

# Wassermanagement im Bergbau

## Ergebnisse des EU-Projektes Vita-Min



Europäische Union. Europäischer  
Fonds für regionale Entwicklung.  
Evropská unie. Evropský fond pro  
regionální rozvoj.



Ahoj sousede. Hallo Nachbar.  
Interreg VA / 2014 – 2020

LANDESAMT FÜR UMWELT,  
LANDWIRTSCHAFT  
UND GEOLOGIE



Freistaat  
SACHSEN

**Fotonachweis:**

Umschlagseite vorne: Grundwasserableiter Tagebau Nochten (LfULG, 2020)

Umschlagseite hinten: Hunte in der Reichen Zeche Freiberg (LfULG, 2018)

Umlaufendes Foto: Panorama Braunkohlentagebau Most (LfULG, 2018)

# Kompendium wirtschaftlicher, umweltgerechter und innovativer Lösungsansätze und Verfahren für das Bergbaufolgemanagement sowie den aktiven Bergbau in Sachsen und der Tschechischen Republik

- Zusammenfassender Projektbericht Vita-Min -

Autoren: Lünich, Kathleen; Kieschnik, Lennart; Zönnchen, Claudia

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

**Gefördert durch den europäischen Fonds für Regionalentwicklung**



Europäische Union. Europäischer  
Fonds für regionale Entwicklung.  
Evropská unie. Evropský fond pro  
regionální rozvoj.



Ahoj sousede. Hallo Nachbar.  
Interreg VA / 2014 – 2020

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>I</b>
<b>Glossar .....</b>	<b>IV</b>
<b>Vorbemerkung .....</b>	<b>VII</b>
<b>1 Einführung, Hintergrund, Zielstellung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Einführung.....	2
1.2 Hintergrund .....	5
1.3 EU-Projekt Vita-Min .....	8
<b>2 Bergbaufolgemanagement.....</b>	<b>11</b>
2.1 Hintergrundinformationen .....	12
2.1.1 Analyse des anthropogen und natürlich bedingten Zutrittes von Eisen und Sulfat in bergbaubeeinflusste Fließgewässer .....	12
2.1.2 Erarbeitung eines Wasserstammbaums für den Raum Zinnwald/ Cínovec.....	14
2.1.3 Recherche und Kartierung der Bergbaufolgeseen aus Sicht der möglichen Risiken der Beeinträchtigung anderer Wasserflächen.....	16
2.2 Bewertungsgrundlagen .....	19
2.2.1 Wasserhaushaltsanalyse – Erstellungskonzept für ein Großraummodell der Lausitz .....	19
2.2.2 Ermittlung der Hintergrundkonzentration von Metallen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet.....	21
2.2.3 Boden- und Gewässersanierung in Bergbaugebieten mit besonderen Forstanbausystemen .....	25
2.2.4 Erarbeitung inhaltlicher Aspekte für ein Rahmenkonzept zu Bergbaunachfolgen des ehemaligen Steinkohlenreviers Lugau-Oelsnitz/Erzgeb. ....	27
2.2.5 Geophysikalische Untersuchungen zur Erkundung der Störungssituation im Gebiet der Stadt Oelsnitz/Erzgebirge in Bezug auf deren Verlauf und möglichen Einfluss auf die Grundwasserdynamik zur Eruierung von Bohrlochansatzpunkten .....	30
2.3 Monitoring .....	32
2.3.1 Weiterführung des Bergbaunachfolgemonitorings im Gebiet der Stadt Oelsnitz/Erzgeb. – Überwachungsmessungen Deutschlandschachthalde .....	32
2.3.2 Revitalisierung der Tiefbohrung Oelsnitz zur Entnahme von Grubenwasser/Sole unter Beibehaltung ihrer derzeitigen Funktion .....	33
2.3.3 Hydrochemisches Monitoring der Gewässer zur Beurteilung der Wasserqualität in kleinen Bergbaufolgeseen .....	35
2.4 Sanierungsverfahren .....	36
2.4.1 Möglichkeiten des Schadstoffrückhalts in unterirdischen Grubengebäuden des Erz- und Spatbergbaus .....	36

2.4.2	Testung der Laborergebnisse zur elektrochemischen Sulfatabtrennung im Dauerbetrieb in der Praxis in Raititza – ökonomische Betrachtung .....	38
2.4.3	Untersuchungen zur Sulfatabtrennung mit dem Ziel der Gewinnung von Ammoniumsulfatdünger.....	40
2.4.4	Reinigungsverfahren sowie wirtschaftliche Bewertung und Selektion der Best-Praxis-Verfahren gegen Acid-Mine-Drainage .....	43
2.4.5	Recherche und Wirtschaftlichkeit (mikro-) biologischer Verfahren zur Reinigung von Bergbauwässern .....	45
2.4.6	Bewertung hydrochemischer Risiken von Bergbaufolgeseeen und Vorschläge für deren Eliminierung.....	48
2.4.7	Mobile Wasserbehandlungsanlage zur Enteisung und Entmanganung von Grubenwasser aus der Tiefbohrung Oelsnitz/Erzgeb.....	50
<b>3</b>	<b>Ressourcenschonende Prinzipien.....</b>	<b>53</b>
3.1	Studien und Analysen.....	54
3.1.1	Kompendium wirtschaftlicher und umweltgerechter Best-Praxis Lösungen für Bergbaufolgemanagement sowie aktiven Bergbau - Teil 1: Wassermanagement Lausitz .....	54
3.1.2	Vereinbarkeit neuer Bergbauaktivitäten mit Vorgaben der EU - Leitfaden für Behörden, Planer und Bergbautreibende .....	57
3.1.3	Untersuchung der bestehenden hydrologischen und hydrochemischen Situation im Nordböhmischen Braunkohlenbecken hinsichtlich der Flutung der Bergbaurestlöcher .....	59
3.1.4	Bewertung der langfristigen Entwicklung der Wasserqualität in den Bergbaurestseen im Nordböhmischen Braunkohlenbecken .....	63
3.1.5	Bewertung der bestehenden Konzepte für die hydrische Rekultivierung im Nordböhmischen Braunkohlenbecken hinsichtlich der Optimierung der wasserwirtschaftlichen Lösung .....	66
3.2	Monitoring .....	69
3.2.1	Einfluss neuer Bergbauaktivitäten auf Wasserqualität und Wassermenge im Raum Zinnwald-Cínovec .....	69
3.2.2	Analyse zu speziellen Inhaltsstoffen in Gruben- und Haldenwässern aus dem ehemaligen Lugau-Oelsnitzer Revier sowie Inhaltsstoffen der Böden und Quellen und Erarbeitung von Varianten für deren industriellen Nutzung ...	71
3.2.3	Hydrochemisches Monitoring der Gewässer zur Beurteilung der Wasserqualität für die Flutung der Restlöcher und Bewertung der potentiellen Quellen für eine Kontaminierung.....	73
3.3	Innovationen .....	76
3.3.1	Nutzung der Abprodukte aus Wasserreinigungsanlagen als Wertstoffe .....	76
3.3.2	Konzept zu flächensparenden Übertageanlagen im zukünftigen Bergbau .....	79
3.3.3	Digitales grenzüberschreitendes Haldenkataster SN-CZ .....	81
3.3.4	Kompendium wirtschaftlicher und umweltgerechter Best-Praxis Lösungen für Bergbaufolgemanagement sowie aktiven Bergbau - Teil 2: Instrumente zur Ermittlung geeigneter umweltgerechter Verfahren.....	84
3.3.5	Machbarkeitsstudie zur Nutzung multi- und hyperspektraler Verfahren für Kippenzustandsbeschreibung und Tagebaurestseemonitoring .....	87
<b>4</b>	<b>Synergieeffekte .....</b>	<b>91</b>

<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>VIII</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>X</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>XII</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>XIII</b>
<b>Impressum.....</b>	<b>XV</b>

## Glossar

Abraum	Gesteinsschichten, die das nutzbare Material überdecken (im Tagebau)
Abraumhalde	künstlicher Berg, der durch das Aufschütten von Abraum entstanden ist
Absenkungstrichter	eingetieft Grundwasseroberfläche um einen Brunnen, die durch die Entnahme von Grundwasser entsteht
Abteufen	Herstellung von senkrechten Hohlräumen (Schächte, Lichtlöcher) zur Erschließung von Lagerstätten
Acid Mine Drainage (AMD)	Saure Wässer mit hohen Gehalten an Metall-, Halbmetall- und Sulfat-Ionen aus Bergbauobjekten
Altbergbau	Stillgelegter Bergbau, dessen Objekte in der Regel nicht mehr der Aufsicht des Bundesberggesetzes unterliegen
Anoxisch	Sauerstofffreier Bereich oder Vorgang
Anthropogen	Durch den Menschen entstanden bzw. verursacht
Atmosphärische Deposition	Austrag und Ablagerung von Substanzen aus der Atmosphäre
Ausbiss	An der Gebirgsoberfläche endende Teil einer Lagerstätte
Balneologie	Lehre der therapeutischen Anwendung von Heilgasen, Heilquellen und Peloiden (Schlamm)
Berggeschrey	schnell umlaufende Kunde reicher Erzfunde, die zur raschen Entwicklung eines Bergbaurevieres führt
Best-Praxis-Verfahren	Optimale, in der Praxis bewährte Methoden, die möglichst wirtschaftlich und zeitlich verhältnismäßig durchgeführt werden können
Bodenwasserhaushaltsmodell	Analytisches oder numerisches Programm, das die Aufteilung des Niederschlages in die einzelnen Komponenten des Wasserhaushalts und den Wassertransport im Boden beschreibt
Entmanganung	Maßnahmen zur Entfernung des chemischen Elements Mangan aus einer wässrigen Lösung
Erbstolln	Stolln zum Sammeln und Ableiten von Wasser aus verschiedenen Grubenrevieren; tw. auch zur Wetterführung

Erz	alle natürlich vorkommenden mineralischen Rohstoffe, aus denen Metall mit wirtschaftlichem Nutzen gewonnen werden kann
Ex-situ	„Nicht vor Ort“, Sanierungen, die nicht direkt vor Ort durchgeführt werden, sondern das zu reinigende Material/Medium entnommen und dann gereinigt wird
Fernerkundung	Verfahren, um Informationen von (meist nicht oder schwer zugänglichen) Objekten zu erlangen, indem ausgehende oder reflektierte elektromagnetische oder Schallwellen gemessen und interpretiert werden
Filterbrunnen	Bohrloch zum Heben von Grundwasser. Brunnen besteht aus Saug-, Mantel- und Filterrohr
Fließende Welle	Obere Schicht des Fließgewässers, die von vergleichsweise hoher Dynamik und guter Durchmischung geprägt ist
Flotation	Chemisch-physikalisches Trennverfahren, das sich bei feinkörnigen Feststoffen die unterschiedliche Oberflächenbenetzbarkeit der Partikel zunutze macht
Flöz	Schicht im Gestein, die parallel zur Gesteinsschichtung verläuft und die Lagerstätte eines Rohstoffs darstellt
Förderstolln	Stolln zum Herausfördern der nutzbaren Mineralien und Berge
Fracht (Wasserwirtschaft)	Stoffmasse, die innerhalb eines definierten Zeitabschnitts transportiert wird, beispielsweise in einem Fließgewässer
Geogen	Stoff- und Elementkonzentrationen, die natürlicher Weise aufgrund der geologischen Verhältnisse vorkommen (Siehe auch Hintergrundkonzentrationen)
Geologische Störung	Tektonisch verursachte, abrupte strukturelle Veränderung eines Gesteinsverbandes
Gradierwerk	Ein Gradierwerk ist eine Anlage zur Salzgewinnung, indem Sole durch Reisig hindurchgeleitet wird, wobei auf natürliche Weise Wasser verdunstet. Heutzutage wird eine solche Anlage häufig zu Kurzwecken eingesetzt.
Greisen	körnige, meist graue Gesteine, bestehen hauptsächlich aus Quarz
Grubengas	Gasmischung, die in der Erdgeschichte durch die Entstehung der Kohle gebildet wurde und beim Abbau freigesetzt wird
Grubenwasserreinigungsanlage	Anlage zur Reinigung des in den Tagebauen gehobenen Wassers, Entfernung von



	gelöstem Eisen, Schwebstoffen und Erhöhung pH-Wert.
Grundwasserströmungsmodell	Analytisches oder numerisches Programm, das das Strömungsverhalten des Grundwassers unter Beachtung der geologischen Gegebenheiten abbildet
Halde	Anhäufung von Material (Abraum) auf der Geländeoberfläche in der Nähe des Stollns bzw. auf nicht bergmännisch bearbeiteten Gebiet
Hintergrundkonzentrationen	Element- oder Stoffkonzentrationen, die nicht oder nur gering durch menschliche Aktivitäten, also natürlicherweise auftreten (Siehe auch „geogen“)
Hydrogenetik	Detaillierte Untersuchung der Zusammensetzung wässriger Lösungen, um Informationen über Herkunft und Alter von Wässern zu bekommen (siehe auch Isotopenhydrogeologische Untersuchung)
In-situ	„Vor Ort“, hier Sanierungen, die an Ort und Stelle durchgeführt werden
Interzeption	Zurückhalten von Niederschlagswasser auf der Oberfläche von Pflanzen, welches dort verdunstet
Isotopenhydrogeologische Untersuchung	Methodik zur Bestimmung des Grundwasseralters mittels der Bestimmung des Gehalts an Isotopen im Wasser
Katalyse (Chemie)	Beschleunigen oder in Gang bringen einer chemischen Reaktion mittels eines Katalysators
Kippe	Anhäufung von Material (Abraum) auf der Geländeoberfläche auf bergmännisch bearbeiteten Gebiet
Kluftwasserleiter	Festgesteine, die mit durchflusswirksamen Hohlräumen (Klüfte, Risse, Spalten) durchzogen sind

## Vorbemerkung

Schlagzeilen wie „*Goldgräberstimmung in Sachsen*“ (Gerlach & Waltz, 2020) oder „*Ansturm auf Bodenschätze / Erzbergbau erlebt in Sachsen eine Renaissance*“ (Kloth, 2019) prägten die Atmosphäre des sächsischen Erzbergbaus in den letzten Jahren und ließen das „Berggeschrey“ wiederaufleben. Im Gegensatz zum Braunkohlenabbau wird der Erzbergbau zur Rohstoffgewinnung, wie Lithium und Wolfram, derzeit unterstützt. Diese Rohstoffe sind z. B. für die Batterieproduktion für Elektroautos, Handys, etc. sehr gefragt. Jedoch befürworten nicht alle die neue Rohstoffgewinnung. Bedenken aufgrund eines Landschaftseingriffs sind nicht ganz unberechtigt. Das Bergematerial wird in großen Halden verschüttet, die dann das Landschaftsbild der Region verändern. Diese neu entstehenden Halden werden renaturiert und bieten die Möglichkeit zur Ansiedlung neuer Arten. „*Machen wir Bergbau nach hohem deutschen Umweltrecht oder wollen wir wirklich alles nur noch in Entwicklungsländern machen? Jeder will Telefon, Smartphone, Internet und dafür braucht man Rohstoffe.*“ (MDR, 2020)

Bereits Anfang 1990 gab es in den Medien Schlagzeilen wie „*Rutscht Drausendorf in den polnischen Tagebau Turow?*“ (Nielsen, Dorf am Abgrund, 1995). Ausgelöst wurden diese Meldungen durch Rutschungen, die im benachbarten polnischen Tagebau stattfanden. Das Zusammenwirken von Politik, Fachstudien und der kontinuierlichen Arbeit der Deutsch-Polnischen Grenzgewässerkommission war es zu verdanken, dass die Gefahr abgewendet werden konnte. Der polnische Tagebaubetreiber passte die Abbaukonzepte an und das grenzüberschreitende Monitoring kontrollierte die Auswirkungen des Tagebaues auf die benachbarten Länder. Während allerdings in Deutschland im Jahr 2020 der Braunkohleausstieg bis zum Jahr 2038 beschlossen wurde, halten die Tschechische Republik und Polen hingegen weiterhin am Braunkohlenbergbau fest und intensivieren ihre Tätigkeiten mit weiteren weitreichenden Auswirkungen auf die Umwelt. Insbesondere das Schutzgut Wasser wird langfristig beeinträchtigt. Betroffen ist davon nicht nur das bergbaubetriebende Land, sondern oft auch die angrenzenden Regionen der Nachbarländer.

Deswegen sind die länderübergreifende Zusammenarbeit und ein Wissensaustausch zum Stand der Technik im Bergbau unumgänglich. Die Bedingungen und Voraussetzungen sind „naturgemäß“ in jedem Land anders. Jedoch sind gemeinsame Ziele im Umwelt- und Naturschutz vor dem Hintergrund der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) und des Klimawandels unverzichtbar. Mithilfe europäischer Richtlinien, wie der WRRL, wurden einheitliche Rahmenbedingungen zum Schutz der Umwelt (hier der Gewässer) geschaffen. Die jeweilige Landespolitik prägt durch die Übertragung der WRRL in nationales Recht die Strategie und Details bei der Umsetzung.

Die Beispiele verdeutlichen, dass die Rohstoffförderung kontrovers diskutiert wird. In diesen Fällen steht Wirtschaft versus Umweltschutz. Um die Wirtschaft bedienen zu können und dem Umweltschutz gerecht zu werden, sind geeignete, moderne und effiziente Konzepte, Maßnahmen und Verfahren zu entwickeln und etablieren. Bei grenznahen oder -überschreitenden Lagerstätten besteht ein großer Kommunikations- und Abstimmungsbedarf. Europäisches Recht sowie die jeweiligen nationalen Rechtsgrundlagen bilden die Grundlage für das Handeln.



Durch Eisenhydroxid rotbraun gefärbte Hauptspree bei Zerre in Sachsen  
(Foto: LfULG)

## **1 EINFÜHRUNG, HINTERGRUND, ZIELSTELLUNG**

---

## 1.1 EINFÜHRUNG

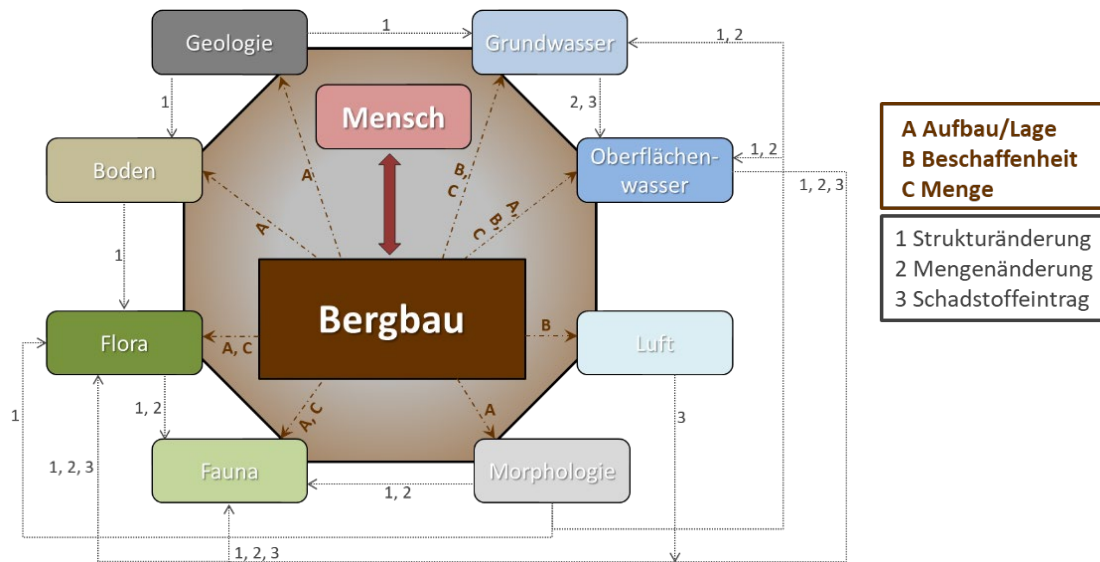
Sachsen und die tschechische Region Ústecký kraj blicken auf eine jahrhundertlange Bergbautradition zurück. Seit rund 850 Jahren werden in Sachsen die unterschiedlichsten Bodenschätze gefördert. Vom 12. bis ins 18. Jahrhundert stand vor allem der Silberbergbau im Mittelpunkt. Zinn wurde seit dem 13. Jahrhundert bergbaulich gewonnen und erst 1990 eingestellt. Steinkohle war zwischen 1350 bis Ende der 70er Jahre das „schwarze Gold“ der Region Zwickau-Lugau-Oelsnitz. Seit etwa 100 Jahren wird Braunkohle im Leipziger Raum und der Lausitz für die Energie- und Wärmegewinnung gefördert. Diese Bergbausparten waren vordergründig prägend für die Bergbautradition, stellen jedoch nicht das gesamte Spektrum der gewonnenen Rohstoffe in diesen Regionen dar.

Die Region Ústecký kraj liegt im nordwestlichen Böhmen und ist geprägt durch die Braunkohlegewinnung im Nordböhmischen Kohlebecken. Im Norden der Region wurde, wie auch in Sachsen, das Zinn der grenzübergreifenden Lagerstätte Zinnwald/Cínovec gefördert.

Aktuell werden vor allem Braunkohle und Flussspat bergbaulich gewonnen. Mehrere aktive Braunkohlentagebaue in den Regionen sowie zahlreiche sächsische Gewinnungsbetriebe für Steine und Erden bestimmen gegenwärtig die Bergbaubranche. Der Freistaat Sachsen stärkt den Bergbau mit einer eigenen Rohstoffstrategie und strebt mit verschiedenen Erkundungs- und Vorbereitungsprojekten das Wiederbeleben des Erz- und Spatbergbaus an. Technische, wissenschaftliche, rechtliche und organisatorische Innovationen des sächsischen Bergbaus etablierten sich weltweit.

Neben den wirtschaftlichen Erfolgen hinterließ der ehemalige und hinterlässt der aktuelle Bergbau deutliche Spuren in den Bergbauregionen. Die Gewinnung der Rohstoffe hat weitreichende Folgen für die Natur und Umwelt. In Abbildung 1 sind die Folgen des Bergbaus auf die Umweltkompartimente schematisch dargestellt. Die Wasserwirtschaft ist mit Auswirkungen auf das Grund- und Oberflächenwasser ein stark betroffener Sektor. Es entstehen zum Teil gravierende Einschnitte, wie unter anderem:

- Grundwasserabsenkungen
- Veränderung des Wasserhaushalts im Grund- und Oberflächenwasser
- Beschaffenheitsveränderungen des Grund- und Oberflächenwassers durch Eintrag von vor allem Schwermetallen, Eisen, Sulfat
- Morphologische Veränderungen der Fließgewässer
- Entstehung neuer Seen
- Landschaftsveränderungen



**Abbildung 1: Schematische Darstellung der Folgen des Bergbaus auf die Natur und Umwelt**

**Die Wasserrahmenrichtlinie (Richtlinie 2000/60/EG)** stellt das Medium Wasser aufgrund seiner Bedeutung für Tiere, Pflanzen und Menschen unter besonderen Schutz. Diese europäische Richtlinie bildet den rechtlichen Rahmen, um eine europaweit einheitliche Wasserpolitik mit einer nachhaltigen und umweltverträglichen Wassernutzung umzusetzen.

Das Ziel der EG-WRRL ist es, bis spätestens 2027 den guten chemischen und ökologischen Zustand bzw. Potenzial aller Oberflächengewässer sowie den guten chemischen und mengenmäßigen Zustand bzw. Potenzial der Grundwässer zu erreichen.

**Grundwasserkörper:** abgegrenztes Grundwasservolumen innerhalb eines oder mehrerer Grundwasserleiter (nach EG-WRRL)

**Oberflächenwasserkörper:** einheitlicher und bedeutender Abschnitt eines Oberflächengewässers (nach EG-WRRL)

Mit Einführung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) im Jahr 2000 werden die Eingriffe des Bergbaus in die natürliche Gewässerstruktur und den Wasser- sowie Stoffhaushalt nicht nur auf Bundesebene, sondern europaweit einheitlich streng reglementiert. Aufgrund stark morphologisch veränderter Fließgewässer, hoher Stoffbelastungen und eines deutlich veränderten Wasserhaushaltes können die Ziele der WRRL in den bergbaubeeinflussten Regionen nicht erreicht werden. Die Einträge von Schwermetallen, Halbmetallen, Eisen, Sulfat und die Versauerung beeinträchtigen die Gewässer negativ und führen vor dem Hintergrund der EG-WRRL zu einer schlechten Zustandsbewertung, v. a. der sächsischen Fließgewässer. Die Gewässer erreichen nach EG-WRRL den guten chemischen und ökologischen Zustand bzw. Potenzial nicht.

In Sachsen regelt basierend auf der EG-WRRL das Wassergesetz und die Oberflächengewässerverordnung (OGewV 2016) die regional spezifischen Bestimmungen zum Schutz der Oberflächengewässer (nationales Recht). Die Bewertung des Gewässerzustandes gemäß EG-WRRL erfolgt für festgelegte Oberflächenwasserkörper (OWK). In der Tschechischen Republik wurde die EG-WRRL ebenfalls in nationales Recht umgesetzt und in der Verordnung 401/2015 Sb. von 2015 verankert.

Der chemische Zustand der OWK wird anhand von Umweltqualitätsnormen (UQN) gemäß OGewV beurteilt. Die darin festgelegten UQN sind identisch mit denen in der tschechischen Verordnung. Der Unterschied besteht nur in der Anzahl der geregelten spezifischen Schadstoffe. In der Tschechischen Republik sind zusätzliche UQN für spezifische Schadstoffe definiert, die sich in der sächsischen OGewV nicht wiederfinden.

***Umweltqualitätsnorm*** gibt die Konzentration eines bestimmten Schadstoffes/Schadstoffgruppe an, die in Gewässern (Wasser, Sediment, Biota) nicht überschritten werden darf.

Ergänzend zur EG-WRRL wurde die europäische Grundwasserrichtlinie (Richtlinie 2006/118/EG, geändert durch die Richtlinie 2014/80/EU der Kommission vom 20. Juni 2014) eingeführt. Diese definiert Qualitätskriterien sowie Kriterien zur Beurteilung des chemischen Zustands der Grundwasserkörper (GWK) und verlangt Maßnahmen, um den Eintrag von Schadstoffen in das Grundwasser zu verhindern oder begrenzen. Einzuhaltende Schwellenwerte für Schadstoffe bzw. -gruppen werden in der Grundwasserverordnung (GrwV 2010) nach nationalem Recht geregelt. Die Tschechische Republik hat auf nationaler Ebene ebenfalls Schwellenwerte für das Grundwasser festgesetzt. Die deutschen und tschechischen Werte unterscheiden sich teilweise.

Für die stark veränderten, bergbaubelasteten OWK und GWK können weniger strenge Bewirtschaftungsziele (Art. 4 (5) WRRL, §30 WHG) geltend gemacht werden, wenn die Erreichung des guten Zustands bzw. Potenzials entweder technisch unmöglich ist oder mit verhältnismäßigen Maßnahmen nicht bewältigt werden kann. Diese Ausnahmen bedürfen einer ausführlichen Begründung. Alle verhältnismäßigen Maßnahmen zur Erreichung des bestmöglichen Zustandes bzw. Potenzials müssen umgesetzt werden.

## 1.2 HINTERGRUND

Jede Bergbauart hat ihre Besonderheiten und Herausforderungen beim Umwelt- und Gewässerschutz. Während der Abbau der Rohstoffe im Steinkohlen-, Spat- und Erzbergbau untertage stattfindet, spielt sich im Braunkohlenbergbau das Geschehen im Tagebau ab. Dies beeinflusst das Maß und die Art der Auswirkungen auf die Umwelt. Im Braunkohlentagebau ist sowohl die entstehende Grube als auch die Kippe obertägig deutlich sichtbar. Der Mutterboden wird abgebaggert und für die spätere Wiederherstellung der Flächen aufbewahrt. Bei der Freilegung des Braunkohleflözes werden auch die Grundwasserleiter zerstört und pyritführende Schichten freigelegt. Pyrit und Markasit verwittern bei Luftsauerstoffzutritt und setzen beim Grundwasserwideranstieg v. a. Sulfat sowie Eisen- und Wasserstoffionen frei, die zu den bekannten Problemen der Versauerung und Verockerung in den Gewässern führen. Die Bodenverhältnisse und der Grundwasserstand werden nach dem Bergbau nicht die gleichen sein wie ursprünglich vor dem Bergbau. Die Flächen müssen abschließend aufwendig renaturiert werden. Die Halden und Kippen enthalten ebenso pyrit- und markasithaltiges Material, deren Verwitterungsprodukte durch Sickerwasser (Eisen und Sulfat) ausgetragen werden (vgl. Abbildung 2). Die verbleibenden Restlöcher werden meist mit Wasser geflutet. Es entstehen die Tagebaurestseen.

Im Erzbergbau hingegen sind oberflächlich während der Bergbautätigkeiten nur die Aufbereitungsanlagen und Gebäude sichtbar, deren Flächenverbrauch allerdings erheblich sein kann. Der Abbau der Erze erfolgt untertage, wo ein weitverzweigtes Gruben- und Stollensystem entsteht. Die sogenannten Wasserlösestollen entwässern das System und stellen teilweise relevante Punktquellen für Schwer- und Halbmetalle in Fließgewässern dar. Nach dem Bergbau zeugen die Halden vom ehemaligen Bergbaugeschehen, die Resterze enthalten. Durch Sickerwasser können Schwermetalle und andere Stoffe aus den Halden gelöst und in Grund- und Oberflächenwasser eingetragen werden (vgl. Abbildung 3).

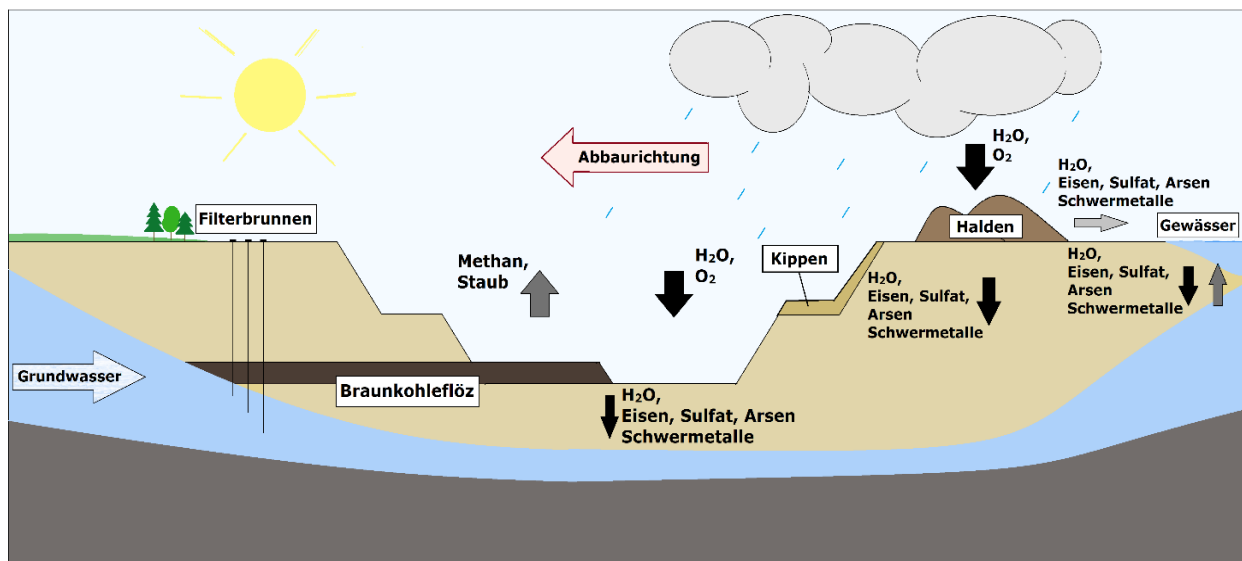
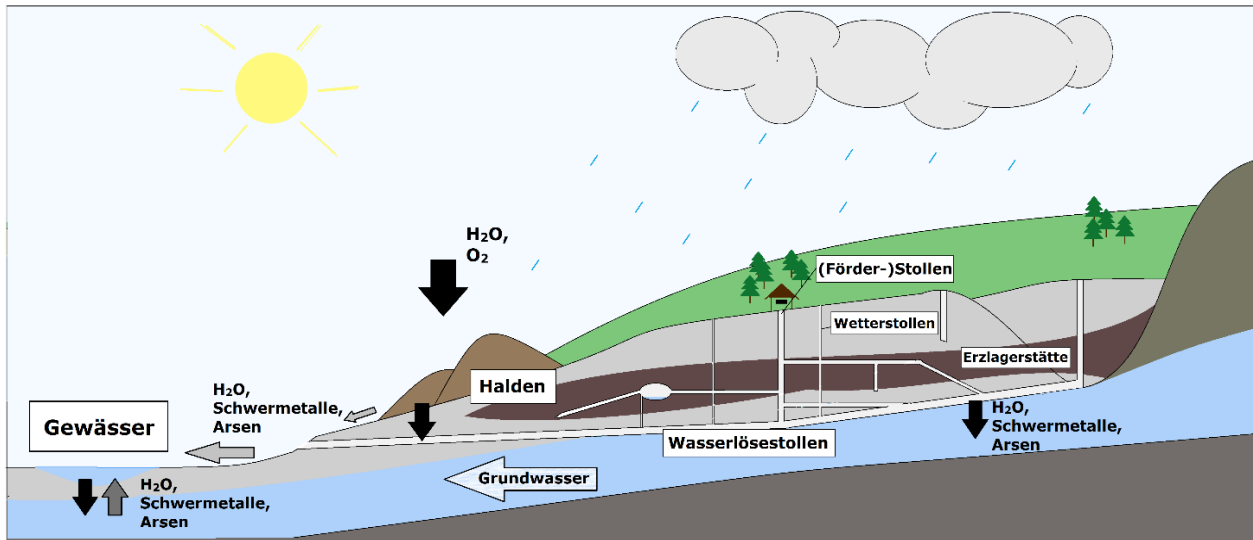


Abbildung 2: Prozessschema Braunkohlenabbau im Tagebau



**Abbildung 3: Prozessschema Erzabbau untertage**

In der ostsächsischen Braunkohlenregion Lausitz werden die Fließgewässer während der Braunkohlegewinnung fast immer mit schwach eisen- und stark sulfathaltigem Wasser belastet, da das anfallende Sumpfungswasser (abgepumptes Grundwasser) aus dem Tagebau in naheliegende Fließgewässer eingeleitet, zuvor aber in Grubenwasserbehandlungsanlagen gereinigt wird. Nach dem Bergbauende gelangen mit dem Grundwasserwiederanstieg aus dem unverritzten, anstehenden pyrit- und markasithaltigen Gestein Sulfat und Eisen in die Fließgewässer. Die dabei stattfindenden chemischen Prozesse gehen mit einer Versauerung (Acid Mine Drainage) einher. Das Eisen lagert sich in Form von Eisenhydroxid ab und führt zu den bekannten und sichtbaren Verockerungen der Gewässer. Das Sulfat ist nicht sichtbar. Eisen kann mit verschiedenen Reinigungsverfahren aus dem Wasser entfernt werden. Sulfat hingegen kann nur verdünnt werden. Es fehlen geeignete technische Verfahren, mit denen Sulfat unter den Aspekten der Wirtschaftlichkeit und Verhältnismäßigkeit aus den Gewässern entfernt werden kann.

