

Julia Tiganj  
 Jürgen Kretschmann  
 Kai van de Loo  
 Tobias Rudolph

## German Post-Mining as a Role Model for Developments in China

Due to the recent announcement by the Chinese President Xi Jinping to become carbon neutral by 2060, China is facing a major upheaval. Because in China, power generation is the largest consumer of coal and remains a major future source of energy. In the upcoming age of renewable energies and climate protection, the transition to a more sustainable energy supply system has already begun. Therefore, the coal mining industry in China has currently reached a phase of stagnation. This implies an accelerated role of post-mining and includes the integrated understanding of the mine cycle, and the effects considered. Main challenges are the rise in mine water, long-term and eternal ecological tasks, geomonitoring and mine

surveying, as well as reactivation and transition of brownfields. The Research Center of Post-Mining (FZN) at the TH Georg Agricola University (THGA) in Bochum/Germany is hereby using its knowledge, as well as extensive experience in various disciplines. An integrated post-mining analysis of the mining country China in technology, politics and economics has determined that the process in China is still developing. Given the width of the interdisciplinary tasks involved, appropriate solutions and recommendations are required. The many years of comprehensive specialized knowledge and experience at the FZN can be deployed as a role model for a sustainable post-mining development in China.

## Deutscher Nachbergbau als Vorbild für die Entwicklungen in China

Aufgrund der jüngsten Ankündigung des chinesischen Präsidenten Xi Jinping, bis 2060 klimaneutral zu werden, steht China vor einem großen Umbruch. In China ist die Stromerzeugung der größte Kohleverbraucher und Kohle bleibt auch zukünftig eine wichtige Energiequelle. Im bevorstehenden Zeitalter der erneuerbaren Energien und des Klimaschutzes hat auch der Übergang zu einem nachhaltigeren Energieversorgungssystem begonnen. Daher hat der Kohlebergbau in China derzeit eine Phase der Stagnation erreicht. Dies impliziert eine beschleunigte Rolle des Nachbergbaus und beinhaltet das integrierte Verständnis des bergbaulichen Lebenszyklus und der berücksichtigten Auswirkungen. Die wichtigsten Herausforderungen sind der Grubenwasseranstieg, langfristige und ewige ökologische Aufgaben, das

Geomonitoring und Markscheidewesen sowie die Reaktivierung und Transition von Brachflächen. Das Forschungszentrum Nachbergbau (FZN) an der Technischen Hochschule Georg Agricola (THGA) in Bochum nutzt dabei sein Wissen sowie umfangreiche Erfahrungen in verschiedenen Disziplinen. Eine integrierte nachbergbauliche Analyse des Bergbaulands China in Technologie, Politik und Wirtschaft hat ergeben, dass sich der Prozess dort noch in der Entwicklung befindet. Angesichts der Breite der damit verbundenen interdisziplinären Aufgaben sind geeignete Lösungen und Empfehlungen erforderlich. Das langjährige umfassende Fachwissen und die Erfahrung des FZN können als Vorbild für eine nachhaltige Entwicklung des Nachbergbaus in China eingesetzt werden.

### 1 Introduction

The complete transformation to renewable and other energies, e.g., nuclear power and the closure of all hard coal mines within China are still in the distant future. Until now, China is by far the largest producer of coal worldwide – it concentrates half of the world's production – and looks back on 20 years of rapid expansion of coal mining and consuming. Because China is largely dependent on a stable energy supply (security of supply) through coal-fired power generation, this conversion process will probably take a long time to complete (1). Although coal mining is still heavily practiced, it has now currently reached the phase of stagnation of its mining life cycle. Nevertheless, China has already

### 1 Einleitung

Die vollständige Umstellung auf erneuerbare und andere Energien, z.B. Atomkraft, und die Schließung aller Steinkohlenbergwerke in China liegen noch in ferner Zukunft. Bisher ist China der mit Abstand größte Kohleproduzent weltweit – es konzentriert die Hälfte der weltweiten Produktion – und blickt auf 20 Jahre rascher Ausweitung des Kohlebergbaus und des Kohleverbrauchs zurück. Da China durch kohlebefeuerte Stromerzeugung weitgehend auf eine stabile Energieversorgung (Versorgungssicherheit) angewiesen ist, wird dieser Umwandlungsprozess wahrscheinlich einen längeren Zeitraum in Anspruch nehmen (1). Obwohl der Kohlebergbau immer noch eine herausragende Rolle spielt,

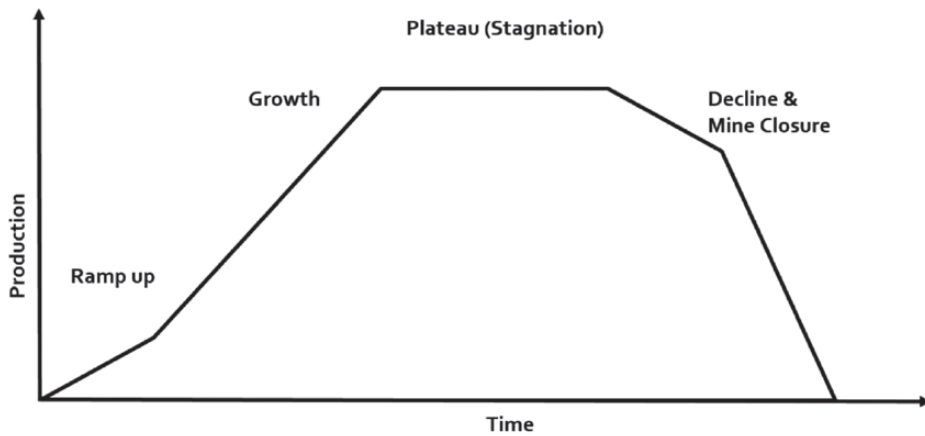


Fig. 1. The life cycle model for mining (after (4)).

Bild 1. Das Lebenszyklusmodell für den Bergbau (nach (4)).

made experiences with the closure of mines in certain locations, regions and their post-mining development. Still, with regard to post-mining China's status is at the beginning. Therefore, it can be helpful to look at the market development phases after Heuss (2). The model combines an in-depth consideration of market cycles and their ideal life stages with expected entrepreneurial characteristics (3). According to Kretschmann (4), this representation of a life cycle can also be applied to the mining sector. For the application it is necessary, that the following criteria are met: On the one hand, the mining segment under consideration may only have a small number of product groups and, on the other hand, the sales market must be clearly defined. This is largely the case for raw materials, which in this example describes the coal production (4).

This model of a mining life cycle can assist to classify the current level of development in China with regard to its hard coal production. It describes the ideal typical course that mining regions usually go through during its life time (Figure 1). Applied to China, this allows conclusions to be drawn about the current mining stage and the resulting future prospects of mining and post-mining.

As can be seen from the model, mining goes through four different phases in its lifetime:

- introduction;
- growth;
- plateau (stagnation); and
- decline.

