

Mareike Bothe-Fiekert, Angela Binder, Oliver Langefeld

## Historic Mining Infrastructure as an Opportunity for Regional Water- and Energy Supply: The Water Reservoir Harz 2050 Project

High precipitation, dams and waterworks make the Harz Mountains a large freshwater supplier. But, challenges arise based on climate change and extreme weather events. Old mine working can support water management if integrated into the system. Successful planning and integration need a holistic understanding of the regional water cycle, the current situation of the mine workings and

the interaction. The development of a hydro-analytical water management tool establishes a link to analyse excavation utilisation enabling adaptive water management. A hybrid model approach is used to simulate and forecast regional water quality developments using AI systems supporting the decision-making for additional measures and identifying chances to adapt to climate change.

## Historische Bergbauinfrastruktur als Chance für die regionale Wasser- und Energieversorgung: Das Wasserspeicher Harz 2050-Projekt

Hohe Niederschlagsmengen, Talsperren und Wasserwerke machen den Harz zu einem bedeutenden Süßwasserlieferanten. Durch den Klimawandel und Extremwetterereignisse entstehen jedoch Herausforderungen. Bei einer Integration des Altbergbaus in die Wasserwirtschaft kann er diese unterstützen. Eine erfolgreiche Planung und Einbindung erfordert ein ganzheitliches Verständnis des regionalen Wasserkreislaufs, der aktuellen Situation der Grubengebäude und der Wechselwirkungen. Mit der Entwick-

lung eines hydroanalytischen Wassermanagementtools wird eine Verbindung zur Analyse der Grubennutzung hergestellt, die ein adaptives Wassermanagement ermöglicht. Mit Hilfe eines hybriden Modellansatzes wird die Entwicklung der regionalen Wasserqualität mittels KI-Systemen simuliert und prognostiziert, um die Entscheidungsfindung für zusätzliche Maßnahmen zu unterstützen und Möglichkeiten zur Anpassung an den Klimawandel aufzuzeigen.

### Introduction

More and more regions have to adapt to extreme weather events in the course of climate change. Sudden heavy rainfall or prolonged heavy overland rainfall followed by flooding or increasing dry periods are a challenge for many regions. Mountain regions are particularly important for the water balance (1), as the average precipitation levels are often up to 1,600 mm/a or higher due to the higher morphology. Regions in the rain shadow of the mountains often only have annual mean precipitation in the range of only 500 mm or even less. At the same time, there is a risk of flooding in the surrounding countryside (2). Climatically, the Harz Region is one of the areas with the highest precipitation rates in Germany with its annual precipitation of 1,326 mm on the Clausthal plateau. Furthermore, its storage capacity based on six dams in the western Harz and four groundwater works from the interconnected system of the Harzwasserwerke GmbH (HWW) supplies around two million people and numerous important industrial companies from the Harz

### Einführung

Immer mehr Regionen müssen sich im Zuge des Klimawandels auf extreme Wetterereignisse einstellen. Plötzliche Starkniederschläge oder lang anhaltende starke Landniederschläge mit anschließenden Überschwemmungen oder zunehmenden Trockenperioden sind für viele Regionen eine Herausforderung. Gebirgsregionen sind für den Wasserhaushalt besonders wichtig (1), da die durchschnittlichen Niederschlagsmengen aufgrund der Morphologie oft bis zu 1.600 mm/a oder mehr betragen. Regionen im Regenschatten der Gebirge weisen oft nur mittlere Jahresniederschläge im Bereich von 500 mm oder sogar weniger auf. Gleichzeitig besteht im Umland die Gefahr von Überschwemmungen (2). Klimatisch gehört der Harz mit einer Jahresniederschlagsmenge von 1.326 mm auf der Clausthaler Hochfläche zu den niederschlagsreichsten Gebieten in Deutschland. Darüber hinaus versorgt die Speicherkapazität auf der Basis von sechs Talsperren im Westharz und vier Grundwasserwerken aus dem

