goal of a green economy and climate neutrality? With regard to the factor of sustainability, it can be said that even renewable energies cannot offer a miracle solution. Here, too, carbon dioxide is used for the production of regenerative uses or, according to the current state of knowledge, that rare earths are mostly non-recyclable resources is a problem that needs to be solved when it comes to future uses of them. These not only produce carbon dioxide, but the environment also has to suffer from waste dumps, air pollution or contamination of water, which causes tremendous effects on the human health, too.

kann. Außerdem haben beide Möglichkeiten der Allokation unzureichende Voraussetzungen. Bei der massenbezogenen Zuteilung werden häufig vorhandene Metalle in erhöhtem Maß belastet. Bei der erlös-basierten Allokation stellt der instabile Markt für Seltene Erden ein Problem dar, da hier die Preise teilweise stark schwanken, je nachdem, welches Metall gefragt ist (15).

Es gibt weitere Ansätze, die an dieser Stelle zu weit führen und sehr spezifisch für die chemischen Prozesse sind. Im Hinblick auf die Ökobilanz kann daher festgestellt werden, dass die Zahl der bisherigen Ökobilanzstudien überschaubar ist. Außerdem handelt es sich bei einem Großteil der verwendeten Daten um Informationen, die aus China selbst bereitgestellt wurden. Es muss daher berücksichtigt werden, dass nur wenige verwertbare und verlässliche Informationen zur Verfügung stehen. Infolgedessen mangelt es nicht nur an der Genauigkeit und Vollständigkeit der Daten, sondern auch an der Repräsentativität. Insbesondere im Fall der eindeutigen Auswirkungen der Herstellungsprozesse im Bergwerk Bayan Obo sollten weitere Analysen durchgeführt werden, um die Ökobilanz bestimmen zu können. Ansonsten kann diese nicht zu einer verbesserten Entwicklung für die Zukunft beitragen (15).

5 Fazit

Im Hinblick auf die angekündigte Klimaneutralität in China sind große Verschiebungen in der Steinkohlenindustrie zu erwarten. Vor allem der Aufstieg der erneuerbaren Energien hat gerade erst begonnen und wird das globale Zukunftspotential einer kohlenstoffarmen Wirtschaft sein. Der Umweltschutz wird zu einem wichtigen Bestandteil der Politik der Nationen, was zur Entscheidung für die Klimaneutralität in China geführt hat. Darüber hinaus hat China diese wachsende Bedeutung erkannt und ist bereits weltweit führend in der Produktion von erneuerbaren Energiealternativen wie Windkraftanlagen oder Solarzellen, indem es seine großen Reserven an Seltenen Erden nutzt.

Wenn die in diesem Artikel gezeigten Ergebnisse im Hinblick auf die Umweltauswirkungen zusammengefasst werden, stellt sich sowohl bei erneuerbaren Energien mit Hilfe von Seltenen Erden und durch die Nutzung von Steinkohle folgende Frage: Welche Auswirkungen haben diese für die Zukunft, mit dem Ziel einer grünen Wirtschaft und Klimaneutralität? Hinsichtlich des Faktors Nachhaltigkeit lässt sich sagen, dass auch erneuerbare Energien keine Wunderlösung bieten können. Auch hier wird Kohlendioxid für die Produktion regenerativer Nutzungen eingesetzt oder, nach heutigem Kenntnisstand, ist die Tatsache, dass Seltene Erden größtenteils nicht recycelbare Ressourcen sind, ein Problem, das es für die zukünftige Nutzung zu lösen gilt. Diese erzeugen nicht nur Kohlendioxid, sondern die Umwelt leidet auch unter Mülldeponien, Luftverschmutzung oder Wasserverunreinigung, was wiederum enorme Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit hat.

Nevertheless, the energy transition has already begun and it is the first step towards change and also towards the willingness to make big changes for a potential better future. However, this is not the solution that is often promised or presented to the outside world. It will take a few more decades before only this energy generation is used. It requires much more expertise in this production processes and an efficient LCA. In the case of China in particular, other factors such as economic growth and energy security are primarily in the foreground, whereby hard coal and the associated high carbon dioxide emissions will still play a major role for the environment and climatic effects in the coming years. The environmental impacts are long term not only affecting land, air and water, but also on the human development through induced diseases and inhibition of development. Lastly, the LCA is still highly underrepresented in this research field and needs more reliable data and calculations for improved policy decisions and strategic action in the future. This is the only way to avoid further negative consequences in the future and to advance prevention through appropriate planning.

