

# Utilisation of Underground Mining Infrastructure as Pumped Storage Power Plant

Pumped-storage power plants are an efficient option for energy storage to address short-term variances. In general, pumped-storages are dependent on high differences in altitude and therefore located in mountainous areas. An advantageous variation is the installation of pumped-storage power plants completely or partially underground. Three variations are feasible: usage of the infrastructure of closed mines, usage of the infra-

structure of operating mines, and usage of unexploited rock. Feasibility studies for the installation of pumped-storages in closed and operating mines have been presented and discussed. Pumped-storage power plants are crucial for the restructuring of Germany's energy system but until they can be economically implemented it is up to the politicians to encourage the realisation of such projects.

## Nutzung untertägiger Bergwerksinfrastruktur als Pumpspeicherkraftwerk

Pumpspeicherwerke sind eine gute Möglichkeit, elektrische Energie zu speichern. Normalerweise sind sie an größere Höhenunterschiede gebunden, sodass sie nur in bergigen Gegenden anzutreffen sind. Eine interessante Variante ist die Unterbringung mindestens des Unterbeckens im unterirdischen Raum. Hierfür gibt es die drei Varianten: Nutzung von stillgelegten Bergwerken, Nutzung von fördernden Bergwerken sowie Bau im unverritzten

Gebirge. Die Studien für den Bau von Pumpspeicherwerken in stillgelegten oder fördernden Gruben werden vorgestellt und diskutiert. Für die Energiewende sind solche Pumpspeicherwerke unbedingt notwendig. Da sie zurzeit aber noch nicht wirtschaftlich errichtet werden können, ist die Politik hier gefordert, die Umsetzung voranzutreiben.

### 1 Introduction

Within the last years wind power has gained in importance in Germany. Characteristic for wind power is that it is generated in the northern and eastern parts of the country, especially close to the coast, but the power is mainly needed in the western and southern parts of Germany. Furthermore, the ability to generate wind power does not always correspond with the energy consumption. Therefore, a sufficient long-term storage and transport concept is needed to balance supply and demand of wind energy. Storage capacities are necessary for the considerable variations over time – daily, monthly and yearly variations – as well as storage options for short-term load and generation fluctuations. So far for the long-term variations no large-scale technologies are established, whereas for the short-term variations pumped-storage power plants provide a potential workaround (1). Drawbacks for this technology are the required differences in altitude as well as the considerable space requirements causing a huge impact on the environment. Already in 2007, a research group of Energie Forschungszentrum Niedersachsen (EFZN, energy-research centre of Lower Saxony),

### 1 Einleitung

Die Windenergie hat in den letzten Jahren in Deutschland stark an Bedeutung gewonnen. Eine Besonderheit dieser Energie ist, dass sie verstärkt in den nördlichen und östlichen Ländern Deutschlands, vor allem den Küstenregionen erzeugt wird und eher im Westen und Süden benötigt wird. Darüber hinaus kann Windenergie nicht immer dann erzeugt werden, wenn ein Bedarf vorhanden ist. Langfristig muss also ein ausreichendes Speicher- und Transportkonzept vorhanden sein, um das Angebot der Windenergie dem Bedarf angleichen zu können. Benötigt werden Speicher für längerfristige Schwankungen im Wochen-, Monats- oder Jahresbereich sowie Speicher für kurzfristige Last- und Erzeugungsschwankungen. Für den ersten Fall konnten sich noch keine Technologien im großen Maßstab etablieren (1). Zu den kurzfristigen Speichern gehören u. a. auch hydrodynamische Pumpspeicherkraftwerke. Diese sind an größere Höhenunterschiede gebunden und bedürfen einer großen Fläche, was einen Eingriff in die natürliche Umwelt darstellt. Aus diesem Grund hat sich bereits im Jahr 2007 eine Forschergruppe am Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (EFZN), eine wissenschaftliche Einrichtung

