

## **Aus Erfahrungen lernen: Evaluierung von Grubenwasseranstiegsprozessen zur Verbesserung zukünftiger Prognosen**

**Sebastian Westermann<sup>1</sup>, Peter Goerke-Mallet<sup>1</sup>, Bastian Reker<sup>1</sup>, Tansel Dogan<sup>1</sup>, Christian Wolkersdorfer<sup>2,3</sup>, Christian Melchers<sup>1</sup>**

Technische Hochschule Georg Agricola zu Bochum – Forschungszentrum Nachbergbau<sup>1</sup>

Lappeenranta University of Technology, Laboratory of Green Chemistry<sup>2</sup>

Tshwane University of Technology, South African Research Chair for Acid Mine Drainage Treatment<sup>3</sup>

### **ZUSAMMENFASSUNG:**

*Mit Schließung der letzten beiden Schachtanlagen im Dezember 2018 endet (vorerst) der jahrhundertlange Steinkohlenbergbau in Deutschland. Es ist geplant, den Grubenwasserspiegel im untertägigen Grubengebäude großflächig im Ruhrgebiet, in Ibbenbüren und an der Saar ansteigen zu lassen.*

*In zahlreichen stillgelegten Bergbaurevieren in Deutschland und Europa ist der Grubenwasserspiegel bereits angestiegen. Dort wurden vielfältige Erfahrungen im Zusammenhang mit dem Grubenwasseranstieg („Flutung“) und damit verbundenen Einwirkungen auf die Umwelt gesammelt. Viele Erfahrungen besitzen aufgrund der oftmals individuellen hydrogeologischen Eigenschaften der Kohlevorkommen nur eine regionale Gültigkeit. Andere Erfahrungen sind auch auf andere Reviere übertragbar.*

*Der Beitrag beschreibt den Vorgang des Grubenwasseranstiegs aus hydrodynamischer Sicht und fasst die maßgeblichen Faktoren zusammen, die den Grubenwasseranstiegsverlauf steuern und beeinflussen. Anhand einer idealisierten Anstiegskurve erfolgt eine Phaseneinteilung des Grubenwasseranstiegsprozesses.*

*Im Rahmen eines aktuellen Forschungsvorhabens am Forschungszentrum Nachbergbau der Technischen Hochschule Georg Agricola Bochum werden die bisherigen Erkenntnisse im Zusammenhang mit Grubenwasseranstiegen gesammelt und ausgewertet. Der Fokus ist hierbei nicht nur auf abgeschlossene oder weit voran geschrittene Grubenwasseranstiege in deutschen, sondern auch in weiteren Steinkohlenrevieren in Europa gelegt.*

*Ziel ist es, aus den bisherigen Erfahrungen ein vertieftes Verständnis über alle relevanten Prozesse, die einem Grubenwasseranstieg zugrunde liegen, zu erlangen. Aus zurückliegenden Grubenwasseranstiegen sollen Rückschlüsse gezogen werden, die als Grundlage für die Optimierung der Prognosen und der Monitoringmaßnahmen hinsichtlich der potenziellen Einwirkungen auf die Umwelt dienen.*

**ABSTRACT:**

*With the closure of the last two German hard coal mines in December 2018 the century-lasting hard coal mining era in Germany comes to a tentative end. It is planned to flood the reservoirs of the Ruhr area, Ibbenbüren and the Saar area.*

*Many abandoned underground mines in Germany and Europe have already been flooded risen and many experiences concerning the mine water rebound process have been made. Due to the individual hydrogeological characteristics of the reservoirs, some of these experiences are of regional importance only, while others are transferable to other mining areas.*

*This paper describes the process of mine water rebound from a hydrodynamical point of view and summarizes the important parameters controlling and influencing the flooding process. With the help of an idealized rebound graph a separation into phases has been made.*

*Within a current project at the Research Institute of Post-Mining at the TH Georg Agricola in Bochum, the hitherto gained experiences with regard to mine water rebound are being collected and analysed. The focus of this project does not just lay on complete or advanced rebounds in Germany, but also in further coal mining areas across Europe.*

*It is the aim of this project to gain a profound understanding of all relevant processes which affect a mine water rebound. Out of past mine water rebounds new conclusions for the optimisation of future prognoses and monitoring managements with regard to the potential effects to the environment shall be drawn.*

## **1 Einleitung und Veranlassung**

Deutschland weist eine lange Tradition als Bergbauland auf (STEUER & ZIMMERMANN, 2000). Derzeit werden im Tagebau etwa 180 Mt/a Braunkohle und über 500 Mt/a mineralische Rohstoffe abgebaut (VRB, 2016). Seit Jahrhunderten werden Kohle, Salze und verschiedene Erze im Tiefbau gewonnen. Im Jahr 2018 endet mit der Schließung der letzten beiden Schachtanlagen in Bottrop und Ibbenbüren (Nordrhein-Westfalen) der jahrhundertlange untertägige Abbau von Steinkohle in der Bundesrepublik Deutschland. Mit Beendigung der Produktionsphase endet jedoch nicht die Verantwortung des Bergbaubetreibers. Danach rückt die Frage der Bewältigung der sogenannten Ewigkeitslasten oder auch Ewigkeitsaufgaben in den Fokus. Hierzu zählen die folgenden drei zentralen Aufgaben:

- langfristige Grubenwasserhaltung,
- Poldermaßnahmen zur Regulierung des oberflächennahen Wasserhaushalts,
- Grundwassersanierung an ehemaligen und kontaminierten Bergwerksgeländen (z.B. ehemalige Kokereistandorte).

Seit vielen Jahren werden Konzepte zur Lösung dieser Aufgaben durch das bergbaubetreibende Unternehmen erarbeitet und fortlaufend weiterentwickelt (RAG, 2014a). Aufgrund der Tatsache, dass bereits in einer Vielzahl anderer Reviere der Grubenwasseranstieg bereits abgeschlossen oder aber zumindest weit vorangeschritten ist, wurden viele Erkenntnisse gewonnen, die den Gruben-

wasseranstieg betreffen. Allerdings sind die dort gewonnenen Erkenntnisse aufgrund der hydrogeologischen und bergbaulichen Besonderheiten oftmals nur für ein spezifisches Revier gültig (u.a. BAGLIKOW, 2010; ROSNER, 2011; GOERKE-MALLET, 2000; GOERKE-MALLET et al., 2017). Eine erste Betrachtung abgeschlossener oder aber bereits weit voran geschrittener Grubenwasseranstiege in deutschen und europäischen Steinkohlenrevieren gaben MELCHERS & DOGAN (2014). WESTERMANN et al. (2017) berichten über die potenziellen Einwirkungen, die auf die Umwelt infolge eines Grubenwasseranstiegs auftreten können. Im Rahmen eines aktuellen Forschungsvorhabens wird nun erstmalig eine systematische Auswertung von Grubenwasseranstiegsprozessen in europäischen Steinkohlenrevieren durchgeführt. Es werden die maßgebenden Einflussfaktoren, die den Grubenwasseranstiegsverlauf steuern, sowie die potenziellen Einwirkungen auf die Umwelt identifiziert und bewertet. Hiermit werden die wissenschaftlichen Grundlagen für ein nachhaltiges Grubenwasseranstiegsniveau in den Revieren an Ruhr, Saar und in Ibbenbüren erarbeitet. Das Forschungsvorhaben wird durch die RAG Stiftung finanziell gefördert.