Im tschechischen Braunkohlenbecken spielen Eisen und Sulfateinträge in die Gewässer kaum eine Rolle, da das anstehende Gestein weder pyrit- noch markasithaltig ist. Aufgrund der starken Grundwasserabsenkungen zur Trockenhaltung der Grube wird der Wasserhaushalt in beiden Braunkohlenrevieren stark beeinträchtigt. Der entstehende Absenkungstrichter dehnt sich deutlich über die Abbaugrenzen hinweg aus und beeinflusst weiträumig die Wasserressourcen. Erst nach Einstellen des Bergbaus steigt der Grundwasserspiegel wieder an und der Wasserhaushalt regeneriert sich. Allerdings dauern diese Prozesse viele Jahre und der vorbergbauliche Zustand wird kaum wieder erreicht. In den meisten Fällen werden die durch die Auskohlung entstandenen Hohlräume (Restlöcher) vollständig mit Wasser geflutet, so dass ein Tagebaurestsee entsteht. Das dafür notwendige Flutungswasser muss aus den angrenzenden Fließgewässern entnommen werden. Allerdings kann immer nur so viel aus dem Fließgewässer abgeleitet werden, dass dessen normale Funktionsfähigkeit, die Mindestwasserführung und Ansprüche anderer Wassernutzer nicht beeinträchtigt werden. Auch nach Abschluss der Flutung wird weiterhin Wasser aus den Fließgewässern zur Nachsorge der Seewasserqualität benötigt. Vor dem Aspekt der Klimaveränderungen wird die Flutung der Tagebaurestlöcher und die Nachsorge in den kommenden Jahrzehnten eine neue



Herausforderung darstellen, wie sich bereits in den trockenen Jahren 2018 und 2019 gezeigt hat.

Im Erzgebirge und Vogtland werden durch die Zutritte von Kluft- und Sickerwässern bzw. durch den Grundwasserwiederanstieg Schwer- und Halbmetalle aus den Resterzen der stillgelegten Erzbergbaugruben gelöst. Diese gelangen über die Stolln- und Grubenwässer sowie Sickerwässer der Halden in das Grundwasser und die Fließgewässer. Als Folge überschreiten deren Konzentrationen die festgelegten Schwellenwerte und Umweltqualitätsnormen nach Grundwasser- und Oberflächengewässerverordnung. Deren teilweise toxische Wirkung beeinflusst die Wasserorganismen negativ und kann ein Schwinden der Biozönose verursachen.

Das ehemalige Steinkohlenrevier Lugau-Oelsnitz ist bis heute von den Folgen des Steinkohlenabbaus gezeichnet. Mit dem Wiederanstieg des Grundwassers gehen weitreichende Probleme einher. Dazu zählen im Wesentlichen der potentielle Eintrag von Schadstoffen aus den Gruben und Halden in die umliegenden Gewässer sowie Standsicherheitsprobleme von Gruben, Gebäuden, Halden, etc. durch das Heben der Bodenoberfläche. Des Weiteren treten Schmelbrände und Gasaustritte auf. Der Umgang mit der Situation in der Region wird dadurch erschwert, dass der ehemalige Steinkohlenabbau keine direkte Rechtsnachfolge besitzt und nicht im Einigungsvertrag von 1990 berücksichtigt wurde. Die Bewältigung der aus dem Bergbau resultierenden Ewigkeitslasten stellt eine enorme Herausforderung für den Freistaat Sachsen dar, die nur gemeinsam und durch enge Zusammenarbeit und Unterstützung der Kommunen durch den Freistaat angegangen werden kann.

Die Grund- und Oberflächenwasserkörper sind überwiegend miteinander verbunden. Dadurch treten die meist diffusen Grundwasseraustritte unkontrollierbar in die Fließgewässer über. Sind die Grundwässer mit Schadstoffen belastet, gelangen diese ebenso unkontrolliert in die Fließgewässer. Grundwasserzutritte können meist nicht gefasst werden und eine Sanierung der durch bereits vergangene, historische Aktivitäten belasteten Grundwasserkörper ist unverhältnismäßig teuer bzw. technisch kaum umsetzbar. Nur wenn sich Belastungsursachen bzw. aktive Belastungsquellen (z. B. Haldensickerwässer) bestimmen lassen und deren Minimierung durch verhältnismäßige Maßnahmen geleistet werden kann (z. B. Haldenabdeckung, Fassung der Sickerwässer), können auch zusätzliche Belastungen der Grundwässer und der damit in Verbindung stehenden Oberflächengewässer vermindert werden.

Nicht alle Belastungen werden durch den Menschen verursacht. In Abhängigkeit des geologischen Untergrundes lässt sich ein Teil der Belastungen auf geogene Ursachen zurückführen. Durch chemische Prozesse werden bei der Passage des Wassers durch den Untergrund Stoffe gelöst, die mit dem Grundwasser in die Fließgewässer gelangen. Für GWK und OWK mit naturbedingt erhöhten Metallkonzentrationen können gemäß OGewV und GrwV Hintergrundkonzentrationen (HGK) ausgewiesen werden. Sind diese HGK größer als die gesetzlich geregelten Schwellenwerte im Grundwasser oder die Umweltqualitätsnormen im Oberflächenwasser, so werden diese durch die geogenen HGK ersetzt. Dies ermöglicht es, die natürlichen geogenen Bedingungen in den Einzugsgebieten bei der Bewertung der gemessenen Schadstoffbelastungen in den Gewässern zu berücksichtigen. Somit spielt die fachliche Erarbeitung und Ausweisung natürlicher HGK eine wichtige Rolle, um eine realistische Bewertung der anthropogenen Belastung von GWK und OWK zu gewährleisten.

Sowohl die Hinterlassenschaften des Alterz-, Spat-, Braunkohlen- und Steinkohlenbergbaus als auch der aktive Braunkohlen- und Erzbergbau beeinträchtigen die Gewässerqualität und den Wasserhaushalt. Mit gezielten Maßnahmen an den bergbaulichen Belastungsquellen, in den Einzugsgebieten der Gewässer, und mit vorbeugenden verfahrenstechnischen Methoden im aktiven Bergbau sollen, die Vorgaben der EG-WRRL bestmöglich erreicht werden. Dazu, sind Wissensdefizite zu beheben, der Stand der Technik ist zu aktualisieren und Maßnahmen sind weiterzuentwickeln. Im Rahmen des Projekts „Vita-Min“ konnten in verschiedenen Studien Grundlagen und Ansätze dafür geschaffen werden.

**Geogene (natürliche) Hintergrundkonzentration** ist laut § 2 OGeWV 2016 definiert als die „Konzentration eines Stoffes in einem Oberflächenwasserkörper, die nicht oder nur sehr gering durch menschliche Tätigkeiten beeinflusst ist“.

### 1.3 EU-PROJEKT VITA-MIN

Das Projekt „Vita-Min – Leben mit dem Bergbau“ ist ein sächsisch-tschechisches Projekt, das durch die europäische Union im Rahmen des Fonds für regionale Entwicklung gefördert wird. Das Akronym „Vita-Min“ steht bezeichnend für das Thema des Projektes: vita (lat.) = Leben und min (engl. von mining) = Bergbau. Es baut auf den Erkenntnissen des Vorgängerprojekts VODAMIN auf und vertieft bzw. führt dessen Thematiken fort. Vita-Min hatte eine Laufzeit von 4,5 Jahren (01.07.2016 – 31.01.2021). Die Federführung des Gesamtprojektes oblag dem Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG). Neben dem LfULG widmen sich die Stadtverwaltung Oelsnitz/Erzgeb. und die tschechische Regionalbehörde im Kreis Ústecký kraj den komplexen Themenstellungen im Projekt. Jeder Partner bearbeitete Themen in seinem Kernkompetenzbereich. Die Stadtverwaltung Oelsnitz/Erzgeb. nahm sich den Herausforderungen der sächsischen Steinkohlenhinterlassenschaften in der Region an, das LfULG konzentrierte sich auf den Erz- und Braunkohlenbergbau und die tschechische Behörde betrachtete die Auswirkungen des Bergbaus im Nordböhmischen Kohlebecken. Die Bearbeitungsgebiete sind entsprechend das Lausitzer Braunkohlenrevier, das Lugau-Oelsnitzer Steinkohlenrevier, die Erzbergbaureviere im Erzgebirge und das tschechische Braunkohlenrevier Most.

Vita-Min befasst sich vor dem Hintergrund der Wasserrahmenrichtlinie mit den Chancen und Möglichkeiten, den Zustand bergbaubeeinflusster Grund- und Oberflächengewässer zu verbessern und zukünftig mengenmäßig und stofflich weniger zu belasten. Dabei wird die Problematik in dem sächsisch-tschechischen Projekt grenzübergreifend betrachtet, da beide Regionen durch das Erzgebirge und die grenzübergreifenden Fließgewässer miteinander vernetzt sind.

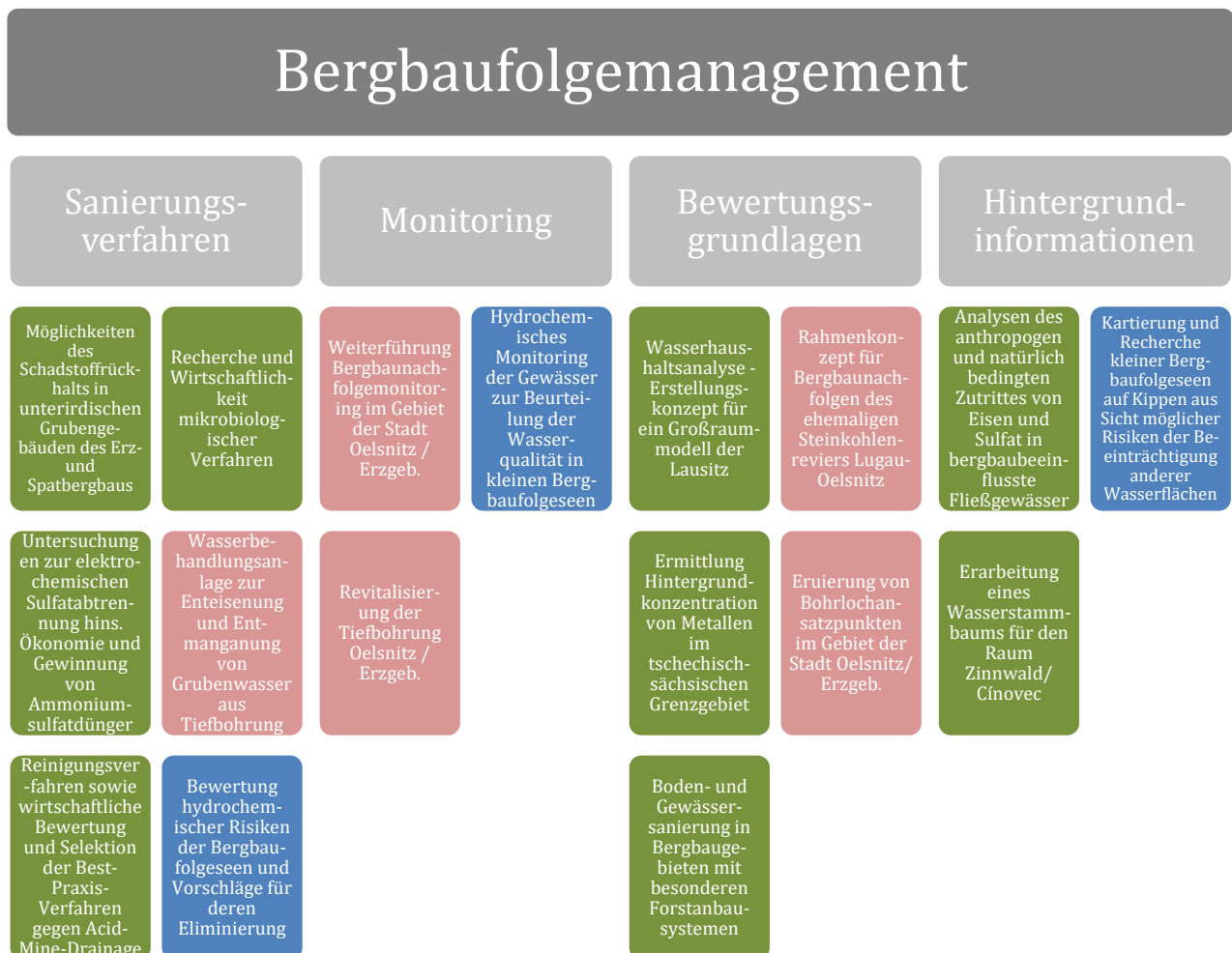
Die wesentlichen Ziele des Projekts sind die Verbesserungen des Standes der Wissenschaft und Technik zur/zum:

- Unterstützung der Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie
- Verbesserung und Sicherung natürlicher Lebensgrundlagen (v. a. Schutzgut Wasser)
- Aufbau und Durchführung von Messkampagnen

- Verbesserung der Gewässergüte und des Zustandes von Grund- und Oberflächenwasserkörpern im sächsisch-tschechischen Grenzgebiet
- Nutzung und Ausbau von länderübergreifenden und prozessbedingten Synergien
- Länderübergreifende(r) Wissenstransfer und -erweiterung

Das Gesamtprojekt ist in zahlreiche Teilprojekte unterteilt, die eine große thematische Bandbreite enthalten. Übersichtlicher wurden die insgesamt 32 Teilprojekte nach Themenbereichen untergliedert. Die zwei übergeordneten Kategorien „Bergbaufolgemanagement“ und „Ressourcenschonende Prinzipien“ sind wie in Abbildung 4 und Abbildung 5 dargestellt in Unterkategorien geteilt. Diesen Unterkategorien sind thematisch die Teilprojekte zugeordnet. Die Farben symbolisieren den verantwortlichen Projektpartner des Teilprojekts. Die grün markierten Teilprojekte wurden durch das LfULG, die rot markierten durch die Stadtverwaltung Oelsnitz/Erzgeb. und die blauen durch die Regionalbehörde Ústecký kraj umgesetzt. Für die überwiegenden Teilprojekte wurden externe Auftragnehmer zur Bearbeitung verpflichtet.

Die Ergebnisse der Teilprojekte werden in den folgenden Kapiteln entsprechend dieser Gliederung auszugsweise dargestellt.



**Abbildung 4: Übersicht Teilprojekte in der Kategorie Bergbaufolgemanagement (Zuständigkeiten: grün – LfULG; rot – Stadtverwaltung Oelsnitz/Erzgeb.; blau – Ústecký kraj)**

## Ressourcenschonende Prinzipien



**Abbildung 5: Übersicht Teilprojekte in der Kategorie ressourcenschonende Prinzipien (Zuständigkeiten: grün – LfULG; rot – Stadtverwaltung Oelsnitz/Erzgeb.; blau – Ústecký Kraj)**

Die Projektergebnisse sind vorwiegend auf die folgenden Zielgruppen zugeschnitten:

- regionale Verwaltungsbehörden wie Landkreise, Oberbergämter sowie Landesämter und Ministerien aus den Bereichen Wasserwirtschaft, Bergbau und Umwelt
- Unternehmen, Fachinstitute und Forschungseinrichtungen/ Hochschulen, die sich mit der Thematik oder mit einzelnen Aspekten des Bergbaus beschäftigen
- weitere Akteure aus der Wasserwirtschaft und Bergbau sowie
- die ansässige Bevölkerung.

Auf der Projektwebseite [www.vitamin-projekt.eu](http://www.vitamin-projekt.eu) sind alle Ergebnisse der Teilprojekte in Form von Steckbriefen zusammengefasst sowie die Abschlussberichte veröffentlicht.



Bergbaufolgelandschaft Most mit See und aktiven Braunkohlentagebau im Hintergrund  
(Foto: LfULG)

## 2 BERGBAUFOLGEMANAGEMENT

---

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse aller Teilprojekte mit der Thematik Bergbaufolgemangement aus Abbildung 4 zusammengefasst. Um auf einen Blick zu erkennen, für welche Bergbauart die Ergebnisse der Teilprojekte relevant sind, wurden drei Symbole eingeführt. Eine Förderbrücke kennzeichnet dabei den Braunkohlenabbau, die Spitzhacke den Erzbergbau und der Förderwagen (Hunt) die Steinkohlengewinnung. Die Symbole an der rechten Randseite sollen dem Leser die Orientierung im Bericht vereinfachen. Die Abschlussberichte der Teilprojekte sind auf der Projektwebseite eingestellt.

## 2.1 HINTERGRUNDINFORMATIONEN

### 2.1.1 ANALYSE DES ANTHROPOGEN UND NATÜRLICH BEDINGTEN ZUTRITTES VON EISEN UND SULFAT IN BERGBAUBEEINFLUSSTE FLIEßGEWÄSSER



In dieser Studie wurden mögliche Zutrittspfade von Eisen- und Sulfatbelastungen auf Grundlage langjähriger Messreihen untersucht und nach Eintragsquelle unterschieden. Ziel war es, die Einflüsse aus Industrie, Siedlungstätigkeit, Verkehr, Bergbau und Landwirtschaft auf die Stofffrachten zu quantifizieren und die Zutrittsorte sowie Best-Practice-Verfahren zur Eisen- und Sulfatabreicherung in einer „Gefährdungs“karte darzustellen.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die natürlichen und anthropogenen Eintragsquellen für Eisen und Sulfat in Fließgewässer.

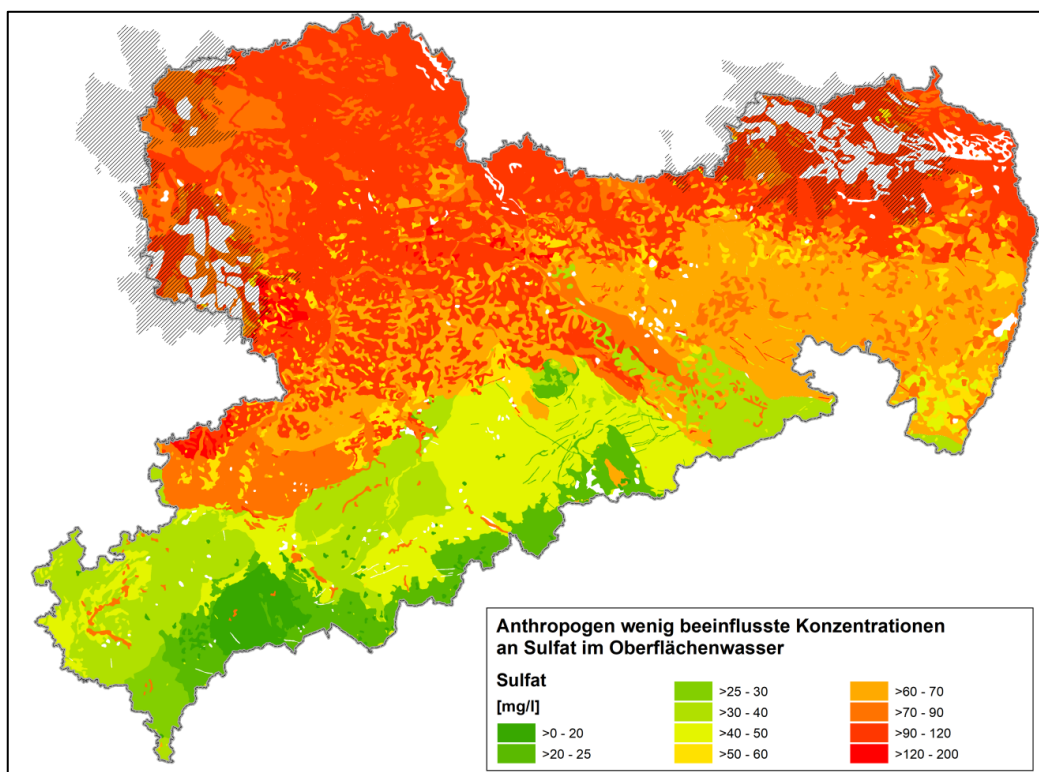
**Tabelle 1: Eintragsquellen für Eisen und Sulfat in Fließgewässer**

	Eisen	Sulfat
<b>Natürliche Quellen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>in Gebieten mit Vorkommen von Eisensulfid führenden magmatischen und metamorphen Gesteinen</li> <li>in Gebieten mit Vorkommen von sulfidhaltigen, kohle- und tonführenden sedimentären Gesteinen mit geringer Pufferkapazität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>geogener Hintergrundwert des Grundwassers, z. B. bei sulfathaltigen Nebengesteinen</li> <li>Zersetzung organischen Materials</li> <li>atmosphärische Deposition</li> <li>Abbauprodukte tierischer und pflanzlicher Eiweiße</li> <li>mikrobielle Oxidation von Sulfiden</li> </ul>
<b>Anthropogene Quellen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>bergbauliche Aktivität (v. a. Braunkohlentagebau)</li> <li>Sanierungsbergbau</li> <li>in geringerem Maße durch (Alt-) Erzbergbau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>in Landwirtschaft eingesetzte Düngemittel</li> <li>großflächige Moorentwässerungen</li> <li>verkehrs- oder industriell bedingte luftgetragene Schwefeldeposition</li> <li>Einleitungen aus industriellen und kommunalen Abwässern</li> <li>Braunkohlenbergbau (Grubenwasserreinigungsanlagen, Ausleitungen aus Bergbaufolgeseen, Entwässerungsgräben, Grundwasseraustritte)</li> <li>Abflüsse aus Entwässerungsstollen stillgelegter Bergwerke</li> </ul>

Es wurden für die Jahre 2000 bis 2017 ca. 20 Parameter von 800 repräsentativen Oberflächenwassermessstellen und ca. 2900 Grundwassermessstellen ausgewertet.

Von der Quelle bis zur Mündung verändert sich die Wasserbeschaffenheit und Stofffracht durch geogene und anthropogene Einträge über den Fließweg. Eine überproportionale Zunahme der Stofffracht lässt auf Einträge in die Fließgewässer schließen. Um die Stoffquellen zu identifizieren, wurde geprüft, inwiefern ein Vergleich der Stoffkonzentrationen und -frachten über den Fließweg von langen Fließgewässern Rückschlüsse auf Stoffquellen zulässt. Dazu wurde der mittlere Durchfluss der mittleren Stoffkonzentration an ausgewählten Messstellen gegenübergestellt. Durch Multiplizieren der beiden Größen lässt sich die Stofffracht abschätzen. Wird diese Stofffracht auf die Flächengröße des Gesamteinzugsgebietes bezogen, ergibt sich eine Verhältniszahl ähnlich der Abflusspende. Ziel war eine Bilanzierung der Stofffracht von der Quelle bis zum Gebietsauslass anhand der Verhältniszahl, um auffällige Änderungen in der Stofffracht zu bestimmen.

Die Abbildung 6 zeigt beispielhaft die anthropogen wenig beeinflussten Konzentrationen, nur überwiegend aus der Geologie des Gebietes resultierende Konzentrationen, von Sulfat im Oberflächenwasser. Die Bilanzierung der Stofffrachten zeigte, dass bei Sulfat i. d. R. eine stimmige Bilanz für Fließgewässerabschnitte ohne wesentliche anthropogene Beeinflussung aufgestellt werden kann. Das bedeutet die Sulfatfracht steigt mit zunehmendem Fließweg annähernd proportional zur Einzugsgebietsgröße. Unerwartete Erhöhungen der Sulfatfracht lassen dagegen anthropogene Stoffeinträge vermuten.



**Abbildung 6: Anthropogen wenig beeinflusste Sulfatkonzentration im Oberflächenwasser**

Ausgehend von der explorativen Statistik konnten wenig beeinflusste und anthropogen beeinflusste Beschaffenheiten sowie mögliche Ursachen für die erhöhten Eisen- und Sulfatgehalte in den Grund- und Oberflächenwasserkörpern ermittelt werden. Dabei können die Differenzen zwischen den wenig beeinflussten Konzentrationen und den mittleren Konzentrationen als Maß für den anthropogenen Einfluss herangezogen werden.

Zusammenfassend wurden aus der umfangreichen statistischen Analyse folgende Schlüsse hinsichtlich Eisen und Sulfat gezogen:

- Unmittelbare Erhöhungen der Eisenkonzentration aufgrund anthropogener Tätigkeit können selten festgestellt werden
- Sicher ist eine Erhöhung der Eisengehalte aufgrund der Beeinflussung durch Moore
- deutlich erhöhte Sulfatkonzentration aufgrund der Ackernutzung
- Sulfat im Oberflächenwasser bei Bergbaueinfluss erhöht, hier gemeinsam mit anderen typischen Parametern wie As, Pb, Zn
- Erhöhung des Sulfatgehaltes durch allgemeine anthropogene Beeinflussung (Siedlung, Industrie, Gewerbe...)
- Sulfatgehalt geht mit zunehmendem Einfluss durch Moore zurück

Nach der Auswertung aller durchgeführten Analysen kann weiterhin im Allgemeinen festgestellt werden:

- das Oberflächenwasser ist stärker von der Landnutzung beeinflusst als das Grundwasser,
- die Sulfatkonzentration zeigt deutlichere Erhöhungen, die auf anthropogene Einflüsse zurückzuführen sind, als die Eisenkonzentration,
- Eisen im Grundwasser: es sind kaum signifikante Rückschlüsse auf eine Einwirkung der Landnutzung auf die Eisenkonzentration im Grundwasser nachzuweisen.

Exakte Aussagen sind für Sulfatbelastungen im Oberflächenwasser möglich. Das Grundwasser ist hingegen weniger stark mit Stoffquellen in Beziehung zu setzen. Bei der Streuung der Eisenkonzentration kann nur ein geringer Teil mit den untersuchten Landnutzungstypen in Verbindung gebracht werden. Hinsichtlich der Planung von Maßnahmen ergab sich für die Bereiche außerhalb der Braunkohlenbergbaugebiete, dass es derzeit keine effizienten Verfahren zur Sulfat- bzw. Eisenabreicherung für die vorherrschenden niedrigen Sulfat- und Eisengehalte im Bereich der LAWA-Orientierungswerte bei großen Durchflussmengen gibt. Die Verfahren könnten nur bei einzelnen Punktquellen angewandt werden. Bei der eingeschränkten Abtrenneffizienz insbesondere für Sulfat wäre die Wirksamkeit auf OWK- und Teilgebietesebene sehr begrenzt und würde nicht (verhältnismäßig) zum guten Zustand der betrachteten OWK und GWK führen.

### 2.1.2 ERARBEITUNG EINES WASSERSTAMMBAUMS FÜR DEN RAUM ZINNWALD/ CÍNOVEC



Die Erstellung eines Wasserstammbaumes des Reviers Zinnwald/Cínovec soll zum Verständnis der Ist-Situation und der Auswirkungen des neuen Bergbaus in Zinnwald beitragen und gleichzeitig die Grundlage für die Ableitung von Maßnahmen zur Minimierung der Folgen des Altbergbaus und Prävention von Umweltschäden durch künftige Bergbauaktivitäten (siehe Kapitel 3.2.1) schaffen.

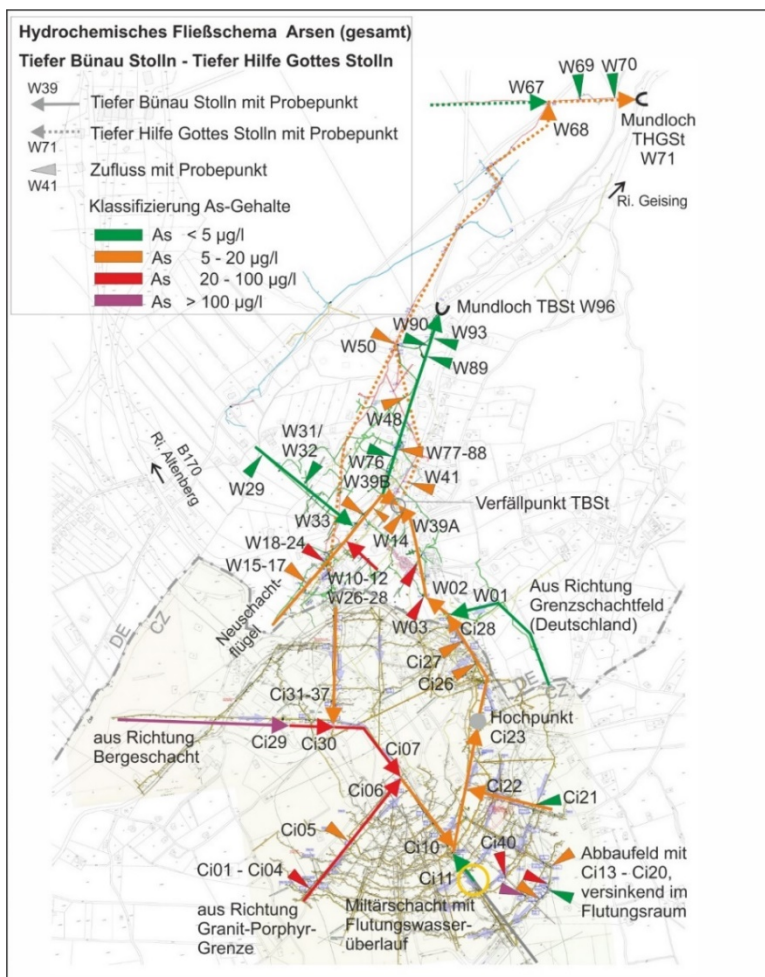
Die Studie dient der Aufklärung nachstehender Sachverhalte:

- Ermittlung der aktuellen Wasserquantität und -qualität im Zinnwalder Bergbaurevier mittels eines Messprogramms und der Erstellung einer Grubenwasserbilanz
- Ermittlung der Herkunft des Wassers, Fließwege sowie Schadstofffrachten auf Basis eines Wasserstammbaums des Bergbaureviers
- Ableiten von zielgerichteten und mengeneffizienten Gegenmaßnahmen



Im Wasserstammbaum wurden die Fließwege im Teil der Grube Zinnwald geprüft und überarbeitet und die Fließwege der Grube Cínovec präzisiert. Die Grubenwasserbeobachtungspunkte wurden in der Grube Cínovec generell neu erfasst. Der Wasserstammbaum basiert auf dem Grubenriss und dient als Grundlage für die Lokalisation von Probenahmepunkten. Störungen, Klüfte und bergmännische Hohlräume wurden erfasst, um Wasserwegsamkeiten im Grubensystem abzuleiten. Dazu gehört die Erfassung von vertikalen Schächten und Lichtlöchern ebenso wie von Grubenbauen horizontaler Ausrichtung (z. B. Wasserlösestolln). Die ermittelten Wasserwegsamkeiten in den Flözen sind weitgehend im Wasserstammbaum eingetragen. Auch Bohrungen stellen potentielle Wasserwegsamkeiten aus dem Kluftwasserleiter des Deckgebirges in die Grube dar. Aktuell lässt sich zusammenfassen, dass die Grube Zinnwald durch Störungszonen und wasserdurchlässigen Altbergbau geprägt ist. Es gibt eine Vielzahl von Zuflussspunkten in die Grube, die das Grubenwasser speisen. Durch den tagesnahen Altbergbau (verfüllte Schächte, Bohrungen, tagesnahe Abbaue oder geöffnete Klüfte) fließt die größte Wassermenge in die Grube. Einige Zuflussspunkte jedoch können sehr stark anschwellen.