The decline goes hand in hand with the mining closure and abandonment. These phases are dependent on the time as well as on production rate and market price (4). For the application to China, it can be looked back on a long phase of growth. It has only recently been possible to determine that the Chinese coal mining industry is reaching its plateau (stagnating) and not experiencing any further growth or significant expansion (5; 6). This stagnation does not mean an absolute stagnation or decline on the national level in the next years to come, but more a slower growth of production (stable plateau production) and a reduced share of coal in the national Chinese energy mix. Since the realignment of China

hat er derzeit eine Phase der Stagnation erreicht. Trotzdem hat China bereits Erfahrungen mit der Schließung von Bergwerken an bestimmten Standorten, in bestimmten Regionen und hinsichtlich deren nachbergbaulicher Entwicklung gesammelt. Dennoch steht Chinas Status in Bezug auf den Nachbergbau am Anfang. Daher kann es hierfür hilfreich sein, die Marktentwicklungsphasen nach Heuss (2) zu betrachten. Das Modell kombiniert eine eingehende Betrachtung der Marktzyklen und ihrer idealen Lebensphasen mit den zu erwartenden unternehmerischen Merkmalen (3). Nach Kretschmann (4) kann diese Darstellung eines Lebenszyklus auch auf den Bergbausektor ange-

wendet werden. Dafür ist es erforderlich, dass folgende Kriterien erfüllt sind: Zum einen darf das betreffende Bergbausegment nur eine geringe Anzahl von Produktgruppen aufweisen, zum anderen muss der Absatzmarkt klar definiert sein. Dies ist vor allem bei Rohstoffen der Fall, die in diesem Beispiel die Kohleproduktion beschreiben (4).

Dieses Modell eines Bergbaulebenszyklus kann dazu beitragen, den aktuellen Entwicklungsstand in China im Hinblick auf die Steinkohlenproduktion zu klassifizieren. Es beschreibt den idealen typischen Verlauf, den Bergbauregionen normalerweise während ihrer Lebensdauer durchlaufen (Bild 1). Auf China angewendet, können so Rückschlüsse auf die aktuelle bergbauliche Phase und die daraus resultierenden Zukunftsaussichten des Bergbaus und des Nachabbaus gezogen werden.

Wie aus dem Modell hervorgeht, durchläuft der Bergbau vier verschiedene Phasen:

- Aufstockung bzw. Einführung,
- Wachstum,
- Plateau (Stagnation) und
- Rückgang.

Dem Rückgang folgt die Schließung und Stilllegung von Bergwerken. Diese Phasen sind abhängig von der Zeit sowie von der Produktionsrate und dem Marktpreis (4). Für die Anwendung in China kann auf eine lange Wachstumsphase zurückgeblickt werden. Erst kürzlich konnte festgestellt werden, dass der chinesische Steinkohlenbergbau sein Plateau (Stagnation) erreicht hat und somit kein weiteres Wachstum oder keine signifikante Expansion mehr verzeichnet wird (5, 6). Diese Stagnation bedeutet nicht eine absolute Stagnation oder einen Rückgang auf nationaler Ebene in den nächsten Jahren, sondern eher ein langsames Produktionswachstum (stabile Plateau-Produktion) und einen verringerten Anteil von Kohle am nationalen chinesischen Energiemix. Seit der Neuausrichtung Chinas hinsichtlich des Klimaschutzes und nachhaltiger Maßnahmen in den vorangegangenen Fünfjahresplänen wurden aktive Arbeiten durchgeführt, um den Steinkohlenbergbau schrittweise durch die Integration erneuerbarer und anderer Energien zu ersetzen (5). Eine solch tiefgreifende Veränderung braucht jedoch Zeit, um die Veränderungen

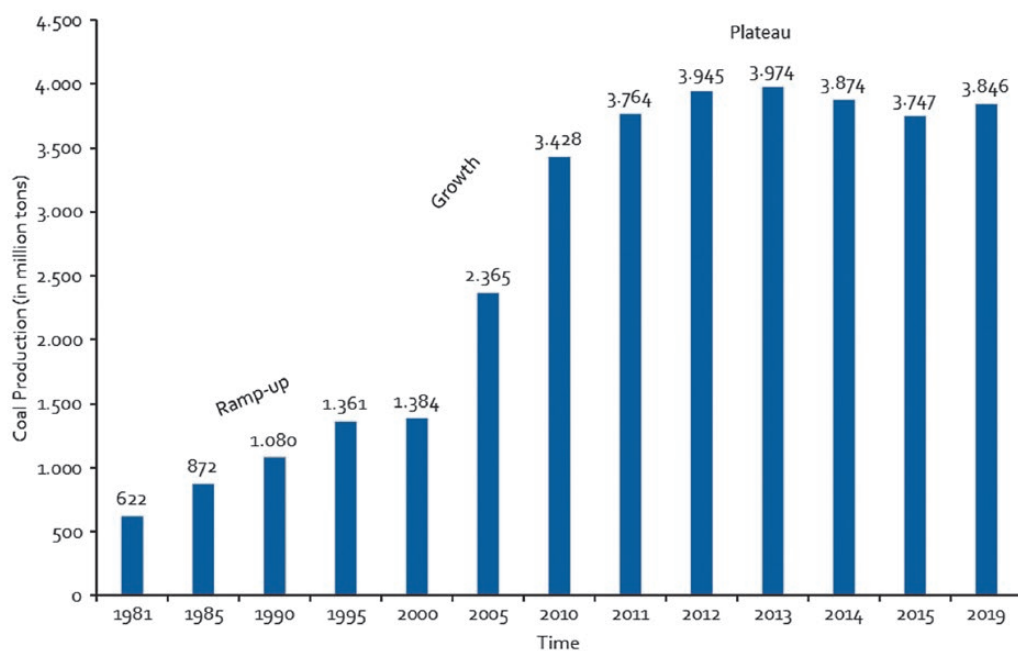


Fig. 2. The life cycle model for the Chinese mining industry (after (4) and (7)).

Bild 2. Das Lebenszyklusmodell für die chinesische Bergbauindustrie (nach (4) und (7)).

regarding the climate protection and sustainable measures within the previous five-year plans, active work has been carried out to gradually replace the hard coal mining industry with the integration of renewable and other energies (5). However, such a profound change takes time to further understand the changes in the coal supply. An analysis of historic and current production dates in combination with the life cycle model have been performed.

The last phase of the decline and the mining closure is not yet present, as the mining industry just has reached its plateau phase, which can last for a long time (1).

The Chinese mine life cycle shows strong growth since the introduction of hard coal mining and especially in the 1990s (Figure 2). A slowdown in growth has been evident since around 2011, accompanied by energy saving plans and the government's five-year plans (8). Since then, production has leveled off at an estimated 4 Mt/a. According to the International Energy Agency (IEA), a slight increase in coal consumption is forecast after 2020, but this should reverse by 2025. An explanation of these projections is based on the political changes of the last few years, in particular the five-year plans for energy saving and more environmental awareness (9).

## 2 The Chinese energy & mining policy

Energy is a major driver of economic development, especially in China, where energy-intensive industries play a key role (10). It positions itself in third place of the recoverable coal deposits and represents a share of 13% of the total reserves worldwide (11). Nevertheless, the Chinese government has already started the transition to a low-carbon energy system and is developing strategic alternatives to a merely coal-based system. To make the transition successful, politicians should carry out these alternatives within a sufficient political framework and future strategy in implementation as can be seen in the China Renewable Energy Outlook 2017 (12). To this end, strategies have already been developed. Especially

in the coal supply better to understand. An analysis of the historic and current production data in combination with the life cycle model was carried out.

