

**Begleitprojekte für die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie
– Erzbergbau-Projekt –
Signifikante Belastungsquellen des Erzbergbaus
und mögliche Maßnahmen im Rahmen der Bewirtschaftungsplanung NRW**

**Thomas Pabsch – Bezirksregierung Arnsberg, Dortmund
Frank Müller, ahu AG, Aachen
Dr. Peter Rosner, IHS, Aachen**

Anlass, Aufgabenstellung und Zielsetzung

Das Gewässermonitoring im Rahmen der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) in Nordrhein-Westfalen (NRW) zeigt in vielen Gewässern erhöhte Schwermetallgehalte, die teilweise dazu führten, dass der chemische Zustand im Bewirtschaftungsplan 2010 – 2015 (MKULNV 2010a) als schlecht eingestuft wurde. Darüber hinaus können sich erhöhte Schwermetallgehalte toxisch auf Gewässerorganismen auswirken. Ein Teil dieser Schwermetallbelastungen ist auf Vererzungen und Bergbauaktivitäten zurückzuführen, die insbesondere in den Mittelgebirgsregionen von NRW im 19. und 20. Jahrhundert lokal sehr bedeutend waren.

Die Bezirksregierung (BR) Arnsberg, Abt. 6 (als zuständige Bergbehörde des Landes NRW) beauftragte im Namen des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV) die Arbeitsgemeinschaft (ARGE) IHS/ahu AG mit der Abgrenzung signifikanter Belastungsquellen aus dem Erzbergbau und der Beschreibung möglicher Maßnahmen im Rahmen der Bewirtschaftungsplanung in NRW. Die Auswertung zu den ökotoxikologischen Auswirkungen von Schwermetalleinträgen in die Gewässer erfolgte im Rahmen des Projekts durch das Planungsbüro Koenzen, Hilden. Das vorgelegte Gutachten der ARGE IHS/ahu AG stellt einen Beitrag zu den konzeptionellen Maßnahmen des Landes NRW dar. Im Rahmen des Gutachtens erfolgte die Analyse und Bewertung der Signifikanz der Eintragsquellen gemäß Auftrag auf Ebene der Wasserkörper als maßgebliche Beurteilungs- und Reporting-Einheit für die Umsetzung der WRRL. An dieser Stelle sei jedoch darauf hingewiesen, dass die Ziele der WRRL natürlich für alle Gewässer, d. h. auch für Gewässer mit einem Einzugsgebiet < 10 km² gelten.

Mit dem Gutachten werden von Seiten des Landes NRW die folgenden Ziele verfolgt:

- Abgrenzung von Gebieten mit Erzrevieren und Erzbergbauaktivitäten, die eine signifikante Belastung für die Gewässerqualität darstellen bzw. darstellen könnten.
- Identifizierung wichtiger Quellen des Schwermetalleintrags aus dem Erzbergbau in die Oberflächengewässer (v. a. Punktquellen, aber auch wichtige diffuse Quellen).
- Abschätzung der Frachten des Schwermetalleintrags aus den identifizierten wichtigen Quellen in die Gewässer.
- Abschätzung der Signifikanz des Eintrags (unter Berücksichtigung der Immission und von sonstigen Eintragsquellen) auf die Gewässer aus den identifizierten, wichtigen Quellen.

Symposium zur EG-WRRL – „Umsetzung im Fluss!“ 2013
Begleitprojekte für die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie
Erzbergbau-Projekt – Abgrenzung signifikanter Belastungen des Erzbergbaus

Thomas Pabsch, Bezirksregierung Arnsberg, Dortmund – Frank Müller, ahu AG, Aachen – Dr. Peter Rosner, IHS, Aachen

- Beschreibung möglicher und praktizierter Maßnahmen zur Reduzierung des Schwermetalleintrags bei Quellen des Erzbergbaus.
- Konzeptionelle Maßnahmenvorschläge für die identifizierten wichtigen Quellen.

Das Projekt wurde von einer Arbeitsgruppe mit Vertretern der folgenden Institutionen begleitet: MKULNV, Bergbehörde (BR Arnsberg, Abt. 6 – Bergbau und Energie in NRW), LANUV NRW, Bezirksregierungen Arnsberg, Düsseldorf und Köln sowie GD NRW.

Weiterer zentraler Bestandteil der Projektabwicklung war die Abstimmung mit den betroffenen Kreisen, die sich einschließlich der Vor-Ort-Termine über den Zeitraum Juli bis Dezember 2011 erstreckte.

Im Rahmen des Projekts wurden die landesweit verfügbaren Daten (inkl. Geodaten) zu den Bereichen Bergbau und Wasserwirtschaft aufbereitet und ausgewertet. Die Projektergebnisse wurden dem Land NRW in Form eines Gesamtgutachtens sowie als ArcGIS-Projekt zur weiteren Verwendung übergeben.

Methodische Vorgehensweise

Die grundsätzliche methodische Vorgehensweise bis zur Bewertung der Signifikanz von Wasserzutritten aus dem Erzbergbau in die Gewässer ist in der Abbildung 1 dargestellt. Bei den in der Abbildung 1 rot dargestellten Arbeitsschritten handelt es sich um zusätzliche Abfragen, Geländeerhebungen etc., die im Projektverlauf erforderlich waren.

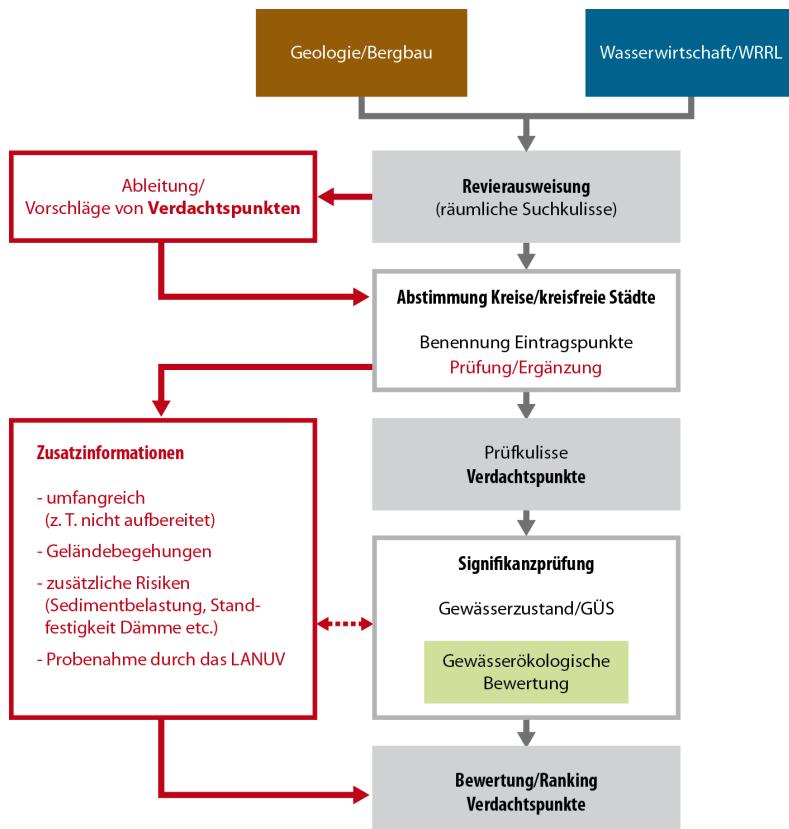


Abb. 1: Vorgehensweise zur Identifizierung und Bewertung von signifikanten Schwermetalleinträgen aus dem Erzbergbau