## 2 Lebenszyklus eines Bergwerks

Bergbauliche Aktivitäten und deren Einfluss auf die Umwelt enden nicht mit der Stilllegung eines Bergwerkes. Aufgrund der dauerhaften, nachhaltigen und oftmals unumkehrbaren Veränderung der ursprünglichen hydrogeologischen Verhältnisse werden potenzielle Einwirkungen auf die Umwelt für eine sehr lange Zeit („bis in alle Ewigkeit“) im Fokus der Bearbeitung und Nachsorge sein (KRETSCHMANN, 2016).

Der sogenannte „Lebenszyklus“ eines Bergwerks lässt sich grundsätzlich in drei Phasen einteilen. Die erste Phase beginnt mit der Exploration der Lagerstätte, um u.a. eine Einschätzung der Profitabilität und Wege der Erschließung der Lagerstätte zu bestimmen. Diese Phase stellt in der Regel die kürzeste Phase dar. Hierin schließt sich eine oftmals länger andauernde Phase an, in dem der Rohstoff abgebaut wird und ggf. mit vollständiger Ausschöpfung der Lagerstätte endet. Die längste Phase – die sogenannte „Nachbergbauphase“ – behandelt die vielfältigen Folgen der bergbaulichen Aktivitäten, die mitunter ewig andauern können („Ewigkeitslasten“ oder „Ewigkeitsaufgaben“; RAG, 2014a).

Der Anstieg des Grubenwasserspiegels im untertägigen Grubengebäude ist vornehmlich ein thematischer Bestandteil der Nachbergbauphase, da i.d.R. erst nach Stilllegung eines Bergwerks ein weiträumiger Grubenwasseranstieg einsetzt. Allerdings muss bereits in der ersten Phase des Lebenszyklus – zumindest mit einer vorläufigen Planung – Überlegungen angestellt werden, wie das Grubenwasser nach Schließung des Bergwerks dauerhaft und umweltverträglich behandelt werden kann.

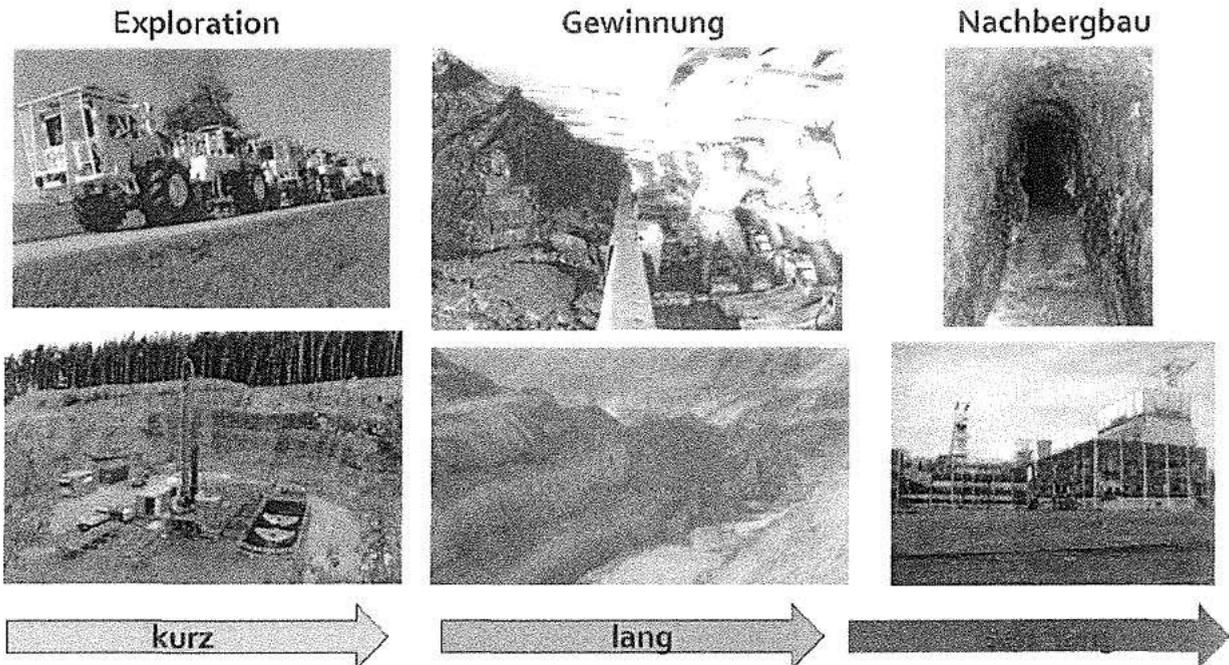


Abb. 1: Der Lebenszyklus eines Bergwerks.

### 3 Grubenwasseranstieg in untertägigen Bergwerken

#### 3.1 Allgemeines

Wird der Abbau des Rohstoffs beendet und ist der Rückzug aus dem Bergwerk vollzogen, kann die Entnahme von Grubenwasser reduziert oder auch beendet werden, sofern die hydrogeologischen, bergbaulichen und ökologischen Umstände dies erlauben. Das zufließende und nicht mehr abgepumpte Grubenwasser führt zu einem Anstieg des Grubenwasserspiegels im untertägigen Grubengebäude sowie im Deckgebirge („Grubenflutung“). Der räumlich-zeitliche Verlauf des Grubenwasseranstiegs (Abschn. 3.2) ist abhängig von den geologischen und hydrogeologischen Eigenschaften der Lagerstätte und des überlagernden Deckgebirges, deren Veränderungen durch die bergbaulichen Aktivitäten sowie von der Geometrie des Grubengebäudes.

Der Anstieg kann aus der Reduzierung oder Einstellung der Wasserhaltung resultieren – man spricht dann von einer passiven Flutung oder Eigenflutung. Ein Grubenwasseranstieg kann auch durch Zuführung von Wasser initiiert und beschleunigt werden – dann handelt es sich um eine aktive Flutung bzw. Fremdflutung. Der Prozess des Grubenwasseranstiegs kann durch den Einsatz von Pumpen gesteuert werden, indem die Anstiegsgeschwindigkeit durch die Entnahme von Grubenwasser verlangsamt oder die Höhe des Grubenwasserniveaus vorgegeben wird. Wenn keine Pumpen vorgehalten werden oder keine dauerstandsicheren Entwässerungsstollen vorhanden sind, erfolgt der Grubenwasseranstieg unkontrolliert bis zum hydraulischen Gleichgewicht. In der Bundesrepublik Deutschland lassen die rechtlichen Rahmenbedingungen seit über 20 Jahren einen unkontrollierten Grubenwasseranstieg nicht mehr zu.

#### 3.2 Zeitlicher Verlauf eines Grubenwasseranstiegs

Der idealisierte Verlauf eines Grubenwasseranstiegs lässt sich generell in drei Hauptanstiegsphasen aufteilen (Abb. 2) (ROSNER, 2011). Die erste Phase (Anfangsphase oder initiale Phase) beginnt nach der Außerbetriebnahme bzw. Reduzierung der Entnahme. In dieser Phase wird der Bereich der tiefsten Sohlen geflutet, der i.d.R. durch einen geringen Durchbauungsgrad und entsprechend geringen Hohlraumvolumina gekennzeichnet ist. Gleichfalls ist der Zustrom von Tiefen- und Oberflä-

chenwasser in das Grubengebäude hoch, weshalb in dieser Phase sehr hohe Anstiegsgeschwindigkeiten von z.T. mehreren 100 m/a zu beobachten sind.