The last phase of the decline and the mining closure is not yet present, as the mining industry just has reached its plateau phase, which can last for a long time (1).

The Chinese mine life cycle shows strong growth since the introduction of hard coal mining and especially in the 1990s (Figure 2). A slowdown in growth has been evident since around 2011, accompanied by energy saving plans and the government's five-year plans (8). Since then, production has leveled off at an estimated 4 Mt/a. According to the International Energy Agency (IEA), a slight increase in coal consumption is forecast after 2020, but this should reverse by 2025. An explanation of these projections is based on the political changes of the last few years, in particular the five-year plans for energy saving and more environmental awareness (9).

sparplänen und den Fünfjahresplänen der Regierung (8). Seitdem hat sich die Produktion auf geschätzte 4 Mio. t/a eingependelt. Laut der Internationalen Energieagentur (IEA) wird ein leichter Anstieg des Kohleverbrauchs nach 2020 prognostiziert, der sich jedoch bis 2025 zurückbilden soll. Eine Erklärung dieser Prognosen basiert auf den politischen Veränderungen der letzten Jahre, insbesondere den Fünfjahresplänen zur Energieeinsparung und einem stärkeren Umweltbewusstsein (9).

## 2 Die chinesische Energie- und Bergbaupolitik

Energie ist ein wichtiger Motor für die wirtschaftliche Entwicklung, insbesondere in China, wo energieintensive Industrien eine Schlüsselrolle spielen (10). Sie positioniert sich an dritter Stelle der förderbaren Kohlevorkommen und macht einen Anteil von 13% an den gesamten weltweiten Reserven aus (11). Dennoch hat die chinesische Regierung bereits mit dem Übergang auf ein kohlenstoffarmes Energiesystem begonnen und entwickelt strategische Alternativen zu einem rein kohlebasieren System. Um den Übergang erfolgreich zu gestalten, sollten die Politiker diese Alternativen innerhalb eines ausreichenden politischen Rahmens und einer künftigen Strategie zur Umsetzung entwickeln, wie aus dem China Renewable Energy Outlook 2017 (12) hervorgeht. Insbesondere der letzte, von der chinesischen Regierung eingeführte 13. Fünfjahresplan (2016 bis 2020) enthält erhebliche Beiträge zur Energieeinsparung. Ziel der Regierung ist es, eine stabile Wachstumsphase zu erreichen und gleichzeitig die schädlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren. Der aktuelle Plan führt daher zu weiteren Energieeinsparungen und umweltfreundlicheren Entwicklungen (8). Erst kürzlich, am 22. September 2020, gab Präsident Xi Jinping auf der Generalversammlung der Vereinten Nationen klare Erklärungen zu den chinesischen Zielen für die kommenden Jahre ab. Insbesondere in Zeiten des Corona-Virus weist er darauf hin, dass ein tiefgreifender Wandel zu einer grünen Wirtschaft für den Fortbestand und das Leben in der Umwelt von wesentlicher Bedeutung

the last, 13th five-year plan (2016–2020), introduced by the Chinese government, include significant contributions to energy savings. The aim of the government is to achieve a stable phase of growth and, at the same time, to reduce harmful CO<sub>2</sub> emissions. Therefore, the current plan is resulting in further energy savings and more environmentally friendly developments (8). Only recently, on 22nd September 2020, President Xi Jinping made clear statements about the Chinese goals for the coming years at the United Nations General Assembly. Especially in times of the Corona Virus, he points out that a profound change to a green economy is essential for the continued existence and life within the environment. In this context, e.g., it is important to ensure the restoration of resources and invest in conservation. Because of this, China has declared itself the goal of reaching the peak of its CO<sub>2</sub> emissions by 2030 and ensuring subsequent neutrality even by 2060. This should support sustainable development worldwide and encourage other countries to do the same in China (13).

To secure the country's power supply continues to be a challenge in the transition, because it is a necessity to integrate renewable energies on a large scale without endangering the stable power supply. More flexibility is required than is currently possible (1). Existing coal-fired power plants are still a necessity to achieve a barrier-free integration of fluctuating renewable energies, because coal power generation serves always as base load, peak production and security of supply in the power generation system (1). Although that the coal reserves are high with a reserves replacement ratio (RRR) of above 1 and coal continues to be the main source of electricity generation, the number of additionally installed coal-fired power plants has decreased in recent years (1). In addition, the burning of coal is largely responsible for the emission of CO<sub>2</sub>, air pollution and dust in China and therefore to far-reaching health risks causing environmental pollution (14). On top, the coal production causes the pollution of water, the degradation of the soil and the land use (12).

Increasing challenges are due to the decline in availability of high quality coal deposits, the increase in mining depths, long distances from mines to the markets and the necessity of improving safety standards, as well as availability of trained labors or job alternatives for the workers (10). From a historic point of view, the environment was not assigned a high priority for a long time. The industrialization, urbanization, mobilization and increasing wealth of the population had negative consequences on the environment in recent years (10). Therefore, in mining areas the environmental impact of the coal production is massive and requires nowadays new and innovative approaches for the risk amount, impact mitigation and revitalization for a future use. Here the methods developed under the scheme of post-mining need to be deployed and adopted.

The development of the Chinese coal production is similar to the historic developments in the German coal production. Germany is currently in the phase of closure and post-mining (Figure 1). Still, if China succeeds in keeping its promised target agreements on CO<sub>2</sub> neutrality by 2060, then this can be said to be a relatively short implementation period. There are still around 40 years left to reach this goal and in direct comparison to the German decline and exit from the coal industry, this is very fast. It took Germany around 60 years to do this. With regard to the mining life cycle

ist. In diesem Zusammenhang ist es z.B. wichtig, die Wiederherstellung von Ressourcen sicherzustellen und in ihre Erhaltung zu investieren. Aus diesem Grund hat sich China zum Ziel gesetzt, bis 2030 den Höhepunkt seiner CO<sub>2</sub>-Emissionen zu erreichen und bis 2060 CO<sub>2</sub>-Neutralität sicherzustellen. Dies sollte die nachhaltige Entwicklung weltweit unterstützen und andere Länder ermutigen, dies in China auch zu tun (13).

Die Sicherung der Stromversorgung des Landes bleibt eine Herausforderung beim Übergang auf ein kohlenstoffarmes Energiesystem, da erneuerbare Energien in großem Umfang integriert werden müssen, ohne die stabile Stromversorgung zu gefährden. Es ist mehr Flexibilität erforderlich als derzeit möglich (1). Bestehende Kohlekraftwerke sind nach wie vor eine Notwendigkeit, um eine barrierefreie Integration schwankender erneuerbarer Energien zu erreichen, da die Kohleerzeugung immer als Grundlast, zur Spitzenproduktion und zur Versorgungssicherheit im Stromerzeugungssystem dient (1). Obwohl die Kohlereserven mit einer „Reserves Replacement Ratio“ (RRR) von über 1 hoch sind und Kohle weiterhin die Hauptquelle für die Stromerzeugung darstellt, ist die Anzahl der zusätzlich installierten Kohlekraftwerke in den letzten Jahren zurückgegangen (1). Darüber hinaus ist die Verbrennung von Kohle maßgeblich für CO<sub>2</sub>-Emissionen, Luftverschmutzung und Staub in China und damit für weitreichende Gesundheitsrisiken verantwortlich, die Umweltverschmutzungen verursachen (14). Darüber hinaus verursacht die Kohleproduktion die Verschmutzung des Wassers sowie die Zersetzung des Bodens und der Landnutzung (12).