Die Arbeiten im Rahmen des Projekts lassen sich in die folgenden Arbeitsschritte gliedern:

1. Abgrenzung der räumlichen Suchkulisse für potenzielle Schwermetalleinträge aus dem Erzbergbau (Abb. 2).

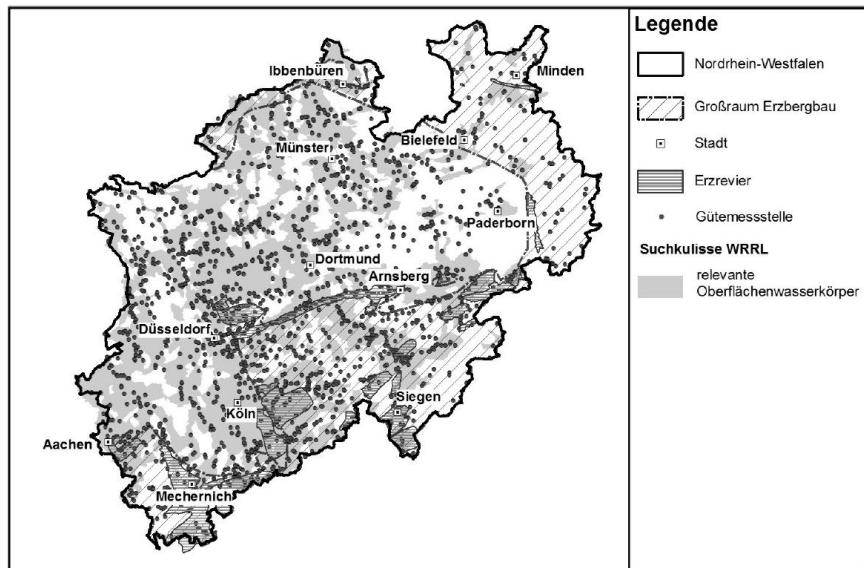


Abb. 2: Bereiche des Erzbergbaus und relevante (schwermetallbelastete) Oberflächenwasser-Körper in NRW

2. Identifizierung und Vorauswahl von Verdachtspunkten (ca. 80) für signifikante Schwermetalleinträge aus dem Erzbergbau (Abb. 3).

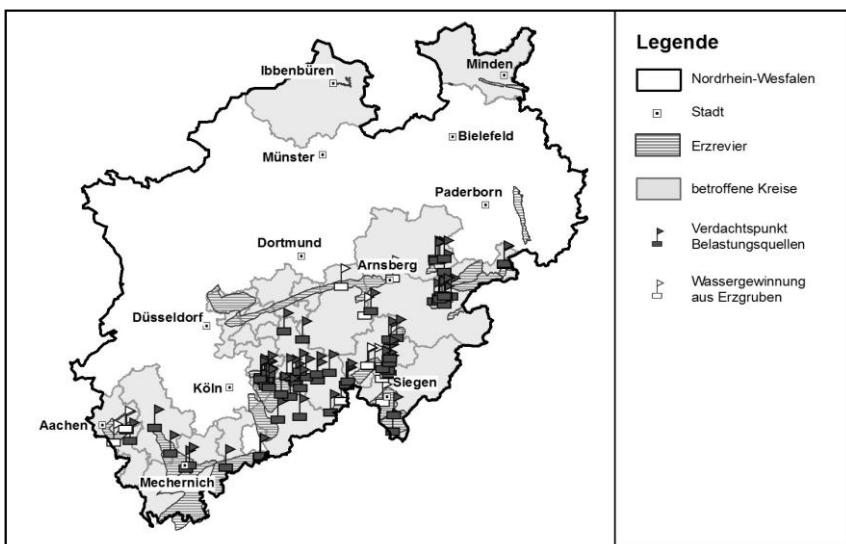


Abb. 3: Lage der Verdachtspunkte des Erzbergbaus für die Oberflächengewässer in NRW

Thomas Pabsch, Bezirksregierung Arnsberg, Dortmund – Frank Müller, ahu AG, Aachen – Dr. Peter Rosner, IHS, Aachen

3. Verifizierung der Verdachtspunkte und Bewertung ihrer Signifikanz für die Umsetzung der WRRL.

- Bereitstellung der Auswertungen zu Erzbezirken und Verdachtspunkten für die betroffenen Kreise.
- Abstimmung und zusätzliche Datenabfrage bei Kreisen, Unternehmen und den BR Arnsberg und Köln (inkl. Vor-Ort-Terminen/Gesprächen).
- Festlegung zusätzlicher Probenahmepunkte und Durchführung der Probenahme durch das LANUV im Februar 2012.

Die Bewertung der Signifikanz der Verdachtspunkte erfolgte ohne eine abschließende Differenzierung der geogenen Schwermetalleinträge.

Parallel und ergänzend zu den o. g. Arbeitsschritten wurden die folgenden Arbeitspakete bearbeitet:

4. Zusammenstellung von Maßnahmenbausteinen zur Reduzierung der Schwermetalleinträge.
5. Analyse der gewässerökologischen Auswirkungen von Schwermetalleinträgen.

Methode zur Bewertung der Signifikanz

Die Bewertung der Signifikanz der Verdachtspunkte erfolgte in Abstimmung mit der projektbegleitenden Arbeitsgruppe mit Hilfe eines Punktesystems und unter Verwendung der folgenden Kriterien:

- Beeinträchtigung des chemischen Zustands des Gewässers (Metalle prioritär) durch den Eintrag aus dem Verdachtspunkt.
- Beeinträchtigung des ökochemischen Zustands des Gewässers (Metalle nicht-prioritär und „nicht geregelt“) durch den Eintrag aus dem Verdachtspunkt.
- eingetragene Schwermetallfracht in die Gewässer.
- räumliche Ausdehnung der Belastung (Chemie und Ökochemie) aus dem Verdachtspunkt.
- Auswirkungen auf die Ökologie (Artenspektrum etc.).

In der Tabelle 1 sind die verwendeten Kriterien zur Bewertung der Verdachtspunkte **aufgelistet**.

Symposium zur EG-WRRL – „Umsetzung im Fluss!“ 2013
Begleitprojekte für die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie
Erzbergbau-Projekt – Abgrenzung signifikanter Belastungen des Erzbergbaus

Thomas Pabsch, Bezirksregierung Arnsberg, Dortmund – Frank Müller, ahu AG, Aachen – Dr. Peter Rosner, IHS, Aachen