Im weiteren Verlauf erfolgt ein Einstau der Hauptabbausohlen und ein weitestgehend gleichmäßig verlaufender Anstieg des Grubenwasserspiegels. Auch aufgrund des sukzessiven Zurückdrängens von Zuflüssen nimmt die Anstiegsgeschwindigkeit ab (intermediäre Phase, Abb. 2). Veränderungen der hydrogeologischen Eigenschaften des Untergrundes (z.B. Einstau des Deckgebirges) oder der Geometrie des Grubengebäudes (z.B. Einstau von Sohlen) spiegeln sich im Verlauf der Kurve wider (Abb. 2).

Mit zunehmender Abnahme der Potenzialdifferenz zwischen dem ansteigenden und natürlichen Wasserspiegel nimmt die Geschwindigkeit des Grubenwasseranstiegs sukzessive ab (finale Phase, Abb. 2). Der Grubenwasseranstieg ist beendet, sobald

- sich ein Gleichgewicht zwischen Zu- und Abfluss im Untergrund einstellt,
- es zu einem Überlaufen des Grubenwassers z.B. in andere Grubenbereiche, Stollen oder an der Tagesoberfläche kommt oder
- ein Kurzhalten des Grubenwasserspiegels durch Pumpmaßnahmen erfolgt.

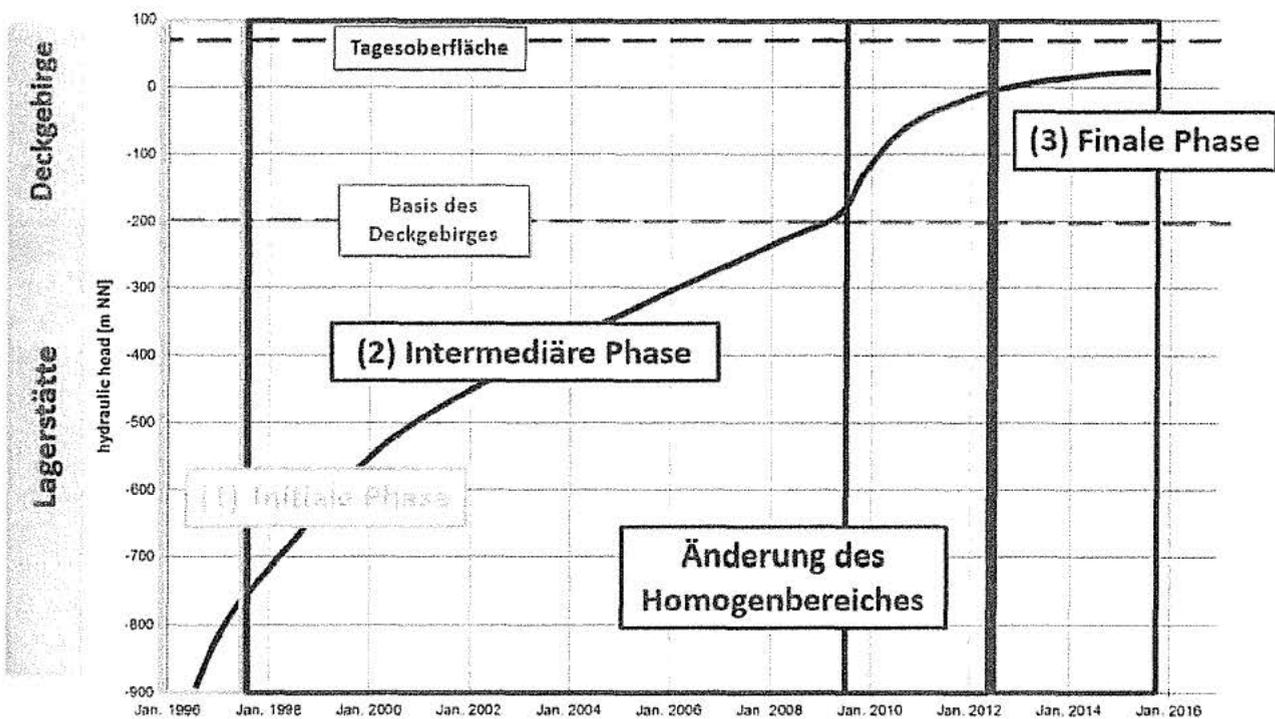


Abb. 2: Idealisierter Verlauf eines Grubenwasseranstiegs.

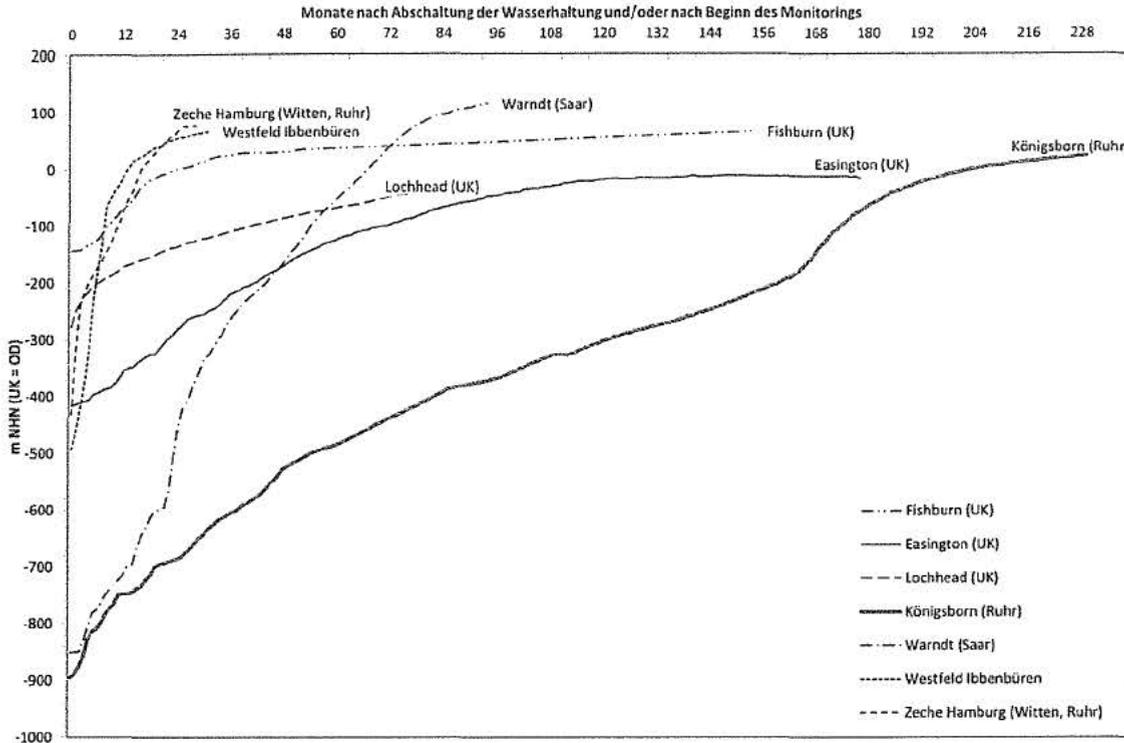


Abb. 3: Vergleichende Gegenüberstellung von Grubenwasseranstiegsverläufen in stillgelegten Steinkohlenbergwerken (Kurven aus: PASTOR et al. (2008) (Fishburn), WHITWORTH (2002) (Easington, Lockhead), RAG (Königsborn), SCHÄFER (2016) (Warndt), ROSNER (2011) (Ibbenbüren), MÜHLENBECK (2016)

Verschiedenartige Grubenwasseranstiegsverläufe lassen sich grundsätzlich nach der Charakteristik der Wasserzuläufe klassifizieren (Abb. 3). So sind die Grubenwasseranstiegserläufe der im südlichen Ruhrgebiet gelegene Zeche Hamburg in Witten sowie des Westfeldes in Ibbenbüren aufgrund des Fehlens eines Deckgebirges durch hohe Oberflächenwasserzuflüsse und folglich hohen Anstiegsgeschwindigkeiten gekennzeichnet.