Nichtsdestotrotz hat die Energiewende bereits begonnen, und sie ist der erste Schritt in Richtung Veränderung und auch in Richtung der Bereitschaft, große Veränderungen für eine mögliche bessere Zukunft vorzunehmen. Allerdings ist dies nicht die Lösung, die oft versprochen oder der Außenwelt präsentiert wird. Es wird noch einige Jahrzehnte dauern, bis ausschließlich diese Energieerzeugung genutzt wird. Es erfordert viel mehr Fachwissen über diese Produktionsprozesse und eine effiziente Ökobilanzierung. Gerade im Fall Chinas stehen vor allem andere Faktoren wie Wirtschaftswachstum und Energiesicherheit im Vordergrund, wobei die Steinkohle und die damit verbundenen hohen Kohlendioxidemissionen auch in den nächsten Jahren noch eine große Rolle für die Umwelt und die Klimaauswirkungen spielen werden. Die Konsequenzen für die Umwelt sind langfristig und wirken sich nicht nur auf Boden, Luft und Wasser aus, sondern auch auf die menschliche Entwicklung durch induzierte Krankheiten und Entwicklungshemmung. Schließlich ist die Ökobilanzierung in diesem Forschungsbereich noch immer stark unterrepräsentiert und erfordert zuverlässigere Daten und Berechnungen für bessere politische Entscheidungen und strategische Maßnahmen in der Zukunft. Nur so können zukünftig weitere negative Folgen vermieden werden und Prävention durch entsprechende Planung vorangetrieben werden.

References / Quellenverzeichnis

- (1) Tiganj, J. et al. (2021): German Post-Mining as a Role Model for the Developments in China. Mining Report Glückauf (157) Heft 1, pp 41 – 49.
- (2) KPMG China (2021): The 14th Five-Year Plan: Sector Impact Outlook. Online: kpmg.com/cn
- (3) Pérez, J.-L.; Pitron, G. (2021): Nicht ganz grün – Nebenwirkungen der Energiewende. Grand Angle Productions and ARTE France 2020.
- (4) Rüttinger, L. et al. (2021): Fallstudie zu den Umwelt- und Sozialauswirkungen der Gewinnung Seltener Erden in Bayan Obo, China. Berlin: adelphi. Online: www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/dokumente/umsoreess_fallstudie_selte_ne_erden_china_bayan_obo.pdf
- (5) Liu, H. (2016): RARE EARTHS: SHADES OF GREY: Can China Continue To Fuel Our Global Clean & Smart Future, China Water Risk. Online: www.chinawaterrisk.org/wp-content/uploads/2016/07/CWR-Rare-Earths-Shades-Of-Grey-2016-ENG.pdf.
- (6) Daniels, A.; Pelleter, U. (2015): Drilling rescue boreholes in the Chinese coal industry, Mining Report Glückauf (151) Heft 2, pp 103 – 108.
- (7) Xia, Y. et al. (2021): Effects of water-soluble components of atmospheric particulates from rare earth mining areas in China on lung cancer cell cycle. Particle and Fibre Toxicology, 18(1). Online: Scopus – Document details – Effects of water-soluble components of atmospheric particulates from rare earth mining areas in China on lung cancer cell cycle.
- (8) Statista (2018): Erneuerbare Energien – Anteil am Energieverbrauch weltweit bis 2018. Online: de.statista.com/statistik/daten/studie/153867/umfrage/anteil-erneuerbarer-energien-am-energieverbrauch-weltweit-seit-1990/
- (9) Schreiber, A.; Marx, J.; Zapp, P. (2021): Life cycle assessment studies of rare earths production – Findings from a systematic review. Science of the Total Environment, 791. Online: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148257>
- (10) Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP (2021): Life Cycle Assessment. Online: www.ibp.fraunhofer.de/en/expertise/life-cycle-engineering/applied-methods/life-cycle-assessment.html
- (11) DIN (2021): DIN – A brief introduction to standards. Online: www.din.de/en/about-standards/a-brief-introduction-to-standards
- (12) IEA (2020a): What the past decade can tell us about the future of coal. Online: www.iea.org/commentaries/what-the-past-decade-can-tell-us-about-the-future-of-coal
- (13) IEA (2020b): World Energy Outlook 2020. Online: www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020
- (14) Zeit Online (2021): China weiß: Die Klimakrise ist echt. Online: www.zeit.de/wissen/umwelt/2021-03/china-klimapolitik-xi-jinping-co2-emissionen-wirtschaft-nis-gruenberg
- (15) Navarro, J.; Zhao, F. (2014): Life-cycle assessment of the production of rare-earth elements for energy applications: a review, frontiers in energy research. Online: www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2014.00045/full
- (16) Kanazawa, Y.; Kamitan, M. (2014): Rare earth minerals and resources in the world. In: Journal of Alloys and Compounds, 408–412, pp 1339–1343. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2005.04.033>
- (17) DePaulo, D. J. (1988): Sm-Nd Dating, Neodymium Isotope Geochemistry. Minerals and Rocks, vol 20. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-48916-7_2

Authors / Autoren

Julia Tiganj M. A. und Prof. Dr. rer.nat. Tobias Rudolph, Forschungszentrum Nachbergbau (FZN) der TH Georg Agricola (THGA), Bochum