Während im Tiefen Bünau Stolln der Siedlungseinfluss mit erhöhten Chlorid- und Sulfatgehalten dominiert, wird die Zusammensetzung des Stollnwassers des Tiefen Hilfe Gottes Stollns maßgeblich durch die darauf abgeschlagenen Flutungswässer der Grube Cínovec mit erhöhten Gehalten von Arsen (vgl. Abbildung 7), Beryllium und Zink bestimmt. Cadmium ist ubiquitär verbreitet und in beiden Stollnwässern erhöht.



**Abbildung 7: Hydrochemisches Fließschema von Arsen für die Stolln Tiefer Hilfe Gottes Stolln (THGSt) und Tiefer Bünau Stolln (TBSt) des Bergbaureviers Zinnwald/Cínovec**

Eine Verbesserung des Gewässerzustands in der Region lässt sich grundsätzlich durch Maßnahmen an den Bergbauwässern erreichen. Es ist dabei sehr wesentlich, den heutigen Zustand der Entwässerung des Reviers über den (höher gelegenen) Tiefen Bünau Stolln und den (tiefer liegenden) Tiefen Hilfe Gottes Stolln, den Abtrag signifikanter Mengen Grubenwässer aus dem tschechischen Revier Cínovec und den möglichen künftigen Bergbau auf deutscher und/oder tschechischer Seite des Reviers Zinnwald-Cínovec zu berücksichtigen.

Ein Vorteil von in-situ-Verfahren ist die Möglichkeit, diese untertage anzuwenden, wodurch keine Notwendigkeit von Flächen an der Oberfläche besteht. Für die Verhältnisse in Zinnwald näher betrachtet wurden die Verfahrensansätze Flutungswassereinstau, Grubenwasser-Management, in-situ-Reduktion und Fällung von Schadstoffen und Schaffung einer Reaktionsstrecke zur Beeinflussung des Grubenwasserchemismus. Von diesen erscheint die Reaktionsstrecke als günstigste Variante, die sowohl im bestehenden Altbergbau als auch im potentiellen neuen Bergbau umsetzbar ist. Die anderen Varianten erfordern größere untertägige Eingriffe und erscheinen nur im Zusammenhang mit dem neuen Bergbau realisierbar.

### 2.1.3 RECHERCHE UND KARTIERUNG DER BERGBAUFOLGESEEN AUS SICHT DER MÖGLICHEN RISIKEN DER BEEINTRÄCHTIGUNG ANDERER WASSERFLÄCHEN



Braunkohlenkippen der tschechischen Abbaureviere und die auf ihnen vorhandenen Bergbaufolgeseen können durch die Fähigkeit, Wasser in der Landschaft zu halten, eine wichtige Rolle bei der Stärkung des kleinen Wasserkreislaufs spielen. Außerdem können sie zur Erhöhung der Lebensraum- und Artenvielfalt beitragen. Ziel der Arbeit war es daher, das Vorkommen kleiner Bergbaufolgeseen auf Braunkohlenkippen zu kartieren und zu beschreiben. Es wurden 24 repräsentative kleine Bergbaufolgeseen ausgewählt und eine detaillierte Feld- und biologische Untersuchung durchgeführt.

Es wurden zunächst vier Gewässertypen (A-D) im Untersuchungsgebiet identifiziert, denen die 24 kleinen Bergbaufolgeseen zugeordnet wurden:

#### A) Speicherseen zur Rekultivierung

- Speicherseen, die speziell für Rückgewinnungsarbeiten konzipiert sind,
- befinden sich häufig in einem Entwässerungsgraben und werden daher durchströmt; mit Staudamm und Ablauf,
- in ihrer Nähe befindet sich eine biologische Rekultivierung (Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Sonstiges)

#### B) Kleine Bergbaufolgeseen auf unbearbeiteten Kippen

- Wasserflächen, die sich spontan in Mulden der Kippen gebildet haben und gezielt oder zufällig der selbstständigen Entwicklung überlassen wurden
- die charakteristische Oberflächenstruktur der Kippen (Schüttrippen) ist sichtbar

#### C) Kleine Bergbaufolgeseen, die spontan auf rekultivierten Kippen entstanden sind

- Seen, die spontan in Feldabsenkungen von Rekultivierungsgebieten aufgetreten sind
- dies ist hauptsächlich auf die Konsolidierung der Kippen zurückzuführen, was sich in Setzungen und Bodensenkungen äußert

## D) Kleine Bergbaufolgeseen am Rand der Kippe/Kippenfuß

- entstehen durch natürliche Ansammlung von Oberflächenwasser oder oberflächennahem Grundwasser in Vertiefungen Kippenfuß bzw. Kippenrand
- Ursache: Änderung der ursprünglichen Entwässerungsbedingungen, bei denen die Geländemorphologie keine Schwerkraftentwässerung zulässt; der Kippenkörper verdrängt durch seine Masse das oberflächennahe Grundwasser an die Bodenoberfläche
- manchmal werden diese kleinen Bergbaufolgeseen im Rahmen der Rekultivierung zu Speicherseen modifiziert

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die ausgewählten kleinen Bergbaufolgeseen.

**Tabelle 2: Liste der ausgewählten und untersuchten kleinen Bergbaufolgeseen (mit Zuordnung zu definierten Typen A-D)**

<b>A) Speicherseen zur Rekultivierung</b>	<b>X Koordinate</b>	<b>Y Koordinate</b>
A1 Hetov auf der Radovesické Kippe	777 928	988 293
A2 Syčivka auf der Radovesické Kippe	778 846	987 074
A3 Merkur V	817 142	998 364
A4 Pruněřov VII	818 268	996 414
A5 Vršany II. im inneren Bereich der Kippe	797 525	991 884
A6 Slatinická Kippe IV. Bereich	793 940	991 027
<b>B) Kleine Bergbaufolgeseen auf unbearbeiteten Kippen</b>	<b>X Koordinate</b>	<b>Y Koordinate</b>
B1 Radovesice Nord	777 161	986 242
B2 Radovesice Süd	777 178	987 763
B3 Innenkippe DJŠ 13. Abschnitt	801 288	988 432
B4 Horňojiřetínská Kippe I. Bereich	793 653	980 342
B5 Kopistská Kippe II. Bereich	792 481	985 046
B6 Růžodolská Kippe bei Pluta	791 101	980 473
<b>C) Kleine Bergbaufolgeseen, die spontan auf rekultivierten Kippen entstehen</b>	<b>X Koordinate</b>	<b>Y Koordinate</b>
C1 Merkur VIII	815 750	997 580
C2 Pruněřov VIII	818 894	995 438
C3 Kippe Obránců míru V. Bereich	796 004	985 027
C4 Horňojiřetínská Kippe III. Bereich	793 745	980 123
C5 Innenkippe DJŠ 11. Abschnitt	800 724	987 872
C6 Růžodolská Kippe Z und JV Böschungen	791 931	980 418
<b>D) Wasserflächen am Fuß von Kippen</b>	<b>X Koordinate</b>	<b>Y Koordinate</b>
D1 Kippe Obránců míru (IV. Bereich)	794 286	983 969
D2 Kippe Pokrok (VIII. Bereich)	786 216	978 991
D3 Radovesická Kippe (Štěpánov)	775 448	988 428
D4 Horňojiřetínská Kippe	795 682	981 773
D5 Kopistská Kippe	792 156	985 405
D6 Růžodolská Kippe	790 109	982 258

Insgesamt ist das biologische Potenzial der kleinen Bergbaufolgeseen, die im Zusammenhang mit der Gewinnung von Braunkohle (entweder spontan oder im Rahmen der Rückgewinnung) entstehen, bedeutend, wobei sich die Qualität der einzelnen Lebensräume erheblich unterscheidet. Unter den überwachten kleinen Bergbaufolgeseen überwogen zwar, im Vergleich zu ähnlichen Lebensräumen in der umgebenden Landschaft (typischerweise Teiche), Gewässer von eher durchschnittlicher Bedeutung. Doch einige der betrachteten Seen erwiesen sich hinsichtlich mehrerer beobachteter Taxa als äußerst bedeutsam.

Dies veranschaulicht die folgende Tabelle 3, in der die Anzahl der nachgewiesenen Arten in einzelnen Seen (Spalten) sowie die überwachten Taxa (Zeilen) angegeben sind. Bei Vögeln handelt es sich um Arten, denen das Gewässer direkt als Lebensraum, Brutgebiet oder Nahrungsquelle dient. Rote Bereiche sind ohne (große) biologische Bedeutung für das gegebene Taxon.

Der mit Abstand biologisch wertvollste kleine See ist B2 (Radovesice Süd – kleine Bergbaufolgeseen auf unbearbeiteten Kippen). Neben Gefäßpflanzen ist er in Bezug auf alle untersuchten Taxa ein deutlich überdurchschnittlicher Lebensraum. Andere Seen, wie A4, A5, B1, C5, D2 oder D5, sind hinsichtlich des Auftretens von mindestens zwei Taxa von Bedeutung. Im Kontrast dazu werden einige kleine Bergbaufolgeseen für mehrere Taxa als äußerst ungeeignet eingestuft, z. B. A6, B4, C4.

Wie die statistische Analyse der erhaltenen Daten zeigte, gibt es keinen signifikanten Unterschied im biologischen Wert einzelner kleiner Bergbaufolgeseen hinsichtlich ihrer Entstehung. Die Ergebnisse legen vielmehr nahe, dass einige Merkmale der Gewässer selbst von Bedeutung sind. Insgesamt kann festgestellt werden, dass im Rahmen der Rekultivierung Teile der Kippen der natürlichen Sukzession überlassen werden sollten. Bedingt durch die Entwicklung von Gewässern unterschiedlicher Formen und Größen bilden sich dabei unterschiedlichste Lebensräume. Die geschaffenen kleinen Seen sollten nach Möglichkeit einen unregelmäßigen Uferumriss aufweisen, der von kleineren abgegrenzten Ruhebereichen begleitet wird, sowie flache Uferhänge als Voraussetzung für die spätere Entwicklung der Ufergebiete hat. In diesen Gewässern sollten weder Fische noch Wildenten gezielt eingesetzt oder gezüchtet werden.

**Tabelle 3: Übersicht über die Zahl der nachgewiesenen Art an oder in den ausgewählten, betrachteten Gewässern**

Taxon	A1	A2	A3	A4	A5	A6	B1	B2	B3	B4	B5	B6	C1	C2	C3	C4	C5	C6	D1	D2	D3	D4	D5	D6
Pflanzen	3 6	5 4	3 6	7 5	6 5	1 5	2 6	2 0	3 1	1 4	1 0	4 1	4 4	3 9	4 3	1 8	4 7	2 7	2 8	5 8	5 0	3 9	8 9	2 2
Libellen	8	6	1 4	1 7	1 1	9	1 1	1 3	1 1	1 3	1 2	9	1 3	1 9	6 6	1 0	1 7	1 0	8	1 6	7	1 3	1 1	2
Wasser- mollusken	1	4	1	2	3	0	4	6	5	0	0	6	0	4	4	0	3	4	4	5	0	3	3	2
Wasserkäfer	2	0	3	2	1	0	5	5	1	0	2	0	0	0	1	1	2	1	5	5	0	1	5	3
Amphibien	3	4	2	2	3	0	4	6	3	1	5	2	4	1	3	0	4	2	1	3	3	3	6	6
Vögel	7	5	8	7	1 4	7	6	8	6	2	0	3	6	1	1	2	1	6	2	8	6	6	1	4

## 2.2 BEWERTUNGSGRUNDLAGEN

### 2.2.1 WASSERHAUSHALTSANALYSE – ERSTELLUNGSKONZEPT FÜR EIN GROßRAUMMODELL DER LAUSITZ



Anliegen der Studie war ein Konzept für ein gekoppeltes Bodenwasserhaushalts-Grundwasserströmungsmodell (GRM) als Grundlage für eine großräumige Stofftransportmodellierung zu erarbeiten. Gegenstand des Konzepts sind vor allem die Schritte zum Aufbau des GRM, Prüfung der Datenverfügbarkeit und Modelle sowie die Einschätzung des Arbeits- und Kostenaufwands. Mit dem zukünftigen Großraummodell sollen folgende Zielstellungen verfolgt werden können:

- Abbildung der großräumigen Grundwasserströmungsverhältnisse
- Entwicklung Bodenwasserhaushalt, auch unter Berücksichtigung klimatischer Veränderungen (relevant v. a. Trocken- und Feuchtperioden)
- Revierweite Güteprognosen für Eisen und Sulfat
- Ausweisung und Bewertung der Sinnfälligkeit, Verhältnismäßigkeit und Nachhaltigkeit von kurz-, mittel- und langfristigen Maßnahmen hinsichtlich ihrer großräumigen Wirkung
- Ableitung modellgestützter Aussagen für Ausweisung und Begründung von Maßnahmen sowie die Begründung von Ausnahmen gemäß der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie

Der erste Schritt zur Umsetzung der Erstellung des Konzepts umfasste die Recherche und Bewertung notwendiger Datengrundlagen in den Bereichen: Geologie und Hydrogeologie, Hydrologie, Boden und Landnutzung, Klima, Geo- und Hydrochemie.

Im zweiten Schritt wurde anhand der Geodaten sowie orientierend an den bestehenden Regionalmodellen das Modellgebiet abgegrenzt und Sonderbereiche ausgewiesen. Für die am Rand liegenden hydraulisch, (hydro-)geologisch, hydrochemisch und hydrologisch komplexen Sondergebiete „Oberer Spreewald“ und „Muskauer Faltenbogen“ wird vorgeschlagen, diese im Modell räumlich vorzuhalten, aber nicht zu parametrisieren. Diese Gebiete sind „inaktiv“, können jedoch bei Bedarf parametrisiert und modelliert werden.

Im dritten Schritt wurden die drei bekanntesten und im Bergbau bewährtesten Grundwasserströmungsmodelle MODFLOW, PCGEOFIM und FEFLOW hinsichtlich konkreter Merkmale/Funktionen untersucht. Anhand einer auf die Großraummodellierung in Bergbauregionen zugeschnittenen Bewertungsmatrix wurden die Eigenschaften der Modelle charakterisiert. Das Bodenwasserhaushaltsmodell ist mit der Verwendung des Modells ArcEGMO als Landesmodell in Sachsen gesetzt.

Im Anschluss wurde das Konzept anhand einer Testmodellierung in kleinem Maßstab (vgl. Abbildung 8) hinsichtlich seiner Umsetzbarkeit geprüft und das Konzept anschließend weiter angepasst. Für den Betrieb des Großraummodells wurden verschiedene Varianten dargestellt. Darauf aufbauend konnten die Kosten für die Umsetzung des Konzepts, der Großraummodellierung Lausitz, geschätzt werden.

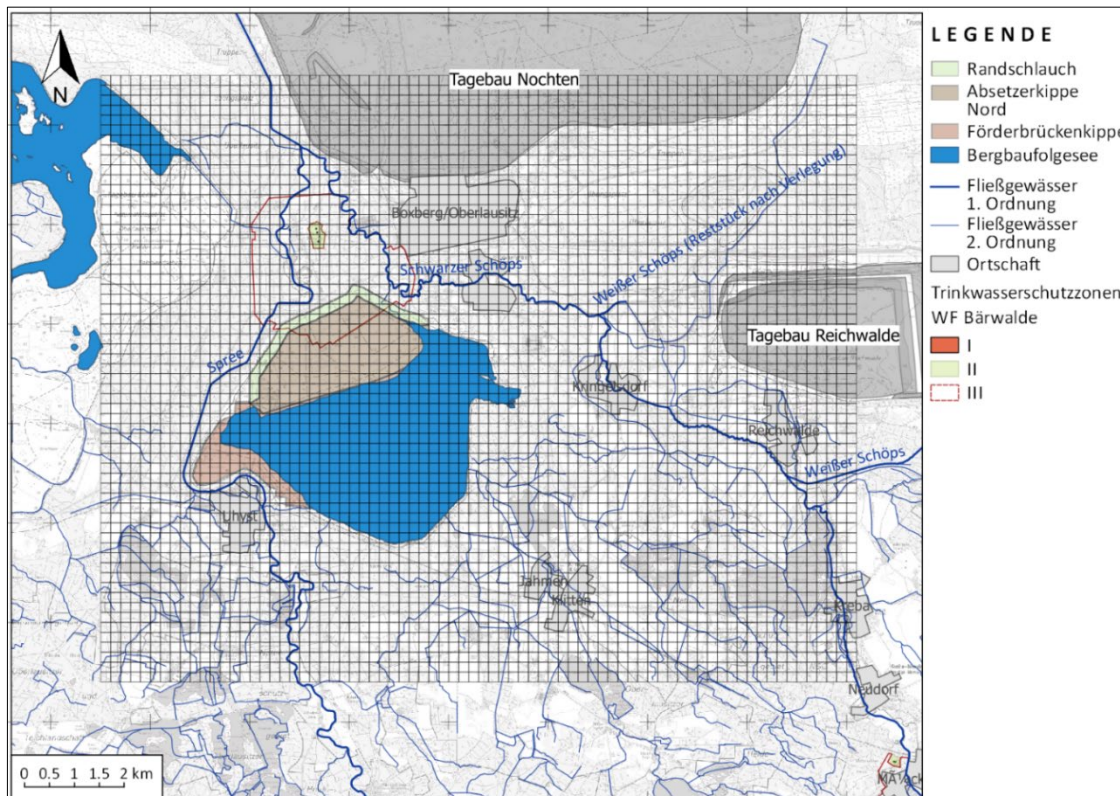
Prinzipiell sind folgende Schritte für den Aufbau eines GRM notwendig:

- Datenaufbereitung
- Erstellung Geologisches Modell und hydrogeologisches 3D-Strukturmodell
- Festlegung Randbedingungen
- Erstellung Bodenwasserhaushaltsmodell
- Regelung Übergabe Grundwasserneubildung und Grundwasserstand

Die umfangreiche Bewertung der Datengrundlagen und die Auswertung der Testmodellierung ergab, dass alle Grundvoraussetzungen für den Aufbau eines GRM Lausitz vorhanden sind. Die Datenlage ist mit sehr gut einzuschätzen. Wesentliche Erkenntnisse und Aussagen wurden im Konzept getroffen:

- Das hydrogeologische 3D-Strukturmodell kann aus den verfügbaren geologischen Datenbeständen des LfULG Sachsen und LEAG bzw. LMBV aufgebaut werden.
- Wesentliche Aussagen zur Abraumbeschaffenheit der Kippenkörper liegen aus den Jahren 1960-80 vor.
- Die Beschaffenheit kann mithilfe der hydrochemischen Daten des Analyseprogramms von LEAG und LMBV sowie ergänzend mit den Daten des Landesmessnetzes charakterisiert werden.
- Für die bergbaulich geprägten, überbaggerten Bereiche liegen spezifische Daten in der Kippsubstratkartierung und den Rekultivierungsplänen vor.
- Die elf hydrogeologischen Regionalmodelle im aktiven und sanierenden Braunkohlenbergbau der sächsisch-brandenburgischen Lausitz besitzen weiterhin Bedeutung für bergbauspezifische geohydraulische Fragestellungen.
- Zu einer revierübergreifende Transport- und Stofftransportmodellierung, die auf einer gekoppelten Grund-/ Oberflächenwasser-Strömungsmodellierung beruhen muss, sind die Regionalmodelle nicht in der Lage. Auf Grund ihres nicht zueinander konsistenten hydrogeologischen/hydraulischen Aufbaus ist ein GRM Lausitz nicht durch Zusammenführen dieser Regionalmodelle möglich. Außerdem decken die Regionalmodelle nicht den gesamten zu betrachtenden Bereich ab.
- Das GRM Lausitz muss neu, aus den recherchierten und umfangreich zur Verfügung stehenden Daten erstellt werden. Eine Teilübernahme von inneren Randbedingungen und Parametrisierungen aus den qualifizierten Regionalmodellen wäre zielführend und ist zu prüfen.

Trotz der sehr guten Datenlage muss bewusst bleiben, dass eine umfangreiche Bearbeitung notwendig ist, um die verschiedenen Datenbestände zum Modellaufbau aufeinander abzustimmen. Hierbei bedarf es für die verschiedenen Datenarten unterschiedlich intensiver Anpassungs- und Abstimmungsarbeiten. Die Datenaufbereitung und alle Schritte bis zur Erstellung des 3D-numerischen Modells stellen den wesentlichen Teil des Aufwandes und somit der Kosten beim GRM-Aufbau dar. Auf Basis der Bewertung der Datenlage und davon abgeleiteter Arbeitsaufwände wird für den GRM-Aufbau und die erste Modellierung eine Dauer von drei Jahren abgeschätzt. Die Kosten für den Aufbau des GRM Lausitz werden voraussichtlich rund 3 Mio. Euro netto betragen.



**Abbildung 8 : Testgebiet Bärwalder See mit Sonderbereichen**

## 2.2.2 ERMITTLUNG DER HINTERGRUNDKONZENTRATION VON METALLEN IM TSCHECHISCH-SÄCHSISCHEN GRENZGEBIET



Das Erzgebirge im tschechisch-sächsischen Grenzraum zeichnet sich durch seine geologische Vielfalt aus, die auch die Grund- und Oberflächenwasserkörper prägen. Ziel dieser Studie war es, für die tschechisch-sächsischen grenzübergreifenden Oberflächenwasserkörper (OWK) eine Methodik zu entwickeln, um die Hintergrundkonzentration (HGK) ableiten zu können und anschließend die HGK für verschiedene Metalle und Elemente für die einzelnen OWK zu bestimmen. Des Weiteren wurden erste Grundlagen zur Entwicklung einer Methodik zur Ableitung von HGK in Grundwasserkörpern (GWK) geschaffen.

Aus anderen Studien liegen bereits Erkenntnisse zur Ableitung von HGK in sächsischen Einzugsgebieten vor. Insbesondere die Ansätze der TU Bergakademie Freiberg (2009) bilden die Grundlage für die Arbeiten dieser Studie. Daraus ergeben sich eine Reihe von prinzipiell notwendigen Arbeitsschritten.

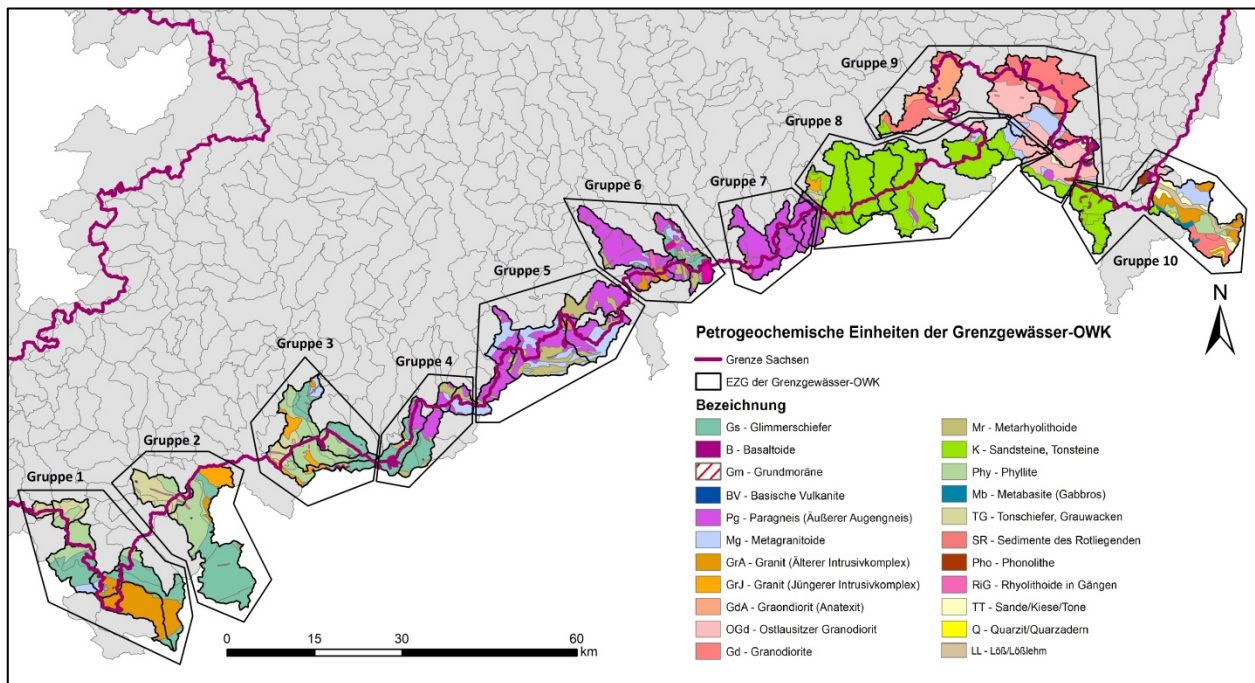
Der erste Arbeitsschritt beinhaltete intensive Recherche- und Vorarbeiten zur Charakterisierung der OWK und signifikanter bergbaubedingter Quellen sowie die Identifizierung potenziell geeigneter natürlicher Grundwasseraufschlüsse (vgl. Tabelle 4). Die Festlegung und Identifizierung bergbaubedingter Quellen, wie z. B. Gruben- und Haldensickerwässer, ist notwendig, um die OWK in anthropogen belastet und nahezu unbelastet einteilen zu können, was Voraussetzung für die Ableitung geogener HGK darstellt.

**Tabelle 4: Datenquellen zur Charakterisierung**

Parameter	Datenquellen Deutschland	Datenquellen Tschechische Republik
<b>Geologie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ GÜK 400 Sachsen (1992)</li> <li>▪ GÜK 200 (1999)</li> <li>▪ Geochemischer Atlas (Kardel et al. 2006)</li> <li>▪ Geochemischer Atlas – Teil 2: Spurenelemente in Bachsedimenten (Greif et al. 2004)</li> <li>▪ Pälchen (2009)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Geologische Karte 1:500.000 des Tschechischen geologischen Dienstes (ČGS 2018a)</li> </ul>
<b>Mineralisationen und Lagerstätten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mineralische Rohstoffe Erzgebirge-Vogtland (Wasternack et al. 1995)</li> <li>▪ Baumann et al. (2000)</li> <li>▪ Hösel et al. (1997)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mineralische Rohstoffe Erzgebirge-Vogtland (Wasternack et al. 1995)</li> </ul>
<b>Hydrogeochemische Verhältnisse</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gewässergütedaten des BfUL-Messnetzes, Download aus online verfügbaren Access-Datenbanken (LfULG 2019a)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gewässergütedaten des Tschechischen Hydrometeorologischen Institutes (CHMI 2018)</li> </ul>
<b>Boden/ Bodennutzung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ BÜK 400 (2017)</li> <li>▪ Bodenatlas des Freistaates Sachsen (Rank et al. 1999)</li> <li>▪ Landnutzungsdaten (LfULG 2017a)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bodenkarte 1:50.000 des Tschechischen geologischen Dienstes (ČGS 2018a)</li> </ul>
<b>Anthropogene Quellen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kommunale Kläranlagen (Geodatendownload, LfULG 2015)</li> <li>▪ Industrielle Direkteinleitungen (Datenübergabe, LfULG 2017b)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Informationen nicht zugänglich</li> </ul>

Im zweiten Schritt wurden auf Grundlage der recherchierten Geologie die einzelnen OWK in Gruppen zusammengefasst, für die später die HGK abgeleitet werden (vgl. Abbildung 9). Die Gruppierung ist notwendig, um die Anzahl der Proben zu reduzieren. Zudem wurden alle Datenquellen zur Charakterisierung der hydrogeochemischen Situation der OWK ausgewertet.





**Abbildung 9: Zusammenfassung der Grenzgewässer-OWK zu Gruppen bezogen auf deren geologische Gegebenheiten**

Der dritte Schritt sah eine Probenahme (im Frühjahr 2018 und Sommer 2019) in den Gewässern der grenzübergreifenden OWK vor, um anthropogen unbeeinflusste Proben zu erhalten. In den zehn gebildeten OWK-Gruppen wurden jeweils 20 Proben der Fließgewässer genommen. Die Probendichte betrug ca. 1 Probe/10 km<sup>2</sup>. Dementsprechend wurden für die 2090 km<sup>2</sup> OWK-Fläche 200 Proben, verteilt nach Größe auf die OWK, genommen. Die Probenahmestellen wurden so gewählt, dass sie hauptsächlich an Nebengewässern kurz vor der Einleitung in den Hauptstrom des OWK liegen, so dass sie weitgehend unbeeinflusst von den recherchierten anthropogenen Quellen sind. Die Probenahme der OWK umfasste an jedem Probenahmepunkt die Entnahme von Oberflächenwasser als Schöpfprobe aus der fließenden Welle (filtriert/unfiltriert) sowie schwebstoffbürtiges Sediment (Entnahme mit Handschaufel in Stillwasserzonen des Gewässers). Die Proben wurden bei Normalabfluss und auf sächsischer sowie tschechischer Seite genommen.

Zusätzlich zur Probenahme der Fließgewässer wurden 20 ausgewählte Grundwasseraufschlüsse beprobt. Wenn möglich wurden pro OWK-Gruppe zwei Quellaustritte beprobt. Die Probenahme des Grundwassers erfolgte als Schöpfprobe aus der fließenden Welle hauptsächlich aus Brunnen, Schroten oder Schächten. Die Proben wurden ausschließlich auf sächsischer Seite genommen.

Neben Vor-Ort-Parametern wurden weitere Parameter im Labor analysiert (vgl. Tabelle 5). Um die Vergleichbarkeit der Analyseergebnisse mit denen des Landesmessnetzes sicherzustellen, fanden die Probenaufbereitung und Analytik, soweit analytisch möglich, nach den Vorgaben der Staatlichen Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL) statt.

Im Anschluss an die Datenaufbereitung erfolgte die Prüfung der Analyseergebnisse auf anthropogene Einflüsse mit Hilfe verschiedener Arbeitsschritte:

- Vergleich der Daten mit den UQN
- Abgleich mit den Beschaffenheitsdaten der Referenzmessstellen (BfUL-Daten)
- Berechnung elementbezogener P80-Werte für OWK-Gruppen und Vergleich der Analysenwerte der OWK, um Anhaltspunkte für erhöhte Werte zu erhalten
- Bei Überschreitung der P80 Werte der jeweiligen OWK-Gruppe wurden die OWK-Daten auf geogene und anthropogene (Industrie, kommunale Einleiter, Bergbau) Einflüsse geprüft
- Bei festgestellten signifikanten anthropogenen Einflüssen wurden die betroffenen Messwerte aus der HGK-Ableitung ausgeschlossen
- Aus den verbleibenden Daten wurden die P90-Werte bezogen auf die OWK-Gruppen als vorläufige HGK berechnet und den jeweiligen OWK zugeordnet
- Vergleich der Stoffkonzentrationen der Grundwasseraufschlüsse mit denen der nächstgelegenen OWK-Messstellen

Im Ergebnis der Prüfung wurde ausschließlich der Bergbau als Quelle für anthropogene Einflüsse identifiziert. Für jeden OWK wurde die Intensität des Bergbaueinflusses bestimmt, von keinem bis signifikanten Bergbaueinfluss. Bei den OWK mit signifikantem Bergbaueinfluss wurden die für die Bergbauart typischen Schadstoffe nicht mit in die Ableitung der HGK einbezogen. Das bedeutet z. B. wenn ein signifikanter Einfluss durch Uranbergbau festgestellt wurde, wurde die Urankonzentration im Wasser und Sediment nicht bei der Ableitung der HGK berücksichtigt.

Abschließend konnten die P90-Werte für jede OWK-Gruppe ermittelt und daraus die Vorschläge der HGK abgeleitet werden. Die ähnlichen geogenen Eigenschaften innerhalb des EZG einer OWK-Gruppe ermöglichen es, die ermittelten P90-Werte auf die zur jeweiligen Gruppe gehörenden einzelnen Grenzgewässer-OWK zuzuordnen. Die Tabelle 5 zeigt einen Auszug der ermittelten HGK für die OWK-Gruppen und Elemente.