Einen wesentlich anderen Verlauf zeigt der Grubenwasseranstieg im Bergwerk Königsborn, das im Südosten des Ruhrgebiets liegt und ein 200 – 300 m mächtiges Deckgebirge aus z.T. geringdurchlässigen Tonmergelsteinen aufweist (Abb. 3). Die Oberflächenwasserzuflüsse sind daher gegenüber den im Süden des Ruhrgebiets gelegenen Zechen geringer, weshalb der Grubenwasseranstieg langsamer, flacher und langfristiger erfolgt.

### 3.3 Einfluss- und Steuerungsfaktoren auf den Grubenwasseranstiegsverlauf

Der Grubenwasseranstieg kann in Schächten und Gruben-/Grundwassermessstellen gemessen und dokumentiert werden. Zur graphischen Darstellung werden die gemessenen Grubenwasserstände gegen die Zeit aufgetragen (Abbildungen 2 und 3).

Von Interesse ist vor allem die Kenntnis über die voraussichtliche Dauer des Anstiegsprozesses (der Flutung). Die voraussichtliche Flutungszeit  $t_{\text{Anstieg}}$  (in Jahren) errechnet sich vereinfacht aus dem Quotienten des flutbaren Hohlraumvolumens  $V_{\text{Hohlraum}}$  (in  $\text{m}^3$ ) und der Zustromrate  $\dot{V}_{\text{Zufluss}}$  (in  $\text{m}^3/\text{a}$ ) (Gl. 1):

$$t_{\text{Anstieg}}(\text{a}) = \frac{V_{\text{Hohlraum}}(\text{m}^3)}{\dot{V}_{\text{Zufluss}}(\frac{\text{m}^3}{\text{a}})} \tag{1}$$

Im einfachsten Fall erfolgt ein konstanter Zufluss in einen homogenen Untergrund, d.h. mit gleichmäßig verteilten flutbaren Hohlraumvolumina, was sich in einer gleichmäßigen Anstiegsgeschwindigkeit und hieraus folgend gleichmäßigen Anstiegsverlauf ausdrückt. Wie die bislang aufgezeichneten Grubenwasseranstiegsverläufe zeigen, weichen die meisten Kurven von einem gleichmäßigen Anstiegsverlauf ab. Der in der Abbildung 2 dargestellte und im Abschnitt 3.2.1 beschriebene Verlauf zeigt einen idealisierten Verlauf eines Grubenwasseranstiegs im untertägigen Grubengebäude. Der räumlich-zeitliche Verlauf wird im Wesentlichen durch die in der Tabelle 1 aufgelisteten Faktoren beeinflusst.

Die Beurteilung der Wirkung der verschiedenen Faktoren, die den Prozess beeinflussen, setzt ein erhebliches Fachwissen voraus. Im Zuge der Analyse von Grubenwasseranstiegen ist eine Betrachtung der verschiedenen Faktoren erforderlich (Tab. 1):

Tab. 1: Parameter eines Grubenwasseranstiegs (aus GOERKE-MALLET et al., 2017).

BEREICH 1		GEOLOGISCHE BEDINGUNGEN				
Merkmale	Deckgebirge					
	Lithologie	Tektonik	Grundwasserleiter	flutungsfähiges Volumen	Grundwasserneubildung	Umfeld
Randbedingungen	Art der Schichtenfolge	hydraulische Wirksamkeit		tektonische Elemente GW-Horizonte	Niederschlagsabhängigkeit	hydraulisches Niveau
Randbedingungen	Lagerstätte					
	Art des Bodenschatzes	tektonische Beanspruchung	flutungsfähiges Volumen	Wasserzuflüsse		
				Zuflüsse von Tiefenwässern		
				Sickerwässer		
			hydraulisches Gleichgewicht			
BEREICH 2		BERGWERK				
Merkmale	Abbauteufe	Umfang des Grubengebäudes	Gebirgsmechanik	Wasserwegsamkeit	Infiltrationsrate	Gewicht des Wasserkörpers
	Abbauverfahren	Restvolumina Abbau und Grubengebäude	Gebirgsdruck	hydraulische Wirksamkeit	Alter Mann	Deformation des Liegenden/der Schichtenfolge
Randbedingungen	Durchbauungsgrad	flutungsfähiges Volumen	Gesteinsfestigkeit		Gebirgskörper	
		Abdämmungen	Druckverhältnisse			
		Wasserübertrittsstellen				
		Wasserzuflüsse und Lokationen				
	Hydrochemie					
BEREICH 3		GEBIRGS- UND BODENBEWEGUNGEN				
Merkmale	Schichtenfolge	Abbauteufe	Hebungen			
	Lithologie					
Randbedingungen	Gesteinsfestigkeit		Durchbauungsgrad			
			Grundwasserleiter			
			Zuwachs des flutungsfähigen Volumens			

Die genannten Parameter zeigen teilweise eine erhebliche Abhängigkeit von der Teufe. Ein Ziel des aktuellen Forschungsvorhabens besteht in der qualitativen und quantitativen Bewertung der aufgeführten Faktoren. Die Evaluierung einer möglichst großen Anzahl von Grubenwasseranstiegsprozessen wird dazu beitragen, zukünftige Vorhaben besser zu verstehen und folglich hinreichender zu prognostizieren.

Ein weiteres, derzeit am Forschungszentrum Nachbergbau gemeinsam mit der RAG AG bearbeitetes Vorhaben befasst sich mit einer Messtechnik, die untertägig im Grubengebäude installiert wird und eine direkte (in situ) und kontinuierliche Aufzeichnung verschiedener Messparameter ermöglicht (KRUSE et al., 2017). Diese Messmethode trägt weitere Informationen zum Ablauf eines Grubenwasseranstiegsverlaufes bei und leistet somit einen wesentlichen Beitrag zur Erlangung eines vertieften Verständnisses zu den Prozessen, die im Zuge eines Grubenwasseranstiegs ablaufen.

#### 4 Potenzielle flutungsbedingte Einwirkungen auf die Umwelt

Der Anstieg des Grubenwassers kann mit Risiken für Mensch, Ökologie und Infrastruktur einhergehen, insbesondere wenn dieser beispielsweise durch Fehlen von Regulierungsmechanismen und Messstellen sowohl unkontrolliert als auch unbemerkt stattfindet. Die Abbildung 4 zeigt eine Auswahl potenzieller Einwirkungen auf die Umwelt (WESTERMANN et al., 2017).