Zunehmende Herausforderungen bestehen im Rückgang der Verfügbarkeit hochwertiger Kohlevorkommen, in der Zunahme der Gewinnungstiefe, großen Entfernungen von den Bergwerken zu den Märkten und in der Notwendigkeit der Verbesserung der Sicherheitsstandards sowie der Verfügbarkeit geschulter Arbeitskräfte oder Arbeitsalternativen für die Arbeitnehmer (10). Aus historischer Sicht wurde der Umwelt lange Zeit keine hohe Priorität eingeräumt. Die Industrialisierung, Urbanisierung, Mobilisierung und der zunehmende Wohlstand der Bevölkerung hatten in den letzten Jahren negative Auswirkungen auf die Umwelt (10). In den Bergbaugebieten sind die Umweltauswirkungen der Kohleproduktion daher massiv und erfordern neue und innovative Ansätze für die Risikovorsorge, die Minderung der Auswirkungen und die Revitalisierung für eine zukünftige Verwendung. Hier müssen die im Rahmen des Nachbergbau-Programms entwickelten Methoden eingesetzt und übernommen werden.

Die Entwicklung der chinesischen Kohleproduktion ähnelt der historischen Entwicklung der deutschen Kohleproduktion. Deutschland befindet sich derzeit in der Phase des Nachbergbaus (Bild 1). Wenn es China jedoch gelingt, seine versprochenen Zielvereinbarungen zur CO<sub>2</sub>-Neutralität bis 2060 einzuhalten, kann dies als relativ kurze Umsetzungsfrist bezeichnet werden. Es bleiben noch rd. 40 Jahre, um dieses Ziel zu erreichen, und im direkten Vergleich zum Niedergang des Steinkohlenbergbaus und seiner Stilllegung ist dies sehr schnell. Deutschland hat dafür etwa 60 Jahre benötigt. In Bezug auf den oben eingeführten Lebenszyklus des Bergbaus sind geschätzt ein bis zwei Jahrzehnte pro Phase und das Erreichen der nächsten Phase innerhalb des Zyklus zu erwarten. Da China jedoch ein viel größeres Bergbauland als Deutschland ist und größere Kohlemengen verbraucht, ebenso

introduced above, an estimated one to two decades per phase and the achievement of the next phase within the cycle can be expected. However, since China is a much larger mining country than Germany and it consumes a larger number of coal amounts, just as it generates different amounts of coal combustion, this change in China will be much more demanding. This is precisely why the early consideration and inclusion of post-mining measures is so essential in order to actually achieve this goal and to ensure a sensible conversion and recultivation of mine areas. The knowledge transfer from Germany can therefore make a concrete contribution and create added value for both sides.

### 3 The Research Center of Post-Mining (FZN)

In order to reach excellence in post-mining, motivation and skills have to come first. Research and development are essential for this area in order to realize suitable skills, sustainable and long term visions (15). Based on this paradigm and in combination with the decision to completely withdraw from hard coal mining in Germany in 2018 – after decades of decline and corresponding experiences with social, regional and environmental adoption – the Research Center of Post-Mining (FZN) was established at the TH Georg Agricola University (THGA) in 2015 (16). The FZN with its applied sciences is developing solutions for a wide variety of tasks: from coal mine closure to future-oriented monitoring and risk management. The FZN works interdisciplinary in general, but is structured in different units that are dedicated to the respective topics. Now these units consist of perpetual ecological tasks widely mine water management, geomonitoring and mine surveying, materials sci-

wie es größere Mengen an Kohle verbrennt, wird diese Änderung in China viel anspruchsvoller sein. Die frühzeitige Berücksichtigung und Einbeziehung von Maßnahmen nach dem Bergbau ist deshalb so wichtig, um dieses Ziel tatsächlich zu erreichen und eine sinnvolle Umgestaltung und Rekultivierung von Bergbaugebieten zu gewährleisten. Der Wissenstransfer aus Deutschland kann einen konkreten Beitrag leisten und für beide Seiten einen Mehrwert schaffen.

### 3 Das Forschungszentrum Nachbergbau (FZN)

Um Exzellenz im Nachbergbau zu erzielen, müssen Motivation und Fähigkeiten an erster Stelle stehen. Forschung und Entwicklung sind für diesen Bereich unerlässlich, um geeignete Fähigkeiten sowie nachhaltige und langfristige Visionen zu verwirklichen (15). Basierend auf diesem Paradigma und in Kombination mit der Entscheidung, sich 2018 – nach Jahrzehnten des Niedergangs und entsprechenden Erfahrungen mit sozialer, regionaler und ökologischer Übernahme – vollständig aus dem Steinkohlenbergbau in Deutschland zurückzuziehen, wurde im Jahr 2015 das Forschungszentrum Nachbergbau (FZN) an der Technischen Hochschule Georg Agricola (THGA) in Bochum gegründet (16). Das FZN entwickelt Lösungen für eine Vielzahl von Aufgaben von der Schließung von Kohlebergwerken bis zur zukunftsorientierten Überwachung und zum Risikomanagement. Es arbeitet im Allgemeinen interdisziplinär, ist jedoch in verschiedene Einheiten gegliedert, die sich den jeweiligen Themen widmen. Diese Einheiten bestehen aus fortwährenden ökologischen Aufgaben in den Bereichen Grubenwassermanagement, Geomonitoring