**Tabelle 5: Abgeleitete Hintergrundkonzentration ausgewählter Elemente für die OWK-Gruppen**

Parameter	Al	Sb	As	Ba	Be	Bi	Pb	B	Cd	Ca	Cr	Co	Fe	Gd	K	Cu
Einheit	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	mg/L	µg/L	µg/L	mg/L	µg/L	mg/L	µg/L
<b>Gruppe 1</b>	716,0	< 0,5	6,38	40,0	< 1	< 0,2	1,18	69,0	0,20	25,3	2,0	2,0	3,43	0,18	6,4	4,0
<b>Gruppe 2</b>	215,0	< 0,5	1,46	34,3	< 1	< 0,2	0,75	25,2	0,26	15,1	2,6	1,1	0,65	0,20	5,4	3,0
<b>Gruppe 3</b>	280,0	< 0,5	4,02	36,1	< 1	< 0,2	< 0,5	10,5	0,60	9,2	1,0	1,4	0,43	0,30	1,3	3,0
<b>Gruppe 4</b>	182,0	< 0,5	2,35	80,6	< 1	< 0,2	< 0,5	12,1	0,32	19,5	1,1	0,71	0,28	0,06	2,1	2,1
<b>Gruppe 5</b>	406,0	< 0,5	7,22	50,8	< 1	< 0,2	0,88	17,8	0,50	10,9	2,0	1,1	2,04	0,28	3,0	4,0
<b>Gruppe 6</b>	90,0	< 0,5	4,62	88,7	< 1	< 0,2	0,70	13,8	0,54	21,9	2,0	0,30	0,24	0,14	1,8	1,6
<b>Gruppe 7</b>	139,0	0,59	2,54	84,8	< 1	< 0,2	< 0,5	23,0	0,69	20,0	1,9	0,39	0,13	< 0,1	2,4	3,0
<b>Gruppe 8</b>	443,0	< 0,5	1,48	87,1	< 1	< 0,2	0,69	35,7	0,48	35,5	2,0	1,4	0,35	0,40	5,0	6,7
<b>Gruppe 9</b>	237,0	< 0,5	1,57	44,6	< 1	< 0,2	0,60	33,1	0,10	44,6	1,0	0,70	0,38	0,05	2,9	2,7
<b>Gruppe 10</b>	104,0	< 0,5	3,10	60,4	< 1	< 0,2	< 0,5	20,0	0,07	40,1	1,0	0,38	0,54	0,05	3,8	2,0

Anhand der Analysendaten der Grundwasserbeprobung wurde abgeschätzt, ob die ausgewählten Quellaustritte für eine spätere Bewertung von geogenen Hintergrundwerten in GWK geeignet sind. Dazu wurden die Grundwasserdaten mit den Daten der OWK ins Verhältnis gesetzt. Es wurde festgestellt, dass in den meisten Fällen die Elementkonzentration im Grundwasser in etwa der Konzentration im Oberflächenwasser entspricht. Jedoch war in

einigen Fällen der Gehalt der Quellaustritte um ein Mehrfaches höher bzw. niedriger als in den zugeordneten OWK-Proben. Ein eindeutiger Trend war nicht zu erkennen. Das bedeutet, dass auf Grundlage der erhobenen Daten keine eindeutigen Aussagen hinsichtlich der Eignung der gewählten Quellaustritte für die Beurteilung natürlicher, weitgehend anthropogen unbeeinflusster Grundwasserverhältnisse getroffen werden können.

### 2.2.3 BODEN- UND GEWÄSSERSANIERUNG IN BERGBAUGEBIETEN MIT BESONDEREN FORSTANBAUSYSTEMEN

Mit dieser Studie soll der Einfluss von Forstanbausystemen auf die Sickerwassermenge sowie die Bedeutung der Klimaveränderungen für den Forst aufgezeigt werden. Aufbauend auf den Erkenntnissen der Literaturrecherche und den Vorort-Begehungen auf der Vertrauensschachthalde in Lugau-Oelsnitz/Erzgeb. und Kippe Nochten wurden die Szenarien der Forstanbausysteme für beide Standorte entwickelt und entsprechend die Verdunstung und der Sickerwasserabfluss modelliert.

Es konnte gezeigt werden, dass besonders für unbewaldete Kippen bzw. Halden mit einer standortangepassten Aufforstung eine deutliche Minderung der Sickerwassermenge erzielt werden kann. Ein gesundes Waldökosystem erzielt eine deutlich höhere Transpiration als beispielsweise eine landwirtschaftliche Nutzung. Unter der Annahme, dass eine geringere Sickerwassermenge mit einer Minderung des Schadstoffaustrages einhergeht, bedeutet eine Aufforstung in Abhängigkeit des Schadstoffpotentials im Kippenmaterial auch einen deutlichen Rückgang des Stoffaustrages. Ohne Stofftransportmodellierung und detaillierten Kenntnissen der komplexen chemischen Wechselwirkungen im Halden-/Kippeninneren kann allerdings keine Aussage hinsichtlich der Größe der Reduzierung des Stoffaustrages aus Halden/Kippen getroffen werden. Aber dem Ziel, die Verringerung der Stoffeinträge in die Grund- und Oberflächengewässer abschätzen zu können, wird die Modellierung gerecht.

Die Aufforstung ist eine mögliche Maßnahme um den Schadstoffaustrag aus Halden/Kippen zu reduzieren. Dabei handelt es sich um eine passive Maßnahme, bei der die Schadstoffminderung allerdings schwer steuerbar ist. Sie bietet aber den Vorteil nur einmalig durchgeführt werden zu müssen, um über Jahrzehnte ihre Wirkung zu entfalten. Aus den erarbeiteten Grundlagen und Modellergebnissen der zwei Beispielgebiete lassen sich einige grundsätzliche Schlussfolgerungen und Empfehlungen zur Bewirtschaftungsstrategie von Halden und Kippen ableiten.

- Mit der Aufforstung von Kippen und Halden kann die Sickerwassermenge erheblich reduziert werden.
- Die Auswahl der Baumarten muss standortspezifisch erfolgen.
- Die Reaktion der Baumarten auf die modellierten Klimaprognosen ist bei der Aufforstungsplanung zu berücksichtigen.
- Die Aufforstung von Bergbauhinterlassenschaft ist möglich, aber nicht immer einfach.
- Die Etablierung von Haldenwäldern ist eine effiziente Maßnahme zum Schutz des Wassers.

Die Baumarten sollten anhand ihrer Eigenschaften für die jeweiligen Standortbedingungen ausgewählt werden. Die Baumarten unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Trockenheits-, Kälte- und Hitzetoleranz.

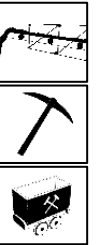


Tabelle 6 bewertet die Toleranzen der für die Rekultivierung von Kippen- und Halden relevanter Baumarten. In Anbetracht des sich ändernden Klimas sind vor allem hitze- und trockenheitstolerante Baumarten zu bevorzugen. Die Kiefer ist beispielsweise zwar trockenheitstolerant, aber empfindlich gegenüber Hitzeperioden über 35 °C. Die Anzahl der Tage, an denen diese Bedingungen eintreten, steigt jedoch an und wird im Klimaszenario RCP8.5 zukünftig regelmäßig zu erwarten sein. Bereits heute steht die Kiefer in der Lausitz durch Hitze, Trockenheit und nachfolgende Kalamitäten erheblich unter Druck.

Eine forstliche Umstrukturierung ist jedoch immer eine Kosten-Nutzen-Frage. Deshalb müssen die Kosten bzw. eine Wirtschaftsbetrachtung im Vorfeld durchgeführt werden. Ein wesentlicher Faktor, den es zu berücksichtigen gilt, ist die Zeit. Erst ab einem Alter von 50 Jahren (Stadium der maximalen Interzeptions-Speicherkapazität) bewirken die Bäume den wünschenswerten Nutzen der Sickerwasserminderung. Bei bereits bewaldeten Objekten stellt sich die Frage, ob eine Waldumstrukturierung wirtschaftlich ist. Wie am Beispiel der Vertrauensschachthalde gezeigt wurde, hat die Änderung der Baumartenzusammensetzung minimale Effekte auf die Sickerwassermenge. Allerdings steht die Funktionstüchtigkeit des Waldes für die projizierten Klimaverhältnisse in Frage. Ein Absterben standortungeigneter Baumarten ist wahrscheinlich.

**Tabelle 6: Bewertung von Standortansprüchen, Eigenschaften und klimatischer Zukunftstauglichkeit (KLAM) von 37, für die Rekultivierung von Kippen- und Haldenflächen, relevante Baumarten. Hierbei gilt für die KLAM: erste Ziffer = Trockenheitstoleranz, zweite Ziffer = Winterhärte, in der Abstufung 1 = sehr geeignet, 2 = geeignet, 3 = problematisch, 4 = sehr eingeschränkte Eignung. Für die weiteren Spalten gilt: 1 = sehr niedrig, 2 = niedrig, 3 = mittel, 4 = hoch, 5 = sehr hoch; verändert nach Roloff, A. und Gillner, S. 2009 (KLAM) und Härdtle, W. u. a. 2006. \* Werte wurden anhand verschiedener Quellen eigens eruiert.**

Hauptwirtschaftsbaumarten	Einstufung nach KLAM	Spätfrost-Resistenz	Trockenheits-Toleranz	Nährstoffmangel-Toleranz	Kälte-Toleranz
<b>Europ. Lärche</b>	2.2*	4	4	4	5
<b>Fichte</b>	3.2	3	3	4	5
<b>Gemeine Birke</b>	2.1	5	4	5	5
<b>Gemeine Esche</b>	2.2	1	3	1	3
<b>Gemeine Kiefer</b>	1.1	5	5	5	5
<b>Hainbuche</b>	2.1	3	3	3	3
<b>Rot-Buche</b>	3.2	2	3	4	3
<b>Schwarz-Erle</b>	4.2	4	1	3	3
<b>Silber-Weide</b>	3.1	3	2	2	4
<b>Stiel-Eiche</b>	3.1	3	3	4	4
<b>Trauben-Eiche</b>	2.2	3	4	4	3
<b>Weiß-Tanne</b>	3.1*	4	2	4	4
<b>Winter-Linde</b>	2.1	4	3	3	4
<b>Zirbel-Kiefer</b>	1.3*	5	4	4	5
<b>Mischbaumarten</b>					
<b>Aspe</b>	2.1	5	3	5	5
<b>Berg-Ahorn</b>	4.1	4	2	2	4
<b>Berg-Kiefer</b>	2.1	5	4	5	5
<b>Berg-Ulme</b>	4.1	4	2	1	4
<b>Eberesche</b>	3.1	5	4	5	5
<b>Eibe</b>	2.2*	4	2	3	2
<b>Elsbeere</b>	1.2	5	4	3	1
<b>Feld-Ahorn</b>	1.1	3	4	2	2
<b>Feld-Ulme</b>	2.3*	4	2	1	4
<b>Flatter-Ulme</b>	2.3*	4	2	1	4
<b>Grau-Erle</b>	1.1	5	2	4	4

<b>Mehlbeere</b>	1.1	5	4	4	3
<b>Moor-Birke</b>	3.1	5	2	5	5
<b>Sal-Weide</b>	2.1	3	2	3	4
<b>Sommer-Linde</b>	3.2	3	3	2	3
<b>Speierling</b>	1.2	5	4	1	1
<b>Spitz-Ahorn</b>	2.1	4	2	2	3
<b>Wild-Apfel</b>	2.3	3	3	2	3
<b>Wild-Birne</b>	2.2	2	3	2	2
<b>Wild-Kirsche</b>	k.A.	4	4	2	1
<b>Flaum-Eiche</b>	1.2	3	5	2	3
<b>Rot-Eiche</b>	2.2	2	5	4	2
<b>Robinie</b>	1.1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.

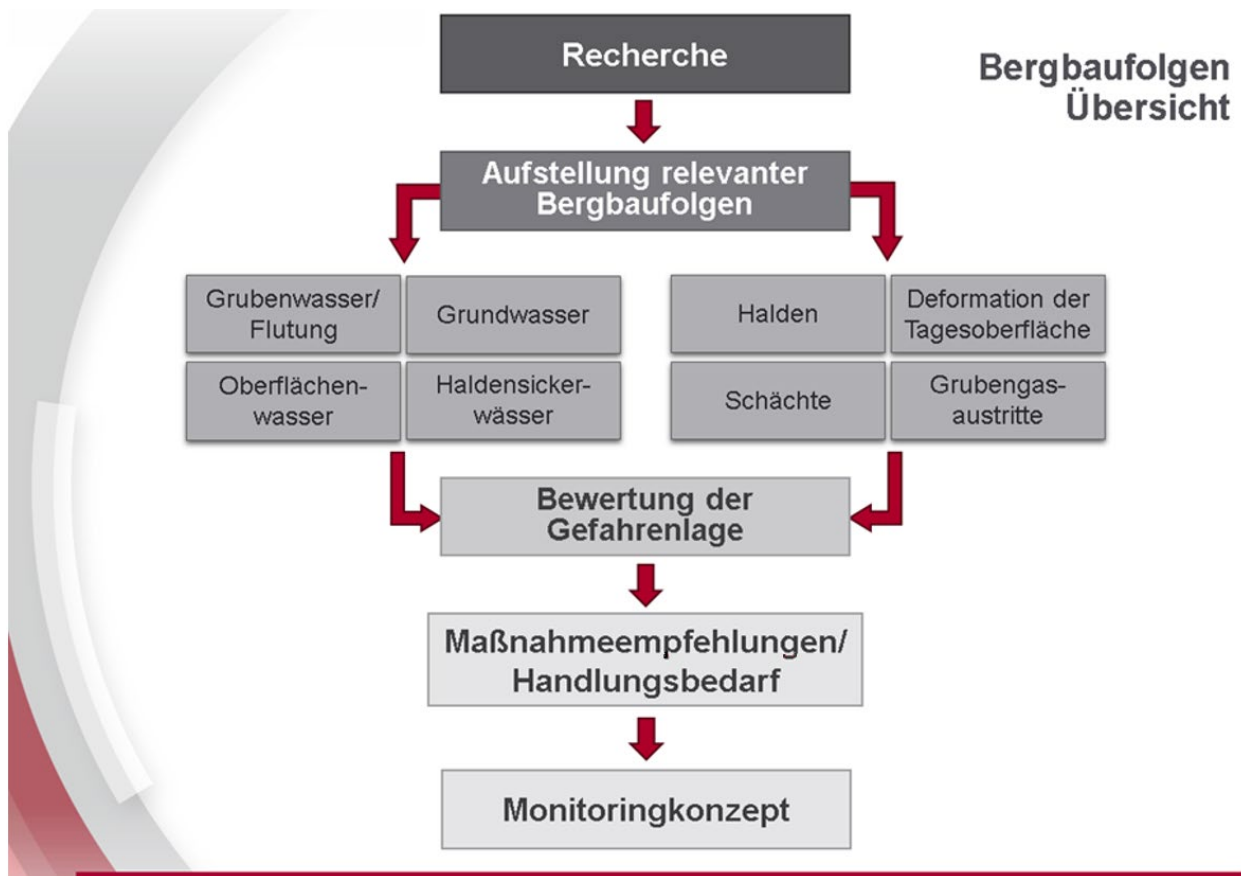
#### 2.2.4 ERARBEITUNG INHALTLICHER ASPEKTE FÜR EIN RAHMENKONZEPT ZU BERGBAUNACHFOLGEN DES EHEMALIGEN STEINKOHLREVIERS LUGAU-OELSNITZ/ERZGEB.



Im Revier Lugau-Oelsnitz/Erzgeb. wurden zwischen 1844 und 1971 ca. 142 Mio. t Steinkohle abgebaut. Ein 127 Jahre andauernder Bergbau hinterlässt naturgemäß Spuren - sichtbare und nicht sichtbare. Nach anfangs übertägiger Gewinnung der Kohle im Ausbissbereich wurden nach und nach ca. 100 Schächte abgeteuft und 25 Halden für das nicht nutzbare Bergematerial angelegt. Bedingt durch das Einfallen der Lagerstätte erreichten die Schächte bis zu 1.195 m Teufe, die Halden umfassen bis zu 26 ha Aufstandsfläche.

Ziel des Projektes war die Erstellung eines Rahmenkonzeptes, in dem die Bergbaunachfolgen benannt, Kontrollen und Überwachungszyklen (Monitoring) der Haldensickerwässer und der Haldenbewegungen, des Flutungs- und Hebungsprozesses etc. zusammengestellt sowie geeignete Sanierungs- und Abwehrmaßnahmen in Form eines konkreten Zeit- und Maßnahmenplanes beschrieben und festgelegt sind.

Das Rahmenkonzept zu Bergbaunachfolgen ist als Metastudie angelegt, in der die Erkenntnisse und Hinweise der recherchierten Unterlagen gebündelt und gemeinsam bewertet werden (vgl. Abbildung 10).

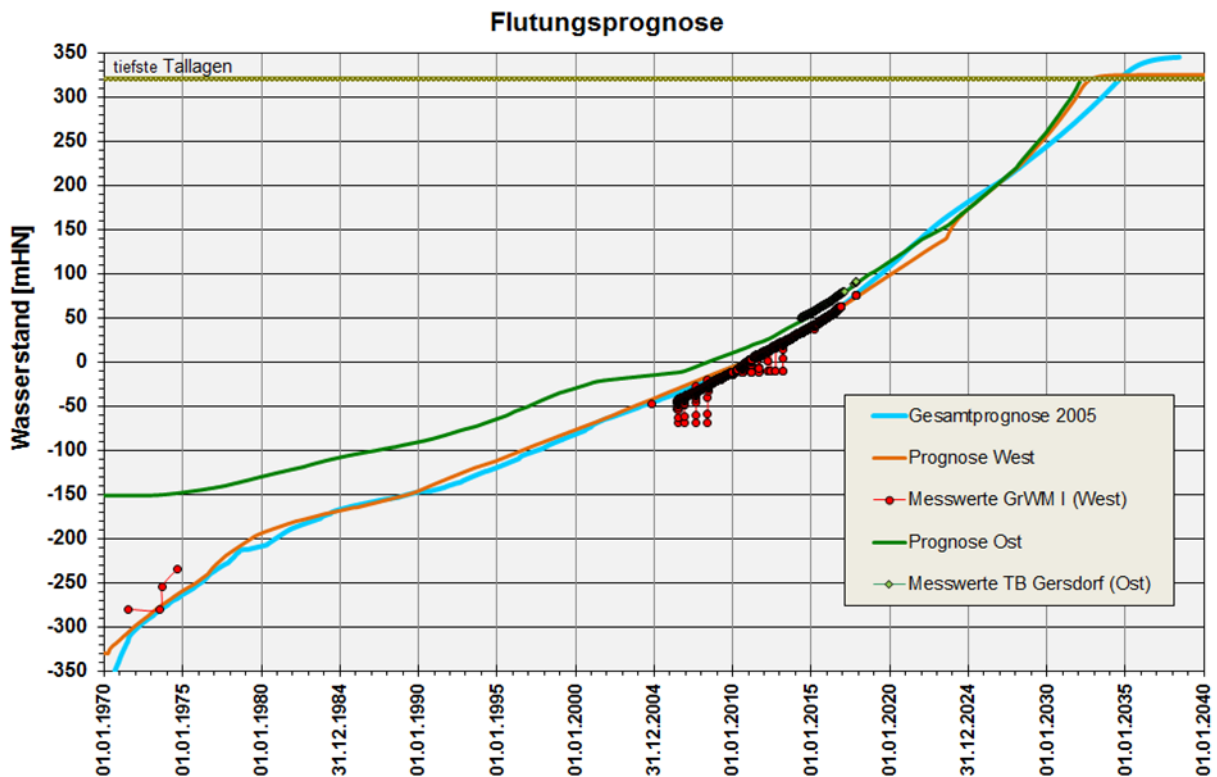


**Abbildung 10: Ablaufschema der Recherche und Bewertung von Bergbaunachfolgen im Revier Lugau-Oelsnitz/Erzgeb.**

Am Ende der Auswertung stehen Maßnahmenempfehlungen, die in einem detaillierten Zeit- und Maßnahmenplan für die Jahre 2019 bis 2033 konkret benannt und gemäß den Bergbaunachfolgen für folgende Themen bzw. Bereiche aufgeschlüsselt werden:

- Flutung des Grubengebäudes bis zu übertägigen Grubenwasseraustritten
- Wechselwirkungen zwischen Grubenwasser und Grundwasser
- Beeinflussung des Oberflächenwassers
- Auswirkungen der Halden
- Schächte mit und ohne Verwahrung
- Deformationen der Tagesoberfläche
- Grubengasaustritte
- Städtebauliche Aspekte

Eine wesentliche Bergbaunachfolge ist der (Wieder-) Anstieg des Grubenwassers, der sich auch maßgeblich auf Schächte, Halden, Grundwasser, Geländedeformationen usw. auswirkt. In bislang zwei Grubenwassermessstellen wird der sehr langsam verlaufende Anstieg (ca. 3 cm/Tag) regelmäßig gemessen. Zum Grubenwasseranstieg liegt ein detailliertes hydraulisches Modell vor, das anhand der Messwerte regelmäßig kalibriert wird. Demnach wird der Anstieg die Geländehöhe der tiefsten Tallagen (ca. 320 m NHN) etwa 2032 erreichen (Abbildung 11).



**Abbildung 11: Modellierung und Messwerte des Grubenwasseranstieges**

Im östlichen Teil des Reviers streichen die kohleführenden, oberkarbonischen Schichten an der Tagesoberfläche aus. In diesem Bereich begann der Tiefbau auf Steinkohle mit Hilfe zahlreicher Schächte geringer Teufe. Und genau hier wurden Grubengasaustritte festgestellt, zunächst bei Routinemessungen des Gasversorgers, später verifiziert durch mehrere Langzeitmessungen in zwei Gebäudekellern und weitere Kurzzeitmessungen. Während die Konzentrationen von Methan (CH<sub>4</sub>) relativ gering blieben, konnten in den Gebäudekellern erhöhte CO<sub>2</sub>- und verringerte Sauerstoffkonzentrationen nachgewiesen werden.

Die Flutung und die anderen Bergbaunachfolgen wirken sich mannigfaltig aus:

- Gruben- und Grundwasser: etwa im Jahre 2032 wird der Flutungswasserstand die tiefsten Tallagen erreichen, ohne Gegenmaßnahmen drohen Vernässungen und unkontrollierte Grubenwasseraustritte. Auch qualitative Beeinträchtigungen der oberflächennahen Grundwasserhorizonte und der Vorfluter sind möglich. Eine Entlastungsbohrung zur Steuerung des Wasserstandes ist vorgesehen.
- Haldenablaugung: durch Oxidation des Sulfidschwefels kommt es zur Freisetzung von Eisen, Sulfat und Schwermetallen in die Vorfluter.
- Vorfluter: sie werden durch Haldensickerwässer und Flutungswasser der Grube beeinträchtigt.
- Schächte: deren Füllsäulen bilden Wegsamkeiten für das Grubenwasser, auch die Standsicherheit der Füllsäulen, Ausbauten und Streckenabdämmungen wird durch die Flutung negativ beeinträchtigt.
- Geländedeformationen: durch das ansteigende Grubenwasser erfolgen momentan Hebungen bis zu 2,5 mm/Jahr. Mit zunehmendem Anstieg des Flutungsspiegels wird

erwartet, dass sich die Hebungstendenz verstärkt und es dadurch zu Schäden an Gebäuden und der technischen Infrastruktur kommen kann.

- Haldenstandsicherheit: die gemäß der aktuellen Normung geforderten Standsicherheitsreserven sind nicht vorhanden, technische Maßnahmen indes nicht praktikabel. Es wird eine Überwachung der Halden empfohlen.
- Grubengasaustritte: im östlichen Teil des Reviers wurden Ausgasungen von CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und verringerte Konzentrationen an O<sub>2</sub> festgestellt. Analysen belegen die Genese als Grubengas. Mit zunehmender Flutung kann durch Verdrängung eine Verstärkung der Grubengasaustritte eintreten, was mit einer entsprechenden Gefährdungslage einhergeht.

Der erstellte Maßnahmenplan im Endbericht des Teilprojekts enthält die konkret für jedes Jahr zwischen 2019 und 2033 empfohlenen Maßnahmen.

## 2.2.5 GEOPHYSIKALISCHE UNTERSUCHUNGEN ZUR ERKUNDUNG DER STÖRUNGSSITUATION IM GEBIET DER STADT OELSNITZ/ERZGEBIRGE IN BEZUG AUF DEREN VERLAUF UND MÖGLICHEN EINFLUSS AUF DIE GRUNDWASSERDYNAMIK ZUR ERUIERUNG VON BOHRLOCHANSATZPUNKTEN



Im Gebiet der Stadt Oelsnitz/Erzgebirge findet eine Überwachung der Flutung stillgelegter Grubengebäude des Steinkohlenreviers Lugau/Oelsnitz statt. Ungleiche Wasserstände in zwei vorhandenen Tiefbohrungen im Revier geben ein unterschiedliches Flutungsverhalten wieder. Daher ist eine Prognose des Austretens des aufsteigenden Gruben- und Grundwassers schwierig.

Die Lage der Störungszonen ist aus den Dokumentationen der Untertagesituation bekannt, jedoch ist ihr Ausstreichen an der Geländeoberfläche oft nur entsprechend der bekannten Daten projiziert. Um den Verlauf geologischer Strukturen und Störungen im Bereich der Ortslagen Oelsnitz und Gersdorf festzustellen, wurden geophysikalische (seismische und geoelektrische) Untersuchungen durchgeführt. Ziel war die Lage, den Verlauf und das Einfallen wesentlicher Störungszonen detaillierter zu erkunden, sowie ferner Hinweise zur Wasserführung und Wasserwegsamkeiten zu erlangen und Vorschläge für Bohrlochansatzpunkte zu erarbeiten. Insgesamt wurden daher vier seismische Profile mit einer Gesamtlänge von ca. 11 km Länge und acht geoelektrische Profile mit ca. 7,4 km Länge durchgeführt. Vier der geoelektrischen Profile liegen über den seismischen Profilen.

Mit allen aus den Profilen interpretierten Störungen wurde eine tektonische Störungskarte an der Oberfläche generiert (Abbildung 12). Die Verbindungen von den Störungen an der Oberfläche wurde einerseits durch die Ähnlichkeit der Reflexionsbilder paralleler Profile und andererseits durch die Form der Grenze zum Phyllit festgelegt.

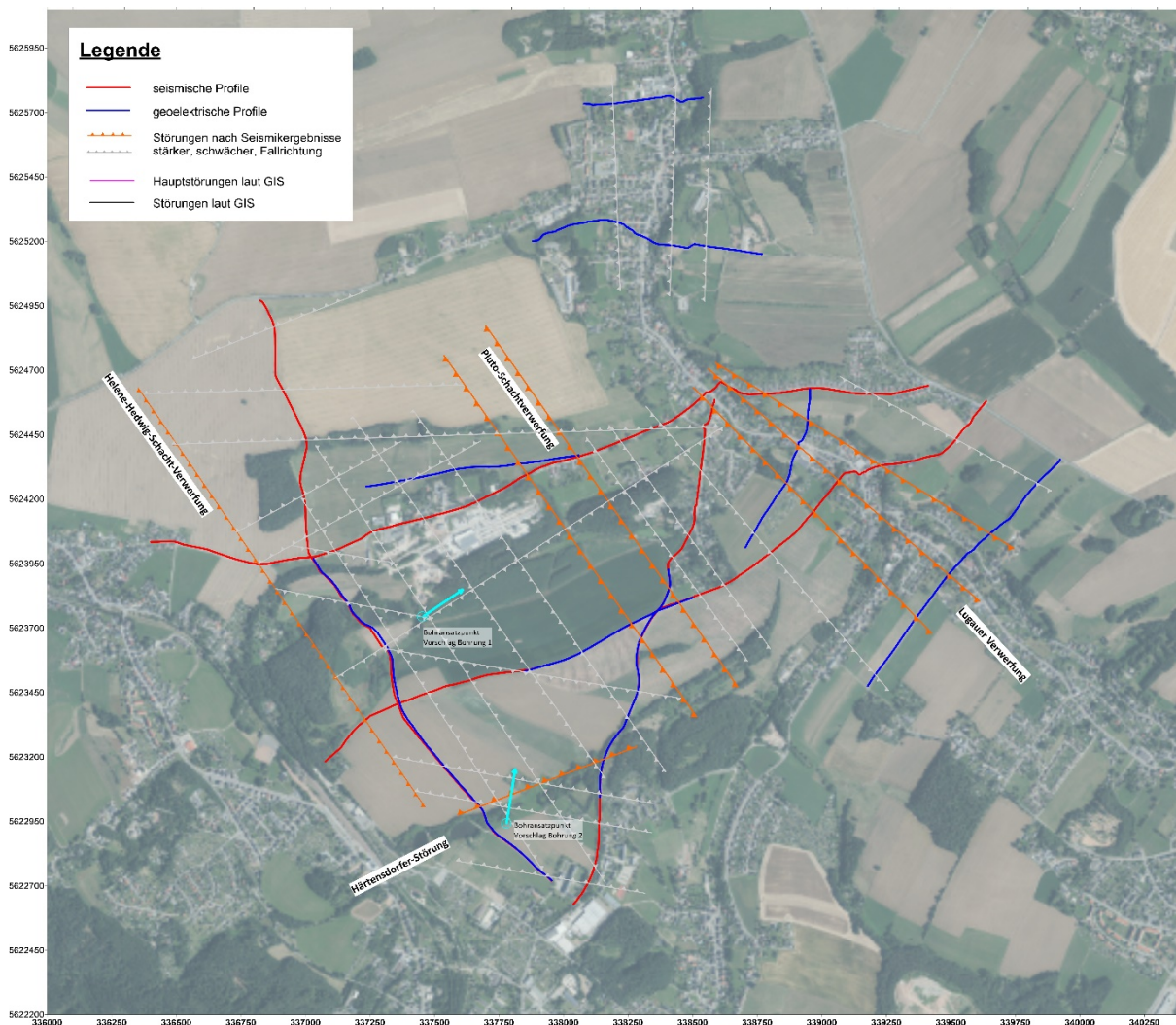
Generell gibt es drei Hauptrichtungen:

- die Nordwest-Südost streichenden Störungen wie die Helene-Hedwig-Schacht-Verwerfung, die zweiteilige Plutoschacht-Verwerfung und die dreiteilige Lugauer-Verwerfung.
- Senkrecht dazu gibt es die Südwest-Nordost streichenden Störungen, wie die Härtensdorfer-Störung,



- und die mit 45° dazu streichende Störungen in Richtung West-Ost, die vorwiegend im südlichen und nördlichen Teil des Messgebiets auftreten

Die Nord-Süd streichenden Störungen des Nordteils der Lugauer-Verwerfung ist noch ein Spezialfall. Der Vergleich mit der schon vorhandenen Störungskarte zeigt für die Hauptstörungen einen ähnlichen Verlauf. Die Helene-Hedwig-Schacht-Verwerfung, die Härtensdorfer-Störung und der westliche Teil der Lugauer-Verwerfung sind fast an derselben Stelle, die Plutoschacht-Verwerfung hingegen zeigt sich in der Neuinterpretation an der Oberfläche etwas breiter. Die nicht so ausgeprägten Störungen sind teilweise deckungsgleich, es kamen aber auch noch weitere Störungen dazu.



**Abbildung 12: Tektonische Karte nach Interpretation der geophysikalischen Profile**

Hinweise zur Wasserführung und Wasserwegsamkeiten im oberflächennahen Bereich sind am besten durch die Polarisierbarkeit gegeben. Eine erhöhte Polarisierbarkeit könnte auf Wasser zurückzuführen sein. Es ist aber auch möglich, dass das Material einen stärkeren Tongehalt aufweist und damit stärker zerrieben ist, was wiederum durch einen höheren Porenraum Platz für Wasser bietet. Solche vertikalen Strukturen sind im Bereich des Hegebachtales und damit entlang der Lugauer-Verwerfung, aber auch im Bereich der Plutoschacht-Verwerfung und anderen nicht so signifikanten Störungen zu erkennen. In diesen Bereichen treten auch in der zweiten refraktionseismischen Schicht meist niedrige Geschwindigkeiten auf, die auf stärker aufgelockertes Gestein hinweisen. Die Geschwindigkeiten des zweiten Refraktors und die

refraktionstomografischen Ergebnisse zeigen, dass ab 50 m Tiefe das Rotliegende als kompakt angesehen werden kann. Daher ist eine tiefer greifende Wasserwegigkeit eher nur entlang der Störungsbahnen zu erwarten, wenn diese nicht verkittet wurden.

Das unterschiedliche Flutungsverhalten in den zwei Tiefbohrungen, das einen geringeren Wasserspiegel in der südlich gelegenen Bohrung zeigt, könnte an der Mulde und der Erhebung der Schichten zwischen diesen Bohrungen liegen, wobei zweites als Barriere wirken könnte.

Die in diesem Projekt vorgeschlagenen Bohrlochansatzpunkte und deren Neigungen richten sich nach folgenden Kriterien: Einerseits sollte geklärt werden, ob die Lage der interpretierten Störungen richtig ist und ob die Störbahnen offen und wasserführend oder verkittet sind. Dazu sollten die Bohrungen möglichst senkrecht auf die Störungen treffen und daher bevorzugt eher geneigt ausgeführt werden. Andererseits ist zu klären, warum ein unterschiedliches Flutungsverhalten in den beiden vorhandenen Tiefbohrungen besteht. Möglicherweise sind die Mulde und die Erhebung im Süden für dieses Verhalten oder die Plutoschacht-Verwerfung ausschlaggebend. Deshalb wurden zwei Bohransatzpunkte ausgewählt, deren Ansatzpunkte und die Richtungen in der Abbildung 12 zu sehen sind. Die Abteufung dieser Bohrungen soll zukünftig die Lage der Störungszonen und deren Wasserwegigkeit klären.