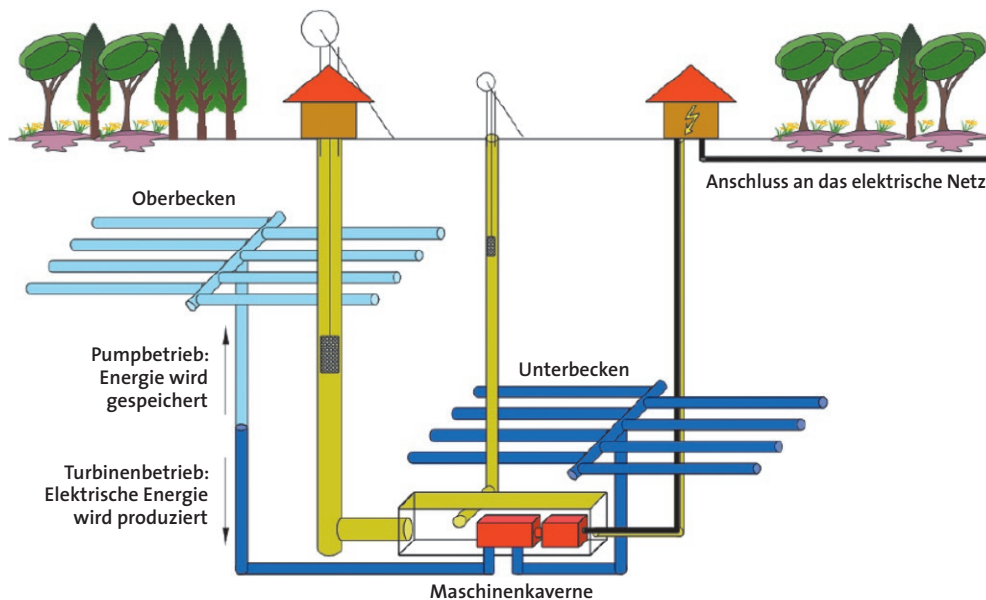


Fig. 1. Schematic sketch of underground pumped-storage power plant (1).  
Bild 1. Prinzipskizze eines Pumpspeicherkraftwerks unter Tage (1).

a scientific institute of Clausthal University of Technology (TU Clausthal), Clausthal-Zellerfeld/Germany, has started to work on these problems. One approach is the subsequent use of closed mines for underground storage systems of generated wind power which is looked at by a team of experts from the fields of mining, mechanical and electrical engineering as well as economic, social and legal sciences. In the meantime, the EFZN is hosting conferences to enable an interdisciplinary dialogue on pumped-storage solutions.

## 2 Underground pumped-storage power plants

A pumped-storage power plant is used to store surplus electric energy generated by wind power by pumping water from a low-altitude reservoir to a high-altitude reservoir (Figure 1). The electrical energy is transformed to potential energy whereby the stored energy in the water is proportional to the mass of the pumped water and the difference in altitude. When energy is demanded the water from the high-altitude reservoir is released and led through a turbine which operates a generator to generate electrical energy with an overall efficiency of 75 % (2).

Installing a pumped-storage power plant underground – or at least installing the low altitude reservoir underground – allows the usage of locations independent of natural differences in altitude and decreases the impact on the environment.

Three types of underground pumped-storage power plants can be distinguished (3):

1. pumped-storage power plants in closed mines;
2. pumped-storage power plants in operating mines; and
3. pumped-storage power plants in unexploited rock.

The relevant advantages and disadvantages of each type are discussed below. Generally, it can be said that as sooner a pumped-storage power plant is included in the planning process of a mine the more economical and sustainable is this subsequent use.

der Technischen Universität (TU) Clausthal, zusammengefasst, um weitere Lösungen für dieses Problem zu finden. Der Ansatz war, stillgelegte Bergwerke der Nachnutzung durch untertägige hydraulische Pumpspeicherkraftwerke zu unterziehen, um die durch Windenergie erzeugte elektrische Energie zu speichern. Beteiligt waren Experten aus den Bereichen Bergbau, Maschinenbau, Elektrotechnik sowie Wirtschafts-, Sozial- und Rechtswissenschaften. In der Zwischenzeit haben am EFZN mehrere Tagungen mit einem transdisziplinären Dialog zum Thema „Pumpspeicher“ stattgefunden.

## 2 Untertägige Pumpspeicherkraftwerke

Ein Pumpspeicherwerk arbeitet im Verbund mit Windkraftanlagen, indem es überschüssige, also gerade nicht verwertbare elektrische Energie, nutzt, um Wasser von einem niedrigen Niveau (Unterbecken) mittels Motor und Pumpe auf ein höheres Niveau (Oberbecken) zu pumpen (Bild 1). Die elektrische Energie wird in potentielle Energie des Wassers umgewandelt, wobei die gespeicherte Energie proportional zur Masse des Wassers und der Höhendifferenz ist. Wird elektrische Energie benötigt, wird das Wasser vom Oberbecken über eine Turbine in das Unterbecken zurückgeleitet und mit dem Generator Energie erzeugt. Üblicherweise erreichen heutige Pumpspeicherkraftwerke einen Gesamtwirkungsgrad von mehr als 75 % (2).