Mountains to Bremen with drinking water every day (3). The low mountain range not only has a special status due to the UNESCO World Heritage the “Upper Harz Water Regale”, but the water quality also stands out in comparison to many other areas in northern Germany (4) and is therefore not only of special water management relevance for areas with nitrate-polluted aquifers but also for regions in the rain shadow of the Harz Mountains with an annual average of only 481 mm precipitation over 50 years (3). If the current supply system is not expanded, the HWW sees the challenge that as a result of climate change and the simultaneously increasing demand of the user region, the supply and quality of water will be limited in the medium and long term and flood events such as those in Goslar in 2017 will increase. The demand in terms of quantity and quality concerns not only the (drinking) water supply but also the provision of sufficient (cooling) water for industry, such as the chemical plants in Langelsheim, the sewage treatment plant pipelines and agricultural operations in the foreland. In addition to quantity, temperature trends, microbiological parameters, pH and potentially toxic elements are of particular interest for regional water management. Due to the high annual precipitation rate and the already existing underground cavities due to the centuries of mining history, their potential as water reservoirs should be investigated to actively integrate them into the current water supply network. Therefore, the TU Clausthal University (TUC), the HWW, and the Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR) have set the goal of developing the potential of the Harz Mountains as a water and energy management region in a holistic, digital way and thus establishing a basis for further research into water and energy storage in above- and underground spaces around the area.

### Geology and hydrogeological features of the study area

With a length of about 90 km in an NW-SE direction and a width of about 30 km in a NE-SW direction, the Harz is the northernmost low mountain range in Germany. It is essentially built up of Palaeozoic

Verbundsystem der Harzwasserwerke GmbH (HWW) täglich rd. 2 Mio. Menschen und zahlreiche bedeutende Industriebetriebe vom Harz bis Bremen mit Trinkwasser (3). Das Mittelgebirge nimmt nicht nur durch das UNESCO-Welterbe „Oberharzzer Wasserregal“ einen besonderen Stellenwert ein – auch die Wasserqualität hebt sich im Vergleich zu vielen anderen Gebieten in Norddeutschland ab (4) und ist daher sowohl für Regionen im Regenschatten des Harzes mit einem Jahresmittel von nur 481 mm Niederschlag über 50 Jahre (3) als auch für Gebiete mit nitratbelasteten Grundwasserleitern von besonderer wasserwirtschaftlicher Relevanz. Wird das derzeitige Versorgungssystem nicht ausgebaut, besteht nach Prognosen der HWW die Gefahr, dass infolge des Klimawandels und des gleichzeitig steigenden Bedarfs der Nutzerregion mittel- und langfristig die Versorgung und Qualität des Wassers eingeschränkt wird und Hochwasserereignisse wie im Jahr 2017 in Goslar zunehmen werden. Der Bedarf an Menge und Qualität betrifft nicht nur die (Trink-)Wasserversorgung, sondern auch die Bereitstellung von ausreichend (Kühl-)Wasser für die Industrie, wie z. B. die Chemiewerke in Langelsheim, die Kläranlagenleitungen und die landwirtschaftlichen Betriebe im Vorland. Für die regionale Wasserwirtschaft sind neben der Menge vor allem die Temperaturentwicklung, mikrobiologische Parameter, der pH-Wert und potentiell toxische Elemente von Interesse. Aufgrund der hohen Jahresniederschlagsmenge und der durch die jahrhundertlange Bergbaugeschichte bereits vorhandenen unterirdischen Hohlräume soll deren Potential als Wasserspeicher untersucht werden, um sie aktiv in das bestehende Wasserversorgungsnetz zu integrieren. Die Technische Universität Clausthal (TUC), die HWW und die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) haben sich daher zum Ziel gesetzt, das wasser- und energiewirtschaftliche Potential des Harzes ganzheitlich und digital zu erschließen und damit eine Grundlage für die weitere Erforschung der Wasser- und Energiespeicherung in den über- und unterirdischen Räumen der Region zu schaffen.