## 2.3 MONITORING

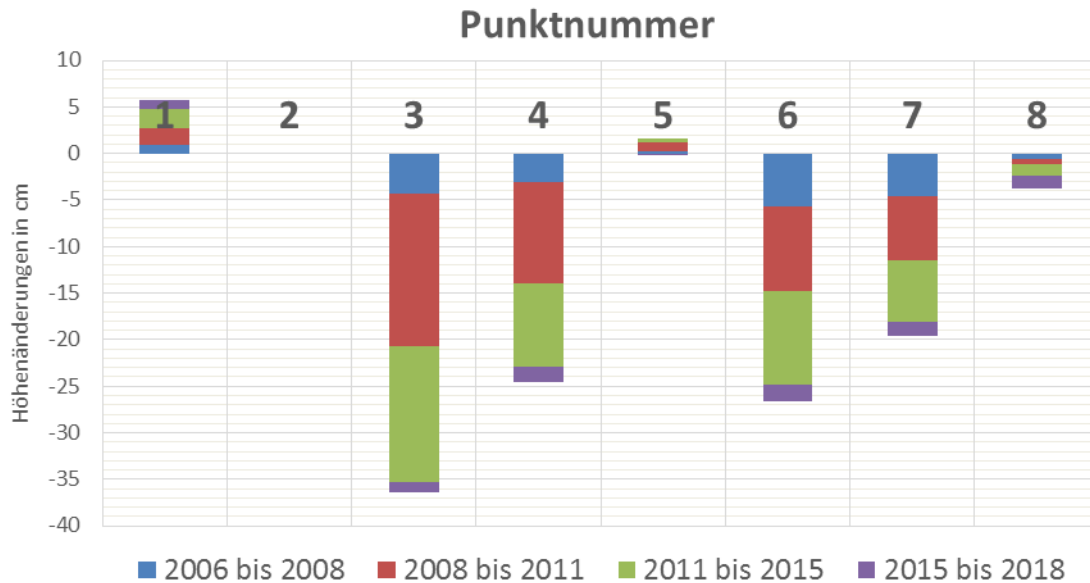
### 2.3.1 WEITERFÜHRUNG DES BERGBAUNACHFOLGEMONITORINGS IM GEBIET DER STADT OELSNITZ/ERZGEB. – ÜBERWACHUNGSMESSUNGEN DEUTSCHLANDSCHACHTHALDE



Die Tagesoberfläche in Oelsnitz ist auch nach Beendigung des aktiven Bergbaus im Jahre 1972 in Bewegung. Im Zusammenhang mit der Abwehr möglicher Gefährdungen der öffentlichen Ordnung und Sicherheit wurde 2006 ein entsprechendes Monitoring Konzept erarbeitet. Für die geodätischen Beobachtungen wurde ein adäquates Messnetz in Form von frostfrei gegründeten Festpunkten angelegt. Das ursprüngliche Konzept sah vor, das Messnetz in Lage und Höhe, einschließlich einer Schiefstellungsmessung des Aussichtsturms, aller zwei Jahre zu beobachten. Im April 2015 wurde das Netz durch neue Vermarkungen erweitert und vermessen.

Der globale lage- und höhenmäßige Anschluss erfolgte analog der Messung in 2006 durch GNSS. Die Netzmessung zur Ermittlung der Lagekoordinaten und Punkthöhen erfolgte mit einer Totalstation Trimble S8 und mit einem Digital-Nivellier Trimble DINI 11T. Aus dem Vergleich der ausgeglichenen Koordinaten und Höhen mit den Ergebnissen der zurückliegenden Messkampagnen können die horizontalen und vertikalen Bodenbewegungen abgeleitet werden. Die Ergebnisse der Höhenmessung mittels Präzisionsnivelement zeigt die folgende Abbildung 13.

Höhenänderungen an den Festpunkten 1 bis 8 (Punkt 2 fix gesetzt)


**Abbildung 13: Höhenänderungen an Festpunkten 1 bis 8**

Interessant sind die Vergleiche der Höhenänderungen an jedem Punkt im Beobachtungszeitraum 2006 bis 2018. Mit Ausnahme der Punkte 1 und 5 haben sich alle in noch thermisch aktiven Bereichen liegenden Punkte um geringe, aber dennoch signifikante, Beträge erwartungsgemäß gesetzt. Sowohl die horizontalen als auch die vertikalen extremen Bodenbewegungen von 2006 bis 2015 scheinen in der vergangenen Periode von 2015 bis 2018 abgeklungen zu sein. Es ist aber nach dieser einen Messkampagne nicht auszuschließen, dass sich die Südwestflanke der Halde weiterbewegt, zumal sie an der Abbruchkante offensichtlich noch thermisch aktiv ist. Können auf der Halde im Bereich der abrutschenden Flanke sogenannte „Corner-Reflektoren“ aufgestellt werden, so kann das Monitoring zuverlässig auch mit dem PSI-Verfahren (Persistent Scatterer Interferometry) erfolgen.

### 2.3.2 REVITALISIERUNG DER TIEFBOHRUNG OELSNITZ ZUR ENTNAHME VON GRUBENWASSER/SOLE UNTER BEIBEHALTUNG IHRER DERZEITIGEN FUNKTION



Die Überwachung des Flutungsverlaufs der untertägigen bergmännischen Hohlräume des ehemaligen Steinkohlenabbaus ist für die Stadt Oelsnitz/Erzgeb. von hoher Wichtigkeit, da die Grubenwässer nach Beendigung des Bergbaus und Einstellung der früheren technischen Wasserhaltung nun stetig ansteigen und sich der Flutungswasserspiegel in Zukunft dann auch oberflächennäheren Aquiferbereichen nähert. Aus diesem Grunde ist es unerlässlich, belastbare Daten sowohl zu den aktuellen Entwicklungen bei den Grundwasserhöhen wie auch bei der Grundwasserbeschaffenheit zu generieren.

Folgende Aufgaben- und Zielstellungen waren mit dem Projekt verbunden:

Erster und wichtigster Komplex ist die geohydraulische Zustandskontrolle der tiefen Oelsnitzer Messstelle. Hier sind eine Kamerabefahrung, diverse Messungen zur Ausbaukontrolle und auch die Durchführung eines Pumpversuchs in der vorher beräumten Messstelle vorgesehen.

Zweiter Komplex sind die Recherchen und das Zusammentragen aller bisherigen hydrochemischen und sonstigen Beschaffenheitsuntersuchungen für den Standort Oelsnitz,

einschließlich eines Vergleichs mit den bisherigen Monitoringdaten zum benachbarten Standort Gersdorf. Die verfügbaren Datenreihen werden mit den eigenen aktuellen Untersuchungen aus der Pumpversuchsbegleitung aktualisiert und einer gesamtheitlichen Interpretation unterzogen.

Dritter Komplex sind die zusammenfassenden Auswertungen und die Entwicklung von Strategien zur Verfahrensweise mit der Messstelle. Aus dem vorgefundenen technischen Zustand der Messstelle ergeben sich die notwendigen Verfahrensrandbedingungen für deren weitere Nutzung.

In der jüngeren Vergangenheit seit etwa 2015 sind die Anstiegsamplituden des Grundwasserspiegels jeweils signifikant größer geworden. Aktuell betragen sie in Oelsnitz/Erzgeb. im Durchschnitt hohe 40 mm/d (zum Vergleich: in der Zeitspanne 2012...2014 lag dieser Wert noch bei lediglich 25...26 mm/d). Auffällig ist, dass die mittleren täglichen Anstiegsamplituden in Oelsnitz/Erzgeb. höher sind als im benachbarten Gersdorf. Die Differenz beträgt aktuell hohe +6,6 mm. Eine weitere Auffälligkeit bei den ansteigenden Grundwasserspiegeln ist die deutliche Differenz der Spiegelhöhen zwischen Oelsnitz/Erzgeb. und Gersdorf. Sie beträgt aktuell ca. 14 m, wobei Gersdorf die höheren Stände aufweist.

In der Zusammenfassung der Ergebnisreihen aller hydrochemischen und isotopehydrogeologischen Untersuchungen ist als wichtigste Grundaussage und systembeschreibendes Ergebnis abzuleiten und festzuhalten:

- Der laufende Flutungsprozess im Grubenabschnitt um die Grundwassermessstelle in Oelsnitz wird im Zeitraum der letzten 15 Jahre eindeutig nicht über jungneugebildete Grundwässer von "oben" generiert, sondern vielmehr über die "älteren" Grubenwässer der Lagerstätte, aus dem Zutreten von höhermineralisiertem Tiefenwasser sowie aus den umgebenden, wenig dynamischen karbonischen Schichten.
- Diesbezüglich werden die früheren gleichlautenden tendenziellen Aussagen auch durch die aktuellen Untersuchungen des Pumpversuchs eindeutig und nachhaltig bestätigt.

Zu den speziellen Nutzungsanforderungen der Stadt Oelsnitz/Erzgeb. können folgende Aussagen zusammengefasst werden:

- Die Oelsnitzer Sole ist im Charakter ihres Chemismus weitgehend stabil. Dies ist eine wesentliche Grundvoraussetzung für jedwede balneologische oder sonstige Nutzung.
- Gleiches gilt auch für Randbedingungen einer möglichen Aufbereitung. Diesbezüglich ist festzuhalten, dass - wenn eine Heilwasser-Anerkennung als Option offenbleiben soll, nur eine Enteisung und Entmanganung zugelassen ist. Jedwede andere Form eines „Herausreinigens“ von Inhaltsstoffen verbietet sich bei geplanten medizinisch-balneologischen Anwendungen. Diese würden zwingend eine staatliche Anerkennung voraussetzen.
- Industrielle Nutzungen wären aber auch ohne Anerkennungsverfahren möglich. Beispiele sind aufgezeigte Einsatzmöglichkeiten im Winterdienst oder als Produktentwicklung, hier beispielhaft als „Soleseifen“.
- Für eine mögliche Weiterverfolgung eines Ansatzes auf Erholungsortentwicklung durch die Stadt Oelsnitz/Erzgeb. ist es wichtig festzuhalten, dass es sich beim in der Messstelle erschlossenen Oelsnitzer Grubenwasser um eine „echte“ (und auch anerkennungsfähige) Sole handelt. Strenggenommen ist es sogar eine Thermalsole, da die Auslauftemperatur am sogenannten Ort der Gewinnung die notwendigen >20,0 °C sicher und nachhaltig erreicht.

### 2.3.3 HYDROCHEMISCHES MONITORING DER GEWÄSSER ZUR BEURTEILUNG DER WASSERQUALITÄT IN KLEINEN BERGBAUFOLGESEEN



Nach der Kohlenförderung kommen auf den Kippen im tschechischen Abbaurevier, neben den gezielt angelegten „großen“ Seen, auch unkontrolliert und spontan entstandene kleine Bergbaufolgeseen vor. Hinsichtlich der Stabilisierung des lokalen Wasserhaushalts, der Fähigkeit das Wasser in der Landschaft zu halten oder die Artenvielfalt an bestimmten Standorten zu erhöhen, können diese Landschaftselemente eine bedeutende Rolle spielen. Andererseits können sie auch bestimmte Risiken darstellen, falls sie durch das oberflächennahe Grundwasser aus dem Kippenkörper gespeist werden. Der Kippenkörper enthält oft Überreste der Kohlenmasse mit dem Gehalt von sulfidischen Mineralien, z. B. Pyrit (Schwefelkies). Diese Mineralien unterliegen im Kippenkörper der biologischen und chemischen Oxidation, womit das Drainagewasser beeinträchtigt wird. Mit diesen Prozessen ist die Entstehung der sogenannten sauren Grubendrainage verbunden, wofür niedrige pH-Werte, ein hoher Gehalt an Sulfaten, Mangan, Eisen und Schwermetallen und weiteren verunreinigenden Stoffen charakteristisch sind. Ziel dieser Studie war es, Erkenntnisse zur Wasserqualität durch Monitoring in ausgewählten kleinen Bergbaufolgeseen, die infolge der Braunkohlenförderung entstanden sind, zu liefern.

Das hydrochemische Monitoring umfasste Entnahmen und Analysen von Oberflächenwasserproben an 24 ausgewählten repräsentativen kleinen Bergbaufolgeseen auf Kippen in Braunkohlentagebauen in der Region Ústecký kraj, auf dem Gebiet der früheren Landkreise Chomutov, Most, Teplice und Ústí nad Labem. Diese kleinen Bergbaufolgeseen wurden in vier Typen nach der Entstehungsart gegliedert (siehe auch Kapitel 2.1.3):

- A) Speicherseen zur Rekultivierung
- B) Kleine Bergbaufolgeseen, entstanden auf unbearbeitetem Kippengelände
- C) Kleine Bergbaufolgeseen, entstanden spontan auf rekultiviertem Gelände
- D) Kleine Bergbaufolgeseen, entstanden am Kippenfuß

Das hydrochemische Monitoring wurde im Zeitraum März bis Dezember 2017 mit einem Probenahmeintervall von einer Probe im Monat durchgeführt. Überwacht wurden chemische, mikrobiologische und hydrobiologische Parameter, die in der Tabelle 7 aufgelistet sind.

**Tabelle 7: Übersicht über die Parameter, die im Rahmen des Monitorings der kleinen Bergbaufolgeseen erhoben wurden**

<b>Allgemeine Parameter</b>	t, pH, O <sub>2</sub> , BSB <sub>5</sub> , CSB <sub>Cr</sub> , TOC, P <sub>ges</sub> , N <sub>ges</sub> , N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , RL <sub>105</sub> , RL <sub>550</sub> , NL <sub>105</sub> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Mg, Ca
<b>Mikrobiologische Parameter</b>	ECOLI, ENT, FC
<b>Ausgewählte prioritäre Stoffe</b>	Cd <sub>gelöst</sub> , Ni <sub>gelöst</sub> , Pb <sub>gelöst</sub> , Hg <sub>gelöst</sub>
<b>Ausgewählte spezifische Schadstoffe</b>	Sb, As, Ba, Be, B, Sn, Al, Cr, Co, Mn, Cu, Mo, Se, Ag, V, Zn, Fe, Summe-PAK, Summe-PCB, Kohlenwasserstoffe C10-C40
<b>Ergänzende chemische Parameter</b>	Leitfähigkeit, Na, K, P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , SNK-4,5, SNK-8,3, BNK-4,5, BNK-8,3
<b>Biologische Parameter</b>	Chlorophyll-a, Zooplankton, Phytoplankton, Makrozoobenthos

Zusammenfassend wurden folgende Schlussfolgerungen aus dem Messprogramm für die kleinen Bergbaufolgeseen gezogen:

- pH-Werte des Wassers neutral bis leicht alkalisch, im Verlauf des Jahres ohne größere Schwankungen
- hohe Mineralisierung am Großteil der Entnahmestellen (dominanter Bestandteil sind Sulfate)
- organische Stoffe ausgedrückt als CSB<sub>Cr</sub> – Maximum im Sommer und Herbst, die höchsten ermittelten Werte im Bergbaufolgesee D5 (Kopistská Kippe; 160 mg/l)
- Kationen: an einigen Seen übersteigt die Magnesium-Konzentration die Konzentration von Calcium, anderswo sind deren Konzentrationen ausgewogen
- spezifische Schadstoffe: vor allem Eisen und Mangan weisen eine wesentliche saisonabhängige Variabilität auf
- mikrobiologische Kennwerte: gefunden wurden geringere Mikroorganismenzahlen als in den Flussläufen
- hydrobiologische Kennwerte: die höchsten Zahlen der Organismen und höchste Artenvielfalt sind für die kleinen Bergbaufolgeseen ermittelt worden, die auf unbearbeitetem Kippengelände entstanden sind.

## 2.4 SANIERUNGSVERFAHREN

### 2.4.1 MÖGLICHKEITEN DES SCHADSTOFFRÜCKHALTS IN UNTERIRDISCHEN GRUBENGEBÄUDEN DES ERZ- UND SPATBERGBAUS



Eine aktive Reinigung der Grubenwässer nach Austritt aus den Bergbaustolln ist oft schwer umsetzbar. Gründe dafür sind u. a. der hohe Flächenverbrauch technischer Anlagen, die Behandlung großer Wassermengen, hohe Kosten und die damit verbundene Unwirtschaftlichkeit. Aus diesem Grund sollten in dieser Studie verfahrenstechnische Möglichkeiten untersucht werden, Schadstoffe bereits im Grubengebäude zurückzuhalten und somit eine effektive Verbesserung der Gewässerqualität bewirken können. Abschließend wurden potentielle Maßnahmen für künftige Bergbauprojekte in Sachsen diskutiert, um Umweltbelastungen so gering wie möglich zu halten.

Ein Schwerpunkt war die Prüfung der Anwendbarkeit der Verfahren für konkrete Belastungssituationen an ausgewählten Standorten in Sachsen. Auf Basis einer umfassenden Datenrecherche zu Wasserqualität (Messwerte Elementkonzentrationen) und Durchflussmengen wurde ermittelt, welche Schadstoffe aus den sächsischen Stolln ausgetragen werden und welchen Stolln dabei als Schadstoffemittent eine besondere Bedeutung zukommt. Grundlage für eine Potenzialabschätzung des Austrages von Schadstoffen aus den Gruben in sächsische Gewässer war die Bilanzierung von Elementfrachten. Eine detaillierte Betrachtung erfolgte dabei für die Reviere Freiberg, Ehrenfriedersdorf und Zinnwald.

Für die weitverbreitetsten Schadstoffe infolge des Erz- und Spatbergbaus (Tabelle 8) wurden unter Berücksichtigung der Standortspezifik mögliche Verfahren zur nachhaltigen in-situ-Sanierung erarbeitet. Die Verfahrensansätze beruhen dabei auf (1) Waschung mit Wasser, (2) geochemischer Pufferung durch Einbringen fester oder flüssiger Stoffe zur pH-Eh-Beeinflussung sowie (3) Stimulierung biologisch katalysierter Reduktionsprozesse.

**Tabelle 8: Prozentualer Anteil der Stolln mit Überschreitung des Beurteilungswertes je Element (Anzahl der untersuchten Stollnwässer: 39)**

Element	Fe	Pb	Mo	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Se	TI	Al	Ba	As	U	Co	Cu	Ni	Be	Zn	Cd
<b>Überschreitung in %</b>	3	5	8	8	10	18	23	26	36	41	44	59	64	74	92	95

Bei einer Einstufung der potenziellen Verfahrensansätze nach Eingriffsebene (siehe Tabelle 9) ergibt sich folgende Klassifizierung:

- Eingriff in den untertägigen Flutungsraum der Grube
- Eingriff in den Transferbereich (Flutungswassertransport aus Flutungsraum nach über Tage)
- Grubenexterner Eingriff (übertägiger Transferweg von der Grube zur Vorflut)

**Tabelle 9: Übersicht potenzieller Verfahrensansätze zur Reinigung von Grubenwässern nach Eingriffsebene**

Eingriffsebene	Verfahren	Kurzbeschreibung	Beispiel
Flutungsraum	Modifizierung Grubenwasser-management	Verminderung des Durchflusses durch schadstoffreiche Zonen	Erzgrube Schneeberg
Flutungsraum	Modifizierung Flutungsmanagement	Hoher Flutungswassereinstau zur Minderung des Grundwasserzuflusses und Minimierung oxidativer Stoffmobilisierungen	Urangrube Ronneburg
Flutungsraum	Reduktive Schadstofffixierung	Abtrennung von Schadstoffen im Flutungswasser durch Senkung des Redoxmilieus (z.B. Einbringung organischer Substanzen oder metallischem Eisen)	
Flutungsraum	Schadstofffixierung durch Fällung/ Neutralisierung	Zugabe alkalischer Medien/ Fällungschemikalien zur Beeinflussung des pH-Milieus und Fällung von Schadstoffen	Urangruben Königstein und Ronneburg
Transferbereich (peripherer Flutungsraum)	Wasserbelüftung/ Eisenfällung	Abtrennung durch Belüftung des abfließenden Wassers (vollständige Oxidation); ausreichende Reaktionszeiten; moderate Fließgeschwindigkeiten	Gruben Pöhla und Ehrenfriedersdorf
Grubenextern	Passive Wasserbehandlung/ Oxidation und Sedimentation (Wetland)	Maßnahme ohne umfassenden verfahrenstechnischen Ausbau bzw. Chemikalieneinsatz; Selbstreinigungsprozesse im direkten Grubenumfeld	

Die Potenzialabschätzung ergab, dass den Stollnwässern des Freiburger Reviers die größte Bedeutung als Emittent von Schadstoffen in die Fließgewässer zukommt. Signifikante Stoffausträge waren auch in den Grubenwasseraustritten der Bergbaureviere Schneeberg, Johanngeorgenstadt, Ehrenfriedersdorf, Marienberg und Altenberg/Zinnwald zu verzeichnen. Teilweise konnten Schadstoffeinträge in die direkten Vorfluter zu 100 % den jeweiligen Stolln als Quelle zugeordnet werden. Für die drei Bergbaureviere Freiberg, Zinnwald und Ehrenfriedersdorf wurden mögliche in-situ Rückhaltemaßnahmen konkret beschrieben und soweit möglich auch der finanzielle Aufwand ermittelt. Im Wesentlichen erfolgte die Immobilisierung dabei durch Fällung und anschließende Sedimentation oder durch

Adsorption. Die Maßnahmen könnten zu einer Verringerung der Konzentrationen von Cadmium oder Arsen in den jeweiligen Stollnwässern führen und auch das Austragspotenzial der Wasserlösestolln in die sächsischen Oberflächengewässer, wie Mulde und Elbe verringern.

Die recherchierten Maßnahmen stellen zum Teil realisierbare und effektive Möglichkeiten dar, um Schadstoffe in den unterirdischen Grubengebäuden des ehemaligen Bergbaus zurückzuhalten. Die Prüfung der Anwendbarkeit der Verfahren für konkrete Grubenstandorte bzw. Stolln erfordert grundsätzlich objektspezifische Planungen. Die Maßnahmen wurden in Steckbriefen zusammengefasst.

Für zukünftige Bergbauprojekte empfiehlt es sich bereits im Rahmen der Planung des Bergbaus, entsprechende untertägige Methoden zur Reduzierung von Schadstoffausträgen zu berücksichtigen. Um die Umweltbelastungen so gering wie möglich zu halten, wurden folgende Maßnahmen zur Reduzierung von Stoffausträgen vorgeschlagen:

- Optimierung des Grubenwassermanagements (Abschirmung)
- Optimierung der Grubengeometrie (Segmentierung)
- Reduzierung der Gebirgsauflockerung
- Maximierung untertägige Lockermasseneinlagerung (Eigenversatz)
- Hermetisierung der Versatzbereiche
- In-situ-Behandlung belasteter Grubenwässer (Vorklärung)

#### 2.4.2 TESTUNG DER LABORERGEBNISSE ZUR ELEKTROCHEMISCHEN SULFATABTRENNUNG IM DAUERBETRIEB IN DER PRAXIS IN RAINITZA – ÖKONOMISCHE BETRACHTUNG



Das RODOSAN-Verfahren hat nach aktuellem Stand (2020) bisher nur im Labormaßstab bedingt zufriedenstellende Ergebnisse hinsichtlich der Abtrennleistung geliefert. Im Pilotmaßstab und für einen großflächigen Einsatz muss es weiter qualifiziert werden. Es steht daher vor erheblichen konzeptionellen, technischen und wirtschaftlichen Herausforderungen, um ein verhältnismäßiges Werkzeug für die Reinigung von Wasserkörpern für Sulfat zu werden. Das Teilprojekt befasst sich mit einer detaillierten ökonomischen Aufarbeitung und einem Vergleich des Verfahrens, um diesbezüglich mehr Klarheit zu erlangen.

Die Studie teilt sich in drei wesentliche Arbeitskomplexe, deren Bearbeitung sich wiederum in verschiedene Teilleistungen gliederte und vorwiegend auf Recherchearbeiten zur Ökonomie des RODOSAN-Verfahrens und anderen Verfahren zur Sulfatabtrennung basiert:

- (1) Zusammenstellung zum technischen und konzeptionellen Stand des RODOSAN-Verfahrens
- (2) Detaillierte Zusammenstellung der Kosten des RODOSAN-Verfahrens mit einer beispielhaften Dimensionierung für ausgewählte Fälle in Sachsen
- (3) Vergleich mit anderen Verfahren zur Sulfatabtrennung

Folgende Kostenkategorien wurden betrachtet:

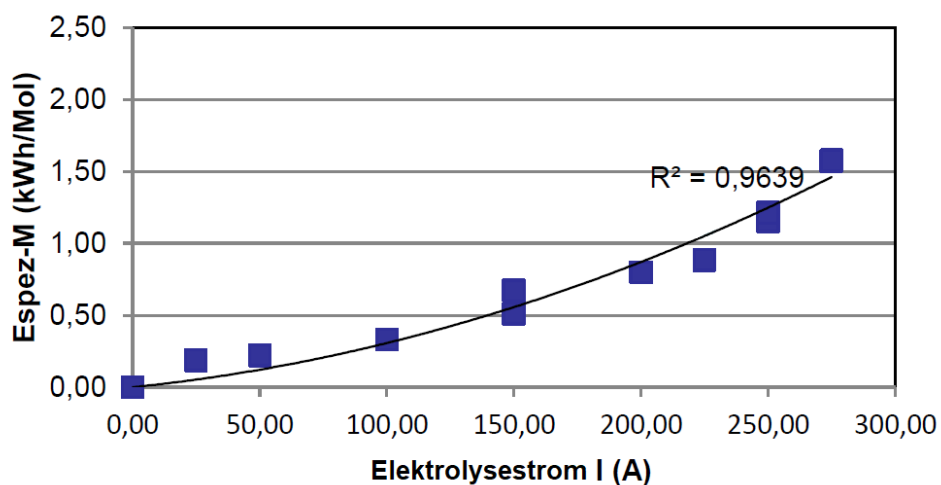
- Kosten der spezifischen Anlagenkonfiguration betreffend (schließt Investitions- und initiale Beschaffungskosten ein)
- Energiekosten
- Kosten für Verbrauchsmaterial
- Personalkosten



- Sonstige Kosten
- Erlöse

Entscheidend für die Kosten sind die Energiekosten, die, da es sich hier um ein elektrochemisches Trennverfahren handelt, entsprechend von elektrochemischen Gleichgewichten abhängig sind. Die Kenntnisse des Zusammenhangs von Energieverbrauch und Abtrennleistung sind daher essentiell zur wirtschaftlichen Bewertung des Verfahrens.

Die Abbildung 14 zeigt den spezifischen Energieverbrauch ( $E_{\text{spez-M}}$ ) in Abhängigkeit des Elektrolysestroms, der direkt proportional zur Sulfatabtrennung ist, am Beispiel der Grubenwasserreinigungsanlage (GWRA) Tzschelln. Die Abbildung zeigt einen klar exponentiellen Zusammenhang. Dies bedeutet, dass entsprechend auch die Kosten exponentiell mit der Abtrennleistung ansteigen.



**Abbildung 14: Spezifischer Energieverbrauch ( $E_{\text{spez-M}}$ ) in Abhängigkeit von der Sulfatabtrennung am Beispiel GWRA Tzschelln. Die Sulfatabtrennung ist über den Elektrolysestrom angegeben. (Dunkelblau: Messwerte)**

Die folgende Tabelle 10 zeigt die spezifischen Kosten für ein Szenario zur Reinigung der Spree unter Nutzung der vom LfULG vorgegebenen Beispielwässer. Gemäß den Vorgaben der Wasserrahmenrichtlinie braucht es eine Konzentration von 200 mg/l Sulfat oder weniger, um die Spree als im guten ökologischen Zustand zu beschreiben. Dies benötigt bei einer gegenwärtigen, mittleren Konzentration von 370 mg/l Sulfat in der Spree bei einem mittleren Durchfluss von 12,7 m<sup>3</sup>/s eine Frachtverringerung von 2,16 kg/s Sulfat. Unter dem Einsatz des RODOSAN-Verfahrens könnte man unter den in Tabelle 10 angegebenen Kosten die Fracht um insgesamt 1,36 kg/s verringern, sodass weitere 0,8 kg/s auf anderem Wege abgereinigt werden müssten. Dies wird über die Behandlung der Wässer (Abreinigung von Sulfat) aus der Wasserbehandlungsanlage Tzschelln und Burghammer ermöglicht, die zur Spree zuströmen. Eine größere Frachtverringerung ist den Ergebnissen der Studie zufolge wirtschaftlich nicht tragbar, was sich auch aus dem exponentiellen Anstieg der Kosten gemäß Abbildung 14 erklärt.

**Tabelle 10: Spezifische Kosten für ein Szenario zur Reinigung der Spree (nach Umweltziel WRRL) unter Einsatz des RODOSAN-Verfahrens (Wasserbehandlungsanlagen Tzschelln und Burghammer)**

	Jahresdurchsatz [m <sup>3</sup> ]	Sulfat-Konz. [mg/l]		Fracht [kg/s]		Abtrennleistung [%]	spezifische Kosten [€/m <sup>3</sup> ]
		Einlauf	Auslauf	Einlauf	Auslauf		
<b>Tzschelln Stufe 1</b>	27.751.680	1.630	879	1,43	0,79	45	<b>0,82</b>
<b>Tzschelln Stufe 2</b>	27.751.680	897	489	0,79	0,43	25	<b>0,42</b>
<b>Tzschelln gesamt (Tzschelln Stufen 1 + 2)</b>	27.751.680	489		0,43		70	<b>1,24</b>
<b>Burghammer</b>	40.996.800	575	288	0,75	0,37	50	<b>0,49</b>
<b>Burghammer mit vorgeschalteter Nanofiltration</b>	40.996.800	575	288	0,75	0,37	50	<b>0,28</b>

Die Abtrennung von Sulfat aus Wässern muss auch nach derzeitigem Kenntnisstand als technisch aufwendig und relativ teuer angesehen werden. Zwar muss die Zuschreibung „teuer“ für das RODOSAN-Verfahren gemäß dem Verfahrensentwickler im Kontext gesehen werden, doch bleibt es nach gegenwärtiger Einschätzung des LfULG selbst für kleine bis mittlere Flüsse in der Lausitz unverhältnismäßig.

Das RODOSAN-Verfahren zeichnet sich im Vergleich mit Biosorption und Nanofiltration als dasjenige aus, dass, trotz aller zweifelsohne noch offenen Fragen und Entwicklungsbedarf, das am weitesten Entwickelte darstellt. Das Verfahren bedarf dennoch einer stetigen Weiterentwicklung einschließlich der angesprochenen Energieversorgungsproblematik bzw. Energiekosten, die von zentraler Bedeutung sind.

#### 2.4.3 UNTERSUCHUNGEN ZUR SULFATABTRENNUNG MIT DEM ZIEL DER GEWINNUNG VON AMMONIUMSULFATDÜNGER

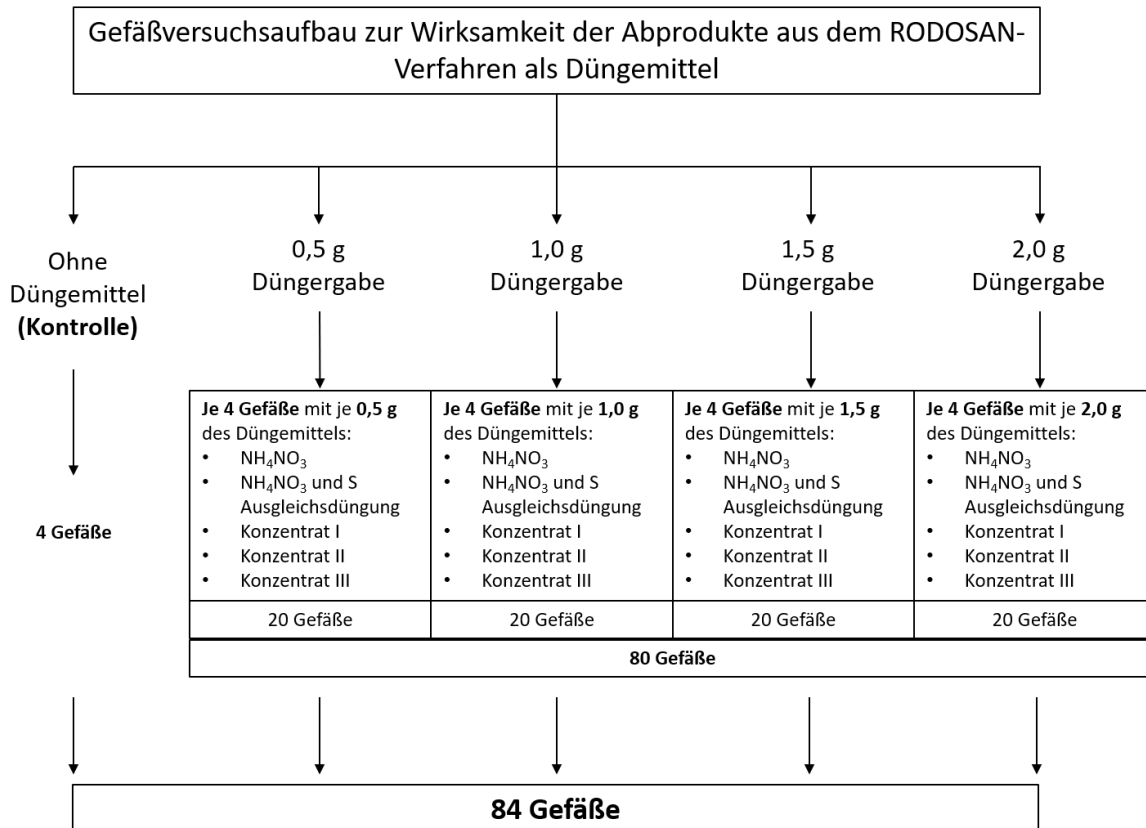


Durch den Reinigungsprozess im Rahmen des RODOSAN-Verfahrens entstehen Abprodukte, also Stoffe, die anfallen und auf die eine oder andere Art und Weise einem Nutzen oder der Entsorgung zugeführt werden müssen. Dazu zählen unter anderem Schwefelsäure und Metallschlämme.