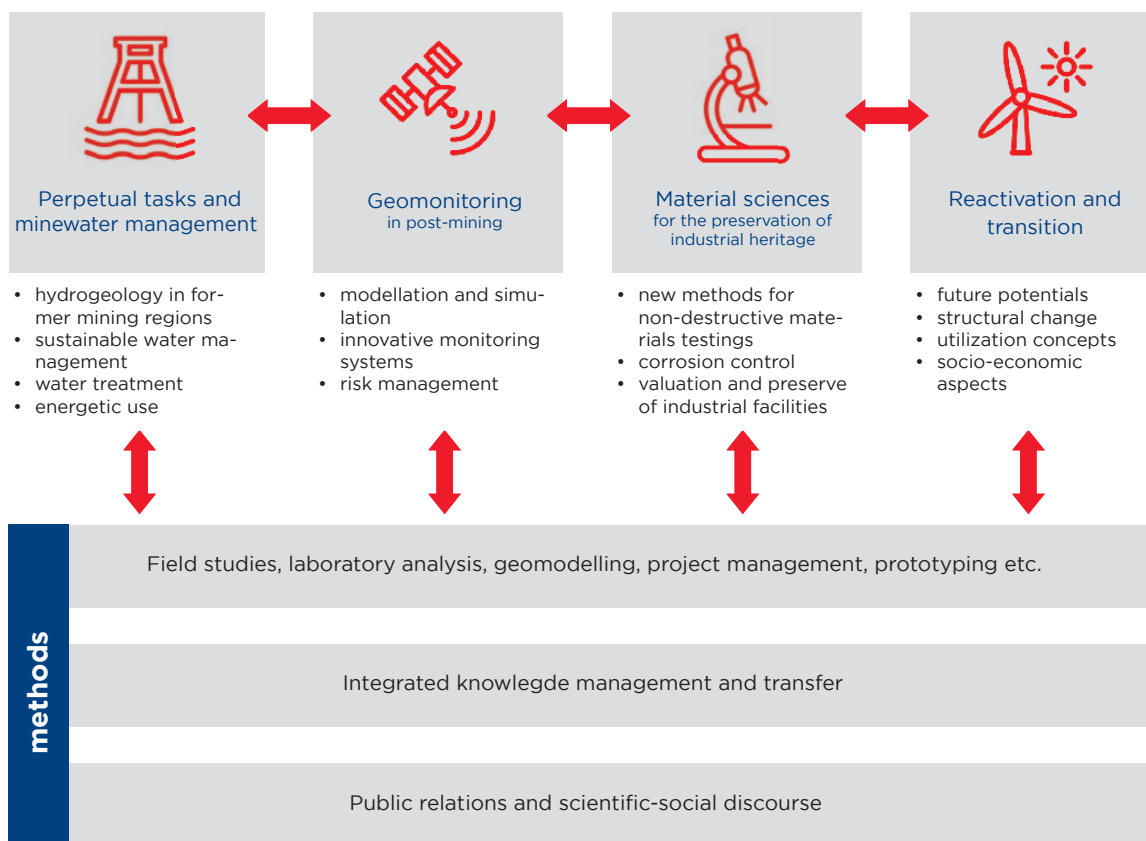


Fig.3. Research areas of the Research Center of Post-Mining at the TH Georg Agricola University (17).  
 Bild 3. Forschungsschwerpunkte des Forschungszentrums Nachbergbau an der TH Georg Agricola (17).

ence and reactivation and transition (Figure 3) (17). The mine water rise processes, e.g., were detailed for the Ruhr area, Saarland, Ibbenbüren and other German hard coal mining areas, as well as for neighboring European countries, analyzed and published in the form of a project report (18). Geomonitoring, in turn, aims at technical data sets and information within the life cycle of a mining site in order to comprehensively evaluate the circumstances. This is why the “digital twin” concept comes into play, which digitally records an industrial process in its entirety (idea, implementation, maintenance, monitoring and dismantling). With the help of this recording, a twin can then be made – a digital image of the location. This in turn enables post-mining tasks to be dealt with, future and perpetual tasks and the associated risks and costs to be assessed (19). In summary, the layout of the FZN is closely linked to the holistic view on the complete mine life cycle (20).

#### **4 German post-mining as a possible support for China**

Because post-mining in China is still developing, implications and experiences from Germany can be helpful. This saves time, budget and possible risks for the environment and society.

Therefore, post-mining should be seen as more than just providing preventive and corrective measures. Rather, it should map a sustainable process that is based on the combination of risk management and the seizing of opportunities. A legal framework in the form of government guidelines can create incentives, promote research and development (16). Post-Mining means to train and set up an integrated team of experts who have expertise, experience in geology, hydrogeology and hydrochemistry, as well as the rehabilitation of mine sites and rock mechanics. Areas such as legal and civil administration, management and the understanding of social, environmental and economic aspects are also essential. The availability of engineers with the necessary qualifications will become indispensable in the future. In this context, the FZN offers training to use projects on mine closure, implement integrated geomonitoring, as well as reuse and redevelop mining regions.

Therefore, the China University of Mining and Technology in Beijing is an excellent example. It is a key national university under the direct supervision of the Ministry of Education (21). This university deals with the importance of mining issues itself. Therefore, they are aware of the necessity of dealing with the consequences that result from coal mining, but also recognized the importance of post-mining. In cooperation with the China University of Mining and Technology, the THGA and the FZN, recently translated the publication of the anthology “Done for Good – Challenges of Post-Mining” (22) into Chinese. Therefore, it is now in the process of being published by the Science Press Beijing in China, too (23). This is an important step in order to enhance the knowledge in this regard and to improve the handling of the challenges.

An example of responsible handling of mining and post-mining challenges is the province of Shanxi. The energy saving policy, which is especially part since the 12th and 13th Five-year-plans from the Chinese Government, was successfully implemented here (24). To this end, a “Fund for the Sustainable Development of Coal” was established in 2007. Since then, all exports of coal have been taxed and the revenues generated have been used to sup-

und Markscheidewesen, Materialwissenschaften sowie Reaktivierung und Transition (Bild 3) (17). So wurden beispielsweise die Grubenwasseranstiegsprozesse für das Ruhrgebiet, das Saarland, Ibbenbüren und andere deutsche Steinkohlenbergbauggebiete sowie für die europäischen Nachbarländer detailliert analysiert und in Form eines Projektberichts veröffentlicht (18). Geomonitoring wiederum zielt auf technische Datensätze und Informationen innerhalb des Lebenszyklus eines Bergbaustandorts ab, um die Umstände umfassend zu bewerten. Aus diesem Grund kommt das Konzept des „digitalen Zwilling“ ins Spiel, das einen industriellen Prozess in seiner Gesamtheit (Idee, Implementierung, Wartung, Überwachung und Demontage) digital aufzeichnet. Mithilfe dieser Aufnahme kann dann ein Zwilling erstellt werden – ein digitales Bild des Orts. Dies ermöglicht wiederum die Bearbeitung von nachbergbaulichen Aufgaben, die Bewertung zukünftiger und fortwährender Aufgaben sowie die Bewertung der damit verbundenen Risiken und Kosten (19). Zusammengefasst ist das Layout des FZN eng mit der ganzheitlichen Betrachtung des gesamten Bergbaulebenszyklus verknüpft (20).

#### **4 Deutscher Nachbergbau als mögliche Unterstützung für China**

Da sich der Nachbergbau in China noch entwickelt, können Implikationen und Erfahrungen aus Deutschland hilfreich sein. Dies spart Zeit, Budget und mögliche Risiken für Umwelt und Gesellschaft.

Der Nachbergbau sollte daher als mehr als nur die Durchführung vorbeugender und korrigierender Maßnahmen angesehen werden. Er sollte vielmehr einen nachhaltigen Prozess abbilden, der auf der Kombination von Risikomanagement und dem Ergreifen von Chancen basiert. Ein rechtlicher Rahmen in Form von Regierungsrichtlinien kann Anreize schaffen sowie Forschung und Entwicklung fördern (16). Nachbergbau bedeutet, ein integriertes Expertenteam auszubilden und aufzubauen, das über Fachwissen, Erfahrung in Geologie, Hydrogeologie und Hydrochemie sowie über die Sanierung von Bergbaustandorten und Gesteinsmechaniken verfügt. Bereiche wie rechtliche und zivile Verwaltung, Management und das Verständnis sozialer, ökologischer und wirtschaftlicher Aspekte sind ebenfalls von wesentlicher Bedeutung. Die Verfügbarkeit von Ingenieuren mit den erforderlichen Qualifikationen wird in der Zukunft unverzichtbar. In diesem Zusammenhang bietet das FZN Schulungen an, um Projekte zur Schließung von Bergwerken, zur Implementierung eines integrierten Geomonitorings sowie zur Wiederverwendung und Sanierung von Bergbauregionen durchzuführen.