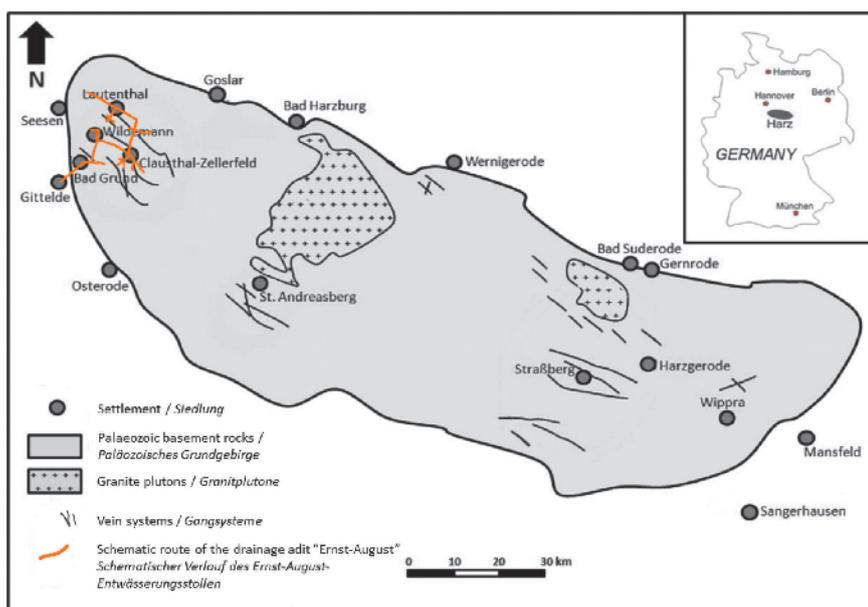


Fig. 1. Overview of the location of the study area and the geological framework (Modified after (8)). // Bild 1. Überblick über die Lage des Untersuchungsgebiets und den geologischen Rahmen (modifiziert nach (8)).

### Geologie und hydrogeologische Merkmale des Untersuchungsgebiets

Mit einer Länge von ca. 90 km in NW-SE-Richtung und einer Breite von ca. 30 km in NE-SW-Richtung ist der Harz das nördlichste Mittelgebirge in Deutschland. Er besteht im Wesentlichen aus Gesteinen des Paläozoikums (Devon und Karbon) und ist gegenüber dem umgebenden Vorland um mehrere 100 m angehoben (Bild 1). Markante Randklüfte trennen ihn vom Harzvorland, das durch die Germanische Trias geprägt ist. So verläuft beispielsweise die Harznordrand-Störung von NW nach SE. Hier fällt der Harzblock plötzlich von Höhen um 600 m auf 200 bis 400 m am Harzrand ab. Insgesamt kann der Harz in vier geographische Einheiten unterteilt werden. Die vorliegende geologische Beschreibung konzentriert sich auf den nordwestlichen Oberharz, da in diesem Gebiet die wirtschaftlich bedeutendsten Bergbaureviere mit ihren Entwässerungssystemen liegen. In den hydrothermalen Gängen wurden vor allem silberhaltige Bleiglanz- und Kupferkies-

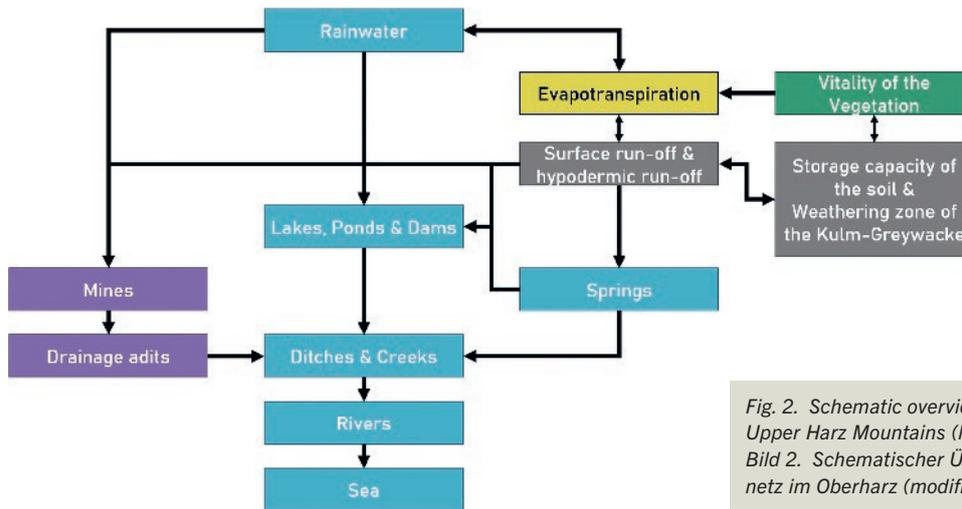


Fig. 2. Schematic overview of the waterway network in the Upper Harz Mountains (Modified after (8)).  
Bild 2. Schematischer Überblick über das Wasserstraßennetz im Oberharz (modifiziert nach (8)).