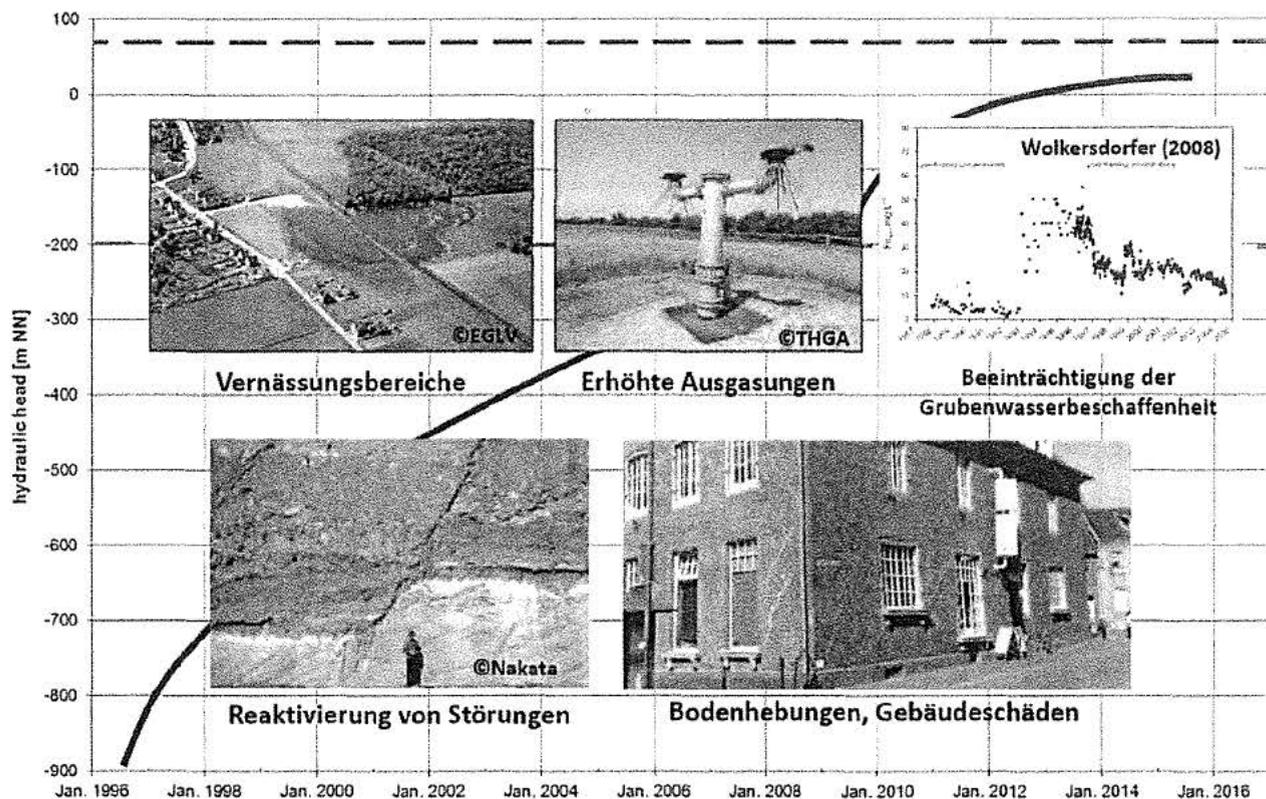


Abb. 4: Potenzielle Einwirkungen auf die Umwelt infolge eines Grubenwasseranstieges.

Die potenziellen Einwirkungen lassen sich in drei Bereiche einordnen:

1.) Hydrodynamisch / Hydraulisch

- Auswirkungen auf die hydraulischen Druckverhältnisse im hangenden Deckgrundwasserleiter (DMT, 2011)
- Bildung von Vernässungsbereichen.
- Erhöhte Entgasung an der Tagesoberfläche.

2.) Hydrochemisch

- Generelle Veränderung der hydrochemischen Beschaffenheit des abgeleiteten Grubenwassers mit ansteigendem Grubenwasserspiegel.
- Mobilisierung von Metallen durch sauren pH-Wert (WOLKERSDORFER, 2008).
- Ausbildung einer langzeitstabilen Dichteschichtung (HENKEL & MELCHERS, 2017).

3.) Geomechanisch

- Hebung der Tagesoberfläche infolge eines Grubenwasseranstieges (u.a. BAGLIKOW, 2010).
- Tagesbrüche in Bereichen des Altbergbaus.
- Flutungsinduzierte Seismik (FLACH & HEICK, 1986; HEICK & FLACH, 1989; KNOLL, 2016)

Ein Grubenwasseranstieg ist durch vielfältige Wirkungszusammenhänge verschiedenster Prozesse gekennzeichnet. Um die potenziellen Auswirkungen auf die Umwelt vorhersehbar und somit beherrschbar zu machen, ist ein vertieftes Verständnis zu den ablaufenden Prozessen erforderlich. Das aktuelle Forschungsvorhaben am Forschungszentrum Nachbergbau wird einen wesentlichen Beitrag für ein vertieftes Verständnis zu den Prozessen leisten.

## 5 Untersuchungsgebiete

### 5.1 Steinkohlenbergbau in Europa

Das Forschungsvorhaben zur Evaluierung von Grubenwasseranstiegsprozessen befasst sich nicht nur mit den in deutschen Steinkohlenbergwerken dokumentierten Grubenwasseranstiegen, sondern erweitert den Fokus auf Reviere in den benachbarten europäischen Ländern, in denen der Anstieg des Grubenwasserspiegels z.T. schon weit vorangeschritten ist und Erkenntnisse zu den im Zuge von Grubenwasseranstiegen ablaufenden Prozesse gewonnen wurden.

Die schwarzen Flächen in Abbildung 5 zeigen die Abgrenzungen der Steinkohlenvorkommen in Europa (Steinkohlenreviere in der Ukraine liegen außerhalb der Kartendarstellung). Eine Vielzahl der Steinkohlenvorkommen (u.a. NRW, Frankreich, UK, Polen) gehören zum europäischen Steinkohlengürtel. In vielen Steinkohlenrevieren ist der Abbau von Steinkohle beendet worden. Aktiver Bergbau wird u.a. noch in Deutschland (Ruhr-Revier und Ibbenbüren bis Dezember 2018) und in Polen (Oberschlesien, Lublin) betrieben.