Die China University of Mining and Technology in Peking ist ein hervorragendes Beispiel. Sie ist eine wichtige nationale Universität unter der direkten Aufsicht des Bildungsministeriums (21) und befasst sich mit der Bedeutung von bergbaulichen Fragestellungen. An der China University of Mining and Technology ist man sich der Notwendigkeit zum Umgang mit den Folgen des Kohlebergbaus bewusst und erkennt hierbei auch die Bedeutung des Nachbergbaus. In Zusammenarbeit mit der China University of Mining and Technology haben die THGA und das FZN kürzlich die Veröffentlichung der Anthologie „Done for Good – Challenges of Post-Mining“ (22) in die chinesische Sprache übersetzt. Zudem wird sie derzeit auch von der Science Press

port energy-saving initiatives and projects against coal. This fund was created to couple the interests of the province with regard to its concerns about coal mining, with the incentives from the energy-saving policy. The export tax has several functions here and this is a perfect example for the starting implementation of post-mining, initiatives and activities. The social and economic consequences that the province experiences from coal mining should be decreased. The tax also guarantees that provinces that import coal from Shanxi will also bear the costs, regardless of the pure coal price. A side effect of this is that the increased costs for exports should keep the resources within their own province as far as possible. This can generate a larger GDP and thus promote regional development, which in turn has an impact on Shanxi's prosperity (24). The Shanxi province example can be compared with the German post-mining activities. With the implementation of a legal framework the foundation is created to reduce the different technical, economical, environmental and societal impacts of the hard coal production. The Zhejiang Province can also make clear progress in the same direction. Since the mining there contributes significantly to the prosperity of the region, it should be able to continue to be used accordingly. Nevertheless, the consequences for the environment are present, so that different methods are used there. This includes the grouting, filling and point column methods as well as acid waste water neutralization and the use of waste resources, but also the development of so-called mine parks (25). Further, a Chinese feasibility study from 2020 examined the extent to which it is possible to convert abandoned coal mines into underground pumped storage plants. On the one hand, this should minimize costs and, on the other hand, offer advantages in economic, social and ecological terms. The study was able to show that this is basically feasible and that the choice of location and the reuse of former coal mines can serve as references (26). Also, there are already scientific articles on possible strategies that deal with the conversion and new use of former mountain areas and/or regions. An example would be the article by Liang et al. from the year 2018 (27). It implies the political and economic strategic connections regarding the development and use of abandoned mine resources, as well as a strategy for the new normal state of the coal deposits.

Since China had long struggled for energy to cope with its rapidly growing economy and the restricted choice of energy resources, China relied primarily also on small coal mines to keep industrial growth stable. Individuals as well as local governments were therefore allowed to set up small coal mines and factories while the state worked on building large ones. This development resulted in a great popularity of small-scale mining and thereby led to wild mining, which is difficult to control (28). Thus there were many small mines that were either privately owned or operated illegally (29). As can be seen in Figure 4, there were still 1,642 small mines in 2014 alone. In contrast, there are 394 large and 403 medium-sized coal mines (30).

It is advisable to control or to shut down small-scale mining and thus especially wild, difficult-to-control mining as far as possible. Many of this small mines operate informal and effective control is hardly manageable, but effective monitoring of the closure process itself, as well as geomonitoring measures are required. Therefore, the government should constantly endeavor to

Beijing in China veröffentlicht (23). Dies ist ein wichtiger Schritt, um das diesbezügliche Wissen zu erweitern und den Umgang mit den Herausforderungen zu verbessern.

Ein Beispiel für einen verantwortungsvollen Umgang mit bergbaulichen und nachbergbaulichen Herausforderungen ist die Provinz Shanxi. Die Energiesparpolitik, die insbesondere seit dem 12. und 13. Fünfjahresplan Ziel der chinesischen Regierung ist, wurde hier erfolgreich umgesetzt (24). Zu diesem Zweck wurde 2007 ein „Fonds für die nachhaltige Entwicklung von Kohle“ eingerichtet. Seitdem wurden alle Kohleexporte besteuert und die erzielten Einnahmen zur Unterstützung von Energiesparinitiativen und -projekten gegen Kohle verwendet. Dieser Fonds wurde geschaffen, um die Interessen der Provinz in Bezug auf ihre Bedenken hinsichtlich des Kohlebergbaus mit den Anreizen aus der Energiesparpolitik zu verbinden. Die Exportsteuer hat hier mehrere Funktionen und stellt ein perfektes Beispiel für den Beginn der Implementierung von Initiativen und Aktivitäten des Nachbergbaus dar. Die sozialen und wirtschaftlichen Folgen, welche die Provinz durch den Kohlebergbau hat, sollen dadurch verringert werden. Die Steuer garantiert weiterhin, dass Provinzen, die Kohle aus Shanxi importieren, unabhängig vom Preis für reine Kohle auch die Kosten tragen. Ein Nebeneffekt dessen ist, dass die erhöhten Exportkosten die Ressourcen so weit wie möglich in der eigenen Provinz halten sollen. Dies kann ein größeres Bruttoinlandsprodukt (BIP) generieren und somit die regionale Entwicklung fördern, was sich wiederum auf den Wohlstand Shanxis auswirkt (24). Das Beispiel der Provinz Shanxi lässt sich mit den deutschen Nachbergbau-Aktivitäten vergleichen. Mit der Umsetzung eines Rechtsrahmens wird die Grundlage geschaffen, um die unterschiedlichen technischen, wirtschaftlichen, ökologischen und gesellschaftlichen Auswirkungen der Steinkohlenproduktion zu verringern. Die Provinz Zhejiang kann ebenfalls deutliche Fortschritte in dieser Richtung erzielen. Da der dortige Bergbau erheblich zum Wohlstand der Region beiträgt, sollte er weiterhin entsprechend genutzt werden können. Trotzdem sind die Folgen für die Umwelt präsent, sodass dort unterschiedliche Methoden angewendet werden. Dies umfasst die Verguss-, Füll- und Punktsäulenmethoden sowie die Neutralisierung von saurem Abwasser und die Nutzung von Abfallressourcen, aber auch die Entwicklung sogenannter Zechenparks (25). In einer chinesischen Machbarkeitsstudie aus dem Jahr 2020 wurde ferner untersucht, inwieweit es möglich ist, stillgelegte Steinkohlenbergwerke in unterirdische Pumpspeicherkraftwerke umzuwandeln. Dies sollte einerseits die Kosten minimieren und andererseits wirtschaftliche, soziale und ökologische Vorteile bieten. Die Studie konnte zeigen, dass dies grundsätzlich machbar ist und dass die Standortwahl und die Wiederverwendung ehemaliger Bergwerke als Referenz dienen können (26). Es gibt zudem bereits wissenschaftliche Artikel über mögliche Strategien, die sich mit der Umwandlung und Neunutzung ehemaliger Berggebiete und/oder Regionen befassen. Ein Beispiel wäre der Artikel von Liang et al. aus dem Jahr 2018 (27). Dies impliziert die politischen und wirtschaftlichen strategischen Zusammenhänge in Bezug auf die Entwicklung und Nutzung stillgelegter Kohlebergwerksressourcen sowie eine Strategie für den neuen Normalzustand der Kohlevorkommen.