rocks (Devonian and Carboniferous) and is uplifted by several 100 m compared to the surrounding foreland (Figure 1). Striking marginal fractures separate it from the Harz foreland, which is characterised by the Germanic Triassic. The Harznordrand fault runs from NW to SE, e.g. Here the Harz block drops suddenly from altitudes of around 600 m to 200 to 400 m at the Harz rim. Altogether, the Harz Mountains can be subdivided into four geographical units. This geological description focuses on the north-western Upper Harz, as the economically most important mining districts with their drainage systems are located in this area. Silver bearing galena sphalerite and chalcopyrite were the main minerals mined from the hydrothermal veins. The Upper Harz belongs to the geological unit of the Clausthaler-Kulmfaltenzone, which is a plateau of folded Lower Carboniferous siliceous and clayey shales with thick greywackes (turbidites) at about 600 m above sea level (5). This unit occupies most of the Upper Harz (6). As these formations have low permeabilities, only a small part of the precipitation contributes to groundwater recharge. A large part is discharged as surface runoff into the surrounding receiving waters and ditches, abandoned mine buildings, drainage adits, lakes, and dams (Figure 2). Water movement occurs mainly along hercynian (SE-NW) fissure and fault systems at depths of tens of meters. The near-surface aquifer is fed mainly from accumulating precipitation water. This leads to rapid water exchange processes and thus to short residence times of the water within the Paleozoic bedrock, which results in less mineralisation of the Harz waters (7). The percolating part of the precipitation water moves as hypodermic runoff within the weathering zone and can escape as infiltration water due to the partly steep morphological conditions and flow to the receiving waters. The near-surface groundwater flow direction is oriented to the morphological conditions. The outflow is from the highlands to the receiving waters in the lowlands. The runoff is controlled by two large watersheds in the Harz Mountains. One watershed runs NNE – SSW across the High Harz, between Wernigerode and Braunlage, and separates the catchment areas of the Weser and Elbe. Another watershed runs parallel to it, separating the runoff to the S and the N respectively (6).

### Methodology and previous research

The approach of the water reservoir Harz 2050 project (WSH 2050) is to optimally utilize and, if necessary, expand the storage capacity of the Harz Mountains to specifically buffer sudden rainfall and store

minerale abgebaut. Der Oberharz gehört zur geologischen Einheit der Clausthaler-Kulmfaltenzone, einem Plateau aus gefalteten unterkarbonischen Kiesel- und Tonschiefern mit mächtigen Grauwacken (Turbiditen) in ca. 600 m Seehöhe (5). Diese Einheit nimmt den größten Teil des Oberharzes ein (6). Da diese Formationen eine geringe Durchlässigkeit aufweisen, trägt nur ein kleiner Teil des Niederschlags zur Grundwasserneubildung bei. Ein großer Teil wird als Oberflächenabfluss in die umliegenden Vorfluter und Gräben, Tagesöffnungen, Entwässerungsstollen, Seen und Talsperren abgeleitet (Bild 2). Die Wasserbewegung erfolgt hauptsächlich entlang hercynischer (SE-NW) Kluft- und Verwerfungssysteme in Tiefen von mehreren zehn Metern. Der oberflächennahe Grundwasserleiter wird hauptsächlich aus dem anfallenden Niederschlagswasser gespeist. Dies führt zu schnellen Wasseraustauschprozessen und damit zu kurzen Verweilzeiten des Wassers im paläozoischen Grundgebirge, was zu einer geringeren Mineralisierung des Harzer Wassers führt (7). Der versickernde Teil des Niederschlagswassers bewegt sich als Unterlauf innerhalb der Verwitterungszone und kann aufgrund der teilweise steilen morphologischen Verhältnisse als Infiltrationswasser austreten und den Vorflutern zufließen. Die oberflächennahe Grundwasserfließrichtung orientiert sich an den morphologischen Verhältnissen. Der Abfluss erfolgt vom Hochland zu den Vorflutern im Tiefland. Der Abfluss wird durch zwei große Einzugsgebiete im Harz gesteuert. Eine Wasserscheide verläuft von NNE nach SSW quer durch den Hochharz zwischen Wernigerode und Braunlage und trennt die Einzugsgebiete von Weser und Elbe. Eine weitere Wasserscheide verläuft parallel dazu und trennt die Abflüsse nach S bzw. nach N (6).