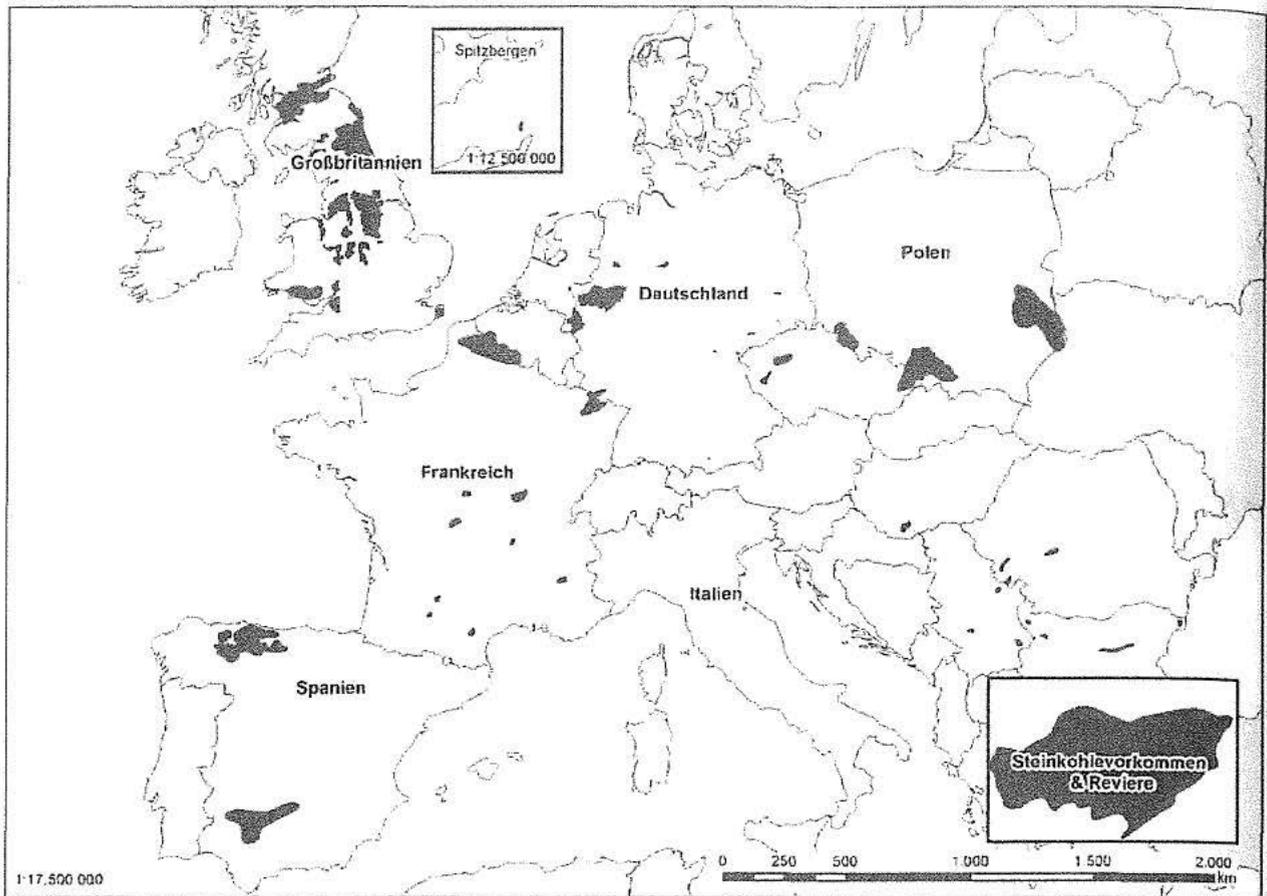


Abb. 5: Steinkohlenreviere in Europa.

## 5.2 Auswahl der Untersuchungsgebiete

Wie im vorherigen Abschnitt erläutert, erfolgte der Abbau von Steinkohle in vielen europäischen Bergbaurevieren. Die Reviere, die im Rahmen der Evaluierung der Grubenwasseranstiegsprozesse untersucht werden sollen, sind wie folgt eingegrenzt worden.

Zunächst wurden sämtliche Steinkohlenvorkommen in Europa zusammengetragen (Abb. 6). Im nächsten Schritt wurde in untertägigen und übertägigen Steinkohlenbergbau differenziert. Für die untertägigen Bergwerke wurden die Bergwerke ausgewählt, in denen einerseits der Grubenwasserspiegel im Zuge einer Stilllegungsmaßnahme flächenhaft anstieg oder andererseits Teilanstiege z.B. durch Aufgabe von Feldesteilen erfolgten (z.B. Emschermulde im Ruhrrevier). Zwingend erforderlich ist eine messtechnische und möglichst vollständige Aufzeichnung und Dokumentation von den wesentlichen Parametern (Wasserstand, Zuflüsse, Chemie, siehe auch Tab. 1); die Recherche ergab, dass in einigen Revieren der Grubenwasseranstieg ohne begleitendes Monitoring erfolgte (z.B. Oberbayerische Pechkohlen, Altbergbaubereich im südlichen Ruhr-Revier). Im Falle einer messtechnischen Aufzeichnung musste dann noch geprüft werden, ob die Daten zugänglich und verfügbar sind.

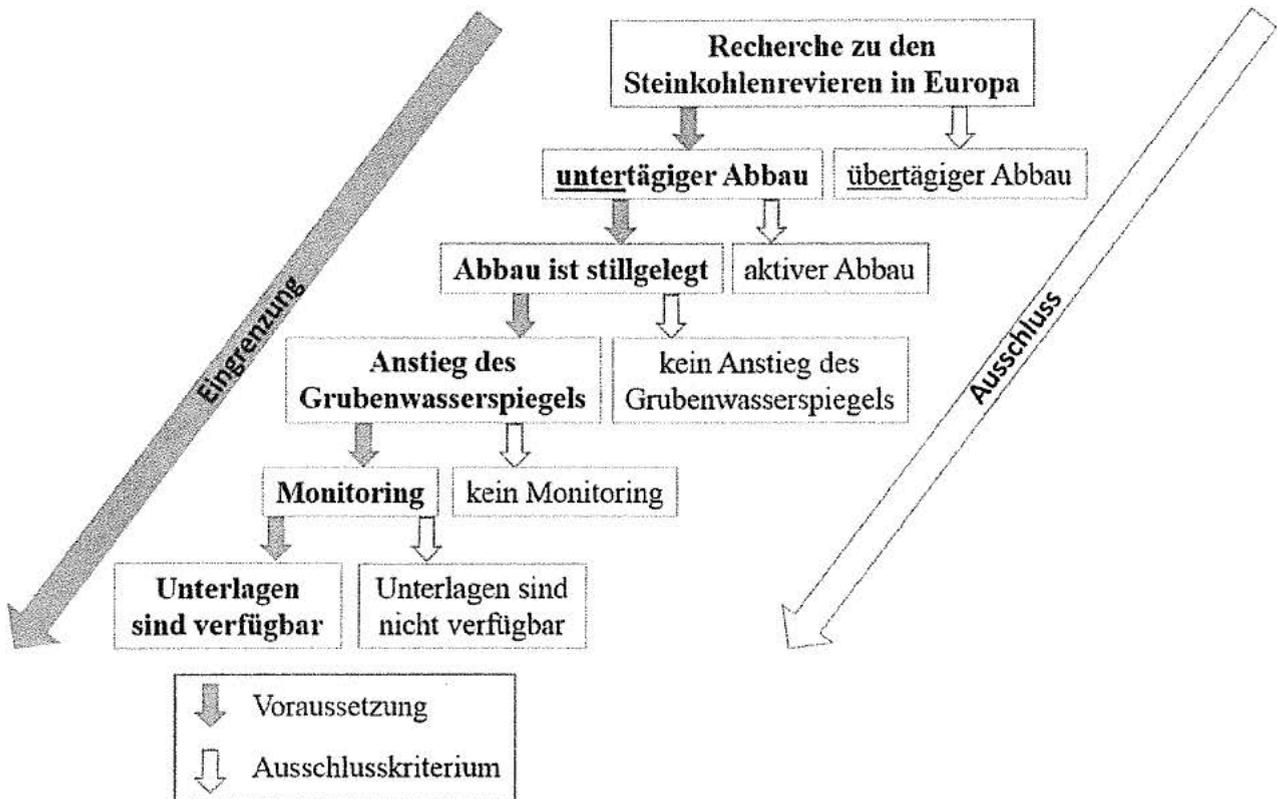


Abb. 6: Vorgehensweise bei der Eingrenzung der Untersuchungsgebiete.

### 5.2.1 Ruhrgebiet (D)

Das Ruhrgebiet gliedert sich drei Bereiche: 1.) aktiver Steinkohlenbergbau (Bergwerk Prosper-Haniel in Bottrop; Stilllegung im Dezember 2018), 2.) Stilllegungsbereiche innerhalb der Zentralen Wasserhaltung (sog. Wasserhaltungsprovinzen) und 3.) eigenständige Stilllegungsbereiche im östlichen Randbereich des Ruhrgebiets (HEITFELD et al., 2014; DROBNIIEWSKI et al., 2017). In den Stilllegungsbereichen sind bereits Teilanstiege des Grubenwasserspiegels erfolgt. Ein sehr weit voran geschrittener Grubenwasseranstieg mit Einstau in das Deckgebirge ist in den Bergwerken Königsborn (Unna) und Westfalen (Ahlen) zu beobachten.