Tab. 1: Kriterien zur Bewertung der Signifikanz der Verdachtspunkte

Kriterien	Klassen	Erläuterung	Punkte	Faktor
Beeinträchtigung chemischer Zustand	Ja	schlechter chemischer Zustand des OFWK, in den eingeleitet wird: Verdachtspunkt ist maßgeblicher Grund	4	2
	möglich	schlechter chemischer Zustand des OFWK, in den eingeleitet wird: Verdachtspunkt ist einer von mehreren Gründen	2	
	Nein	guter chemischer Zustand des OFWK, in den eingeleitet wird bzw. keine Hinweise auf signifikante Beeinträchtigung durch Verdachtspunkt	0	
Beeinträchtigung Zustand Öko-chemie	Ja	„höchstens mäßiger“ ökochemischer Zustand des OFWK, in den eingeleitet wird: Verdachtspunkt ist maßgeblicher Grund	4	2
	möglich	„höchstens mäßiger“ ökochemischer Zustand des OFWK, in den eingeleitet wird: Verdachtspunkt ist einer von mehreren Gründen	2	
	Nein	guter oder sehr guter ökochemischer Zustand des OFWK, in den eingeleitet wird bzw. keine Hinweise auf signifikante Beeinträchtigung durch Verdachtspunkt	0	
Fracht	hoch	Vergleichsweise hohe Fracht (mehrere 10er t/a)	3	2
	mittel	Vergleichsweise mittlere Fracht (ca. 1 bis 10 t/a)	2	
	gering	Vergleichsweise geringe Fracht (< 1 t/a)	1	
	unbedeutend	Fracht < 0,1 t/a	0	
Räumliche Ausdehnung der Belastung (Chemie und Öko-chemie)	Großräumig (mehrere WK)	Mehrere OFWK im Unterstrom sind betroffen	3	1
	Regional (1 WK)	mindestens der OFWK, in den eingeleitet wird, ist betroffen	2	
	Lokal (Gewässerabschnitt)	Nur ein lokaler Gewässerabschnitt ist betroffen (nicht der gesamte OFWK)	1	
	unbedeutend	keine signifikante Gewässerbelastung	0	
Auswirkungen auf Ökologie	erkennbare Auswirkungen	Auswirkung des Verdachtspunktes auf Ökologie durch Vergleich Ober-/Unterstrom belegbar	3	1
	wahrscheinliche Auswirkungen	Auswirkungen im Unterstrom vorhanden: Schwermetallbelastung ist wahrscheinlich alleiniger Grund	2	
	mögliche Auswirkung	Auffälligkeiten im Unterstrom vorhanden: Schwermetallbelastung kann einer von mehreren Gründen sein	1	
	Auswirkung nicht erkennbar	Keine erkennbaren Auswirkungen des Verdachtspunktes im Unterstrom	0	

Aus wasserwirtschaftlicher Sicht sind die Kriterien „Beeinträchtigung chemischer Zustand“, „Beeinträchtigung Zustand Ökochemie“ und „Frachten“ höher zu gewichten als die beiden anderen Kriterien. Aus diesem Grund wurden die entsprechenden Punkte für die o. g. Kriterien mit dem Faktor 2 multipliziert. Die maximal erreichbare Punktzahl lag bei 28.

Anhand der sich ergebenden Rangfolge wurden die Hauptbelastungsquellen ausgewiesen. Für die Hauptbelastungsquellen wurden im Weiteren die Ansatzpunkte sowie die Zielsetzung zur Verringerung der Schwermetalleinträge aufgezeigt und mögliche Maßnahmen vorgeschlagen. Ein entsprechender Katalog von Maßnahmenbausteinen wurde gesondert ausgearbeitet.

Zusammenfassung der Identifizierung und Bewertung signifikanter Eintragspunkte in NRW

Im Rahmen des Gutachtens wurden für jeden Kreis die Belastungssituation erläutert und die Verdachtspunkte im Hinblick auf ihre Signifikanz in Bezug auf die Schwermetalleinträge in die Gewässer bewertet. Entsprechend dem Ziel einer Identifizierung der Hauptbelastungs-

Symposium zur EG-WRRL – „Umsetzung im Fluss!“ 2013
 Begleitprojekte für die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie
 Erzbergbau-Projekt – Abgrenzung signifikanter Belastungen des Erzbergbaus

Thomas Pabsch, Bezirksregierung Arnsberg, Dortmund – Frank Müller, ahu AG, Aachen – Dr. Peter Rosner, IHS, Aachen

quellen des Schwermetalleintrags aus dem Erzbergbau in die Oberflächengewässer in NRW erfolgte eine kreisübergreifende Betrachtung und ein „Ranking“ der Verdachtspunkte, um die wichtigsten Quellen zu identifizieren.

Die Tabelle 2 enthält eine Aufstellung der 12 Hauptbelastungsquellen des Schwermetalleintrags aus dem Erzbergbau in die Oberflächengewässer in NRW. Ausgewählt wurden für diese Aufstellung alle Verdachtspunkte mit einer Gesamtpunktzahl > 10 und mindestens der Möglichkeit der Beeinträchtigung des chemischen Zustands der jeweilig betroffenen Wasserkörper. Eine Darstellung der räumlichen Lage der wichtigsten Eintragsquellen findet sich in der Abbildung 4.

Tab. 2: Aufstellung der 12 Hauptbelastungsquellen des Schwermetalleintrags aus dem Erzbergbau in die Oberflächengewässer in Nordrhein-Westfalen

Nr.	Verdachtspunkt		Bewertung der Signifikanz (Erläuterung der Punktvergabe siehe Tabelle 1)					
	Bezeichnung	ID	chem. Zustand	ökochem. Zustand	Fracht	räuml. Ausdehnung	Ökologie	Ge- samtpunk- zahl
1	Grube Mechernicher Bleiberg, Burgfeyer Stollen	EU 2	8	8	6	3	3	28
2	Grube Lüderich, Neuer Lüderichstollen	GL 10	8	8	6	3	1	26
3	Grube Glanzenberg – Goldberg II, Spülteiche/Halden/Stollen	OE 5	8	8	4	3	2	25
4	Peterszeche, Halden/Stollen	SI 2	8	8	4	3	2	25
5	Grube Lüderich, Grünewaldteiche	GL 11	8	8	4	3	1	24
6	Grube Vereinigter Bastenberg und Dörnberg, Eickhoff-Stollen	HSK 5	8	8	4	3	1	24
7	Grube Willibald, Halden/Stollen	HSK 10	8	8	4	3	1	24
8	Grube Bliesenbach, Halden/Stollen	OBK 4	8	4	4	2	1	19
9	Grube Silberkaule, Halden/Stollen	OBK 5	8	4	2	2	1	17
10	Grube Weiß, Sandhalden/Stollen	GL 6	4	4	4	2	1	15
11	Grube Altenberg, Halden/Spülteiche, Stollen	SI 7	4	4	2	2	-	12
12	Grube Alexander, Gustav-Stollen/Halden	HSK 6	4	4	2	1	0	11

Für die in der Tabelle 2 aufgelisteten und in der Abbildung 4 dargestellten Hauptbelastungsquellen wurden Objektsteckbriefe erstellt. Die Objektsteckbriefe geben einen Überblick über Art und Umfang des Erzbergbaus im Bereich der einzelnen Hauptbelastungspunkte, den potenziellen Ursprung der Schwermetallfrachten (Stollenmundloch/Halden) sowie Zielsetzung und technische Maßnahmen zur Reduzierung der Schwermetalleinträge in das betroffene Gewässer.