Nutzt man nun untertägige Hohlräume, ist man nicht auf den Höhenunterschied durch Berge angewiesen. Mindestens das Unterbecken muss dann untertägig installiert sein. Außerdem ist die Belastung der Umwelt erheblich geringer, da weniger Fläche benötigt wird.

Grundsätzlich gibt es für untertägige Pumpspeicherkraftwerke drei Möglichkeiten (3):

1. Pumpspeicherkraftwerke in stillgelegten Bergwerken,
2. Pumpspeicherkraftwerke in aktiven Bergwerken und
3. Pumpspeicherkraftwerke im unverritzten Gebirge.

Alle drei Varianten haben entsprechende Vor- und Nachteile, die im Folgenden diskutiert werden sollen. Grundsätzlich ist aber zu bedenken, je eher ein Hohlraum für ein Pumpspeicherwerk in die Planung eines Bergwerks einbezogen wird, desto preiswerter und nachhaltiger ist diese Lösung.

### 2.1 Pumpspeicher in stillgelegten Bergwerken

Ein ausführliches Projekt zu diesem Thema wurde am EFZN in Goslar im Jahr 2011 vorgestellt. Hierfür wurden alle alten Bergbauregionen Deutschlands untersucht und die Bergwerke auf ihre Eignung

## 2.1 Pumped-storage power plants in closed mines

In 2011 the EFZN presented in Goslar/Germany a project investigating the suitability of old mining regions as pumped-storage power plant locations. Metal mines proved to be the most suitable ones due to their stable geological conditions and the considerable depth of the mines. However, most of these mines are very old and cannot be used completely for modern pumped-storages. Potash and rock salt mines provide large excavations and workings but due to the solubility of the deposit fresh water cannot be stored underground. Likewise, brines are not applicable because of the temperature dependent crystallisation behaviour and the used machine technique. Furthermore, a long-term impermeability and mechanical stability of the excavations cannot be ensured. By comparison, old spar mines provide suitable stability but the excavations in these mines are normally backfilled (1). Closed collieries do not have sufficiently large excavations and would require the drivage of new excavations with additional impermeable lining. Also, it would be mandatory to install explosion protected electrical equipment which causes additional costs. The most suitable closed mines for a pumped-storage project are in the Harz Mountains, the Erz Mountains, and the Siegerland region. However, all possible mines require high efforts to be suitable for such a project. The EFZN project evaluated among others the amalgamated mine Bad Grund as a model mine.

The whole development needed to use this mine as a pumped-storage power plant was simulated in detail. The existing drifts of the mine were not suitable and the construction of a new low altitude and high altitude reservoir was included in the planning. As a first step the renovation of the shaft was considered to enable transport of machinery and material. A roadway system of parallel drifts was chosen because of its economic and mechanically advantageous development. Generally, the influence of the drift design is neglectable, only ventilation must be ensured, e.g. by ducts, to allow the air to escape when the water in the drifts is rising. For the development of the drifts the planning software VULCAN was used. The simulation of the water flow was realised with the software ANSYS. Significant is a large central connecting drift. The simulation showed that the flow velocities are manageable, and a maximum value of 3.7 m/s can be reached. This study – conducted mainly by researchers from TU Clausthal – proved the feasibility of such a project. The capital costs for a planned storage capacity of 400 MWh with a power output of 100 MW are estimated below 2,000 €/kW (1).

Another study evaluates the usage of excavations at the coal mine Prosper-Haniel for a pumped-storage power plant with a power output of 200 MW (4, 5). From 2012 until 2014 the feasibility of this project was evaluated by a group of eleven partners from five institutions including the University Duisburg-Essen and Ruhr University Bochum (RUB). The results of the study stated that closed collieries are not suitable and that a closed system should be preferred rather than an open system including underground water. For the development of the underground reservoir with a diameter of 8 m the usage of a full-face cutting machine is planned. The reservoir consists of a 16 km long circle drift which is lined completely with strong concrete segments.