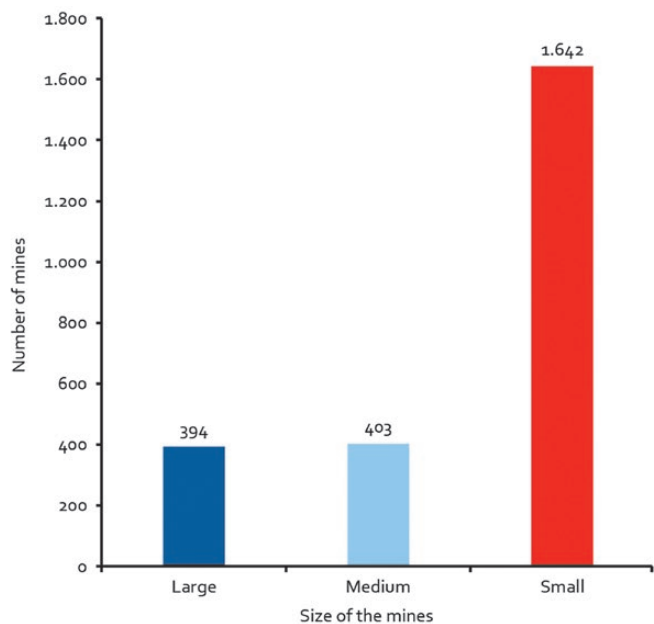


Fig. 4. Comparison of existing hard coal mines in China (after (30)).  
Bild 4. Vergleich bestehender Steinkohlenbergwerke in China (nach (30)).

close small mining operations in order to minimize the risks (29). This might foster the transformation to renewable energies. Especially the closure of small mines demonstrate the importance of a post-mining framework.

## 5 Conclusion

Due to the predominantly active mining in China, post-mining is not yet as important as in Germany, where hard coal mining is getting more attention and has therefore come to a closure. Therefore, the focus on post-mining in Germany is more advanced. The FZN at the THGA in Bochum has already gained experiences and developed integrated and applied solutions for the last years. Besides, Germany has a mining law, in which all legal regulations relating to mining and post-mining can be found and which must also be obeyed. The situation in China is completely different. The number of coal mines is by the factor 100 larger than in Germany and no comparable mining law which regulates the mine closure and post-mining activities is existing. Even though mining will still play a leading role in the country's energy strategy in the coming years, coal mining has entered the phase of stagnation and first developments towards post-mining activities can be seen, e.g., in the Shanxi province. Given the width of the interdisciplinary tasks involved, appropriate solutions and recommendations are required. The many years of comprehensive specialized knowledge and experience in Germany, especially the FZN can be deployed as a role model for a sustainable post-mining development in China.

## Acknowledgements

The authors would like to thank Prof. Peter Goerke-Mallet from the Post-Mining Research Center at the TH Georg Agricola University for his support and the provision of literature. Further thanks go to Prof. Jörn-Carsten Gottwald from the Section of East Asian Politics at the Ruhr University Bochum, who helped promote the idea for this contribution.

Da China lange Zeit um Energie gerungen hat, um mit seiner rasant wachsenden Wirtschaft Schritt zu halten und mit der eingeschränkten Auswahl an Energieressourcen auszukommen, stützte sich das Land in erster Linie auch auf kleine Kohlebergwerke. Sowohl Einzelpersonen als auch Kommunalverwaltungen durften kleine Kohlebergwerke und Fabriken errichten, während der Staat sich um die Realisierung großer Bergwerke bemühte. Diese Entwicklung führte zu einer großen Beliebtheit des Kleinbergbaus und damit zu einem wilden Bergbau, der schwer zu kontrollieren war (28). Es gab viele kleine Bergwerke, die entweder in Privatbesitz waren oder illegal betrieben wurden (29). Wie in Bild 4 zu sehen ist, gab es allein im Jahr 2014 noch 1.642 kleine Bergwerke. Dem stehen 394 große und 403 mittelgroße Kohlebergwerke gegenüber (30).

Es ist ratsam, den Kleinbergbau und damit den wilden, schwer zu kontrollierenden Bergbau so weit wie möglich herunterzufahren. Viele dieser kleinen Bergwerke arbeiten informell und eine wirksame Kontrolle ist kaum möglich, aber eine wirksame Überwachung des Schließungsprozesses selbst, sowie Geomonitoring-Maßnahmen sind erforderlich. Daher sollte die Regierung sich bemühen, kleine Bergwerksbetriebe zu schließen, um die Risiken zu minimieren (29). Dies könnte die Umstellung auf erneuerbare Energien fördern. Insbesondere die Schließung von kleinen Bergwerken verdeutlicht die Bedeutung eines zu implementierenden Nachbergbau-Rahmens.

## 5 Fazit

Aufgrund des überwiegend aktiven Bergbaus in China erreicht der Nachbergbau dort noch nicht den Stellenwert wie in Deutschland, wo der Steinkohlenbergbau bereits eingestellt wurde und der Nachbergbau zunehmend Beachtung findet. Das FZN an der THGA in Bochum hat in den letzten Jahren bereits Erfahrungen gesammelt und integrierte sowie angewandte Lösungen entwickelt. Außerdem hat Deutschland das Bundesberggesetz, in dem alle gesetzlichen Regelungen zum Bergbau und zum Nachbergbau enthalten sind. Die Situation in China ist völlig anders. Die Anzahl der Kohlebergwerke ist um den Faktor 100 höher als in Deutschland, und es gibt kein vergleichbares Bergbaugesetz, das die Schließung von Bergwerken und die Nachbergbau-Aktivitäten regelt. Obwohl der Bergbau in den kommenden Jahren weiterhin eine führende Rolle in der Energiestrategie des Lands spielen wird, ist der Kohlebergbau in die Phase der Stagnation eingetreten, und erste Entwicklungen in Richtung des Nachbergbaus sind beispielsweise in der Provinz Shanxi zu beobachten. Angesichts der Breite der damit verbundenen interdisziplinären Aufgaben sind geeignete Lösungen und Empfehlungen erforderlich. Das Fachwissen und die Erfahrung aus Deutschland, insbesondere das FZN, können hierbei als Vorbild für eine nachhaltige Entwicklung des Nachbergbaus in China fungieren.

## Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei Prof. Peter Goerke-Mallet vom Forschungszentrum Nachbergbau der TH Georg Agricola für seine Unterstützung und die Bereitstellung von Literatur. Ein weiterer Dank geht an Prof. Jörn-Carsten Gottwald von der Sektion Politik Ostasiens der Ruhr-Universität Bochum, der maßgeblich an der Idee für diesen Beitrag beteiligt war.