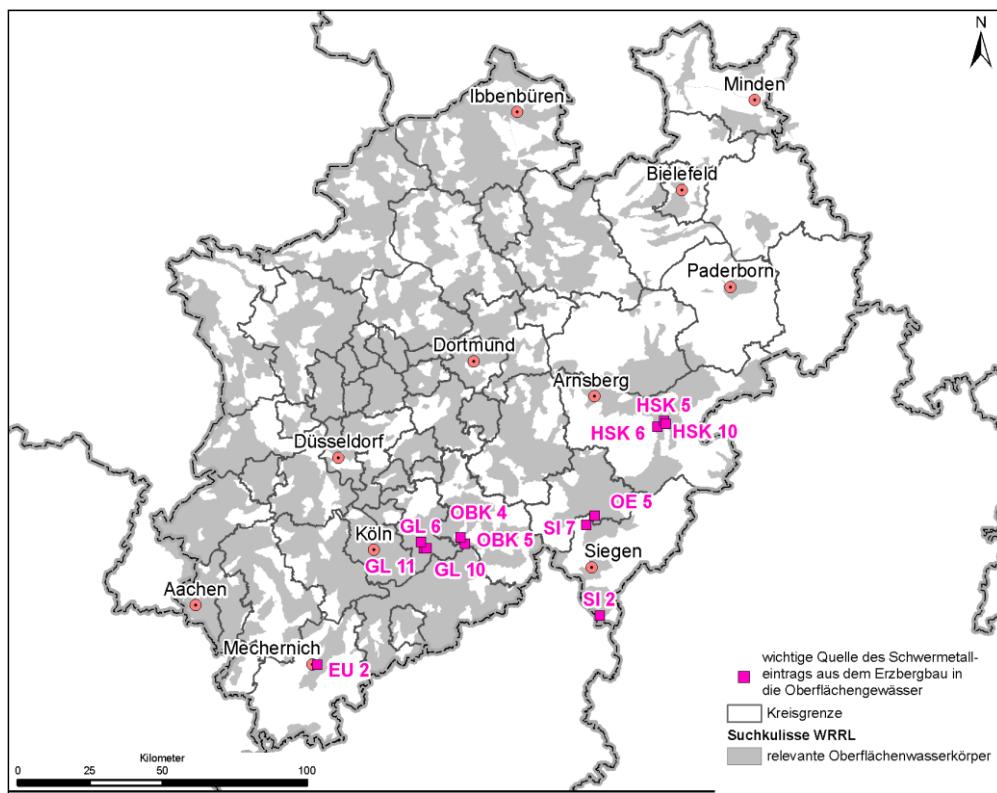


Abb. 4: Lage der 12 Hauptbelastungsquellen des Schwermetalleintrags aus dem Erzbergbau in die Oberflächengewässer in Nordrhein-Westfalen

Maßnahmenbausteine zur Minderung der Belastungen aus dem Erzbergbau

Die Bausteine für eine mögliche Maßnahmenkonzeption wurden unter Berücksichtigung der Ergebnisse einer projektbegleitenden Masterarbeit an der RWTH Aachen (Illguth 2011: „Auswahlkriterien für Behandlungsverfahren zur Schwermetall- und Sulfatentfernung aus Grubenwässern von Erzbergbauorten“) zusammengestellt und bewertet.

Auf eine vertiefende Darstellung der allgemein angewandten und anerkannten Vermeidungsstrategien wie die Abdeckung von sulfidischen Ablagerungen mit einer Bodenschicht mit anschließender Bepflanzung zur Minderung der Sulfidoxidation (Dry covers) sowie die Möglichkeit von Gewässerverlegungen im Zusammenhang mit Einkapselungen von Aufhaldungen wird an dieser Stelle verzichtet. Es erfolgt vielmehr ein kurzer Überblick über aktive und passive Maßnahmen zur Behandlung saurer Grubenwässer.

Für aktive und passive Behandlungsverfahren ist der durch pH-Wert, Sulfat- und Metallionengehalt klassifizierte Grubenwassertyp eine maßgebliche Eingangsgröße. Es wird generell zwischen drei Arten von Grubenwässern unterschieden: Acid Mine Drainage (AMD)¹, Neutral Mine Drainage (NMD) und Saline Drainage (SD). Aufgrund der Lagerstättencharakteristik treten in NRW Grubenwässer vom Typ AMD und NMD auf (Abb. 5).

¹ Synonyme Verwendung: Acid Rock Drainage (ARD)

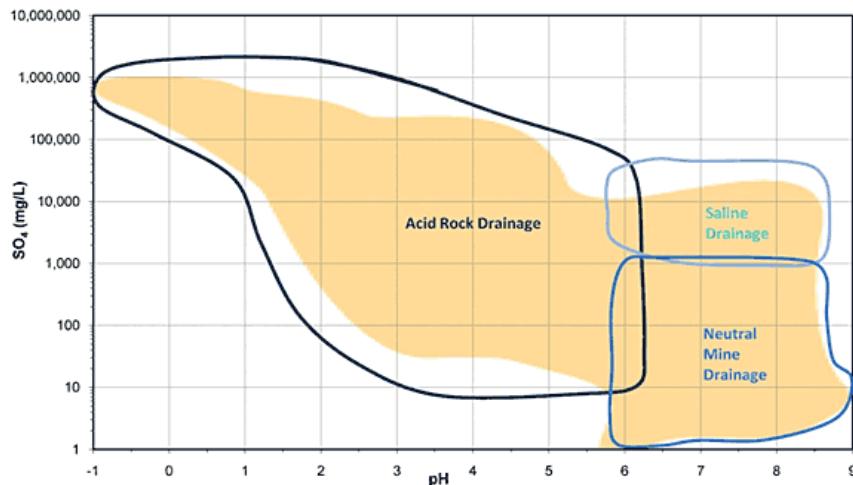


Abb. 5: Darstellung der verschiedenen Grubenwassertypen in Abhängigkeit ihrer pH-Werte und Sulfatgehalte (GARD Guide 2009) [Acid Rock Drainage (ARD) entspricht AMD]

Die **aktive Behandlung** von Grubenwasser erfordert einen stetigen Einsatz von Energie und/oder Bioagenzien und Chemikalien. Diese sind in ihrem Aufbau, Wirkungsweisen und Kosten vergleichbar mit Sanierungsanlagen, wie sie aus der Wasseraufbereitung und der Grundwassersanierung bekannt sind. Die Vorteile einer aktiven Behandlung sind die erprobte Technologie, die Steuerbarkeit des Reinigungsprozesses und häufig der geringe Platzbedarf. Die Nachteile sind der große Einsatz an Chemikalien, ggf. Bioagenzien und Energie. Dadurch ergeben sich in der Regel hohe Investitions- und Betriebskosten.

Aufgrund der großen Bandbreite der Grubenwässerchemie werden insbesondere die chemische Fällung (ODAS – Oxidation, Dosing with Alkali, Sedimentation) und im Einzelfall das Ionenaustauschverfahren als aktive Behandlungsmethoden angewandt. Membranverfahren kommen aufgrund der erforderlichen geringen Partikelgröße (Nanofiltration oder Umkehrosmose) und damit verbundenen hohen Investitions- und Energiekosten für die Reinigung von Grubenwasser in der Regel nicht zur Anwendung.

Die Chemische Fällung ist in pH-Wert-Modifikation (Neutralisation der Azidität), Belüftung (Oxidation zu Metallhydroxiden) und Sedimentation zu unterteilen. Der Neutralisation wird meist eine Oxidation in Form einer Belüftung des Grubenwassers vorgeschaltet. Mit der Oxidation des Grubenwassers wird erreicht, dass gering lösliche zweiwertige Metallionen wie Fe(II) oder Mn(II) in ihre weniger lösliche Form Fe(III), Mn(IV) umgewandelt werden. Zu den gängigsten Belüftungsmethoden zählen Kaskaden, Tropffilter, Venturi-Belüftung, mechanische Belüftung sowie die biologische und chemische Belüftung.