überprüft. Am meisten geeignet erschienen Erzbergwerke, da sie in geologisch stabilen Bereichen liegen und teilweise große Teufen aufweisen. Allerdings sind viele dieser Bergwerke schon sehr alt, sodass die Grubenbaue für ein modernes Pumpspeicherwerk kaum mehr uneingeschränkt nutzbar sind. Der Kali- und Salzbergbau bietet zwar große Grubenräume, kommt aber aufgrund der Löslichkeit der Lagerstätte nicht in Betracht. Hier ist der Einsatz von Süßwasser nicht möglich. Ein Einsatz von Laugen scheidet aufgrund des unterschiedlichen Kristallisationsverhaltens bei unterschiedlichen Temperaturen und der Maschinenteknik aus. Auch kann eine langzeitige Dichtheit und mechanische Stabilität der Grubenbaue nicht gewährleistet werden. Bergwerke des Spatbergbaus sind grundsätzlich wegen ihrer größeren Stabilität geeignet, werden aber meistens verfüllt, sodass keine größeren Hohlräume zur Verfügung stehen (1). Steinkohlenbergwerke bieten keine sicheren großen Resthohlräume. Diese müssten zusätzlich erschlossen werden. Außerdem ist das Steinkohlengebirge nicht dicht, sodass die für die Becken genutzten Hohlräume mit mehr oder weniger dichtem Ausbau versehen werden müssten. Weiterhin müssen die erforderlichen elektrischen Anlagen explosionsicher ausgeführt werden, was einem erheblichen Mehraufwand entspricht. Trotzdem befinden sich geeignete Bergbauregionen mit Bergwerken für Pumpspeicherkraftwerke hauptsächlich im Harz, Erzgebirge und Siegerland. Diese möglichen Bergwerke sind aber auch nur mit großem Aufwand für ein solches Projekt zu gebrauchen. Für das Projekt des EFZN wurde als Modellbergwerk u.a. das Verbundbergwerk Bad Grund näher betrachtet.

Die vorhandenen Strecken in dem alten Bergwerk kamen für ein solches Projekt nicht in Betracht, daher wurden sowohl ein neues Unter- als auch ein neues Oberbecken unter Tage in der Auffahrung vorgesehen. Diese wurden im Detail geplant und der Abtransport des Haufwerks bis auf die Halde simuliert. Eine Schachtsanierung war daher der erste Schritt, da entsprechende Maschinen für die untertägige Auffahrung gebraucht werden. Am einfachsten lässt sich ein Streckensystem von parallelen Strecken realisieren, da diese kostengünstig und bergmechanisch in den geeigneten Bereichen aufgefahren werden können. Letztendlich spielt es für das Wasser keine Rolle, ob die Strecken gleich lang oder ggf. abgewinkelt sind. Entscheidend ist eine Entlüftung am Ende der Strecke, da bei ansteigendem Wasser die eingeschlossene Luft entweichen können muss. Dies kann einfach über Rohrleitungen gelöst werden. Die Streckenauffahrungen wurden mit dem Planungsprogramm VULCAN abgebildet und das Herein- und Herausströmen des Wassers wurde mit der Software ANSYS simuliert. Entscheidend ist eine größere, zentrale Strecke, die alle anderen verbindet. Die Simulation ergab, dass die Strömungsgeschwindigkeiten beherrschbar sind und maximal 3,7 m/s erreichen. Diese Studie, die im Wesentlichen von Forschern der TU Clausthal durchgeführt wurde, zeigte eindeutig die Machbarkeit des Projekts auf. Für das geplante Speichervolumen von 400 MWh bei einer Leistung von 100 MW konnten in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Investitionskosten von weniger als 2.000 €/kW aufgezeigt werden (1).