### 5.2.2 Warndt/Lothringen (D/FR)

Das Steinkohlenrevier Lothringen liegt südwestlich von Saarbrücken an der deutsch-französischen Grenze. Das Bergwerk Warndt und das Steinkohlenrevier Lothringen sind im Jahr 2006 mittels eines 110 000 hPa-Hochdruckdamms vom (östlichen) saarländischen Revier hydraulisch getrennt (RAG, 2014b). Das Revier gliedert sich in ein westliches und zentral-östliches Revier, die beide hydraulisch voneinander unabhängig sind. In beiden Gebieten wurden an den drei Standorten La Houve, Vouters und Simon 5 die Wasserhaltungsmaßnahmen in 2006 eingestellt. Bereits im Vorfeld des Grubenwasseranstiegs wurden Prognosen zu potenziellen Beeinträchtigungen des Grundwassers im Deckgebirge erarbeitet (CORBEL et al., 2017). Ein hierauf aufbauendes Konzept sieht die langfristige Grubenwasserhaltung auf einem Niveau unterhalb des Grundwasserspiegels vor. Das Grubenwasser im westlichen Gebiet wird an einem Wasserhaltungsstandort und im zentral-östlichen Gebiet an zwei Wasserhaltungsstandorten gehoben. An jedem Wasserhaltungsstandort ist eine passive Grubenwasseraufbereitungsanlage angeschlossen, die für die Einhaltung der Einleitgrenzwerte sorgen.

### 5.2.3 *Ibbenbüren (Westfeld) (D)*

Das Bergwerk Ibbenbüren gliedert sich in zwei Teilbereiche: dem stillgelegten Westfeld und dem Ostfeld, wo noch bis Ende 2018 aktiver Steinkohlenbergbau betrieben wird. Das Westfeld stand bis zum 30.06.1979 in Förderung (GOERKE-MALLET, 2000; RAG, 2014a). Der Grubenwasseranstieg wurde im Jahr 1980 eingeleitet und fand im Dezember 1982 seinen Abschluss. Der Grubenwasserspiegel befindet sich seitdem auf einem Höhenniveau von 65 mNHN. Das Grubenwasser kann aufgrund der topografischen Verhältnisse ohne Pumpbetrieb über den Dickenberger Stollen aus dem Bergwerk fließen.

### 5.2.4 *Durham (UK)*

Das Steinkohlenrevier Durham liegt im Nordwesten Englands. Das Revier teilt sich in einen südlichen und nördlichen Abbaubereich. Beide Bereiche sind eigenständige hydraulische Wasserprovinzen, in denen die Grubenwasseranstiege unabhängig voneinander stattfanden. Im südlichen Gebiet wurden die Wasserhaltungsmaßnahmen Mitte der 1970er Jahre eingestellt. Im Zuge des Grubenwasseranstiegs stieg die Sulfatkonzentration im Grundwasser des hangenden Grundwasserleiters deutlich an (YOUNGER, 1999; NEYMEYER, 2007; PASTOR, 2008). Aufgrund dieser Beobachtung wurde im Vorfeld der Einstellung der Grubenwasserhaltung im nördlichen Gebiet ein umfangreiches Konzept zur langfristigen Sicherung des hangenden Grundwasserleiters erarbeitet. Der Grubenwasseranstieg wurde dann durch ein umfangreiches Monitoring überwacht. Zur Vermeidung einer Vermischung des Gruben- und Grundwassers wird die Druckhöhe des Grubenwasserstands unterhalb der Druckhöhe des Grundwassers gehalten. Das hierbei gehobene Wasser wird mittels zweier passiver Grubenwasseraufbereitungsanlagen hinsichtlich der Metallfracht (Eisen) behandelt.

## 6 Evaluierung von Grubenwasseranstiegsprozessen

Im Rahmen der Evaluierung erfolgt eine systematische und einheitliche Gesamtbetrachtung einer Vielzahl von abgeschlossenen oder weit vorangeschrittener Grubenwasseranstiegsprozessen in europäischen Steinkohlenrevieren. Hierzu zählen u.a. auch die im Abschnitt 5.2 aufgeführten Reviere. Die Untersuchungen liefern einen wesentlichen Beitrag für ein vertieftes Verständnis der wissenschaftlichen Grundlagen des Grubenwasseranstiegsprozesses.

Im Fokus der Betrachtung steht die Analyse des räumlich-zeitlichen Verlaufs des Grubenwasseranstiegs und der hiermit verbundenen Aus- und Wechselwirkungen auf die quantitative und qualitative Veränderung des abzuleitenden Grubenwassers, auf die prozessbedingten Bodenbewegungen sowie auf die oberflächennahen Gas-Migrationen. Anhand der Gesamtbetrachtung werden die mit einem Grubenwasseranstieg verbundenen, allgemeingültigen Wirkungszusammenhänge identifiziert, die lokal gültigen Besonderheiten separiert und auf andere Steinkohlenreviere, in denen Grubenwasseranstiege bevorstehen, übertragen.

## 7 Ausblick und Fazit

Im Rahmen des aktuellen und von der RAG Stiftung finanziell geförderten Forschungsvorhabens am Forschungszentrum Nachbergbau der Technischen Hochschule Georg Agricola Bochum werden die bisherigen Erkenntnisse im Zusammenhang mit Grubenwasseranstiegen in deutschen und europäischen Steinkohlenrevieren gesammelt und ausgewertet.

Aus der Vielzahl an bereits abgeschlossenen Grubenwasseranstiegen in europäischen Steinkohlenrevieren können wichtige Rückschlüsse auf den Verlauf zukünftiger Grubenwasseranstiege sowie deren Auswirkungen auf die Umwelt gezogen werden. Durch den hieraus gewonnenen Erkenntniszuwachs und das vertiefte Verständnis hinsichtlich der zugrundeliegenden Prozesse können Strategien und Maßnahmen zur langfristigen Grubenwasserhaltung im Einklang mit der Nachhaltigkeit, Umwelt und Wirtschaftlichkeit optimiert werden. Empfehlungen für ein umfassendes Monitoring werden hierauf abgestimmt.

## Quellenangaben

BAGLIKOW, V. (2010): Schadensrelevante Auswirkungen des Grubenwasseranstiegs im Erkelenzer Steinkohlenrevier. – Schriftenreihe des Instituts für Markscheidewesen, Bergschadenkunde und Geophysik im Bergbau an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Heft 1-2010: 121 S., zahlr. Abb. und Tab.; Aachen.

CORBEL, S., KAISER, J. & VICENTIN, S. (2017): Coal mine flooding in the Lorraine-Saar basin: experience from the French mines. – WOLKERSDORFER, C., SARTZ, L. & SILLANPÄÄ, A. (Hrsg.): Mine Water and Circular Economy. Proceedings der IMWA 2017, 161 – 166, 5 Abb.; Lappeenranta, Finnland.

DMT (2011): Ermittlung der Auswirkungen des Grubenwassereinstaus in den Deckgrundwasserleiter im Bereich Königsborn. – 46 S., 21 Abb., 1 Tab.; Essen (unveröffentl. Bericht).

DROBNIIEWSKI, M., BALZER, I., FRANKENHOFF, H. & WITTHAUS, H. (2017): Mine water management in the Ruhr coalfield. – WOLKERSDORFER, C. et al. (Hrsg.): Mine Water and Circular Economy. Proceedings der IMWA 2017, 183 – 188, 4 Abb.; Lappeenranta, Finnland.