Im Teilprojekt wird der Ansatz bewertet, das RODOSAN-Verfahren durch die Gewinnung (und den Verkauf) von Ammoniumsulfatdünger aus seinen Abprodukten wirtschaftlicher zu gestalten. Dazu gilt es unter anderem folgende Fragen zu klären:

- (1) Welchen Effekt haben die aufbereiteten Abprodukte auf Agrarpflanzen generell und im Vergleich zu konventionellen, mineralischen Düngemitteln? Ist die Wirkung hinsichtlich des Ertrages im Vergleich zu konventionellen, mineralischen Düngern gleichwertig?
- (2) Wie ändert sich die Kostenrechnung für das RODOSAN-Verfahren tatsächlich durch den Verkauf der aufbereiteten Abprodukte als Düngemittel?

Als Grundlage zur Beantwortung dieser Fragen, wurden zwischen 2016 und 2018 am LfULG Düngeversuche durchgeführt. Abbildung 15 zeigt schematisch den Aufbau der Versuche. Dabei handelt es sich um Stickstoffdünger-Versuche. Alle Gewichtsangaben zur Düngemittelzugabe beziehen sich also auf die Masse Stickstoff, die den Gefäßen zugegeben wurde, nicht die Masse an Düngemittelprodukt/Konzentrat. Der Abbildung kann ebenfalls entnommen werden, dass insgesamt drei Konzentrate, gewonnen aus den Abprodukten des RODOSAN-Verfahrens, und zwei konventionelle, mineralische Dünger verglichen wurden.



**Abbildung 15: Aufbau der Gefäßversuche je Jahr im Zeitraum 2016-2018 am LfULG in Nossen. Im Jahr 2018 gab es für Konzentrat 1 keine Gefäße.**

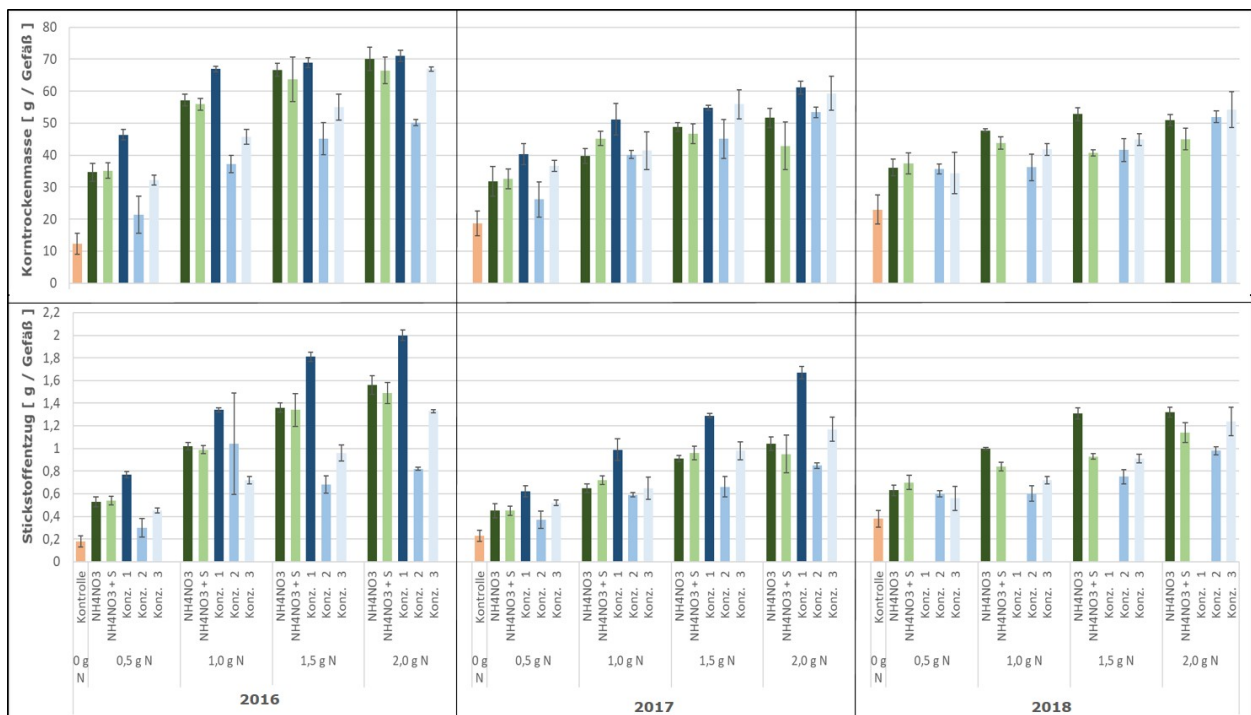
Die in den Gefäßversuchen ermittelten Parameter Korntrockenmasse und Stickstoffentzug wurden einer umfangreichen statistischen Analyse unterzogen.

Gemäß Abbildung 16 weist die Kontrolle für beide Parameter die niedrigsten Werte auf. Alle Zugaben von Düngemittel/Konzentraten verursachen sowohl für Korntrockenmasse als auch Stickstoffentzug selbst bei der geringsten N-Zugabe von 0,5 g höhere Werte als bei der Kontrolle. Innerhalb der Düngemittel/Konzentrate steigen die Korntrockenmassen und Stickstoffentzüge mit zunehmender Düngemittelzugabe. Zwischen den Düngemittel/Konzentraten zeigen sich keine wesentlichen Unterschiede mit Ausnahme von Konzentrat 1, das in allen Jahren die höchsten Werte für Korntrockenmasse und Stickstoffentzug hervorbringt, und dabei teilweise deutlich über den anderen Düngemitteln/Konzentraten liegt.

Folgende Kernaussagen konnten in Folge der statistischen Untersuchungen getroffen werden:

- Es ist eine Düngemittelwirkung aller drei betrachteten Konzentrate aus dem RODOSAN-Verfahren vorhanden. Dies zeigt sich für die betrachteten Parameter Korn trockenmasse und Stickstoffzug im Vergleich zu den Prüfgefäßen ohne Düngemittel-/Konzentratbehandlung.
- Die Konzentrate aus dem RODOSAN-Verfahren unterscheiden sich bei gleicher Massenzugabe Stickstoff nicht von den eingesetzten mineralischen Düngemitteln in ihrer Wirkung auf Korn trockenmasse und Stickstoffzug.
- Die Art der Aufbereitung der Abprodukte des RODOSAN-Verfahrens (speziell die thermische Aufkonzentrierung) hat einen signifikanten Einfluss auf Korn trockenmasse und Stickstoffzug. Dies zeigt sich in den signifikanten Unterschieden zwischen Konzentrat 1 und 2 für beide Parameter. Obwohl Konzentrat 3 in den meisten Fällen geringere Massen hervorbrachte, ist keiner der Unterschiede zu den anderen Konzentraten signifikant.

Die Studie zur Düngewirkung der aus dem RODOSAN-Verfahren gewonnenen Konzentrate kann bestätigen, dass sich nicht nur eine Düngewirkung dieser Konzentrate zeigt, sondern sie sich auch nicht signifikant von zwei ausgewählten, herkömmlichen Stickstoffdüngern unterscheiden. Es bleibt weiterhin offen, ob die untersuchten Konzentrate aus dem RODOSAN-Verfahren bei 10 % Gesamtstickstoffgehalt und einem relativ aufwändigen Herstellungsprozess im Verhältnis zu den mineralischen Düngern wirtschaftlich wettbewerbsfähig sind. Außerdem scheinen weitere Untersuchungen zur Problematik ratsam, da einige der beobachteten Effekte (speziell der Unterschied zwischen Konzentrat 1 und 2) nicht mit Sicherheit erklärt werden konnten.



**Abbildung 16: Mittelwerte und Standardabweichung der Untersuchungsparameter Korn trockenmasse (oben) und Stickstoffzug (unten) des Sommerweizens bei verschiedenen Stickstoffzugaben (N) der Düngemittel/Konzentrate für alle Versuchsjahre (Anzahl der Stichproben = 4)**

#### 2.4.4 REINIGUNGSVERFAHREN SOWIE WIRTSCHAFTLICHE BEWERTUNG UND SELEKTION DER BEST-PRAXIS-VERFAHREN GEGEN ACID-MINE-DRAINAGE



Ziel dieses Teilprojektes war es, aus der Vielzahl von Sanierungsverfahren für saure Grubenwässer (engl. für Acid-Mine-Drainage – AMD) die für die Herausforderungen in der Region geeignetsten Methoden herauszuarbeiten und wirtschaftlich zu betrachten. Hierbei ist das Augenmerk auf bereits national und international erfolgreich angewendete Verfahren gerichtet worden, aber auch neuere Forschungsansätze fanden Berücksichtigung.

Im ersten Schritt wurden die (nicht biologischen) Reinigungsverfahren zur Aufbereitung saurer Grubenwässer übersichtlich dargestellt, wobei auch die Differenzierung in aktive, passive und in-situ-Verfahren näher betrachtet wurde. Zur Ermittlung des passenden Reinigungsverfahrens von Grubenwässern, Fließgewässern und Seewasser wurden, in Abhängigkeit von den Standorteigenschaften, Entscheidungsbäume entwickelt. Außerdem wurden drei Modellgrundwässer definiert, die sich in ihren Ionenkonzentrationen an Eisen und Sulfat unterscheiden. Diese dienten als Berechnungsgrundlage zur Ermittlung von Investitions- und Verbrauchsmittelkosten für vier Verfahren, die unter sächsischen Bedingungen insbesondere bei hohen Eisen-/Sulfat-Frachten eingesetzt werden könnten.

Aufbauend auf der Literaturrecherche wurden alle Best-Praxis-Verfahren gegen AMD zusammengetragen und detailliert beschrieben. Daraus ist für jedes Verfahren ein Steckbrief erarbeitet worden, welcher beispielsweise Aussagen zu Einsatzgebiet, Rahmenbedingungen, Stand der Wissenschaft und Technik, technologischem Prinzip und Wirkungsweise, Wirkungsgrad und Dauer sowie zur Nachhaltigkeit des Sanierungserfolges, Wirtschaftlichkeit, Kosten, Genehmigungsfähigkeit ermöglicht und Fallbeispiele weltweit und in Sachsen benennt.

Ein zusammenfassender Vergleich und die Wirtschaftlichkeitsbewertung der Verfahren erfolgten in tabellarischer Form differenziert nach Anwendung für azidische sowie neutral bis alkalische Wässer. Zudem wurden speziell in Sachsen genutzte Verfahren herausgearbeitet und verfahrensspezifisch in Karten verortet.

Als gesondertes Kapitel im Bericht wurde die Behandlung von AMD in sächsischen Tagebauseen erörtert. Dazu wurde die Möglichkeit, die Seen natürlich versauern zu lassen der Anwendung verschiedener Reinigungsverfahren gegenübergestellt.

Weltweit sind zahlreiche Verfahren zur Aufbereitung der durch den Bergbau verunreinigten Wässer beschrieben (siehe Abbildung 17). In der Praxis wird davon jedoch nur ein geringer Teil eingesetzt. Beispielsweise kommen Neutralisationsverfahren von jeher zum Einsatz und werden für spezielle Einsatzgebiete angepasst und weiterentwickelt.

Entsprechend den regionalen Besonderheiten werden an die Aufbereitung verschiedene Anforderungen gestellt. Mit betrachtet werden muss, inwieweit die Rückgewinnung von Wertstoffen bei der Grubenwasseraufbereitung eine Rolle spielt, wie z. B. die Nutzung von Eisenhydroxidschlämmen. Insbesondere die Behandlung von Wässern stillgelegter erzgebirgischer Gruben des Erzbergbaus erfordert speziell angepasste Technologien, da diese Wässer durch ein breites Spektrum an Schwermetallen charakterisiert sind.

Es wurden Entscheidungsbäume für vier verschiedene Einsatzbereiche gegen AMD entwickelt:

- aktive Grubenwasserbehandlung
- passive Grubenwasserbehandlung

- Behandlung bergbaubeeinflusster Fließgewässer
- Behandlung bergbaubeeinflusster Seen

Weltweit, auch in Deutschland, kommen vorwiegend optimierte aktive Verfahren zum Einsatz, da diese hinsichtlich Größenordnung, Reinigungsfähigkeit, Effizienz und Kosten besser planbar sind. Als Beispiel ist der Entscheidungsbaum für die Auswahl eines Reinigungsverfahrens zur aktiven Behandlung von Grubenwässern in Abbildung 18 abgebildet. Je mehr Behandlungskomponenten die Aufbereitung durchläuft, desto kostenintensiver wird sie. Blau hervorgehoben ist die häufigste Vorgehensweise für die braunkohlenbergbaugeprägten Regionen Sachsens.

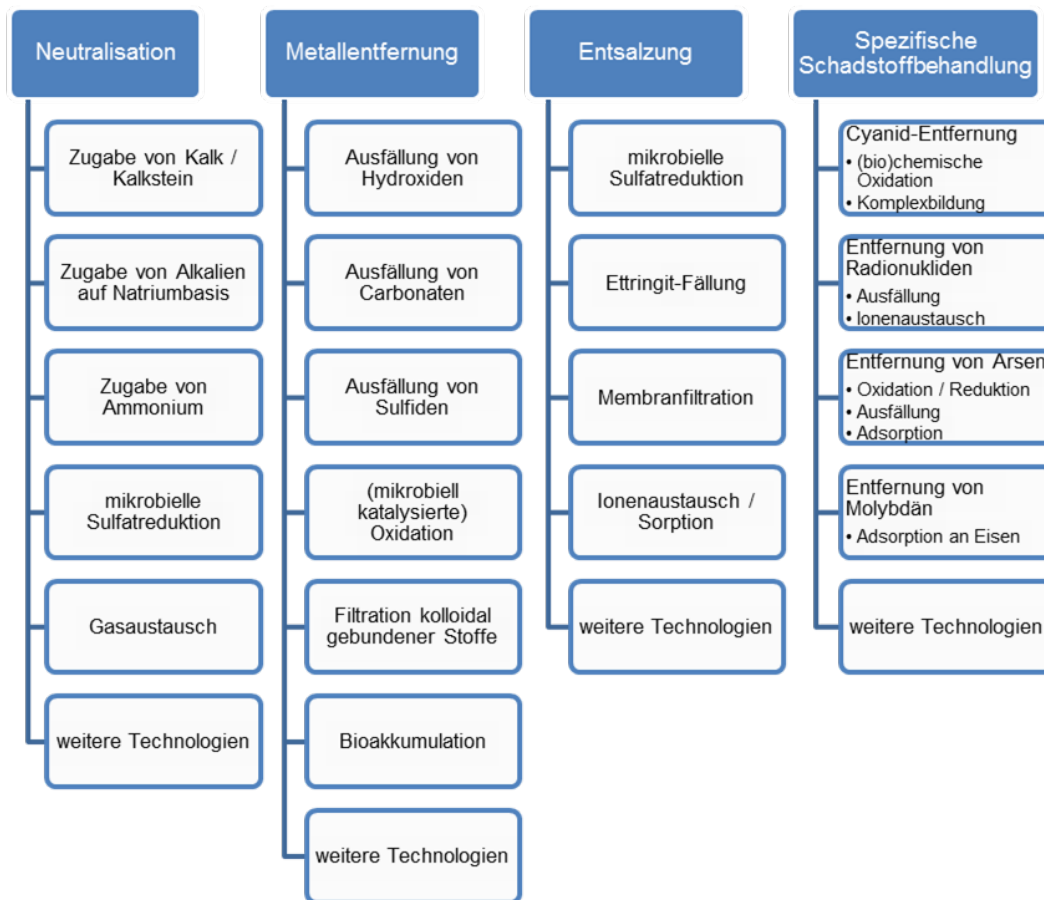
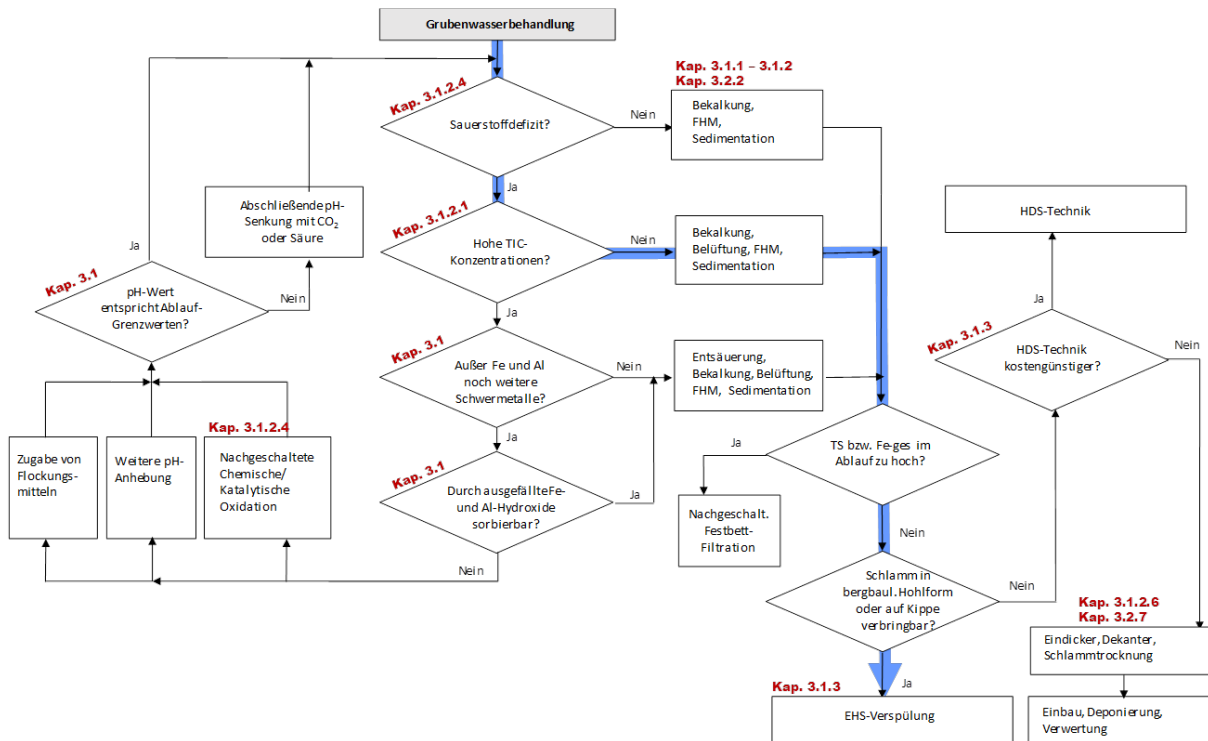


Abbildung 17: Kategorien der Aufbereitungstechnologien – Verfahrensauswahl (INAP, 2014)

Ein Favorit unter den verschiedenen Behandlungsmöglichkeiten gegen AMD lässt sich generell nicht ableiten, da für einen bestimmten Standort nur jeweils ein Verfahren in Frage kommt. Bestenfalls ist eine Anpassung der Reinigungsstufen bzw. eine Optimierung bei technischen Detailfragen möglich. Das Einsatzpotential der einzelnen Behandlungsverfahren in den sächsischen Bergbauregionen ergibt sich in erster Linie auf Grundlage der Parameter Behandlungsvolumina und Eisenkonzentrationen.

Auch bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung konnten für Behandlungskosten (in € pro zu behandelnden m<sup>3</sup> Grubenwasser) bestenfalls Richtwerte für vier in Sachsen anwendbare Verfahren geschätzt werden.

Die Studie zeigt auch, dass insbesondere aktive Verfahren zur Behandlung von AMD erfolgreich eingesetzt werden, es jedoch für die Nutzung passiver Reinigungsverfahren noch Verfahrensoptimierung hinsichtlich Effektivität notwendig wäre.



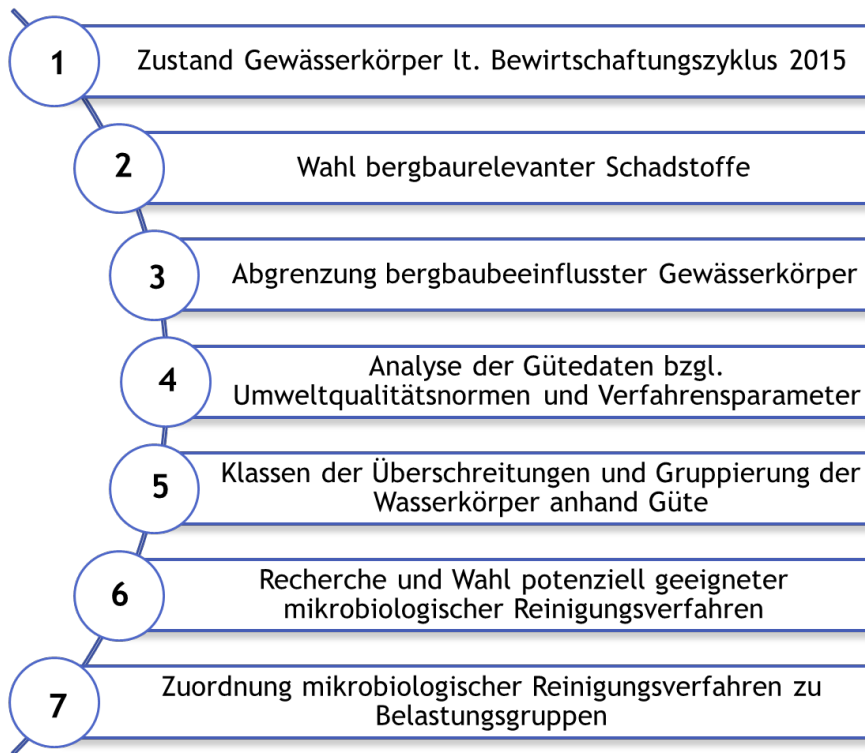
**Abbildung 18: Schema zur Auswahl einer möglichen Verfahrensweise zur aktiven Aufbereitung von Grubenwässern. Blau markiert ist die häufige Vorgehensweise für die braunkohlenbergbaugeprägten Regionen Sachsens. (in rot: Kapitelverweis auf ausführliche Verfahrensbeschreibung im Abschlussbericht)**

## 2.4.5 RECHERCHE UND WIRTSCHAFTLICHKEIT (MIKRO-) BIOLOGISCHER VERFAHREN ZUR REINIGUNG VON BERGBAUWÄSSERN

Bisher existieren nur wenige und unvollständige Übersichten zu Kosten, Leistung, Nachhaltigkeit und weiteren Merkmalen (mikro-)biologischer Verfahren. Ziel der Studie war es deshalb, die Eignung und Grenzen (mikro-)biologischer Reinigungsverfahren für sächsische, bergbaubeeinflusste Grund- und Oberflächenwasserkörper darzulegen. Dabei sollten neben technischen Randbedingungen vor allem auch die Wirtschaftlichkeit der Verfahren recherchiert werden. Anschließend wurde der Einsatz von mikrobiologischen Reinigungsverfahren für einen Oberflächen- und einen Grundwasserkörper in Sachsen beispielhaft konzipiert.

Die Abbildung 19 zeigt übersichtlich die einzelnen Schritte der Herangehensweise. Da bei einer Gewässersanierung die Kosten ein entscheidender Faktor sind, wurden die (mikro-)biologischen Reinigungsverfahren hinsichtlich der finanziellen Aufwendungen bewertet. Dies war aufgrund der relativ geringen Anwendungsfälle schwierig und Kosten konnten teilweise nicht genau quantifiziert werden.





**Abbildung 19: Schritte der Herangehensweise**

Im Ergebnis der Untersuchungen ergeben sich 122 bergbaubeeinflusste Oberflächenwasserkörper (vgl. Abbildung 20) und 24 Grundwasserkörper, die weiter betrachtet wurden. Die regionalen und bergbaubedingten Unterschiede in den Belastungen sind klar erkennbar. Wie zu erwarten, sind die Grundwasserkörper in den Braunkohlenregionen Lausitz und Leipzig hauptsächlich durch Sulfat belastet. In den Mittelgebirgsregionen Sachsens wird die Hauptbelastung durch die Metalle, insbesondere Cadmium, hervorgerufen.

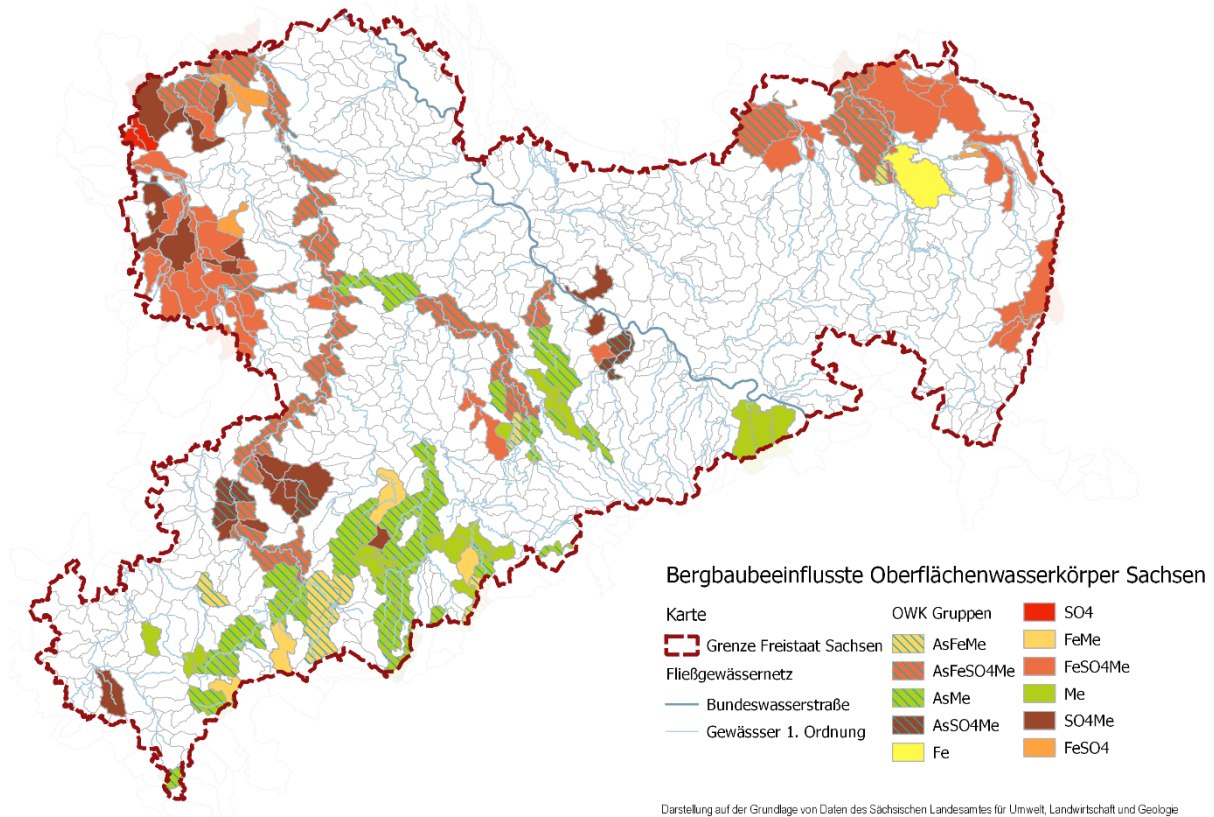
Die vorgenommene Zuordnung der Eignung der Verfahren für die spezifischen Verhältnisse der Wasserkörper (vgl. Tabelle 11) ist keine allgemeingültige Aussage dafür, dass ein Verfahren an einem konkreten Standort des Wasserkörpers die gewünschte Reinigungsleistung erbringen kann. Es ist immer zuerst eine detaillierte Einzelfallbetrachtung durchzuführen.

Die für Sachsen geeigneten Verfahren wurden mittels der Belastungssituation zweier Gebiete spezifiziert und die Wirtschaftlichkeit für konkrete Anwendungsfälle bewertet. Daraus konnten folgende Aussagen abgeleitet werden:

- Der Einsatz mikrobiell basierter Verfahren ist nur für lokale Einsätze und die Behandlung kleiner Volumenströme geeignet.
- Aufgrund der geringen Stoffumsatzraten ist mit einem großen Flächenverbrauch zu rechnen.
- Die Abscheidung von (nicht abbaubaren) Metall(oid-)en aus der Wasserphase produziert immer auch geologische Körper, Sedimente oder Schlämme, die mit den abgeschiedenen Stoffen angereichert sind und für die ein Verwertungs-, Nutzungs- oder Entsorgungspfad gefunden werden muss.
- Durch Einsatz der genannten Verfahren ist nicht per se mit einer Senkung des Betreuungsaufwandes und der Betriebskosten zu rechnen.



Aufgrund dieser Aussagen erscheinen (mikro-)biologische Verfahren für stark belastete und flächenmäßig große bzw. abflussstarke Gebiete derzeit nicht wirtschaftlich.



**Abbildung 20: Belastungsgruppen bergbaubeeinflusster Oberflächenwasserkörper (OWK)**

**Tabelle 11: Prinzipiell geeignete (mikro-)biologische Verfahren für die jeweilige Belastungssituation in den Oberflächenwasserkörpern (OWK)**

Anzahl Belastungsgruppe (Untergruppe)	aerobe konstruierte Feuchtgebiete	anaerobe konstruierte Feuchtgebiete	Reaktoren autotrophe Sulfatredukti	Reaktoren heterotrophe Sulfatredukti	Reaktoren Schwertmannitverfahren
7 Arsen – Eisen – Metalle	+	o SO <sub>4</sub> zu niedrig	- O <sub>2</sub> stört SO <sub>4</sub> zu niedrig Schwebstoffe?	o O <sub>2</sub> stört SO <sub>4</sub> zu niedrig Schwebstoffe?	- zu wenig Fe pH zu hoch
15 Arsen – Eisen – Sulfat – Metalle	- keine Sulfatreinigung	+	o O <sub>2</sub> stört Schwebstoffe?	o O <sub>2</sub> stört Schwebstoffe?	- zu wenig Fe pH zu hoch
24 Arsen – Metalle	o Fe zu niedrig	o SO <sub>4</sub> zu niedrig	- O <sub>2</sub> stört SO <sub>4</sub> zu niedrig Schwebstoffe?	o O <sub>2</sub> stört SO <sub>4</sub> zu niedrig Schwebstoffe?	- zu wenig Fe pH zu hoch
4 Arsen – Sulfat – Metalle	o Fe zu niedrig	+	o O <sub>2</sub> stört Schwebstoffe?	o O <sub>2</sub> stört Schwebstoffe?	- zu wenig Fe pH zu hoch
1 Eisen	+	o SO <sub>4</sub> zu niedrig	- O <sub>2</sub> stört SO <sub>4</sub> zu niedrig	o O <sub>2</sub> stört SO <sub>4</sub> zu niedrig	- zu wenig Fe pH zu hoch
4 Eisen – Metalle	+	o SO <sub>4</sub> zu niedrig	- O <sub>2</sub> stört SO <sub>4</sub> zu niedrig Schwebstoffe?	o O <sub>2</sub> stört SO <sub>4</sub> zu niedrig Schwebstoffe?	- zu wenig Fe pH zu hoch

4 Eisen – Sulfat	- keine Sulfatreinigung	+	o O <sub>2</sub> stört	o O <sub>2</sub> stört	- zu wenig Fe pH zu hoch
24 Eisen – Sulfat – Metalle	- keine Sulfatreinigung	+	o O <sub>2</sub> stört Schwebstoffe?	o O <sub>2</sub> stört Schwebstoffe?	- zu wenig Fe pH zu hoch
17 Metalle	o Fe zu niedrig	o SO <sub>4</sub> zu niedrig	- O <sub>2</sub> stört SO <sub>4</sub> zu niedrig	o O <sub>2</sub> stört SO <sub>4</sub> zu niedrig	- zu wenig Fe pH zu hoch
2 Sulfat	- keine Sulfatreinigung	+	o O <sub>2</sub> stört	o O <sub>2</sub> stört	- zu wenig Fe pH zu hoch
16 Sulfat – Metalle	- keine Sulfatreinigung	+	o O <sub>2</sub> stört Schwebstoffe?	o O <sub>2</sub> stört Schwebstoffe?	- zu wenig Fe pH zu hoch

Symbole: „o“ unter bestimmtem Bedingungen geeignet (grau: Einschränkungen); „?“ Reinigungsleistung unbekannt; „-“ nicht geeignet; „+“ geeignet; „T“ - Temperatur

#### 2.4.6 BEWERTUNG HYDROCHEMISCHER RISIKEN VON BERGBAUFOLGESEEN UND VORSCHLÄGE FÜR DEREN ELIMINIERUNG



Das Ziel dieser Fachstudie war die Bewertung der hydrochemischen Risiken von ausgewählten kleinen Bergbaufolgeseen auf Kippen der Bergbaufolgelandschaft, die Bewertung der Ergebnisse vom Monitoring der Wasserqualität im Grabensystem der drei bereits existierenden Tagebaurestseen (Barbora, Chabařovice und Most) und der Vorschlag einer geeigneten biologischen Reinigungsmethode für das Wasser in der Landschaft nach der Beendigung der Kohlenförderung.

Grundlage zur Abschätzung und Bewertung hydrochemischer Risiken waren die Daten der vorhergehenden Studie des Monitorings von 24 kleinen Bergbaufolgeseen der Typen A-D (siehe Kapitel 2.1.3). Zudem wurden die Zu- und Abflüsse in den Grabensystemen der drei bereits gefluteten Tagebaurestlöcher Barbora, Chabařovice und Most ausgewertet. Datengrundlage waren Messwerte aus Langzeitüberwachungen zum Teil seit dem Jahr 1995 (See Barbora), die nicht im Rahmen von Vita-Min ermittelt wurden.