Beim Ionenaustauschverfahren wird die Separation der Metalle vom Wasser mittels eines Austauschmediums – z. B. eines Harzes – durchgeführt. In NRW ist ein Ionenaustauschverfahren für die Behandlung der Grubenwässer am Burgfeyer Stollen projektiert. Ein Pilotversuch wurde erfolgreich abgeschlossen (s. Abb. 6).

Die Ergebnisse der Pilotanlage am Burgfeyer Stollen sind in Bezug auf die Reinigungsleistung in der Abbildung 7 beispielhaft anhand des Parameters Nickel dargestellt. Es wird deutlich, dass bereits im Ablauf des 1. Ionenaustauschers deutlich geringere Nickel-Gehalte festzustellen sind, eine annähernd vollständige Elimination dann aber erst im Ablauf des 2. Ionenaustauschers festzustellen ist.

Thomas Pabsch, Bezirksregierung Arnsberg, Dortmund – Frank Müller, ahu AG, Aachen – Dr. Peter Rosner, IHS, Aachen

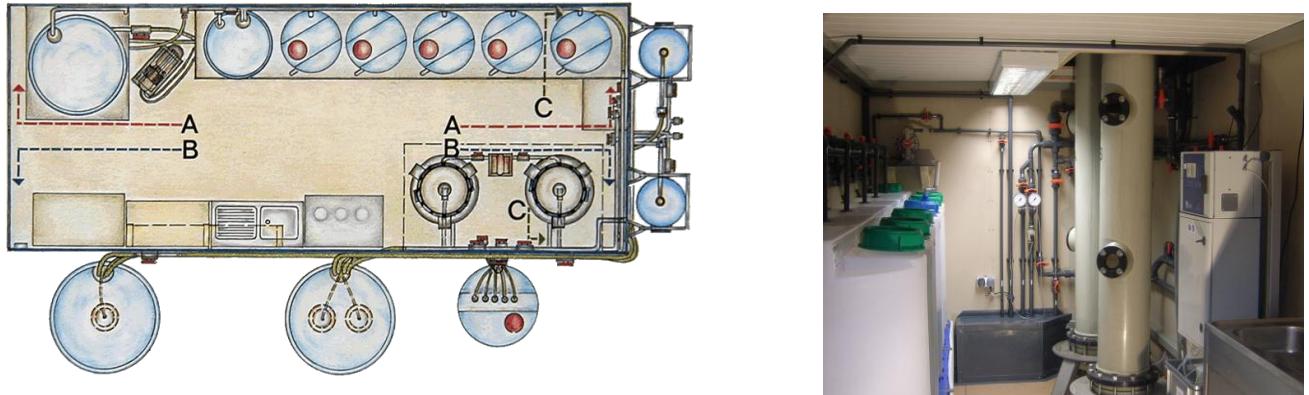


Abb. 6: Pilotversuch Ionenaustauscher am Burgfeyer Stollen (links: Draufsicht, rechts: Blick in den Container) (Quelle: Erftverband)

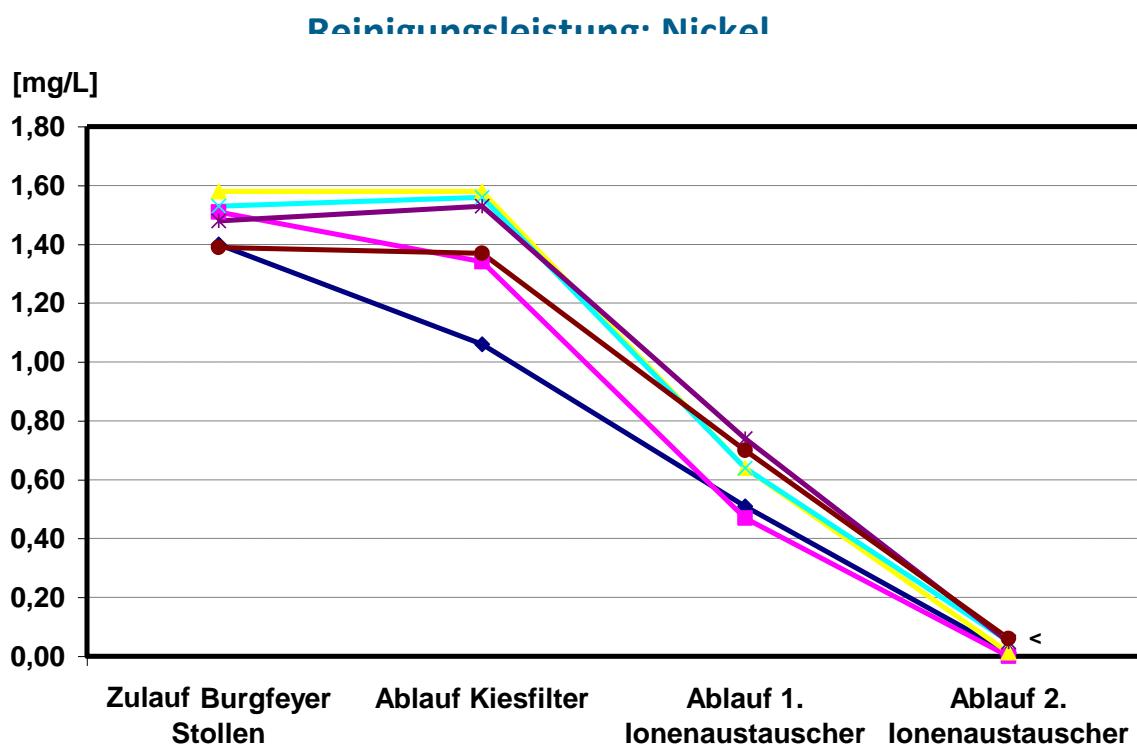


Abb. 7: Pilotversuch Ionenaustauscher am Burgfeyer Stollen: Reinigungsleistung für den Parameter Nickel (Quelle: Erftverband)

Passive Behandlungsverfahren erfordern einen deutlich geringeren Energie- und Chemikalieneinsatz, haben geringere Invest- und Betriebskosten, erfordern aber überwiegend eine aufwändige Anpassung an die jeweiligen Standortverhältnisse. Die Ablaufkonzentrationen schwanken stärker (im Jahresgang) als bei aktiven Maßnahmen. Es handelt sich deshalb um flankierende Minderungsmaßnahmen – die aber ausreichend sein können, um Gewässerzielwerte zu erreichen.

Das Prinzip der passiven Grubenwasserbehandlung beruht auf der Anwendung natürlich vorkommender biologischer, chemischer und physikalischer Prozesse in abgeschlossenen Behandlungssystemen. In diesen werden dann natürliche Prozesse, wie z. B. die Oxidation, Reduktion, Hydrolyse und Ausfällung begünstigt, indem die dafür verantwortlichen Umweltbedingungen nach Möglichkeit eingestellt werden.