Eine andere Studie beschäftigt sich mit der Nutzung der unterirdischen Hohlräume im Bergwerk Prosper-Haniel für ein Pumpspeicherkraftwerk mit 200 MW (4, 5). Elf Partner aus fünf Einrichtungen, u.a. die Universität Duisburg-Essen und die Ruhr-Universität Bochum (RUB), haben im Zeitraum der Jahre 2012 bis

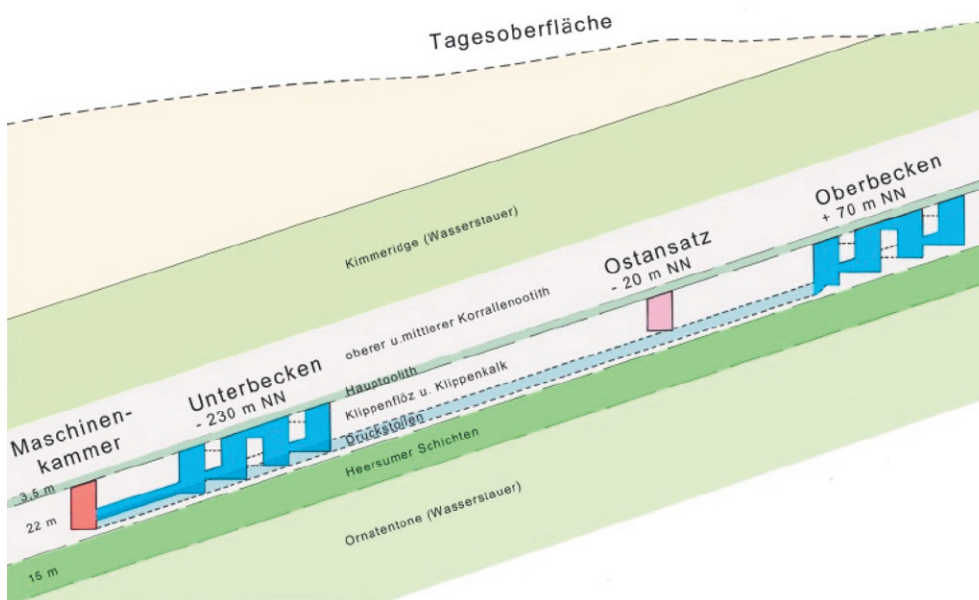


Fig. 2. Schematic sketch of a pumped-storage power plant at Wohlverwahrt-Nammen mine.  
 Bild 2. Prinzipskizze eines Pumpspeicherkraftwerks auf dem Bergwerk Wohlverwahrt-Nammen.  
 Source/Quelle: Barbara Erzbergbau GmbH

The high-altitude reservoir is constructed on the mine premises on surface which further reduces the costs as well as the usage of the existing shafts as accesses. All things considered, the capital costs are estimated up to 2,600 €/kW. Like other projects it is not yet economically feasible.

Similar projects are conducted abroad. China investigates possible subsequent usages of mines as pumped-storage power plants as e.g. at a cooper mine in the province Yunnan near Kunming. This promising mine is located in a mountainous area providing a natural difference in altitude. Furthermore, a near by river might be redirected and integrated in a run-of-river power station.

## 2.2 Pumped-storage power plants in operating mines

Another study of TU Clausthal evaluated the possibility of a pumped-storage power plant at the mine Wohlverwahrt-Nammen operated by Barbara Rohstoffbetriebe at Porta Westfalica in North Rhine-Westphalia. The mine operates in a marine sedimentary iron oolite formation in the lower coral oolite. The steep dip of 20° to the North provides a sufficient difference in altitude for the two reservoirs which can be installed in the existing excavations. Pumping the water between the two reservoirs can be realised with pipes running in the existing drifts of the mine. Despite the low capital costs required to implement a pumped-storage power plant at the mine no investor has been found so far. A schematic sketch is shown in Figure 2.

## 2.3 Pumped-storage power plants in unexploited rock

A third variation is the drive of excavations for reservoirs in unexploited rock. Different advantages can be achieved including the selection of locations with optimal rock mechanical conditions and the selection of locations in close proximity to wind farms. A disadvantage is the necessity to build completely new access elements and an underground infrastructure. If environmental aspects are in favour the high altitude reser-

2014 die Machbarkeit eines solchen Projekts aufgezeigt. Es wurde gezeigt, dass bereits stillgelegte Anlagen des Steinkohlenbergbaus nicht geeignet sind und ein geschlossenes System einem offenen System, bei dem das Grubenwasser mit einbezogen wird, eindeutig vorzuziehen ist. Die Auffahrung des untertägigen Beckens würde mittels einer Vollschnittmaschine mit einem Durchmesser von 8 m hergestellt werden. Das Becken besteht in dieser Planung aus einer 16 km langen Ringstrecke, die mit massiven Beton-Tübbingungen vollständig ausgebaut ist. Das Oberbecken liegt auf dem Gelände des heutigen Bergwerks, was die Kosten erheblich senkt. Als Zugänge dienen die noch offenen Schächte des Bergwerks. Die Investitionskosten

werden mit bis zu 2.600 €/kW angegeben. Auch dieses Projekt scheint im Moment noch nicht wirtschaftlich umsetzbar zu sein.