### Methodik und bisherige Forschung

Der Ansatz des Wasserspeicher Harz 2050-Projekts (WSH 2050) ist es, die Speicherkapazität des Harzes optimal zu nutzen und ggf. zu erweitern, um plötzliche Niederschläge gezielt zu puffern und für den späteren Bedarf zu speichern. Da der Wasserhaushalt einer Region in Wechselwirkung mit geologischen, morphologischen, klimatischen und bodenkundlichen Faktoren steht, müssen diese gemeinsam analysiert werden. Hinzu kommen die zahlreichen Bergwerke und Entwässerungsstollen aus der Bergbaugeschichte sowie die Auswirkungen des biotischen und abiotischen Waldsterbens im Harz, die in die Betrachtungen einbezogen werden müssen. Informationen zu den einzelnen Komponenten liegen

it for later demand. Since the hydrography of a region has a mutual interaction with geological, morphological, climatic, and pedological factors, these must be analyzed together. Additionally, there are numerous mines and drainage adits from the mining history, as well as the effects of biotic and abiotic forest dieback in the Harz Mountains, which must be included in the considerations. Although there is information on the individual components, there are currently no digital tools that allow all parameters to be linked and interacted for holistic water management of the region. The project has initially been funded by the Lower Saxony Ministry of Science and Culture (MWK) to develop a concept within one year, check the technical feasibility, identify challenges and limitations of the project, select suitable technologies and involve further project partners. A strongly interdisciplinary consortium is working together to bring all hydrographic factors together in one database (single source of truth). The consortium currently consists of six interdisciplinary institutes of TUC, the Leichtweiß Institute (LWI) of TU Braunschweig, the Northwest German Forest Research Institute, the Department of Mining Archaeology of the Lower Saxony State Office for the Preservation of Monuments, the Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR) and the HWW. As part of the previous project "Energy and Water Storage Harz" (EWAZ), the department of Hydrology and River Basin Management (HYWAG) of LWI has already combined a spatially high-resolution hydrological water balance model with a model for the operation of individual reservoirs or interconnected storage systems in the Western Harz with climate models to simulate the system services: Flood protection, low water elevation, drinking water supply as well as power supply using energy storage to simulate. The planning version of the hydrological software PANTA RHEI developed at HYWAG was used for the hydrogeological modelling. This is a deterministic semi-distributive model in which the overall catchment area is subdivided into high-resolution sub-areas. These sub-areas are also subdivided into the smallest hydrological calculation units (hydrotropes) according to land use, soil attributes and topography. Although the leaf area index is included here in the annual cycle and the crop rotation of the long-term economy, current changes in the forest stand due to the bark-beetle and the last dry summers and storms would have to be added. The linked storage operation model IGOmod is based on the software Gecko and is used to model arbitrary interconnected systems and operation rules for multi-purpose storage. PANTA RHEI provides the natural inflows of the reservoirs, while IGOmod is used to simulate the water volume operation of individual reservoirs and interconnected reservoirs and their transfers. Parameters taken into account in the combined model are meteorological time series, processed as spatial data fields from data of the water management authorities, the HWW and results of the project Climate Impacts on Inland Water Management in Lower Saxony (KliBiW) (9). Furthermore, the storage model also includes single areas of underground mining cavities. In the WSH 2050 project, this already existing combined model is to be extended to include the entire underground system. This expanded model is intended to serve as a management tool that enables targeted forecasts about holistic, adaptive water management of the region while reducing conflicts of use by generating various options for action for different issues and simulating and comparing their influence on water quality and quantity so that the current water demand by the Harz can also be ensured in the future (Figure 3).