Neben Sedimentationsbecken (sedimentation ponds oder settling lagoons) und Belüftungssystemen zur Reinigung von Grubenwässern – häufig einer weiteren aktiven oder passiven Behandlungstechnik vorgeschaltet – sind vor allem Constructed wetlands in den letzten Jahrzehnten stetig weiterentwickelt worden und gelten als eine der am meisten genutzten passiven Behandlungsmethoden für kontaminierte Grubenwässer. Wetlands werden als erprobte Technologie vor allem in Bezug auf die Fe- und Mn-Entfernung anerkannt. Als Nebeneffekt werden Schwermetalle wie Pb, Ni oder Cd ebenfalls dem Grubenwasser entzogen. Bei der Reinigung des Grubenwassers durch die biologischen, sich selbst regulierenden Systeme wird zwischen aerobic und anaerobic (compost) wetlands unterschieden.

Aerobic wetlands sind aus einer flachen Bodenschicht aus organischem Substrat (~ 0,3 m), über die das zu behandelnde Wasser fließt, aufgebaut (Lottermoser 2007). In der Bodenschicht sind Pflanzen wie Schilf (*Phragmites*), Binsen (*Juncus*) oder Rohrkolbengewächse (*Typha*) angesiedelt. Der Reinigungsprozess von aerobic wetlands besteht im Allgemeinen aus der Oxidation, Hydrolyse und Fällung von Metallen (primär: Fe und Mn, sekundär: Al und Zn).

Bei oxischen Karbonatkanälen (Oxic Limestone Drain-OLD) handelt es sich um offene Gräben, die mit Kalksteinaggregaten gefüllt sind und durch die das behandlungsbedürftige Grubenwasser unter aeroben Bedingungen mit hohem Gradienten geleitet wird (Beispiel siehe Abb. 8). Dabei wird der Kalkstein gelöst und Alkalinität generiert. Infolgedessen steigt der pH-Wert. Durch den Zutritt von atmosphärischem Sauerstoff kommt es zur Oxidation von Metallionen und somit zur Ausfällung von Metallhydroxiden.

Auch Anoxische Karbonatkanäle (Anoxic Limestone Drain – ALD) verbessern die Qualität des AMD durch die zusätzliche Erzeugung von Alkalinität. Das Grubenwasser wird durch mit Kalkstein (CaCO_3) gefüllte, abgedeckte Gräben geleitet. Dabei lösen die im Grubenwasser vorliegenden Protonen den Kalkstein und es kommt zur Freisetzung von Hydrogenkarbonat. Die Azidität wird somit verringert und der pH-Wert steigt an. OLD und ALD werden in Kombination mit anderen passiven Behandlungsverfahren angewendet.

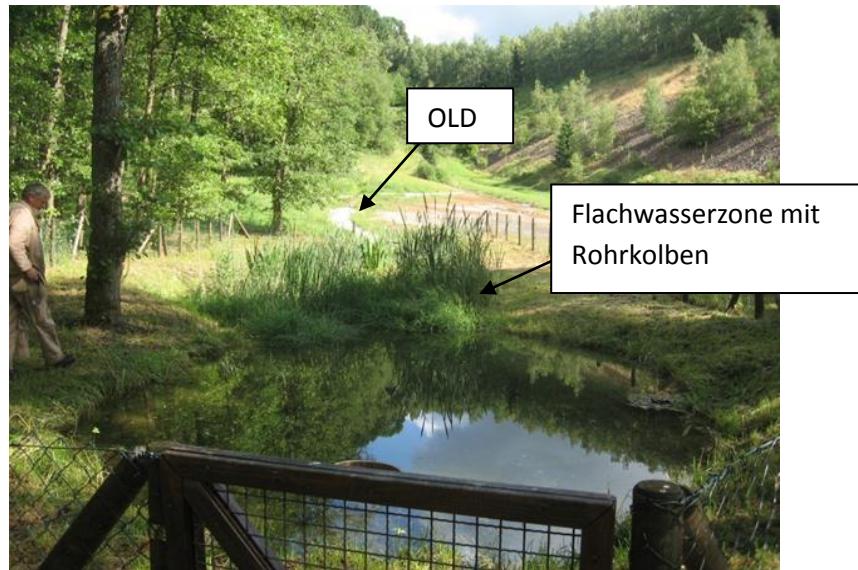


Abb. 8: OLD und Wetland unterhalb Sedimentationsbecken Hachen
(Sachtleben Bergbau Verwaltungs-GmbH, Lennestadt 2013)

Ein relativ neues Behandlungsverfahren ist das geschlossene Karbonatlösungssystem zur Zinkentfernung (siehe Abbildung 9).

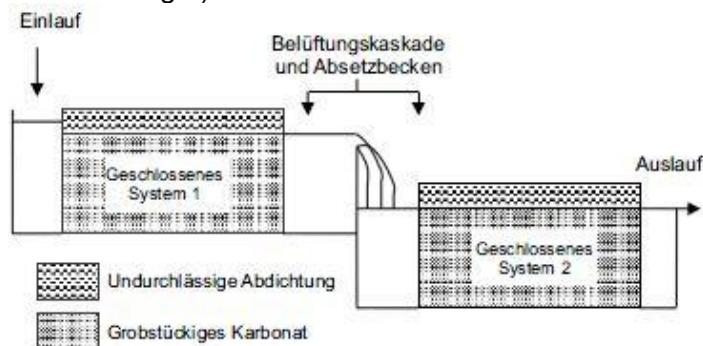


Abb. 9: Schematische Darstellung eines geschlossenen Karbonatlösungssystems für Zn
(Wolkersdorfer & Younger 2002)

Geschlossene Karbonatlösungssysteme ähneln in ihrem Aufbau ALDs und eignen sich insbesondere für die Entfernung von Zink aus neutralem Grubenwasser. Das Konzept des Verfahrens basiert auf der Ausfällung von Zinkkarbonaten in luftdicht verschlossenen Kalksteinbettungen, in denen der CO₂-Partialdruck über dem der Atmosphäre liegt. Die Behandlung von Grubenwässern soll effizient und kostengünstig sein. Die Auswahl eines geeigneten Behandlungsverfahrens hängt von den verschiedenen Eigenschaften des Systems und den gegebenen Standortcharakteristika ab. In Tabelle 3 sind aktive und passive Verfahren vergleichend gegenübergestellt.

Tab. 3: Vergleich und Bewertung von aktiven und passiven Verfahren, mit Bewertungsattributen
 „+“: positiv, „0“: neutral, „-“: negativ (Illguth 2011)

	aktive Verfahren	Bewertung	passive Verfahren	Bewertung
Anwendungsbereich	Anwendung bei niedrigen bis hohen Abflussmengen, allen Arten und hohen Metall- und Sulfatkonzentrationen	+	Anwendung bei geringen bis moderaten Abflussmengen, Metallkonzentrationen und Sulfatgehalten	0
pH-Bereich	sauer bis alkalisch	+	pH > 5	0
Effizienz	hohe Reinigungsleistung	+	erreichte Wasserqualität schlechter als bei aktiven Methoden	0
Flächenbedarf	gering	+	generell größerer Flächendarf	-
Anfall von Sekundär-abfällen	hoch	-	gering	+
Investitions-kosten	höher als bei passiven Verfahren	0	bei kleinen bis mittleren Anlagen meist geringer als bei aktiven Verfahren	+
Betriebskosten	hoch	-	gering	+

Aktive Behandlungsverfahren gelten aufgrund ihrer langjährigen Anwendung als erprobte Technologien, mit verfahrensabhängigen Vor- und Nachteilen. Bei Grubenwässern mit moderaten Metallgehalten und einem schwach sauren pH-Wert sind Bioreaktoren der chemischen Fällung vorzuziehen, da geringere Kosten im Betrieb anfallen. Bei stark kontaminiertem Wasser mit sehr niedrigem pH-Wert eignet sich am ehesten die chemische Fällung, da diese die beste Reinigungsleistung bei allerdings höheren Kosten hat.