Im Ausland wird ebenfalls über solche Projekte konkret nachgedacht. So werden z.B. in China etliche Bergwerke auf ihre Eignung als Pumpspeicherkraftwerke untersucht. Ein Beispiel eines Kupferbergwerks in der Provinz Yunnan nahe Kunming ist sehr erfolgversprechend, da das Bergwerk in den Bergen liegt und damit ein großer Höhenunterschied erreicht werden kann. Außerdem kann ein nahe gelegener Fluss teilweise umgeleitet werden und damit rein durch Laufwasser Energie erzeugen.

## 2.2 Pumpspeicherkraftwerke in aktiven Bergwerken

Eine weitere Studie der TU Clausthal hat ein mögliches Pumpspeicherkraftwerk im Bergwerk Wohlverwahrt-Nammen der Barbara Rohstoffbetriebe in Porta Westfalica aufgezeigt. Die Schichten haben ein Einfallen von rd. 20° nach Norden, sodass sich im Bergwerk ein für ein Pumpspeicherwerk ausreichender Höhenunterschied ergibt. Abgebaut wird im marin-sedimentären eisenoolithischen Horizont im unteren Korallenoolith. Die Hohlräume sind ausreichend groß für ein kleineres Pumpspeicherwerk mit Unter- und Oberbecken unter Tage. Das Pumpen des Wassers kann durch entsprechende Rohrleitungen erfolgen, die in die bereits aufgefahrenen quer verlaufenden Strecken verlegt werden können. Obwohl eine solche Anlage sehr geringer Investitionskosten bedürfte, konnte bisher kein interessierter Energieversorger gefunden werden. Eine Prinzipskizze zeigt Bild 2.

## 2.3 Pumpspeicherkraftwerke im unverritzten Gebirge

Eine dritte Variante ist das Auffahren entsprechender Grubenräume für ein Unterbecken im unverritzten Gebirge. Dies hat mehrere große Vorteile. Erstens können die erforderlichen unterirdischen Räume dort aufgefahren werden, wo es das Gebirge unbedingt zulässt und zweitens können sie dort aufgefahren werden, wo die elektrische Energie erzeugt wird, nämlich in der Nähe der Windenergieparks. Nachteilig ist allerdings, dass ent-

voir can be constructed at the surface to keep the capital costs manageable.

### 3 Evaluation

All three variations of underground pumped-storage power plants are technically feasible. However, the expected costs are difficult to estimate – a problem shared with all tunnel projects for which cost overruns of 50 % are not uncommon. So far, an underground pumped-storage project has not been realised impeding a precise cost estimation. Nevertheless, for the restructuring of the energy system storage capacities are crucial and the implementation of storage projects lies within the duty of politics. The deposit of the Barbara Rohstoffbetriebe e. g. is ideal for such a project in both active mines and unexploited areas. Those areas, even for a larger project, are sufficiently available there.

Regarding the technical aspect, a pumped-storage power plant in unexploited rock is preferable due to the possible proximity to a wind farm. By comparison, the usage of closed or operating mines provides cost benefits as existing infrastructure can be used. However, costs for the renovation of shafts from closed mines should not be underestimated. A useful subsequent use of mining infrastructure can be economically achieved by including such projects in the planning process and preparing the required excavations during the operation of the mine. This approach requires only low additional costs and is described in the concept of “blue mining” developed in 2013 by the Institute of Mining of TU Clausthal (3,6).

### 4 Outlook

A sufficient number of studies and concepts for underground pumped-storage power plants is available. Even the automobile industry, which is facing high energy demands for their production, as well as energy suppliers have conducted studies and the feasibility of pumped-storages in different formations has been proven repeatedly. The next step requires the actual implementation of such projects. If the implementation cannot be driven by the economy, it is the politics responsibility to fill in as they call for the realisation of the energy transition.