FLACH, D. & HEICK, C. (1986): Untersuchungen zum mikroseismischen Verhalten eines mit Lauge gefluteten Salzbergwerkes am Beispiel Hope. – *gsf-Bericht*, **20**: 130 – 195, 39 Abb.

GOERKE-MALLET, P. (2000): Untersuchungen zu raumbedeutsamen Entwicklungen im Steinkohlenrevier Ibbenbüren unter besonderer Berücksichtigung der Wechselwirkungen von Bergbau und Hydrologie. – Dissertation an der RWTH Aachen; Aachen.

GOERKE-MALLET, P., REKER, B., WESTERMANN, S. & MELCHERS, C. (2017): Nachbergbau in Großbritannien: das Steinkohlenrevier South Yorkshire. – *Markscheidewesen*, **124** (1): 13 – 21, 9 Abb., 1 Tab.

HEICK, C. & FLACH, D. (1989): Microseismicity in a flooded potash mine, the Hope Mine, Federal Republic of Germany. – *Pure Appl. Geophys*, **129**(3-4): 475 – 496, 13 Abb.

HEITFELD, M., ROSNER, P. & MÜHLENKAMP, M. (2014): Auswirkungen von Geländehebungen im Zuge des Grubenwasseranstiegs im Ruhrrevier – ein Ansatz zur Bewertung der Risiken. – *14. Altbergbaukolloquium*, 41 – 60, 8 Abb.; Gelsenkirchen.

HENKEL, L. & MELCHERS, C. (2017): Hydrochemical and isotopegeochemical evaluation of density stratification in mine water bodies of the Ruhr coalfield. – WOLKERSDORFER, C., SARTZ, L. & SILLANPÄÄ, A. (Hrsg.): Mine Water and Circular Economy. Proceedings der IMWA 2017, 430 – 436, 2 Abb.; Lappeenranta, Finnland.

KNOLL, P. (2016): Induzierte seismische Ereignisse beim Anstieg des Grubenwassers in stillgelegten Bergwerken – Geomechanische Charakteristika. – Zeitschrift der Leibniz-Sozietät e.V., **24**: 16 S., 10 Abb.

KRETSCHMANN, J. (2016): The sustainable development strategy of the German hard coal mining industry. – Done for Good. Challenges of Post-Mining, 57 – 67, 6 Abb.; Bochum.

KRUSE, S., BENDRAT, M., MELCHERS, C., VOM BERG, B. & WITTHAUS, H. (2017): Development and installation of an underground measurement technique at the pilot mine “Auguste Victoria” for a mid- to long-term monitoring of the mine water level rise. – WOLKERSDORFER, C. SARTZ, L. & SILLANPÄÄ, A. (Hrsg.): Mine Water and Circular Economy. Proceedings der IMWA 2017, 147 – 153, 2 Abb.; Lappeenranta, Finnland.

MELCHERS, C. & DOGAN, T. (2014): Studie zu erfolgten Grubenflutungen in Steinkohlenrevieren Deutschlands und Europas. – MEIER, G., TAMASKOVIC, N., TONDERA, D. & KLAPPERICH, H. (Hrsg.), 14. Altbergbaukolloquium, 300 – 305, 3 Tab.; Gelsenkirchen.

MELCHERS, C., COLDEWEY, W.G., GOERKE-MALLET, P., WESCHE, D. & HENKEL, L. (2015): Dichteschichtungen in Flutungswasserkörpern als Beitrag zur Optimierung der langzeitigen Wasserhaltung. – PAUL, M. (Hrsg.): Sanierte Bergbaustandorte im Spannungsfeld zwischen Nachsorge und Nachnutzung - WISSYM 2015. Wismut GmbH, 99–106; Chemnitz.

MELCHERS, C., MICHEL, I., HOPPE, U., ISAAC, M. & GOERKE-MALLET, P. (2016): Methoden zur Ermittlung eines Einzugsgebietes wasserführender Stollen am Beispiel des Franziska Erbstollens in Witten. – MEIER, G., TAMASKOVIC, N., TONDERA, D. & KLAPPERICH, H. (Hrsg.), 16. Altbergbaukolloquium, 107–118; Goslar.

MÜHLENBECK, H. (2016): Grubenwasseranstieg aus Sicht der E.ON SE. – Bezirksregierung Arnsberg und Technische Hochschule Georg Agricola (Hrsg): Nachbergbauzeit in NRW. Beiträge 2015. 182 – 188, 20 Abb.

NEYMEYER, A., WILLIAMS, R.T. & Younger, P.L. (2007): Migration of polluted mine water in a public supply aquifer. – Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, **40**: 75–84.

PASTOR, J., KLINGER, C., TALBOT, C., WHITWORTH, K. & SUSO LLAMAS, J.M. (2008): Optimisation of mine water discharge by monitoring and modelling of geochemical processes and development of measures to protect aquifers and active mining areas from mine water contamination. – Final report. Research Fund for Coal and Steel (RCFS), **23456**; Luxembourg.

RAG (2014a): Konzept zur langfristigen Optimierung der Grubenwasserhaltung der RAG Aktiengesellschaft in Nordrhein-Westfalen. – 29 S., 8 Abb.; Herne.

RAG (2014b): Konzept zur langfristigen Optimierung der Grubenwasserhaltung der RAG Aktiengesellschaft im Saarland. – 17 S., 8 Abb.; Herne.

ROSNER, P. (2011): Der Grubenwasseranstieg im Aachener und Südlimburger Steinkohlenrevier – eine hydrogeologisch-bergbauliche Analyse der Wirkungszusammenhänge. – Dissertation an der Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 318 S., zahlr. Abb. und Tab., 4 Anh., 7 Anl.; Aachen.

SCHÄFER, Al. (2016): Zur Verteilung der Bewegungen an der Tagesoberfläche nach Grubenwasseranstieg in einer Steinkohlenlagerstätte. – *Markscheidewesen*, **123** (1): 21 – 28, 8 Abb., 4 Tab.

STEUER, H. & ZIMMERMANN, U. (2000): Alter Bergbau in Deutschland. – Sonderheft von „Archäologie in Deutschland“, 128 S., 122 Abb.; Hamburg (Nikol).

WESTERMANN, S., REKER, B., DOGAN, T., GOERKE-MALLET, P., WOLKERSDORFER, C. & MELCHERS, C. (2017): Evaluation of mine water rebound processes in European coal mine districts to enhance the understanding of hydraulic, hydrothermal and geomechanical processes – WOLKERSDORFER, C., SARTZ, L. & SILLANPÄÄ, A. (Hrsg.): *Mine Water and Circular Economy. Proceedings der IMWA 2017*, 147 – 153, 2 Abb.; Lappeenranta, Finnland.

WHITWORTH, K. R. (2002): The monitoring and modelling of mine water recovery in UK coalfields – YOUNGER, P.L. & Robins, N.S. (2002): *Mine Water Hydrogeology and Geochemistry*. Geological Society, London, Special Publications, 198, 61-73.

WOLKERSDORFER, C. (2008): Water management at abandoned flooded underground mines. *Fundamentals – Tracer Tests – Modelling – Water Treatment*. – 465 S., zahlr. Abb. und Tab.; Heidelberg, Berlin (Springer Verlag).

VRB (Vereinigung Rohstoffe und Bergbau e.V.) (2016): *Rohstoffland Deutschland. Sichere Rohstoffversorgung für Deutschland und die Rolle des heimischen Bergbaus*. – 24 S.; Berlin.

YOUNGER, P.L. & Adams, R. (1999): Predicting mine water rebound. – *Research & Development Technical Report, W179*, 109 S., 32 Abb., 88 Tab.; Bristol (Environment Agency).