## References / Quellenverzeichnis

- (1) Na, C.; Pan, H.; Yuan, J.; Ding, L.; Yu, J. (2019): The Flexible Operation of Coal Power and Its Renewable Integration Potential in China. In: *Sustainability*, 11(6), 4424, pp 1–17, DOI: 10.3390/su11164424.
- (2) Heuss, (1965):
- (3) van de Loo, K. (1993): Marktstruktur und Wettbewerbsbeschränkung. Frankfurt am Main: Verlag Peter Lang.
- (4) Kretschmann, J. (2000): Führung von Bergbauunternehmen. Aachen, Mainz: Aachener Beiträge zur Rohstofftechnik und -wirtschaft, 30.
- (5) Gosens, J.; Käberger, T.; Wang, Y. (2017): China's next renewable energy revolution: goals and mechanisms in the 13th Five Year Plan for energy. In: *Energy Science and Engineering*, 5(3), pp 141–155.
- (6) Brødsgaard, K. E. (2015): China's 13th Five-Year Plan: A Draft Proposal. In: *The Copenhagen Journal of Asian Studies*, 33(2), pp 97–105.
- (7) Statista (2019): Hard coal production in China from 1993 to 2018 (in million metric tons). Online: <https://www.statista.com/statistics/267574/production-of-hard-coal-in-china-since-1993/>, letzter Zugriff: 13.10.2020.
- (8) An-Gang, H. (2016): The Five-Year Plan: A new tool for energy saving and emissions reduction in China. In: *Advances in Climate Change Research*, 7(4), pp 222–228.
- (9) International Energy Agency (2020): World Energy Outlook 2020. Online: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>, letzter Zugriff: 26.10.2020.
- (10) Zhang, Z. X. (2013): Energy and Environmental Issues and Policy in China. Milano, Nota di Lavoro, 92.2013, <https://www.jstor.org/stable/resrepo0994>, letzter Zugriff: 16.07.2020.
- (11) Scissors, D. M. (2015): The Chinese Energy Outlook. In: Blumenthal, D. u. a. (Hg.), *Too Much Energy? Asia At 2030*, o.O., pp 27–40, <https://www.jstor.org/stable/resrepo3202.6>, letzter Zugriff: 16.07.2020.
- (12) NDRC/ CNREC (2017): China Renewable Energy Outlook 2017. <http://boostre.cnrec.org.cn/wp-content/uploads/2017/10/CREO-2017-EN-20171113-1.pdf>, letzter Zugriff: 31.03.2020.
- (13) Jinping, X. (2020): Statement by H. E. Xi Jinping, President of the People's Republic of China, at the General Debate of the 75th Session of The United Nations General Assembly. Online: [https://www.fmprc.gov.cn/mfa\\_eng/wjdt\\_665385/zyjh\\_665391/t1817098.shtml](https://www.fmprc.gov.cn/mfa_eng/wjdt_665385/zyjh_665391/t1817098.shtml), letzter Zugriff: 27.10.2020.
- (14) Zhang, Z. X. (2016): Policies and Measures to Transform China into a Low-carbon Economy. In: Song, L.; Garnaut, R.; Fang, C.; Johnston, L. (2016): *China's New Sources of Economic Growth*, Vol. 1: Reform, Resources and Climate Change. Acton, China Update Series, pp 397–418, <https://www.jstor.org/stable/j.ctt1rrd7n9.24>, letzter Zugriff: 16.07.2020.
- (15) Kretschmann, J.; Efremenkov, A. B.; Khoreshok, A. A. (2017): From Mining to Post-Mining: The Sustainable Development Strategy of the German Hard Coal Mining Industry. IOP Conference Series Earth and Environmental Science, 50(1), pp 1–9, DOI: 10.1088/1755-1315/50/1/012024.
- (16) Kretschmann, J. (2020): Research Areas in Post-Mining/Forschungsbereiche im Nachbergbau. In: *Mining Report Glückauf* (156) Heft 2, 2020, S. 142–152.
- (17) FZN (2020): Forschungszentrum Nachbergbau, online: <https://fzn.thga.de/>, letzter Zugriff: 01.09.2020.
- (18) Melchers, C.; Westermann, S.; Reker, B. (2019): Evaluierung von Grubenwasseranstiegsprozessen. In: Melchers, C. (Hg.): *Berichte zum Nachbergbau*, 1, S. 1–126. Selbstverlag des Deutschen Bergbau-Museums 2019.
- (19) Rudolph, T.; Goerke-Mallet, P.; Melchers, C. (2020): Geomonitoring im Alt- und Nachbergbau. In: *zfv*, 145, S. 168–173.
- (20) Goerke-Mallet, P.; Rudolph, T.; Brune, J.; Kretschmann, J. (2020): The Importance of "Social Licence to Operate" for the Mining Life Cycle. In: *Mining Report Glückauf* (156), No. 4, 2020, pp 323–332.
- (21) CUMTB (2017): President's address. Online: <https://english.cumtb.edu.cn/info/1117/1035.htm>, letzter Zugriff: 10.09.2020.
- (22) Kretschmann, J.; Melchers, C. (Hg.) (2016): *Done for Good – Challenges of Post-Mining: Anthology by the Research Institute of Post-Mining*. TH Georg Agricola University: Bochum, Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum, S. 212.
- (23) Kretschmann, J.; Melchers, C. (Hg.) (2020): 做得好 – 德国应对后采矿的挑. Science Press Beijing: Beijing, China.
- (24) Kostka, G.; Hobbs, W. (2012): Local Energy Efficiency Policy Implementation in China: Bridging the Gap between National Priorities and Local Interests. In: *The China Quarterly*, 211, S. 765–785.
- (25) Jiasheng, D.; Mingqiang, X.; Lei, P.; Fuqiang, G. (2020): Analysis of Comprehensive Treatment of Typical Abandoned Mines. In: *Coal Technology*, 36(6), pp 97–99, <http://www.chinacaj.net/i,2,432688,o.html>
- (26) Peng, P.; Tianyou, R.; Xin, L.; Xiangji, O.; Deyu, L.; Xue, J.; Dacheng, S. (2020): Feasibility Study on New Pumped Storage Power Generation Technology in Abandoned Coal Mine. In: *Shanxi Coal*, 40(2), pp 1–5, <https://gb.oversea.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=5XMT202002002&dbcode=CJFD&dbname=CJFDTEMP>
- (27) Liang, Y.; Yaodong, J.; Kai, W.; Yixin, Z.; Xianjie, H.; Chao, X. (2018): Precision exploitation and utilization of closed/abandoned mine resources in China. In: *Journal of China Coal Society*, 43(1), pp 14–20, <http://219.145.61.162/Upload/New/20180206195831.pdf>.
- (28) Naughton, B. (2007): *The Chinese Economy: Transitions and Growth*. Cambridge, Mass. u. a.
- (29) Gunson, A. J.; Jian, Y. (2001): Artisanal Mining in The People's Republic of China. In: *Mining, Minerals and Sustainable Development*, 74, pp 1–19.
- (30) Trippi, M. H.; Belkin, H. E.; Dai, S.; Tewalt, S. J.; Chou, C.-J. (Hg.) (2015): USGS Compilation of Geographic Information System (GIS) Data Representing the Coal Mines and Coal-Bearing Areas of China. U.S. Geological Survey Open-File Report 2014-1219, DOI: 10.3133/ofr20141219.

## Authors / Autoren

Julia Tiganj B. A., Forschungszentrum Nachbergbau (FZN) der Technischen Hochschule Georg Agricola (THGA), Bochum, Prof. Dr. Jürgen Kretschmann, Technische Hochschule Georg Agricola (THGA), Bochum, Prof. Dr. Kai van de Loo, Prof. Dr. Tobias Rudolph, Forschungszentrum Nachbergbau (FZN) der Technischen Hochschule Georg Agricola (THGA), Bochum