Als potenzielle hydrochemische Risikofaktoren, die die Wassergüte in ausgewählten kleinen Bergbaufolgeseen gefährden, werden die Eutrophierung, die Nutzung als Fischereigewässer, die Verlandung flacher Seen, die Veränderung des Wasserchemismus im Einzugsgebiet, das Vorkommen spezifischer Schadstoffe, die Entwicklung toxischer Blaualgen sowie die Nutzung zur Erholung gesehen. Mittels der im Projekt gewonnenen Daten wurden diese Risiken statistisch geprüft und kein nachweisbarer Unterschied in der Wasserqualität zwischen den einzelnen Typen der kleinen Bergbaufolgeseen (A bis D, siehe 2.1.3) verzeichnet. Im Jahr 2017 war der Nährstoffcharakter der betrachteten Seen überwiegend oligotroph bis mesotroph.

Die Menge und Qualität des zufließenden Wassers aus dem Einzugsgebiet, die Geomorphologie des Geländes, das Alter, Größe und Tiefe des Gewässers, Nutzung der Umgebung, das Vorkommen von Gewässerflora und -fauna, Bewirtschaftung des Beckens, Aktivitäten des Menschen usw. beeinflussen die Wasserqualität der Bergbaufolgeseen.

Zur Bewertung der hydrochemischen Risiken der Tagebaurestseen wurden Daten zur Wasserqualität in den Zu- und Abstromgräben der drei Seen Barbora, Chabařovice und Most aus dem Monitoring genutzt. Bewertet wurden die Parameter durch einen Vergleich mit den Grenzwerten der Verordnung 401/2015 der Gesetzessammlung und des staatlichen Standards ČSN 75 7221.

Der See Barbora hat zwei grundlegende Zuflüsse – der Zufluss von Otakar und der Zufluss Nordwesten (NW). Langfristig werden diese seit 1995 bzw. 2006 überwacht. Die Qualität des zufließenden Wassers erfüllte die Grenzwerte. Nur in Ausnahmefällen wurden Werte über dem Grenzwert gemessen, die aber kein Risiko für diesen See darstellen. Aufgrund der Tatsache, dass es im Einzugsgebiet des Barbora-Sees keine signifikanten Veränderungen in der Landschaftsstruktur gibt, ist eine signifikante Verschlechterung des Chemismus des einströmenden Wassers im Zusammenhang mit dem Auswaschen von Substanzen aus dem Untergrund unwahrscheinlich. Potenzielle Risiken sind mit Änderungen im Landschaftsmanagement und seiner Nutzung verbunden.

Im Einzugsgebiet des Sees Most wurden sechs Gräben bewertet. In allen Gräben kamen Grenzwertüberschreitungen bei der Mehrzahl der gemessenen Parameter vor. Dauerhaft erhöht sind die Werte von  $\text{SO}_4^{2-}$  und anderen gelösten Stoffen. Das höchste Risiko scheint der Graben JM5 mitzubringen, dessen pH-Wert dauerhaft niedrig ist und um Größenordnungen höhere Konzentrationen an Al, Mn, Fe,  $\text{SO}_4^{2-}$  und  $\text{NH}_4\text{-N}$  vorkommen. Dies gilt in etwas abgeschwächter Form auch für den Graben JM13, in dem Grenzwertüberschreitungen von  $\text{SO}_4^{2-}$ , Ca, Mg,  $\text{NH}_4\text{-N}$ , Mn, Fe ermittelt wurden.

Im Einzugsgebiet des Sees Chabařovice wurden 20 Zuflüsse betrachtet. Die meisten Überschreitungen der Grenzwerte wurden für  $\text{SO}_4^{2-}$  und weitere gelöste Stoffe ermittelt. Das höchste Risiko stellt der Zulauf Profil PV9 dar, der auch am häufigsten und sehr regelmäßig Wasser führt. Der Ammonium- und Gesamtstickstoffgehalt ist konstant hoch und Eisen, Sulfat und Mangan überschritten größtenteils den Grenzwert. Die anderen überwachten Gräben sind wasserarm und waren z. T. fast ohne Wasser.

Das erhöhte Vorkommen einiger Schadstoffe hängt sowohl mit dem geologischen Untergrund, als auch mit dem Bergbau im Untersuchungsgebiet zusammen. Das saure Grubenwasser aus dem Bergbau und das Sickerwasser aus Kippen zählen zu Wässern, die in biologischen Kläranlagen nur sehr schwer gereinigt werden können, weil deren Gehalt an organischen Stoffen und der pH-Wert niedrig sind. Zu den am häufigsten genutzten Reinigungsverfahren dieser Wässer zählen künstliche Feuchtgebiete. Aerobe künstliche Feuchtgebiete mit oberflächlichem Fluss werden zur Entfernung von Eisen- und Mangan genutzt, die unter aeroben Bedingungen ausgefällt werden und sich im Feuchtgebiet absetzen. Anaerobe Feuchtgebiete werden zur Beseitigung von Sulfat eingesetzt. Die Reduzierung der Sulfate erfolgt in einer Schicht organischen Materials, wie Kompost. Eine Erhöhung des pH-Wertes kann durch den Einsatz anoxischer Kalksteindrainagen erzielt werden. Besteht die Notwendigkeit, aus den Gruben- oder Kippenwässern sowohl Eisen und Mangan, als auch Sulfate zu entfernen, werden die einzelnen Reinigungsverfahren in Reihe kombiniert. Einige der untersuchten Zuflüsse waren nur zweitweise im Jahr wasserführend. Vor der Errichtung eines künstlichen Feuchtgebiets muss die reale Stoffbilanz (Durchflüsse, Konzentrationen) bekannt sein. Trotz der Tatsache, dass in den betrachteten Zuflüssen einige Werte einzelner Parameter über dem Grenzwert lagen, behielt die Wassergüte in den betrachteten Seen überwiegend den oligotrophen Charakter mit dem Potenzial der Nutzung als Trinkwasserquelle.

Unabhängig von seiner Herkunft, erfüllt Wasser im Landschaftssystem wichtige ökologische Funktionen, die eng mit dem Wasserhaushalt in Verbindung stehen. Es spielt eine wichtige Rolle bei der Verteilung der Sonnenenergie und trägt somit erheblich zur Stabilisierung des lokalen Klimas bei.

Die Bewertung der hydrochemischen Risiken ergab, dass für die kleinen Bergbaufolgeseen auf Braunkohlenkippen kein Parameter bzw. Risikofaktor ermittelt werden konnte, der diese hinsichtlich Umwelt und Nutzung schwerwiegend gefährden würde.

Im Falle der bewerteten Zuflüsse in die bestehenden Tagebaurestseen kamen erhöhte Werte bei einigen Messparametern vor. Jedoch ist es für eine Risikobewertung und die Planung von künstlichen Feuchtgebieten wichtig, neben den Parametern der Schadstoffbelastung, auch die Durchflüsse und den Zustand des gesamten Standortes einzuschätzen. Ein Graben, der wenig Wasser führt und oft ausgetrocknet ist, stellt kein Risiko dar, auch wenn wiederholt Werte einiger Parameter über dem Grenzwert lagen. Eine Bedingung für die Nutzung von künstlichen Feuchtgebieten ist die Sicherstellung eines dauerhaften Wasserzuflusses in das Feuchtgebiet, damit das Überleben der Pflanzen, die sich an der Reinigung beteiligen, ermöglicht wird. Aus diesem Grund kann für die örtlichen Bedingungen der Braunkohlenkippen und Bergbaufolgeseen kein konkretes Musterbeispiel vorgeschlagen werden.

#### 2.4.7 MOBILE WASSERBEHANDLUNGSANLAGE ZUR ENTEISENUNG UND ENTMANGANUNG VON GRUBENWASSER AUS DER TIEFBOHRUNG OELSNITZ/ERZGEB.



In dieser Studie geht es im Wesentlichen um die Reinigung der Sole aus einer Grundwassermessstelle im Gebiet der Stadt Oelsnitz/Erzgeb. von Fremdbestandteilen, hauptsächlich Eisen und Mangan. Hierfür wurde eine Ausführungsplanung für eine Reinigungsanlage erstellt, die die Stadt Oelsnitz/Erzgeb. in die Lage versetzen soll, diese zu einem späteren Zeitpunkt zu realisieren. Zielstellung ist es, durch die Reinigung der Sole der potentiellen Nutzung dieser im Gradierwerk der Stadt Oelsnitz/Erzgeb. näher zu kommen.

Die folgende Tabelle 12 zeigt vorliegende Analyseergebnisse der bisher im Gradierwerk eingesetzten Fremdsole aus Sülbeck („Natursole Sülbeck“) vergleichend mit den vorliegenden und fachlich eingeordneten Analysen aus der Grundwassermessstelle im Gebiet der Stadt Oelsnitz/Erzgeb.

**Tabelle 12: Vergleich Analysedaten**

	Fremdsole Sülbeck (21.10.2019)	Grundwassermessstelle Stadt Oelsnitz/Erzgeb. (09.03.19)	Bemerkung
Eisen (gesamt) [mg/L]		<b>179</b>	<b>Aufreinigung Rohsole Oelsnitz erforderlich</b>
Eisen (II) [mg/L]	< 0,1	<b>160</b>	
Mangan [mg/L]	0,12	<b>3,91</b>	
Natrium [mg/L]	128.200	5.660	Nutzung Rohsole Oelsnitz führt zu verringerten Salzgehalten im Gradierwerk
Chlorid [mg/L]	198.200	14.000	
Leitfähigkeit [mS/cm]	248	37,5	
TDS [mg/L]	ca. 330.000	ca. 30.000	

Während die Verringerung des Salzgehaltes im Gradierwerk aufgrund der zu nutzenden geringen Mengen an Sole aus der Grundwassermessstelle unberücksichtigt bleiben kann, ist im Wesentlichen eine Enteisung und Entmanganung für die Nutzbarmachung notwendig.

Auf Basis dieser vorliegenden Wasseranalytik sowie den aus der Literatur und Praxiserfahrung bekannten Technologien wird folgende Behandlungstechnologie für die mobile Wasserbehandlungsanlage in Oelsnitz/Erzgebirge vorgesehen:

- Belüftung bei gleichzeitiger pH-Wert-Anpassung mittels NaOH zur Eisenoxidation von Fe(II) zu Fe(III)
- Zugabe von Flockungshilfsmittel
- Sedimentation Eisenhydroxidschlamm
- Erneute Belüftung zur Oxidation von Mangan zu  $Mn^{4+}$ , evtl. Zugabe von  $H_2O_2$  zur Unterstützung der Oxidation
- Adsorption von Mn als  $MnO_2$  im Kalksteinfilter
- Adsorption von AOX im Aktivkohlefilter (bei Wiederanstieg AOX-Gehalt in Rohsole)

Die Anlage wird in einem 20'-Standard-Isocontainer installiert. Der Container wird auf einer geschotterten Lagerfläche unmittelbar neben dem Gradierwerk aufgestellt. Die Anlage ist weiterhin aufgrund des pilottechnischen Charakters mit einem geringen Automatisierungsgrad konzipiert. Daher sind nach der Inbetriebnahmephase im Regelbetrieb werktägliche Kontrollen inkl. kleinerer Arbeiten (z. B. Auffüllen Chemikalienvorlage, Probenahme, Abziehen Eisenhydroxidschlamm) vorzusehen.

Die Kostenschätzung beträgt mit der obenstehend und im Detail im Abschlussbericht beschriebenen Anlagenkonfiguration ohne Transportkosten 22.786,33 € netto.

Im Abschlussbericht zum Teilprojekt finden sich weitere Details zur Konzeption, einschließlich der genehmigungsrechtlichen Situation, eine detaillierte Anlagenbeschreibung, Informationen zur Ausführung der Anlage, dem Chemikalieneinsatz und weitere Aspekte.





Fossiles Holz in Braunkohlestück der Lausitz in Sachsen  
(Foto: LfULG)

### 3 RESSOURCENSCHONENDE PRINZIPIEN

---

## 3.1 STUDIEN UND ANALYSEN

### 3.1.1 KOMPENDIUM WIRTSCHAFTLICHER UND UMWELTGERECHTER BEST-PRAXIS LÖSUNGEN FÜR BERGBAUFOLGEMANAGEMENT SOWIE AKTIVEN BERGBAU - TEIL 1: WASSERMANAGEMENT LAUSITZ



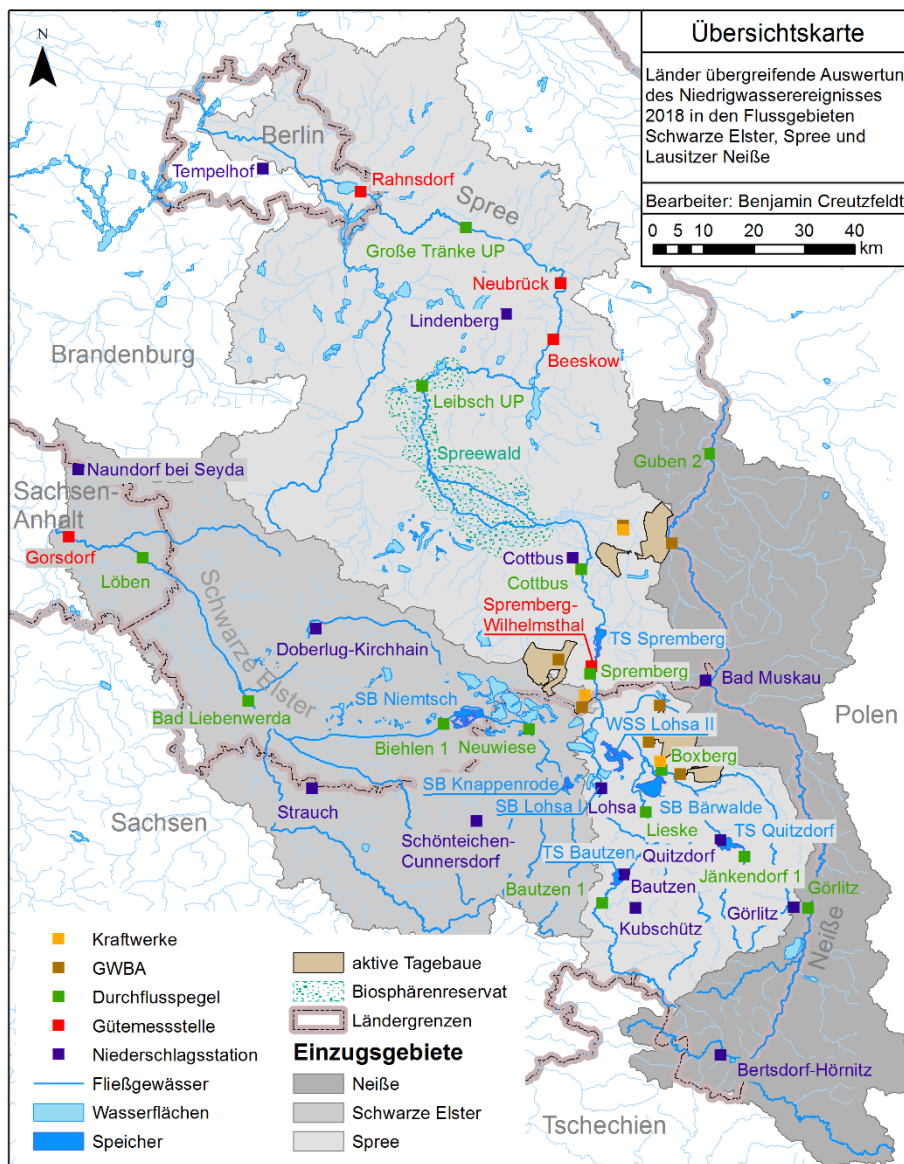
Der Wasserhaushalt in den Flusseinzugsgebieten Spree und Schwarze Elster der Lausitzer Braunkohlenlandschaft ist aufgrund von Wasserhebungen und -ableitungen im aktiven Bergbau und Sanierungsbergbau massiv gestört und angespannt. Insbesondere in den letzten drei Trockenjahren 2018-2020 ist deutlich geworden, dass das verfügbare Dargebot in den Einzugsgebieten der Spree, Schwarzen Elster und Neiße die Ansprüche der Wasserbewirtschaftung nur befriedigend und in bestimmten Grenzen erfüllen kann. Unter dem Gesichtspunkt des Klimawandels und Braunkohleausstiegs dürfte sich die Dargebotsituation weiter verschärfen. Durch den frühzeitigen Braunkohleausstieg bis zum Jahr 2038 entsteht ein zusätzlicher Bedarf an Flutungswasser der mit dem Wegfall von Sumpfungswasser überlappt. Ziel der Studie ist es, auf der Basis von vorhandenen Informationen, den aktuellen Wasserhaushalt und die Bewirtschaftung der Einzugsgebiete sowie die Entwicklung der Mengenbewirtschaftung der Grund- und Oberflächengewässer nach Bergbauende in der Lausitz zu beschreiben. Ausgehend davon sind die Möglichkeiten und Grenzen der Bewirtschaftbarkeit der Einzugsgebiete der Lausitz aufzuzeigen. Darüber hinaus sind Varianten zur Stabilisierung und Förderung des Wasserhaushalts der Lausitz unter dem Gesichtspunkt, dass die Nutzungsansprüche an das Gebiet gleichbleiben oder im Zuge des Strukturwandels (Braunkohleausstieg, Ansiedlung neuer Industrien) weiter steigen könnten, darzustellen.

Das Wasserhaushalts- und Bewirtschaftungsgeschehen in der Lausitz gestaltet sich wegen der Vielzahl von wasserwirtschaftlichen Nutzungen und grenzübergreifenden Einzugsgebieten sehr komplex. Im Braunkohlenrevier Lausitz sind die drei Einzugsgebiete der Spree, Schwarzen Elster und der Lausitzer Neiße von den Aktivitäten der Braunkohlegewinnung betroffen. Tabelle 13 gibt einen Überblick über die Wasserbilanz in den sächsischen Gebietsanteilen der drei Einzugsgebiete. Angegeben ist die Bilanz für den Zeitraum 1988-2010 sowie die Differenz im Vergleich zur Zukunftsperiode 2021-2050. Grundlage dafür ist das Klimaszenario A1B aus WETTREG auf Basis der Wasserhaushaltsmodellierung im Rahmen von KliWES. Negative Werte stellen dabei eine Zunahme dar. Aufgrund der Verringerung der Wasserdarangebote in den nächsten Jahrzehnten als Folge des Klimawandels und der Flutung der Tagebaufolgeseen ist eine wasserwirtschaftliche Gesamtbetrachtung unerlässlich. Es müssen Veränderungen in Menge und Beschaffenheit für Oberflächenwasser und Grundwasser gekoppelt unter den Bedingungen des Ausstiegs aus der Kohleverstromung und dem sich ändernden Klima abgebildet werden. Dazu ist die Fortsetzung der länder- und einzugsgebietsübergreifenden Aktivitäten und die ständige Qualifizierung vorhandener Instrumente notwendig. Die Erstellung neuer Werkzeuge, wie z. B. eines Großraummodells Lausitz und die Fortführung der Tätigkeiten der AG Flussgebietsbewirtschaftung als Koordinierungsstelle, sind erforderlich. Voraussetzung ist eine länderübergreifende Abstimmung zur Verwendung ausgewählter Klimaprojektionen und Wasserhaushaltsbilanzen.

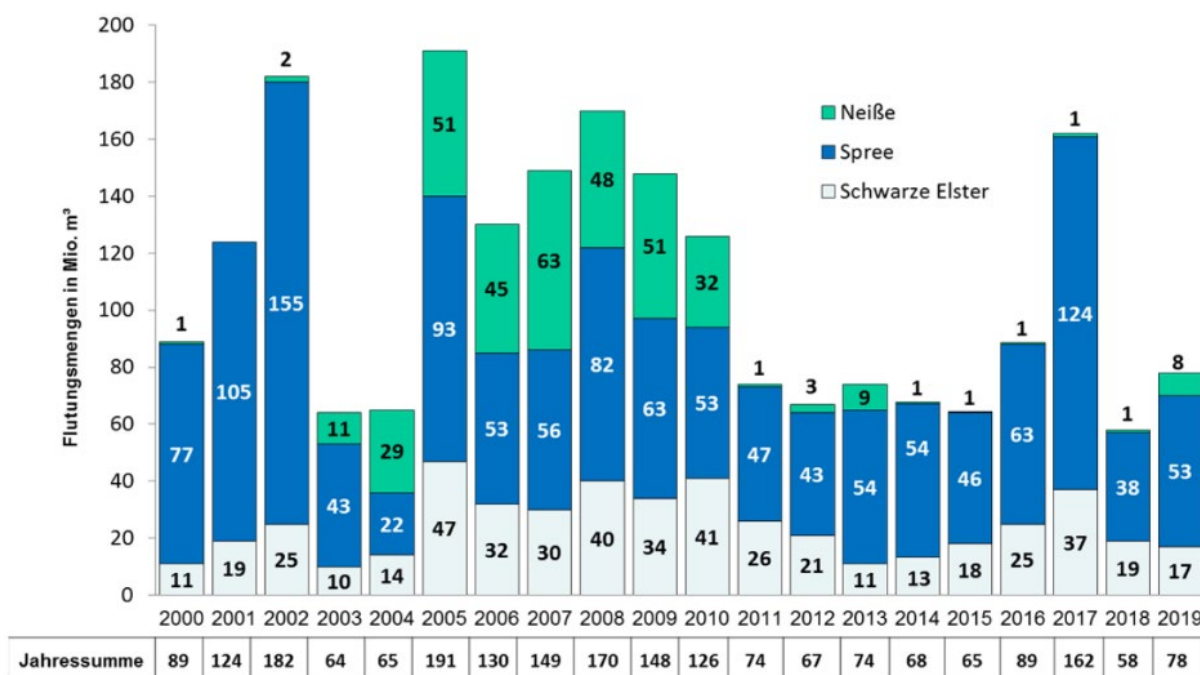


**Tabelle 13: Wasserhaushaltsbilanz 1988-20210 für sächsische Gebietsanteile (negative Werte bedeuten eine Zunahme) (Wasserhaushaltsportal Sachsen, 2020)**

	Spree		Elster		Neiße	
	1988-2010	Differenz 2021-2050	1988-2010	Differenz 2021-2050	1988-2010	Differenz 2021-2050
<b>Niederschlag [mm/a]</b>	787	66	767	64	801	64
<b>Verdunstung [mm/a]</b>	556	-20	592	-13	550	-32
<b>Abfluss [mm/a]</b>	231	85	176	74	251	95


**Abbildung 21: Überblick über die Messstellen und Tagebaue in den Einzugsgebieten Spree, Schwarze Elster und Lausitzer Neiße (AG Flussgebietsbewirtschaftung, 2019)**

Die größten Entnahmen für die Flutung und Nachsorge erfolgen aus der Spree (siehe Abbildung 22). 2019 wurde Spreewasser vor allem für den Wiedereinstau des Bärwalder Sees genutzt. Dies entspricht der Vorrangstellung durch die Einordnung als Speicher innerhalb der länderübergreifenden Bewirtschaftung seit April 2019. Die Sumpfungswässer spielen eine zentrale Rolle für die Stützung des Wasserhaushalts in der Region. Von einer gesamten Wasserhebung der Tagebaue in Höhe von 372 Mio. m<sup>3</sup> wurden 2017 in die Spree 256 Mio. m<sup>3</sup>, in die Neiße 14,1 Mio. m<sup>3</sup> und in die Schwarze Elster 0,9 Mio. m<sup>3</sup> eingeleitet. Die Sumpfungswässer stützen somit entscheidend den Wasserhaushalt in den Flussgebieten Spree, Neiße und Schwarze Elster. Im Trockenjahr 2018 betrug der Anteil der Sumpfungswässer der LEAG am Abfluss der Spree am Pegel Spremberg im Mittel 47 % mit einem Maximalwert von 65 %. Insbesondere in Trockenzeiten führt dies zur Anhebung des Abflusses und ist damit ein wesentlicher Bestandteil zur Gewährleistung von Mindestwasserabflüssen und zur Stützung des Füllungsstandes der noch zu flutenden und der bereits gefluteten Tagebaurestseen zur Sulfatverdünnung. Mit diesem Wasser wird neben der Unterstützung von ökologischen Funktionen auch die Standsicherheit der Kippenbereiche in den Tagebaurestseen gewährleistet. Weiterhin führt dieses Dargebot auch zur schnelleren Auffüllung der Grundwasserabsenkungsbereiche.



**Abbildung 22: Herkunft der Flutungsmengen der Lausitz 2000-2019 (LMBV, 2020)**

Mit dem beschlossenen Ausstieg aus der Kohleverstromung werden sich die bestehenden wasserwirtschaftlichen Probleme erheblich verstärken, irreversible Schädigungen können nicht ausgeschlossen werden. Für die Bewertung von Gegenmaßnahmen sind Prognoseinstrumente zu entwickeln bzw. zu qualifizieren.

Es müssen frühzeitig Instrumente zur Bewertung der Sachlage und der Prognose bereitgestellt werden. Die Länder Berlin, Brandenburg und Sachsen haben sich verständigt, dass das Sulfatprognosemodell für die Spree (SPM) als gemeinsames Ländermodell eingeführt und weiterentwickelt wird. Da das Sulfatprognosemodul Bestandteil der aktuellen Basisvariante WBaImo der Länder ist, werden Grundwasserzu- und -abstromverhältnisse über

die 11 Regionalmodelle der LMBV und LEAG in einem vereinfachten Ansatz berücksichtigt. Sachsen hat gemeinsam mit Brandenburger Behörden über das EU-Projekt Vita-Min ein „Erstellungskonzept für die Großraummodellierung Lausitz“ bereitgestellt. Dies ermöglicht die Kopplung aller Wasserhaushaltskomponenten zur konsistenten Abbildung des Gesamtwasserhaushaltes unter den Bedingungen aktiver Bergbau, Sanierungsbergbau, Klimawandel, der Abbildung von extremen Trocken- und Feuchtperioden und der Abbildung von Stofftransport (Eisen, Sulfat) in weiteren Modellen – auch zur Qualifizierung bestehender Steuerungsmodelle (Menge und Güte). Nunmehr gilt es die Finanzierung der Umsetzung zu klären.

Im Bericht wurden die bereits bekannten Möglichkeiten zur Minderung der Bergbaufolgen zusammengestellt und deren Wirksamkeit (soweit bisher bekannt) abgeschätzt.

- Modelltechnische Zusammenführung aller Wasserhaushalts- und -bewirtschaftungskomponenten
- Überprüfung des bisherigen Anspruchsdenkens an die Gewässer
- Ausbau der Speicherbewirtschaftung durch den Neubau von Speichern im Einzugsgebiet der Spree und Schwarzen Elster
- Nutzung der Neißewasserüberleitung zur Stützung des Wasserhaushaltes
- Stützung des Wasserhaushalts durch Elbewasserüberleitung

Die Bewirtschaftungsziele sind unter den veränderten Rahmenbedingungen des vorzeitigen Braunkohleausstiegs und des Klimawandels zunächst für den Zeitraum der Flutung zu überprüfen und ggf. anzupassen. Dabei ist zwingend aber auch die Zeit nach dem Flutungsende, insbesondere wegen der Seeverdunstung, Seewasserqualität sowie Grund- und Oberflächenwasserqualität in den Blick zu nehmen. Die Wiederherstellung eines sich weitgehend selbstregulierenden Wasserhaushaltes unter den Bedingungen der Entstehung von Seen, Tagebaukippen und Außenhalden mit deutlich veränderter Grundwasserneubildung wird auch aufgrund des Klimawandels erschwert. Vor allem häufigere und länger anhaltende Trockenperioden werden zu erheblichen Konflikten der Wassernutzungsansprüche führen. Hier ist eine politische Entscheidung zu treffen, inwieweit bestimmte Nutzungsansprüche anerkannt werden, die dann ggf. kostenintensive technische Maßnahmen zur Stützung des Wasserhaushalts erfordern.

### 3.1.2 VEREINBARKEIT NEUER BERGBAUAKTIVITÄTEN MIT VORGABEN DER EU - LEITFADEN FÜR BEHÖRDEN, PLANER UND BERGBAUTREIBENDE

Ziel der Studie ist es, einen Leitfaden zu erarbeiten, der Planern, Bergbautreibenden und Behörden zusammenfassend darstellt, welche maßgeblichen Rechtsvorschriften und Maßnahmen/Vorgaben der EU sowie auf Bundes- und Landesebene für die Planung/Genehmigung neuer Bergbauprojekte hinsichtlich des Schutzgutes „Wasser“ zu beachten sind. Zudem werden nachteilige Auswirkungen neuer Bergbauaktivitäten auf das Schutzgut „Wasser“ abgeschätzt und Strategien aufgezeigt, diese zu vermeiden bzw. zu minimieren. Diese Studie soll einen Überblick über potenziell relevante Rechtsvorschriften geben und damit als Orientierungshilfe für Interessenträger dienen. Sie ist deshalb nicht rechtsverbindlich.

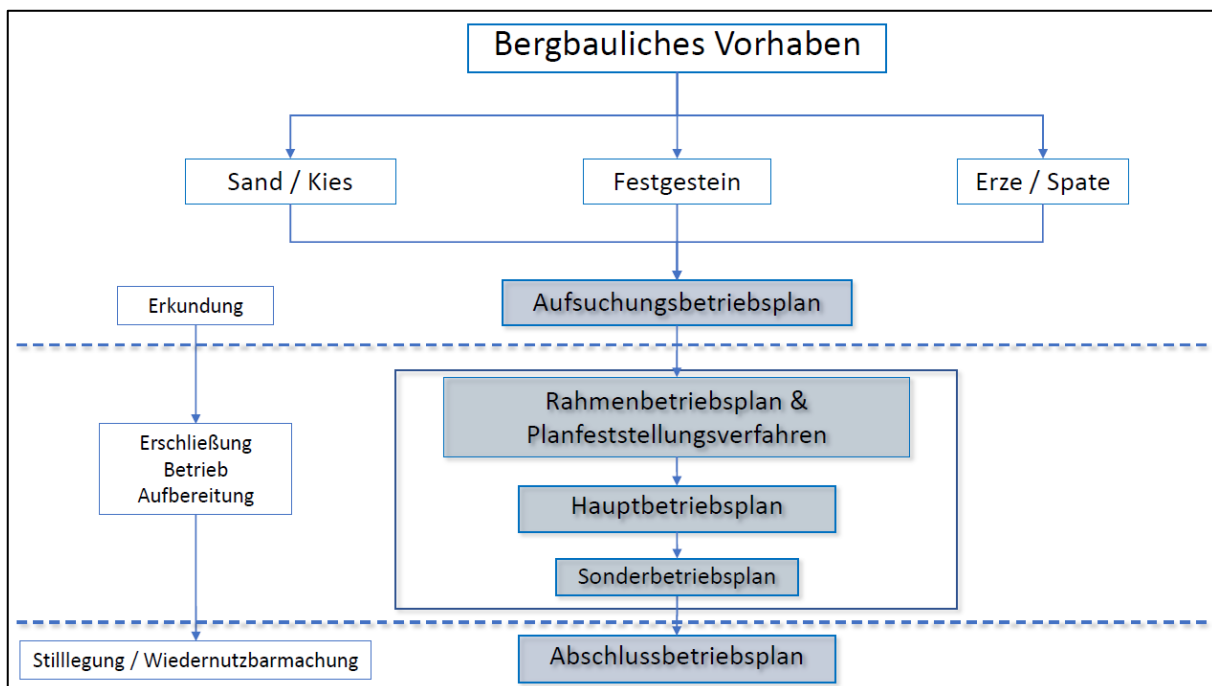
Seit Gründung der Europäischen Union sind die Einzelstaaten bemüht neben dem Wirtschaftsraum auch die jeweiligen Rechtsgrundlagen zusammenzuführen. Aus der Vielzahl der Richtlinien resultieren eine Vielzahl an Bestimmungen, Anforderungen und Berichts-



pflichten. Hinsichtlich der Genehmigungsfähigkeit neuer Bergbauaktivitäten unter dem Gesichtspunkt Gewässerbewirtschaftung sei an dieser Stelle nur auf die Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) hingewiesen. Hierin insbesondere auf die in Artikel 4 aufgeführten Umweltziele zur Erreichung eines guten ökologischen Zustandes bzw. Potenzials und eines guten chemischen Zustandes der Gewässer mit Aufnahme eines Verschlechterungsverbotens als verbindliches Umweltziel. Auf Bundesebene spezifiziert das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) und auf Landesebene in Sachsen das Sächsische Wassergesetz (SächsWG) die europäischen Vorgaben. Die Zuständigkeit für den wasserrechtlichen Vollzug liegt bei den sächsischen Wasserbehörden.