zwar vor, aber es fehlen derzeit digitale Werkzeuge, die eine Verknüpfung und Interaktion aller Parameter für ein ganzheitliches Wassermanagement der Region ermöglichen. Das Projekt wurde initial vom Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur (MWK) gefördert, um innerhalb eines Jahres ein Konzept zu entwickeln, die technische Machbarkeit zu prüfen, Herausforderungen und Grenzen des Projekts zu identifizieren, geeignete Technologien auszuwählen und weitere Projektpartner einzubinden. Ein stark interdisziplinäres Konsortium arbeitet zusammen, um alle relevanten Faktoren in einer Datenbank zusammenzuführen (single source of truth). Das Konsortium besteht derzeit aus sechs interdisziplinären Instituten der TUC, dem Leichtweiß-Institut (LWI) der TU Braunschweig, der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, der Abteilung Bergbauarchäologie des Niedersächsischen Landesamts für Denkmalpflege, der BGR und der HWW. Im Rahmen des Vorgängerprojekts „Energie- und Wasserspeicher Harz“ (EWAZ) hat die Abteilung Hydrogeologie und Flussgebietsmanagement (HYWAG) des LWI bereits ein räumlich hochaufgelöstes hydrologisches Wasserhaushaltsmodell mit einem Modell für den Betrieb einzelner Talsperren bzw. Verbundspeichersysteme im Westharz mit Klimamodellen zur Simulation der Systemdienstleistungen kombiniert: Hochwasserschutz, Niedrigwasseraufhöhung, Trinkwasserversorgung sowie Energieversorgung durch Energiespeicher zu simulieren. Für die hydrogeologische Modellierung wurde die an der HYWAG entwickelte Planungsversion der hydrologischen Software PANTA RHEI verwendet. Dabei handelt es sich um ein deterministisches semi-distributives Modell, bei dem das Gesamteinzugsgebiet in hochaufgelöste Teilgebiete unterteilt wird. Diese Teilgebiete sind wiederum in kleinste hydrologische Berechnungseinheiten (Hydrotropen) nach Landnutzung, Bodeneigenschaften und Topographie unterteilt. Obwohl der Blattflächenindex hier in den Jahreszyklus und die Fruchtfolge der Langfristwirtschaft einfließt, müssen aktuelle Veränderungen des Waldbestands durch den Borkenkäfer und die letzten trockenen Sommer und Stürme hinzugefügt werden. Das verknüpfte Speicherbetriebsmodell IGOmod basiert auf der Software Gecko und dient der Modellierung beliebiger y-verbundener Systeme und Betriebsregeln für Mehrzweckspeicher. PANTA RHEI liefert die natürlichen Zuflüsse der Speicher, während IGOmod für die Simulation des Wassermengenbetriebs der einzelnen Speicher und der Verbundspeicher sowie deren Transfers verwendet wird. Die im kombinierten Modell berücksichtigten Parameter sind meteorologische Zeitreihen, aufbereitet als räumliche Datenfelder aus Daten der Wasserwirtschaftsämter, der HWW und Ergebnissen des Projekts Klimafolgen für die niedersächsische Binnenwasserwirtschaft (KliBiW) (9). Darüber hinaus werden im Speichermodell einzelne Bereiche von untertägigen Bergbauhöhlräumen berücksichtigt. Im Projekt WSH 2050 soll dieses bereits bestehende Verbundmodell auf das gesamte untertägige System erweitert werden. Dieses erweiterte Modell dient als Managementinstrument, das gezielte Prognosen über ein ganzheitliches, adaptives Wassermanagement der Region ermöglicht und gleichzeitig Nutzungskonflikte reduziert, indem es für verschiedene Fragestellungen verschiedene Handlungsoptionen generiert und deren Einfluss auf die Wasserqualität und -quantität simuliert und vergleicht, sodass der aktuelle Wasserbedarf des Harzes auch in Zukunft gesichert werden kann (Bild 3).



Fig. 3. Overview of the aspects of WSH 2050 as a holistic model of the water management region of the Harz.  
Bild 3. Überblick über die Aspekte des WSH 2050 als ganzheitliches Modell der Wasserwirtschaftsregion Harz.  
Source/Quelle: TUC

Besides the mentioned water balance model, the EWAZ-project suggests a total of five constructive and operational variants of water and energy management (new constructions, extensions, transfers) and investigates possible effects on the water balance of the region for the four previously mentioned and partly competing target variables. In an interim result, it was shown that already a multifunctional (pumping) storage coupled with an existing dam would significantly improve flood performance in the future, in addition to improvements in the other system performances mentioned. Therefore, the connection of underground storage systems offers significant added value for the region, especially considering the climate change adaptation strategy (Specificity of underground storage) (9). However, the utilization of the already existing historical mining cavities as water reservoirs is restricted by the following requirements:

1. The treatment of the stored water is economically viable.
2. Sufficient knowledge about the whole underground system consisting of mine buildings, drifts and drainage adits to make statements about system interrelationships and stability under dynamic conditions (storage and discharge).
3. Economically viable implementation.
4. The unique World Heritage monument landscape is preserved.

At present, only isolated data by (8) on water quality exist for the system of water drainage adits in the Upper Harz Mountains due to the difficult accessibility and the complex sampling conditions. Information on the geometry of the adits, drifts and mine buildings is available in the form of partially digitized vertical sections, but the current condition of the cavities is not sufficiently known to make statements about the actual storage volume, the hydraulic connection of the adits and mine buildings to each other or to investigate the effects of hydraulic engineering measures on the overall system and its stability. These challenges must be met with modern sensor technology, which is adapted to the difficult environmental conditions underground. In future, the two largest drainage adits in the Upper Harz Mountains (Ernst-August-Stollen and Tiefer-Georg-Stollen) as well as the above-ground catchment area of the Dammgraben, which receives its water from the area of six Harz rivers, are to be investigated in continuing projects. A project outline for the further development of sensor technol-

waterleistung in Zukunft deutlich verbessern würde, zusätzlich zu den Verbesserungen der anderen genannten Systemleistungen. Daher bietet die Verbindung von unterirdischen Speichersystemen einen erheblichen Mehrwert für die Region, insbesondere im Hinblick auf die Anpassungsstrategie an den Klimawandel (9). Die Nutzung der bereits vorhandenen montanhistorischen Infrastruktur als Wasserspeicher wird jedoch durch folgende Anforderungen eingeschränkt:

1. Die Aufbereitung der eingespeicherten Wasser ist wirtschaftlich tragbar.
2. Das Gesamtsystem der Stollen und Gruben ist ausreichend bekannt, um das Systemverhalten bei dynamischer Belastung (Ein- und Ausspeicherung) vorherzusagen.
3. Die Größenordnung der Speicherkapazität und der Umsetzung ist wirtschaftlich tragbar.
4. Die einzigartige Denkmallandschaft des Weltkulturerbes bleibt erhalten.

Derzeit existieren für das System der Wasserlösungsstollen im Oberharz durch die erschwerte Zugänglichkeit und die aufwendigen Probenahmebedingungen nur vereinzelt Daten zur Wasserqualität (8). Informationen zur Geometrie der Stollen und Grubensysteme liegen in Form von teilweise digitalisierten Risswerken vor, jedoch ist der aktuelle Zustand der Hohlräume nicht ausreichend bekannt, um Aussagen über das tatsächliche Speichervolumen, den hydraulischen Anschluss der Stollen und Gruben untereinander zu treffen oder um die Auswirkungen von wasserbautechnischen Maßnahmen auf das Gesamtsystem und dessen Stabilität zu untersuchen. Diesen Herausforderungen muss mit Hilfe von modernster Sensorik begegnet werden, welche an die schwierigen Umgebungsbedingungen unter Tage angepasst ist. In weiterführenden Projekten sollen künftig die beiden größten Entwässerungsstollen des Oberharzes (Ernst-August- und Tiefer-Georg-Stollen) sowie das oberirdische Einzugsgebiet des Dammgrabens, der sein Wasser aus dem Gebiet von sechs Harzer Flüssen erhält, untersucht werden. Eine Projektskizze zur Weiterentwicklung der Sensorik zur räumlichen und qualitativen Erkundung der Stollensysteme wurde im Europäischen Fonds für regionale Entwicklung eingereicht. Ein weiteres Teilprojekt zur Erkundung der gefluteten Grubenbereiche wurde auf europäischer Ebene beantragt. Die Bewertungen stehen noch aus. Neben der schwierigen Zugänglich-

ogy for the spatial and qualitative exploration of the adit systems was submitted to the European Fund for Regional Development (EFRD). Another sub-project for the exploration of the flooded mine areas has been applied for at European level in the EU Horizon Climate-01-05. The assessments are still pending. In addition to the difficult accessibility of the underground systems, another challenge is the consolidation of heterogeneous data sources and their sustainable management, as well as the fact that not all subject areas are at the same level of digitalisation.

### Conclusions and outlook

Due to its geographical location, the Harz region is of particular water management relevance for Lower Saxony and Northern Germany. To design efficient water management for the region, all hydrographic parameters must be considered together. At present, no technology enables a holistic approach. In the first phase of the project, the following challenges arose:

1. Development of a uniform data management for a multitude of heterogeneous data;
2. restricted digital availability of data;
3. insufficient data density for water quality resulting in a long-term need for a measurement data network; and
4. form and actuality of geometric data of underground systems.

To meet these challenges, different state-of-the-art technologies and sensor techniques need to be combined into one model. Currently, various works are taking place at the Institute of Mining of TUC to create a digital model of the underground system and support it with different technologies. The hybrid model can support actions against different regional, national and global water management challenges and the methodology of its development is transferable to other regions.

### Acknowledgements

The project WSH 2050 was initially funded by the Lower Saxony Ministry of Science and Culture (MWK). Special thanks also to the consortium of the WSH 2050 project and the team colleagues (Apollo, Nowosad, Thomas).