#### References / Quellenverzeichnis

- (1) Beck, H.-P.; Schmidt, M. (Hrsg.); Langefeld, O. e.a.: Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke. Abschlussbericht des EFZN, Goslar; 31.08.2011; ISBN 978-3-942216-54-8.
- (2) Giesecke, J.; Mosonyi, E.: Wasserkraftanlagen Planung, Bau und Betrieb. 5. Aktualisierte und erweiterte Auflage – Berlin; Springer 2009.
- (3) Langefeld, O.; Kellner, M.: “Blue Mining” – The future of Mining. Proceedings 6th International Conference on Sustainable Development in the Minerals Industry, 30 June – 3 July 2013, Milos Island, Greece.
- (4) Niemann, A. e.a.: Entwicklung eines Realisierungskonzeptes für die Nutzung von Anlagen des Steinkohlenbergbaus als unterirdische Pumpspeicherkraftwerke – zusammenfassender Abschluss-

sprechende Schächte geteuft oder gebohrt werden müssen. Ein Oberbecken könnte übertägig gestaltet werden, wenn es aus Umweltgründen möglich ist. Damit müssten die Investitionskosten relativ überschaubar bleiben.

### 3 Bewertung

Alle drei Möglichkeiten der Realisierung von Pumpspeicherkraftwerken unter Tage sind als technisch machbar anzusehen. Die Kosten sind – wie bei jedem Tunnelbauprojekt auch – relativ schwer zu kalkulieren. Kostenüberschreitungen von 50 % gegenüber der geplanten Summe sind keine Seltenheit. Vielleicht liegt es daran, dass solche Projekte noch nicht realisiert wurden. Sicher ist allerdings, dass die Energiewende ohne solche Speicherprojekte nur schwer umsetzbar ist. Die Politik ist hier also in der Pflicht. Die Lagerstätte der Barbara Rohstoffbetriebe eignet sich z. B. hervorragend für ein solches Projekt sowohl in aktiven Bergwerken als auch in unverritzten Flächen. Solche Flächen, auch für ein größeres Projekt, sind dort ausreichend vorhanden.

Technisch ist das Pumpspeicherkraftwerk im unverritzten Gebirge eindeutig zu bevorzugen, da es direkt, oder zumindest in der Nähe der Windenergieparks gebaut werden kann. Das Nutzen von Grubenbauen geschlossener oder schließender Bergwerke hat natürlich Kostenvorteile, da die beiden erforderlichen Schächte nicht neu gebaut werden müssen. Andererseits kann eine Schachtsanierung für ältere, bereits geschlossene Bergwerke ebenfalls sehr teuer sein. Eine sinnvolle weitere Nutzung von Grubenbauen kann nur dann wirtschaftlich sein, wenn die geplanten Hohlräume schon bei ihrer Auffahrung entsprechend ausgestattet werden. Diese „Zusatzausstattung“ kann bei der Auffahrung mit geringen Mehrkosten möglich sein. Das Institut für Bergbau der TU Clausthal entwickelte bereits im Jahr 2013 das „blue mining“-Konzept, das eine Nachnutzung von Bergwerken bereits in der Planungsphase vorsieht (3, 6).

### 4 Ausblick

Konzepte und Studien liegen für untertägige Pumpspeicherkraftwerke in ausreichender Anzahl vor. Auch große Automobilkonzerne, die erhebliche Mengen an Energie benötigen, und Energieversorger haben solche Untersuchungen bereits durchgeführt. Die Machbarkeit in verschiedenen Horizonten wurde mehrfach nachgewiesen. Der nächste Schritt muss die Umsetzung eines solchen Projekts sein. Wenn die Wirtschaft hier zu vorsichtig ist, muss die Politik einspringen, denn sie verlangt die Umsetzung der Energiewende.

bericht. Förderkennzeichen 64.65.69-PRO-0039; gefördert durch NRW und EU.

- (5) Niemann, A.; Balmes, J.P.; Schreiber, U.; Wagner, H.-J.; Friedrich, T.: Ein untertägiges Pumpspeicherwerk am Bergwerk Prosper-Haniel in Bottrop – Sachstand und Perspektiven. Mining Report Glückauf (154), Heft 3/2018; S. 214–223.
- (6) Langefeld, O., Binder, A.: Responsible Mining. Mining Report Glückauf (154), Heft 1/2018; S. 20–27.

#### Author / Autor

Prof. Dr.-Ing. Oliver Langefeld, Institut für Bergbau der Technischen Universität (TU) Clausthal, Clausthal-Zellerfeld