Sofern die Entscheidung getroffen wird, passive Verfahren zur Grubenwasserbehandlung zu verwenden, muss das Verfahren vor allem auf den pH-Wert abgestellt werden. Ein Entscheidungsbaum für die Auswahl eines passiven Behandlungsverfahrens ist in Abbildung 10 ersichtlich.

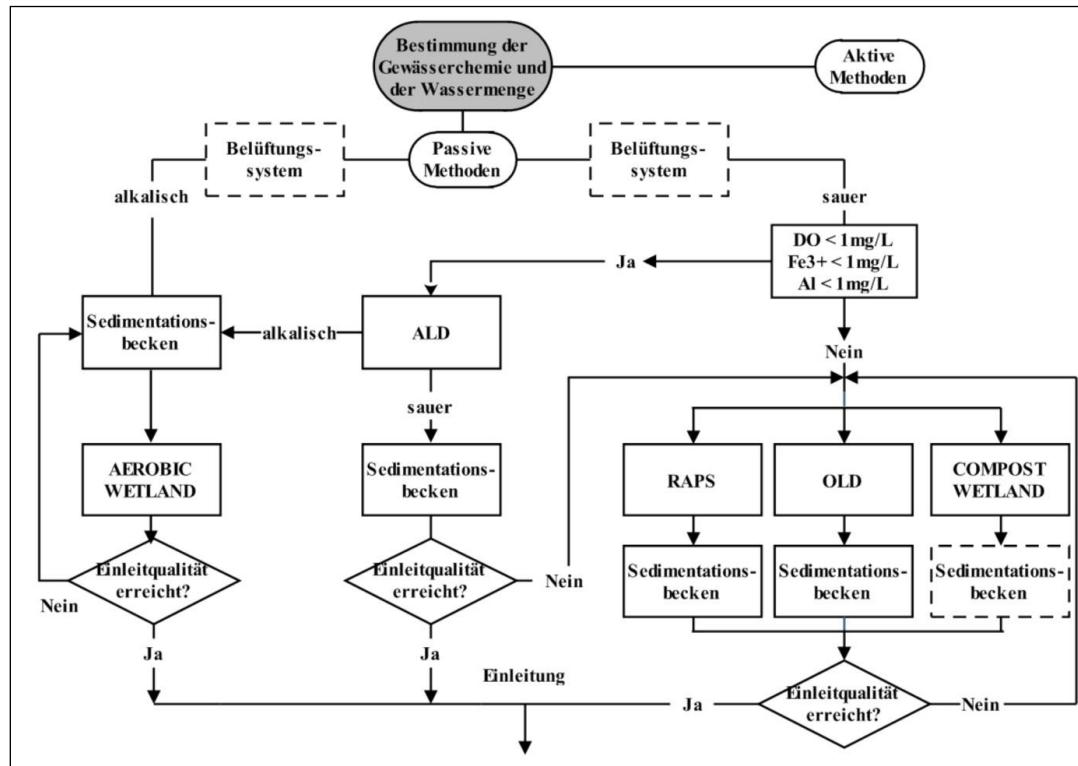


Abb. 10: Entscheidungsbaum für die Auswahl eines passiven Behandlungsverfahrens; gestrichelte Linie: optionale Behandlungsmethode (Illguth 2011)

Maßnahmenempfehlungen für die Hauptbelastungsquellen in NRW

Für die identifizierten Hauptbelastungsquellen in NRW sollten Vermeidungs- und Verminderungsmaßnahmen (V-Maßnahmen) erste Priorität haben, da nicht abgedeckte Halden die wichtigsten Schadstoffquellen darstellen. Im Zusammenhang mit der Planung und Umsetzung von V-Maßnahmen ist darauf hinzuweisen, dass auf den betreffenden ehemaligen Betriebsbereichen mittlerweile oftmals Naturschutzgebiete oder FFH-Gebiete ausgewiesen wurden. Nach der Feststellung der Möglichkeit der V-Maßnahmen kann geprüft werden, ob eine zusätzliche Aufbereitung unter Belastungsgesichtspunkten erforderlich ist und wie diese wirtschaftlich integriert werden kann. Die Tabelle 4 gibt einen Überblick über die vorgeschlagenen Maßnahmen der Hauptbelastungsquellen.

Symposium zur EG-WRRL – „Umsetzung im Fluss!“ 2013
Begleitprojekte für die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie
Erzbergbau-Projekt – Abgrenzung signifikanter Belastungen des Erzbergbaus

Thomas Pabsch, Bezirksregierung Arnsberg, Dortmund – Frank Müller, ahu AG, Aachen – Dr. Peter Rosner, IHS, Aachen

Tab. 4: Überblick über die Hauptbelastungsquellen und Maßnahmenempfehlungen

Nr.	Bezeichnung	ID	Punktzahl Signifikanz	Beschreibung	vorgeschlagene Maßnahmen	
					Verminderung	Aufbereitung
1	Grube Mechernicher Bleiberg, Burgfeyer Stollen	EU 2	28	Wasseraustritt aus Stollen 300 l/s	Reduzierung des Wasseranfalls durch Ableiten eines Teilstroms aus dem Westfeld und Errichtung einer Erddeponie geplant*	Ionenaustauscher vorgesehen*
2	Grube Lüderich, Neuer Lüderichstollen	GL 10	26	Wasseraustritt aus Stollen 50 m ³ /h	keine	mehrstufiges System aus Belüftung (Kaskade), Sedimentationsbecken und ggf. weiteren Reinigungsstufen zur Zn-Entfernung prüfen
3	Grube Glanzenberg – Goldberg II, Spülteiche/ Halden/Stollen	OE 5	25	Bach erodiert die Basis der Halde NSG und FFH Gebiet	umfangreiche Maßnahmen zur Minimierung der Sickerwasserneubildung, Böschungsstabilisierung, Erfassung/ Regulierung der Wasserzuläufe aus dem Grubengebäude	zunächst keine ggf. später Fassung und Aufbereitung Restsickerwasseraustritte
4	Peterzeche, Halden/Stollen	SI 2	25	Bach verläuft durch die nicht abgedeckte Halde und erodiert den Haldenfuß; NSG und FFH Gebiet	Reduzierung der Sickerwasserneubildung im Haldenbereich sowie der Haldenerosion im Bachbett durch Gewässerumleitung, Abdeckung der Halden und Böschungssicherung	zunächst keine
5	Grube Lüderich, Grünewaldteiche	GL 11	24	NSG (Ausweisung steht evtl. einer Abdeckung entgegen)	Abdeckung (Vegetationsschicht) und Bepflanzung des Spülteichgeländes zur Minimierung der Sickerwasserneubildung	Belüftungssystem (Kaskaden) und Sedimentationsbecken
6	Grube Vereinigter Basaltenberg und Dörenberg, Eickhoff-Stollen	HSK 5	24	Wasseraustritt aus Stollen ca. 2 Mio. m ³ /a	keine	Einsatz eines geschlossenen Zn-Karbonatlösungssystems prüfen
7	Grube Willibald, Halden/Stollen	HSK 10	24	diffuse Wasseraustritte aus der Halde in die Hahnbecke zunächst Ermittlung und Bewertung der einzelnen Belastungspfade, ehe ggf. Maßnahmen konzipiert werden können FFH-Gebiet	Reduzierung der Sickerwasserneubildung (FFH-Gebiet; ggf. keine Maßnahmen möglich)	zunächst keine
8	Grube Bliesenbach, Halden/Stollen	OBK 4	19	bewaldete Halde und Stollenaustritt am Haldenfuß NSG	Minimierung der Sickerwasserneubildung im Haldenbereich entlang des Loopebachs (Halde und Spülteiche) durch Abdeckung und Bepflanzung der Haldenbereiche und Abdichtung der Gerinnesohlen im Haldenbereich	keine
9	Grube Silberkaule, Halden/Stollen	OBK 5	17	Bach verläuft durch die Halde NSG	Minimierung der Sickerwasserneubildung im Haldenbereich und Minimierung der Haldenerosion durch den Heckbach durch Profilierung, Abdeckung und Bepflanzung der Halden und Spülteichflächen und Befestigung des Bachbetts	falls Verminderungsmaßnahmen nicht ausreichend: Reduzierung der Schwermetallfracht aus dem Stollen über Belüftung und Sedimentationsbecken und ggf. weitere Behandlung
10	Grube Weiß, Sandhalden/ Stollen	GL 6	15	zunächst Ermittlung und Bewertung der einzelnen Belastungspfade, ehe ggf. Maßnahmen konzipiert werden können NSG- und FFH-Gebiet	zurzeit keine	zurzeit keine
11	Grube Altenberg, Halden/ Spülteiche, Stollen	SI 7	12	zunächst Bestandsaufnahme der Belastungspfade und Identifikation der maßgeblichen Emissionspfade NSG- und FFH-Gebiet	zurzeit keine	zurzeit keine
12	Grube Alexander, Gustav-Stollen/ Halden	HSK 6	11		Prüfung eines Verschlusses des Gustav-Stollens und Zurückdrängen des Wassers in den Nagelmacker-Stollen und Abdeckung der Halde	Einsatz eines geschlossenen Zn-Karbonatlösungssystems prüfen