### References / Quellenverzeichnis

- (1) Viviroli, D; Weingartner, R. (2007): Wasserschloss in einer durstigen Welt: Bedeutung des Gebirges für den Wasserhaushalt. In: Die Alpen: S. 34 – 37.
- (2) Tonn, R. (2002): Ein Gebirge als Wasserspeicher. In: Natur und Landschaft zwischen Küste und Harz. Begleitheft zur Projektwoche von Preisträgern in den Landeswettbewerben von Jugend forscht 2002 (20), S. 110 – 119.
- (3) Harzwasserwerke GmbH (2022). Online verfügbar unter [www.harzwasserwerke.de/ueber-uns/portrait/](http://www.harzwasserwerke.de/ueber-uns/portrait/).
- (4) Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft Küsten- und Naturschutz (Hrsg.) (2019): Grundwasserbericht Niedersachsen. Sammlung-Parameterblätter-Datenbestand 2018. Mit Unterstützung von Annette Kayser. 1st ed. Online verfügbar unter [www.nlwkn.niedersachsen.de](http://www.nlwkn.niedersachsen.de).
- (5) Liessmann, W. (2010): Historischer Bergbau im Harz. Kurzführer. 3. korr. und erg. Aufl., Springer Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-540-31328-1.
- (6) Müller, R.; Franzke, H. J. (2014): Oberharz. Tiefe Gruben und hohe Rücken. Streifzüge durch die Erdgeschichte.

keit der untertägigen Systeme stellen die Zusammenführung heterogener Datenquellen und deren nachhaltiges Management sowie die Tatsache, dass nicht alle Themenbereiche auf dem gleichen Stand der Digitalisierung sind, eine weitere Herausforderung dar.

### Schlussfolgerungen und Ausblick

Der Harz ist aufgrund seiner geographischen Lage von besonderer wasserwirtschaftlicher Bedeutung für Niedersachsen und Norddeutschland. Um ein effizientes Wassermanagement für die Region zu gestalten, müssen alle relevanten Einflussfaktoren des regionalen Wasserhaushalts gemeinsam betrachtet werden. Derzeit gibt es noch keine Technologie, die eine ganzheitliche Betrachtung ermöglicht. In der ersten Phase des Projekts ergaben sich folgende Herausforderungen:

1. Entwicklung eines einheitlichen Datenmanagements für eine Vielzahl von heterogenen Daten,
2. eingeschränkte digitale Verfügbarkeit von Daten,
3. unzureichende Datendichte für die Wasserqualität, sodass langfristig ein Messdatennetz erforderlich ist und
4. Form und Aktualität der geometrischen Daten von unterirdischen Systemen.

Um diese Herausforderungen zu bewältigen, müssen verschiedene moderne Technologien und Sensortechniken in einem Modell kombiniert werden. Derzeit werden am Institut für Bergbau der TUC verschiedene Arbeiten durchgeführt, um ein digitales Modell des unterirdischen Systems zu erstellen und dies mit verschiedenen Technologien zu unterstützen. Das hybride Modell soll später Maßnahmen zur Bewältigung verschiedener regionaler, nationaler und globaler Herausforderungen im Wassermanagement unterstützen. Die entwickelte Methodik soll letztlich auf andere Regionen übertragen werden können.

### Danksagung

Das Projekt WSH 2050 wurde zunächst durch das Niedersächsische Ministerium für Wissenschaft und Kultur (MWK) gefördert. Besonderer Dank gilt dem Konsortium des WSH 2050-Projekts und den weiteren Teamkolleginnen (Apollo, Nowosad, Thomas).

- Ed. Goldschneck im Quelle-&-Meyer-Verlag, Wiebelsheim, ISBN 978-3-494-01531-6.
- (7) Aliche, R. (1974): Die hydrochemischen Verhältnisse im Westharz in ihrer Beziehung zur Geologie und Petrographie. Clausthaler Geol. Abh. 20: 1 – 233.
- (8) Bozau, E.; Licha, T.; Ließmann, W. (2017): Hydrogeochemische Eigenschaften von Grubenwasser im Harz, Deutschland. In: Geochemistry 77, S. 614 – 624.
- (9) Nistahl, P.; Müller, T.; Lange, A.; Meon, G. (2021): Modellierung von vernetzten Speichern unter Mehrfachnutzung und Klimaänderung im westlichen Harz. In: KW Korrespondenz Wasserwirtschaft 14 (11), S. 711 – 718.

### Authors / Autoren

Mareike Bothe-Fiekert M. Sc., Angela Binder M. Sc., Univ.-Prof. Dr.-Ing. Oliver Langefeld, Institut für Bergbau, Technische Universität Clausthal (TUC), Clausthal-Zellerfeld