Weiteres Vorgehen/Untersuchungsbedarf

Die Umsetzung der WRRL und das Erreichen der diesbezüglichen Ziele für die Gewässer bedingen eine integrative Betrachtung der Belastungssituation, um geeignete Maßnahmen zur Verbesserung des Gewässerzustands ableiten und konzipieren zu können.

Mit den vorliegenden Ergebnissen wurden erstmals für die gesamte Landesfläche Nordrhein-Westfalens geologisch-bergbauliche und wasserwirtschaftlich-gewässerökologische Gesichtspunkte integrativ ausgewertet, um die Hauptbelastungsquellen von Schwermetallen in die Gewässer resultierend aus industriellem Erzbergbau zu identifizieren.

Für die als signifikant erachteten Verdachtspunkte in Nordrhein-Westfalen wurden ausführliche Objektsteckbriefe erstellt, in denen für die zuständigen Behörden alle relevanten Daten zum jeweiligen Verdachtspunkt zusammenfassend dargestellt sind. Darüber hinaus erfolgte ein erster Vorschlag bzgl. der notwendigen Maßnahmen, um die Belastung der betroffenen Gewässer mit Schwermetallen zu verringern.

Die für konkrete Maßnahmenplanungen erforderlichen Daten sind zu ermitteln bzw. zu verdichten:

- Ermittlung und Quantifizierung der verschiedenen Komponenten des Wasserhaushalts der betroffenen Gebiete (Abflussmengen, Neubildungsraten, Abhängigkeiten von Starkniederschlägen etc.).
- Erstellung des hydrogeologischen Systemmodells zur Identifizierung der wesentlichen Belastungspfade (ggf. ergänzt durch eine modelltechnische Untersuchung zur Quantifizierung der jeweiligen Pfade).
- Kontinuierliche hydrochemische Untersuchungen zur Ermittlung u. a. der Schwankungsbreiten von Konzentrationen und Frachten und zur Vervollständigung der Datengrundlage für die Auslegung der Behandlungs- und Aufbereitungstechnik.
- Bau von Pilotanlagen und Testen der einzelnen Maßnahmenbausteine unter den herrschenden klimatischen Bedingungen. Hierbei wird vor allem das geschlossene Karbonatlösungssystem für Zn für wichtig erachtet.

Für einige Verdachtspunkte und Belastungsbereiche in Nordrhein-Westfalen ist aufgrund der aktuellen Datenlage oder der komplexen Wirkungszusammenhänge mit anderen potenziellen Belastungsquellen eine abschließende Bewertung der Signifikanz der Verdachtspunkte zum derzeitigen Zeitpunkt nicht möglich. Für diese Bereiche werden weitergehende konzeptionelle Untersuchungen empfohlen.

Mit den erzielten Ergebnissen werden die Bewirtschaftungsbehörden in die Lage versetzt, die Gewässerbelastungen aus dem Erzbergbau sachgerecht in die Bewirtschaftungsplanung einzustellen und aufgezeigte Minderungsmaßnahmen gezielt weiter zu verfolgen.

Symposium zur EG-WRRL – „Umsetzung im Fluss!“ 2013
Begleitprojekte für die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie
Erzbergbau-Projekt – Abgrenzung signifikanter Belastungen des Erzbergbaus

Thomas Pabsch, Bezirksregierung Arnsberg, Dortmund – Frank Müller, ahu AG, Aachen – Dr. Peter Rosner, IHS, Aachen

Verfasser:
ThomasPabsch
Bezirksregierung Arnsberg
Goebenstr. 25
44135 Dortmund
Tel.: 02931 82-3926
Fax: 02931 82-45111
E-Mail: thomas.pabsch@bezreg-arnsberg.nrw.de

Frank Müller
ahu AG
Kirberichshofer Weg 6
52066 Aachen
Tel.: 0241 900011-42
Fax: 0241 900011-9
E-Mail: f.mueller@ahu.de

Dr. Peter Rosner
IHS – Ingenieurbüro Heitfeld-Schetalig
Preusweg 74
52074 Aachen
Tel.: 0241 70516-0
Fax: 0241 70516-20
E-Mail: info@ihs-online.de

Literaturverzeichnis

GARD GUIDE: The International Network for Acid Prevention (INAP). An organization of international mining companies dedicated to reducing liabilities associated with sulphide mine materials. www.gardguide.com

ILLGUTH, S. (2011): Auswahlkriterien für Behandlungsverfahren zur Schwermetall- und Sulfatentfernung aus Minenwässern von Erzaltbergbaustandorten. Masterarbeit an der RWTH Aachen (unveröffentlicht)

LOTTERMOSER, B. (2007): Mine Wastes – Characterization, Treatment and Environmental Impacts. 304 S.; Berlin Heidelberg (Springer-Verlag)

MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (MKULNV) (2010a): Belebtschaftungsplan für die nordrhein-westfälischen Anteile von Rhein, Weser, Ems und Maas 2010 – 2015, Düsseldorf

WOLKERSDORFER, C. & YOUNGER, P. L. (2002): Passive Grubenwassereinigung als Alternative zu aktiven Systemen. Grundwasser 7; S. 67 - 77