Das Sächsische Oberbergamt (SOBA) gilt nicht als Wasserbehörde. Jedoch bleibt die bundesrechtliche Regelung des § 19 WHG aufgrund der normenhierarchischen Bestimmungen bestehen und richtet sich somit nach örtlicher und sachlicher Zuständigkeit. Wird gem. § 19 Abs. 1 WHG für ein Vorhaben mit Gewässerbenutzung ein Planfeststellungsverfahren durchgeführt, entscheidet die Planfeststellungsbehörde über die Erteilung von Erlaubnis oder Bewilligung. In Sachsen ist dies gem. § 2 BergZustVO das SOBA und damit zuständig für die Durchführung des BBergG. Sieht gem. § 19 Abs. 2 WHG ein bergrechtlicher Betriebsplan die Benutzung von Gewässern vor, so entscheidet die Bergbehörde (hier das SOBA) über die Erteilung der Erlaubnis (im Einvernehmen mit den zuständigen Wasserbehörden).

Die Zulassung von Bergbauvorhaben bedarf laut BBergG eines bergrechtlichen Planfeststellungsverfahrens, wenn das Gewinnungsvorhaben einer Umweltverträglichkeitsprüfung bedarf. Im Zulassungsverfahren sind dazu verschiedene Betriebspläne vorzulegen. Je nach Bergbauphase sieht das BBergG verschiedene Betriebspläne vor. Abbildung 23 vermittelt einen Überblick über die relevanten Betriebspläne.



**Abbildung 23: Übersicht über die einzelnen Betriebspläne der jeweiligen Bergbauphase nach BBergG**

Neue Bergbauaktivitäten und damit einhergehend die Rohstoffgewinnung sind immer mit Eingriffen in Natur und Landschaft verbunden. Jedoch lassen sich nachteilige Auswirkungen auf die Umweltkompartimente durch vorausschauende Konfliktanalysen und entsprechende Strategien bzw. Maßnahmen insbesondere hinsichtlich des Schutzgutes „Wasser“ vermindern oder möglicherweise vermeiden.

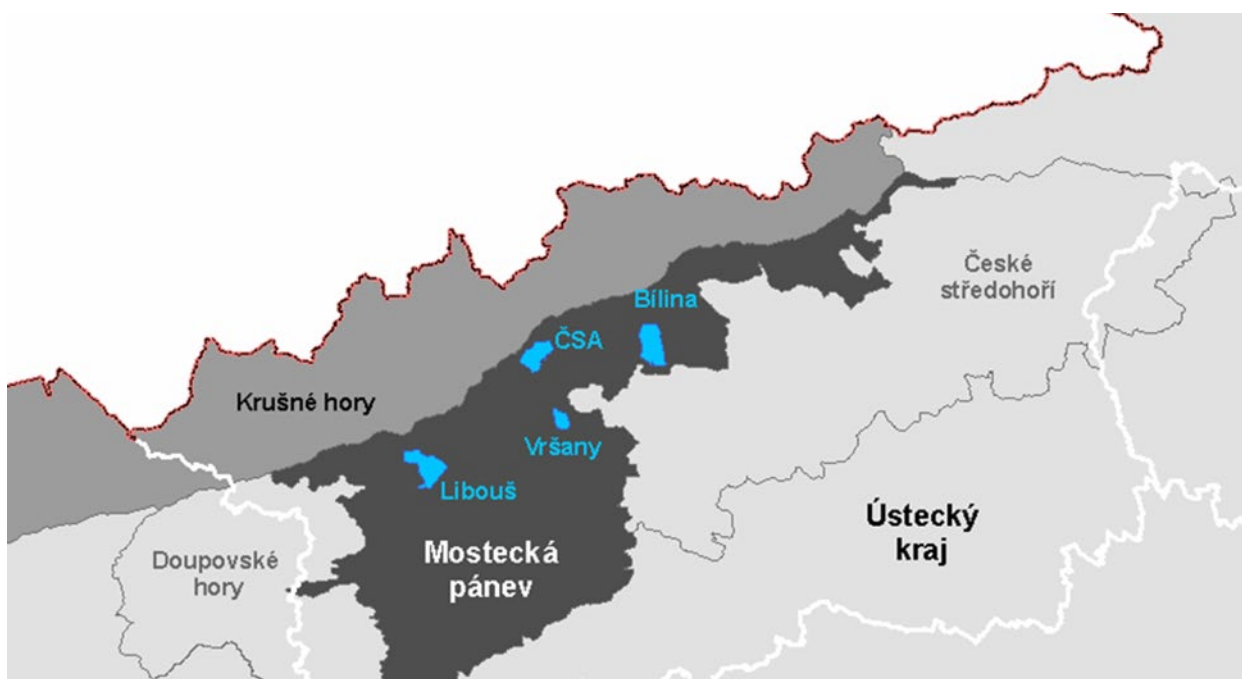
Für die Planung und Genehmigung eines Rohstoffabbaus ist eine umfassende Grundlagenermittlung durchzuführen, wobei unter anderem hydrologisch/ montanhydrogeologische Belange und damit wasserrechtliche Fragestellungen eine wesentliche Rolle spielen. In den Betriebsplanunterlagen sind Details der bergbaulichen Abbauplanung und ggf. auch Variantenuntersuchungen darzulegen. Bestandteil ist beispielsweise auch die Beantragung der wasserrechtlichen Erlaubnis, die eine Beschreibung der Auswirkungen und Angaben zur Vermeidung bzw. Minderung der Auswirkungen bedingt.

Es ist zu empfehlen, dass zukünftige Bergbauerschließungsprojekte und Bergbauaktivitäten prospektive Vermeidungsstrategien frühzeitig konzeptionell einplanen und integraler Bestandteil aller Betriebsplanphasen sein sollten.

### 3.1.3 UNTERSUCHUNG DER BESTEHENDEN HYDROLOGISCHEN UND HYDROCHEMISCHEN SITUATION IM NORDBÖHMISCHEN BRAUNKOHLENBECKEN HINSICHTLICH DER FLUTUNG DER BERGBAURESTLÖCHER



Im Moster Becken befinden sich gegenwärtig vier aktive Tagebaue im Eigentum von zwei Bergbaubetrieben. Es handelt sich um die Gruben Libouš, Bílina, ČSA und Vršany (Abbildung 24). Die Restlöcher dieser Gruben sollen unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen und bergbautechnischen Faktoren abschließend geflutet werden.



**Abbildung 24: Abgrenzung des Moster Beckens und Lage der vier geplanten Tagebaurestseen (Sweco Hydroproject a.s., 2018)**

Da die Gruben des Braunkohlenreviers durch mehrere Bergbauunternehmen betrieben werden, wurden auch die abschließenden Sanierungs- und Rekultivierungsmaßnahmen der Restlöcher getrennt voneinander, ohne breitere Zusammenhänge und Verknüpfungen, geplant. Da es keine Einrichtung gibt, die für ein komplettes Sanierungskonzept im Braunkohlenbecken zuständig wäre, besteht das Risiko unvorhergesehener Ereignisse, welche die aktiven Förderstandorte, Siedlungsgebiete und Ökosysteme negativ beeinträchtigen können.

Eine der grundsätzlichen Voraussetzungen einer langfristig nachhaltigen Wassergüte in den künftigen Seen des Nordböhmischen Braunkohlenbeckens ist die Sicherstellung von Quellen mit qualitativ hochwertigem Flutungswasser und ausreichender Kapazität. Das Ziel der Studie ist also die Erweiterung der bestehenden Erkenntnisse hinsichtlich Quantität und Qualität von potentieller Wasserquellen für die künftigen Seen.

Die Studie ist in vier Teile gegliedert:

1) Recherche bestehender Erkenntnisse

Vorhandene und zugängliche Unterlagen zur Hydrologie und Hydrochemie der Gewässer werden recherchiert, die im Zusammenhang mit der Flutung stehen bzw. die Wechselwirkungen zwischen Bergbau und Wasserhaushalt beschreiben (Studien, Untersuchungen, Forschungen, Gutachten, Projekte, Analysen, Pläne usw.). Das Ergebnis ist eine Zusammenfassung zu Hintergrundmaterialien, einschließlich einer Bewertung ihrer Bedeutung für die weitere Nutzung.

2) Definition und Charakteristik des Interessengebiets

Das Interessengebiet dieser Studie wird durch die Wassereinzugsgebiete der 4. Ordnung gemäß dem hydrologischen Verzeichnis der Tschechischen Republik vom 1.1.2018 definiert. Die festgelegten Einzugsgebiete der einzelnen Tagebaue schließen also sämtliche Einzugsgebiete der 4. Ordnung ein, die sich stromaufwärts über den Entnahmestellen für die Flutung befinden. Es wurde eine Verifizierung der Wasserscheidelinien, die die gegenwärtige Form der Landschaft berücksichtigen, durchgeführt. Zudem wurde die grundlegende Charakteristik des Interessengebiets, einschließlich der historischen Zusammenhänge und der langfristigen Entwicklung der Wassermanagementsituation, sowie eine Beschreibung des Wassermanagementsystems mit grundlegenden Prinzipien und Verfahren für den Umgang mit Wasser ausgearbeitet.

3) Hydrologische Charakteristiken der betreffenden Wassereinzugsgebiete und Flussläufe

In diesem Teil werden die Abflussverhältnisse der einzelnen Wassereinzugsgebiete der künftigen Seen detailliert analysiert. Für die einzelnen verifizierten Einzugsgebiete werden die Niederschlags-Abflussverhältnisse erarbeitet. Im nächsten Schritt erfolgt die Analyse der hydrologischen Verhältnisse der einzelnen Flussläufe in diesen Wassereinzugsgebieten. Die Flussläufe wurden kartiert und sämtliche bedeutende Wasserumleitungen, Entnahme- oder Überleitungsstellen, die den Durchfluss beeinträchtigen können, erfasst. Diese werden ausführlich hinsichtlich der Dauer, Menge und dem Grad der Beeinflussung bezogen auf den mittleren Abfluss charakterisiert.

In den kartierten Abschnitten der Flussläufe wurden repräsentative Profile ausgewählt (Profile mit wesentlichem Einfluss auf den Durchfluss), bei denen die Fehlerfreiheit der berechneten hydrologischen Daten mit gemessenen hydrologischen Daten belegt wird, die vom Tschechischen hydrologischen Amt (ČHMÚ) bereitgestellt werden. Ein Profil wurde als Profil für die mögliche Wasserentnahme zur Flutung des entsprechenden

Restloches bestimmt. An diesen Profilen erfolgte ebenfalls die Berechnung der höchstmöglichen Entnahme von Oberflächenwasser für die Flutung des Restloches und für die darauffolgende Phase der dauerhaften Sicherstellung des Zuflusses in den See. Diese Berechnung resultiert aus den gegenwärtigen Parametern der Restlöcher und berücksichtigt den Erhalt des minimalen Durchflusses.

#### 4) Hydrochemische Charakteristika der betreffenden Flussläufe

Hier erfolgt die Analyse der hydrochemischen Verhältnisse der einzelnen Flussläufe im Interessengebiet. Die erstellte hydrologische Karte wird für jeden Flusslauf um Daten über den hydrochemischen Zustand und Beeinflussung des Flusslaufes ergänzt. Im Falle der Flussläufe, die künftig für die Flutung der Restlöcher genutzt werden sollen, erfolgte eine ausführliche Bewertung der langfristigen Entwicklung der Wasserqualität auf Grundlage der bestehenden Daten, die im Rahmen der Recherche ermittelt wurden.

Kompakt zusammengefasst ergaben die Betrachtungen zur Flutung der vier Restlöcher folgende Schlussfolgerungen:

#### Restloch Libouš

- potenzielles Flutungsprofil: Bach Hačka ca. 1150 m unter dem Zusammenfluss mit dem Bach Hutná II
- niedrige verfügbare Durchflüsse zwischen 0,052 und 0,254 m<sup>3</sup>/s (aufgrund der Steuerung des wasserwirtschaftlichen Systems und Berücksichtigung des Staubecken Dřínov)
- im Wassereinzugsgebiet des natürlichen Flussnetzes ist bei Einhaltung des minimalen Bestandsdurchflusses keine Wassermenge für die Flutung des Sees verfügbar
- der ursprüngliche Sanierungs- und Rekultivierungsplan sieht vor, das Wasser aus dem Fluss Ohře über die Pumpstation Rašovice und weiter über den industriellen Wasserzubringer (PPV) in den Fluss Hačka und von da über den Zufuhrkanal in das Restloch zu leiten
- Qualität des Wassers im Fluss Hačka ist für die Flutung des Sees nicht geeignet (Überschreitungen von Grenzwerten für Verunreinigungen)
- Empfehlung: Nutzung der Pumpstation Tušimice, da diese langfristig finanziell günstiger ist und das qualitativ gute Wasser der Eger genutzt wird

#### Restloch ČSA

- potenzielles Flutungsprofil: Bílina pod Ervěnickým koridorem mit Durchflüssen zwischen 0,332 m<sup>3</sup>/s und 0,366 m<sup>3</sup>/s
- Nebenquelle: Fluss Loupnice unter dem Zusammenfluss mit dem Bach Jiřetínský potok
- Aus der Bewertung der Durchflüsse im Gewässer Loupnice resultiert, dass es keine freien Durchflussmengen für die mögliche Flutung des Restlochs ČSA verfügt
- im Wassereinzugsgebiet des natürlichen Flussnetzes ist bei Einhaltung des minimalen Bestandsdurchflusses und Sicherstellung der Entnahmen nur eine geringe Wassermenge zur Flutung verfügbar
- das Wasser aus dem Fluss Bílina kann aber für die Flutung des Restloches nicht als wesentliche Quelle in Betracht gezogen werden; qualitativ wäre das Wasser für die Flutung mehr oder weniger gut geeignet
- Empfehlung: Nutzung des Wassers der Ohře als grundlegende Wasserquelle

### Restloch Bílina

- potenzielles Flutungsprofil: Fluss Bílina über dem Zusammenfluss mit dem Bach Braňanský potok mit Durchflüssen zwischen 1,709 m<sup>3</sup>/s und 1,860 m<sup>3</sup>/s
- potenzielles Nebenprofil: Bach Loučenský potok unter der Mündung der Bäche Radčický und Lomský potok
- Einzugsgebiet des Restlochs Bílina sind bei Einhaltung des minimalen Bestandsdurchflusses und Sicherstellung der Entnahmen entsprechende Wassermengen Flutung verfügbar, jedoch werden Grenzwerte für Verunreinigungen an der entsprechenden Messstation überschritten
- Empfehlung: das Wasser aus dem Fluss Bílina nicht als alleinige Wasserquelle betrachten; als alternative Hauptwasserquelle eignet sich wiederum das Wasser aus dem Fluss Ohře

### Restloch Vršany

- Kein bedeutendes Gewässer in Umgebung
- Für die Flutung des Restloches wird mit Wasser aus der Eger gerechnet (über die Pumpstation Stranná und den industriellen Wasserleiter Nechranice (PVN))
- Es handelt sich um einen See ohne Durchfluss

Unter Berücksichtigung der Abflussverhältnisse im Interessengebiet der vier aktiven Tagebaue sowie sämtlicher Bedingungen (Erhaltung der minimalen Durchfluss-Bestandswerte, Sicherstellung der Wassermenge für die Entnahmen usw.) wurde ermittelt, dass als Hauptwasserquelle für die Flutung der Restlöcher der Fluss Ohře (Eger) zu nutzen ist. Als Sekundärquelle können der Fluss Bílina oder die erzgebirgischen Bäche für die Flutung in Betracht gezogen werden. Allerdings ist deren Zustand stark von aktuellen hydrologischen Bedingungen und den Randbedingungen des wasserwirtschaftlichen Systems, das den Steuerungsregelungen unterliegt, abhängig.

Für den Fluss Ohře (Eger) ist die Aufrechterhaltung der Mindestdurchflüsse von 8 m<sup>3</sup>/s unter dem Wasserwerk Nechranice wichtig. Für die Flutung von Tagebaurestlöchern können maximal ca. 1,5 m<sup>3</sup>/s als mögliche Entnahmen bereitgestellt werden (nach Mitteilung des Betriebs Povodí Ohře, státní podnik).

Basierend auf den ursprünglichen Sanierungs- und Rekultivierungsplänen, die von den Bergbauunternehmen ausgearbeitet wurden, wird die Rekultivierung durch Flutung der Restlöcher im betroffenen Gebiet 39 Jahre dauern und ca. 119 Millionen m<sup>3</sup> Wasser erfordern. (vgl. Abbildung 25).



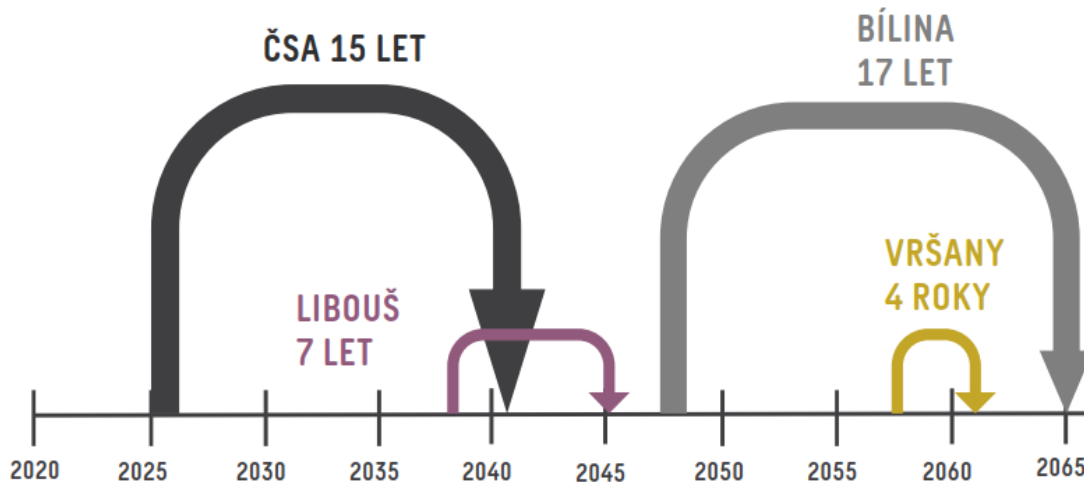


Abbildung 25: Zeitachse für die Flutung der Seen (Sweco Hydroproject a.s., 2018)

### 3.1.4 BEWERTUNG DER LANGFRISTIGEN ENTWICKLUNG DER WASSERQUALITÄT IN DEN BERGBAURESTSEEN IM NORDBÖHMISCHEN BRAUNKOHLLENBECKEN



Bereits in der Vergangenheit entstanden einige kleinere Wasserflächen durch die Flutung von Kleinsteibrüchen. Bis auf ein paar Ausnahmen handelte es sich damals hierbei allerdings um eine natürliche Flutung von den bestehenden Restlöchern, die ohne den menschlichen Eingriff auskam. Auf dieser Art und Weise entstanden eher kleinere und seichtere Seen. Eine Ausnahme bildet der See Barbora bei Teplitz, der in den siebzigern Jahren letzten Jahrhunderts ganz natürlich ohne menschliche Einwirkung geflutet wurde. Dieser See ist bis zu 60 Metern tief. Seine vergleichsweise außergewöhnliche Tiefe ermöglichte den Wissenschaftlern hier eine weitreichende limnologische Forschung zu betreiben, die unter anderem zum Ergebnis brachten, dass es sich hier wie vorher angenommen um ein sehr sauberes und qualitativ hochwertiges Gewässer handelt. Die hier gewonnenen Erkenntnisse über die Wasserqualität in solchen tiefen Seen waren sehr lange Zeit die einzige Informationsquelle für das Vorhersagen der möglichen Entwicklung von der Wasserqualität in den gefluteten Restlöchern, die durch die Flutung der weitaus großflächigeren und tieferen Tagebaue entstehen sollten.

Die ersten zwei großen Tagebaue, die ihre Tätigkeit am Ende des letzten Jahrhunderts beendeten und durch deren gesteuerte Flutung kürzlich die ersten großflächigen und tiefen antropogenen Seen entstanden, sind der ehemalige Kohle-Steinbruch Chabařovice (See Milada) und der ehemalige Kohle-Steinbruch Ležáky-Most (See Most). Beide Seen werden bei deren gesteuerten Flutung von Beginn an monitoriert, und die bisherigen Ergebnisse bestätigen, dass die Stratifikation des Seewassers und die hier natürlich verlaufenden Prozesse eine Garantie für die Erreichung eines qualitativ hochwertigen Seewassers gewährleisten.

Ziel dieser Studie ist es, die langfristige Entwicklung der Wasserqualität der Tagebaurestseen im Nordböhmischem Braunkohlenbecken zu bewerten. Dazu werden die Gewässergüteparameter der drei bereits gefluteten Seen Barbora, Milada und Most bewertet. Die Betrachtungen umfassen den Zeitraum von Flutungsbeginn bis -ende sowie die langfristige, perspektivische Entwicklung der Gewässerqualität. Diese Ergebnisse unterstützen die

Bewertung der Qualität möglicher Flutungsquellen und deren Einfluss auf die Gewässergüte geplanter Tagebaurestseen. Außerdem können Aussagen zu möglichen Schlüsselfaktoren getroffen werden, die die Wasserqualität beeinflussen.

Der See Barbora liegt 250 m über dem Meeresspiegel, hat eine Gesamtfläche von etwa 63 ha, eine maximale Tiefe von 60 m und eine Durchschnittstiefe von etwa 23 m. Das Seevolumen wird auf etwa 11,5 Millionen m<sup>3</sup> geschätzt. Der See ist lediglich auf Zuflüsse aus dem eigenen Einzugsgebiet angewiesen und das Wasser fließt aus dem See in den Bach Bouřlivec ab. Nach der Beendigung des Bergbaus im Jahr 1973 verblieben am Boden Reste des Kohleflözes. Mit Flutungsanstieg des Wassers verschlechterte sich die Stabilität der Abrauhänge sowie der inneren Berghalden, was zahlreiche Erdbeben zur Folge hatte. Die Qualität des Wassers wurde anfangs stark durch den Kontakt mit dem zurückgebliebenen Kohleflöz beeinflusst. Obwohl keine Daten zur damaligen Wasserqualität vorhanden sind, handelte es sich wohl um rostige Bergbauwässer. Die Wasserqualität wurde im Laufe der Zeit durch natürliche Prozesse besser, sodass der See bereits in den achtziger Jahren eine große Attraktivität erlangte. Seit 1985 fand ein unregelmäßiges Monitoring des Wassers im See statt, seit 1996 wird jedoch regelmäßig beprobt (vertikales Profil an der tiefsten Stelle sowie am Zufluss und am Abfluss). Die Ergebnisse der seit der Hälfte der achtziger Jahre bis zur Gegenwart durchgeführten Messungen weisen auf ein bemerkenswert stabiles Milieu hin. Obwohl sich die Ionenzusammensetzung relativ ungewohnt entwickelte, behielt das Wasser seine hohe Qualität und zeigte keinerlei Anzeichen beginnender Eutrophierung. Der See Barbora dient als praktisches Beispiel, wie gut und qualitativ hochwertig das Wasser in einem gefluteten Tagebaurestloch sein kann. Er wird seit langem intensiv für eine Reihe von Freizeitaktivitäten genutzt, insbesondere zum Tauchen, Segeln und Schwimmen.

Die Flutung des Restloches Chabařovice (See Milada) wurde im Jahr 2001 begonnen. Als Quelle für die Flutung diente das Oberflächenwasser aus dem nicht weit entfernten Stausee Kateřina. Ab 2005 trugen auch alte Tagebauwässer aus Überlaufbohrungen zur Flutung bei, die nicht mehr als 9 % des Gesamtflutungswassers ausmachten. Der Betriebswasserpegel im See Milada wurde in der ersten Hälfte 2010 erreicht und die Flutung beendet. Der Wasserspiegel des Sees Milada hat eine Höhe von 145,7 m über dem Meeresspiegel, eine Fläche von 252,2 ha und eine maximale Tiefe von 25,3 m. Das Volumen wird auf etwa 35,6 m<sup>3</sup> geschätzt. Nach der Flutung ergaben Messungen eine hervorragende Wasserqualität. Auch geringe Anzeichen beginnender Eutrophierung, stellen bisweilen kein großes Risiko dar. Einige Indikatoren am Grund des Sees haben sich verschlechtert, insbesondere die mit der Abnahme der Sauerstoffkonzentration, vor allem im Herbst, zusammenhängen. Für die weitere Nutzung des Sees stellt das aber kein Problem dar. Die meisten Wasserqualitätsparameter haben sich seit Flutungsbeginn in 2001 erheblich verbessert und entsprechen den Umweltqualitätsstandards. Ein negativer Trend ist die Zunahme der Ionenkonzentration im Wasser, insbesondere Sulfat, das den eingestellten zulässigen Grenzwert überschreitet. Nach Beendigung der Flutung aus dem Stausee Kateřina dient als einzige Wasserquelle der gesteuerte Zufluss aus den Überlaufbohrungen mit alten Tagebauwässern.

Die Flutung des Sees Most begann im Jahr 2008 und wurde nach sechs Jahren in 2014 beendet. Als einzige Wasserquelle diente das aus dem Fluss Eger gepumpte Wasser, das durch den industriellen Zuleiter Nechranice zugeführt wurde. Insgesamt wurde der See mit 75,139 Millionen m<sup>3</sup> Wasser gespeist, was ungefähr 4,7 Millionen m<sup>3</sup> mehr als das Volumen des Restloches ist. Der Wasserspiegel liegt 199 m über dem Meer, es hat eine Fläche von etwa 308,05 ha und eine maximale Tiefe von 75 m. Das Seevolumen wird auf 67,6 Millionen m<sup>3</sup> geschätzt. Noch vor Flutungsbeginn sammelte sich am Boden der Grube Wasser mit einem Volumen von etwa 1,1 Millionen m<sup>3</sup>. Es wies eine hohe Salzkonzentration und damit

einhergehend eine hohe Wasserdichte auf (Messwerte: gelöste Stoffe 2400 mg/l, Sulfate 1500 mg/l, Leitfähigkeit 270 mS/m). Im Gegensatz dazu wies das zur Flutung zugeführte Wasser aus der Eger eine sehr geringe Salzkonzentration und niedrigere Wasserdichte auf (Konzentration gelöste Stoffe 250 mg/l). Daher blieb es auf der unteren Schicht schwimmen, mischte sich nicht und verschloss diese, so dass die chemische Zusammensetzung der unteren Schicht, einschließlich ihrer Temperatur, die etwa 9 °C höher war als in den darüber liegenden Schichten, bewahrt wurde. Anschließend bildete sich zwischen diesen beiden Schichten zusätzlich eine etwa 10-15 cm dicke Übergangsschicht breit. In den kalten Jahreszeiten der folgenden Jahre wurde beim Mischen der oberen Schicht durch Wind die Übergangsschicht dünner und die Salzkonzentration nahm auch in der unteren Schicht langsam ab. Im Kontrast dazu ist die Salzkonzentration in der oberen Schicht leicht gestiegen. Die vollständige Durchmischung war 2014 abgeschlossen. Die Endzusammensetzung des Wassers wird hauptsächlich durch den Fluss Eger geprägt. Aus dem langfristigen Monitoring geht hervor, dass sich bei den meisten Parametern seit Flutungsbeginn bedeutend verbessert (verringert) haben, entweder aufgrund des Zuflusses von Wasser mit einer geringeren Konzentration (Leitfähigkeit, Salz) oder aufgrund der im See ablaufenden Prozesse (Nährstoffe, ungelöste Substanzen, Metalle). Ausnahmen sind der biologische Sauerstoffbedarf, der chemische Sauerstoffbedarf, Ammoniumstickstoff und Chloride, die auf dem gleichen Niveau bleiben oder geringfügig höher sind. Dennoch liegen ihre Konzentrationen weit unter den festgelegten Grenzwerten für Umweltqualitätsstandards. Nach Beendigung der Flutmaßnahmen des Sees Most im Jahr 2014 genügten nahezu alle untersuchten Parameter den gültigen Grenzwerten für Oberflächengewässer (in der Regel mit großem Spielraum). Lediglich Sulfate machten bis zu 81 % und gelöste Stoffe 52 % der jeweils festgelegten Grenzwerte aus und dies unter der Annahme einer steigenden Tendenz, die sich in den darauffolgenden Jahren auch bestätigte. Ebenfalls bestätigt wurde die Annahme, dass die hohe Tiefe des Sees zu einer Oligotrophie führen wird. Dies zeigt sehr deutlich der Vergleich mit dem See Chabařovice, wo es bei geringer Tiefe alljährlich zum Auftreten von Sauerstoffdefiziten kommt, trotz geringer Nährstoffzufuhr aus der Umgebung.

Auf Basis des umfangreichen Monitorings der bestehenden Tagebaurestseen wird die Eutrophierung als größter Risikofaktor hinsichtlich einer Verschlechterung der Wasserqualität in solchen Gewässern eingeschätzt. Eine bedeutende Rolle spielt hierbei der Phosphor, der als wichtigster Nährstoff die Trophie der stehenden Gewässer in Mitteleuropa prägt. Dieser wird im Sediment zurückgehalten und kehrt nur begrenzt in die Wassersäule zurück. Eine Verringerung des Wasserzuflusses nach der Flutung der neu angelegten Seen, einhergehend mit der Verringerung der Phosphorzufuhr, führt zu einer Oligotrophie in diesen Seen. Eine massivere Zufuhr von Phosphor würde jedoch zu einer Eutrophierung tiefer Seen und den damit verbundenen negativen Folgen führen (insbesondere verringerte Wassertransparenz, pH-Schwankungen und das Auftreten von Cyanobakterien). Dies könnte dann eintreten, wenn beispielsweise die Seehänge mit Erholungsobjekten bebaut und die Abwässer in die anliegenden Seen geleitet würden. Die Lösung besteht darin, konsequent die Zufuhr von Phosphor zu vermeiden.

Basierend auf den Ergebnissen des 2017 durchgeführten Monitorings der potenziellen Wasserquellen (Profile PV1-PV10) für die Flutung der Restgruben können diese als zufriedenstellend oder zumindest akzeptabel in ihrer aktuellen Qualität bewertet werden. Trotzdem ist es für einige der Flutungsquellen zweckmäßig, Parameter mit schlechteren Werten (Phosphor, ungelöste Substanzen, polyaromatische Kohlenwasserstoffe, Quecksilber) zu verbessern und damit Verschmutzungsquellen zu minimieren. Das Wasser aus der Eger ist aufgrund einwandfreier Wasserqualität zur Nutzung als zusätzliche Flutungsquelle geeignet.

Aus dem Monitoring geht ebenfalls hervor, dass sich eine schnelle Flutung der Restlöcher, um die Bodenabrasion zu vermeiden, als unbegründet erwiesen hat. Hinsichtlich der Wasserqualität ist es erforderlich, möglichst tiefe Seen zu errichten und Maßnahmen, die die Durchschnittstiefe verringern, einzuschränken. Die Wasserqualität kann man auch durch den Bau von Sedimentationsbecken und flachen Feuchtgebieten mit zahlreichen Wasserpflanzen nachhaltig verbessert werden. Bereits während der Flutungsplanung sollte ein Schema zur langfristigen Überwachung der Wasserqualität erarbeitet werden, das kostengünstig und arbeitssparend ist. Es sollte jedoch repräsentative Aussagen zur Entwicklung der Wasserqualität mit maximalem Informationswert ermöglichen. Die bisherigen Erfahrungen bilden hierbei eine solide Grundlage für die Formulierung eines solchen Monitoringprogramms.

### 3.1.5 BEWERTUNG DER BESTEHENDEN KONZEPTE FÜR DIE HYDRISCHE REKULTIVIERUNG IM NORDBÖHMISCHEN BRAUNKOHLLENBECKEN HINSICHTLICH DER OPTIMIERUNG DER WASSERWIRTSCHAFTLICHEN LÖSUNG



Diese Studie bewertet die bestehenden Flutungskonzepte für die Tagebaurestlöcher ČSA, Vršany, Libouš und Bílina anhand aktualisierter hydrologischer und hydrochemischer Rahmenbedingungen. Insbesondere der prognostizierte Klimawandel könnte einen dauerhaften Wasserverlust in den Jahren nach der Flutung der ehemaligen Gruben verursachen.

Die hydrologischen und hydrochemischen Bedingungen jeder Lokalität wurden ausführlich im Rahmen weiterer Studien des Projektes Vita-Min analysiert. Diese Studie erfasst zusätzlich die Änderungen der Abflussverhältnisse der betroffenen Gebiete und deren hydrogeologischen Aspekte. Mittels mathematischer Modelle konnten hydrologische Bilanzen ermittelt werden und anhand deren Ergebnissen wurden die bestehenden Flutungskonzepte des aktuell gültigen Sanierungsplanes (=Basisvariante) beurteilt. Die konzeptionellen Modelle GR4L und TUW kamen dabei zur Anwendung. Die Methodik zur Schätzung der potenziellen Evapotranspiration wurde basierend auf dem Abgleich mit Referenzdaten des Sees Most festgelegt. Dies sind für die Verdunstung von der Wasserfläche die Methode nach VÚV1 und für die Verdunstung aus dem Einzugsgebiet die Methode nach Oudin.

Die mathematische Modellierung simulierte die Höhenlinie der Wasseroberfläche, auf der sich der Wasserstand nur durch Zufluss von Niederschlagswasser aus dem Seeinzugsgebiet einpendeln würde. Für die Simulation der Restlochflutung wurden die innerhalb der letzten 30 Jahre gemessenen klimatischen Werte der Messstation Kopisty (für die Seen Most, Bílina, Vršany und ČSA) und der Messstation Tušimice (für den See Libouš) herangezogen. Als Varianten wurden auch Simulation auf Basis globaler und regionaler Klimamodelle durchgeführt. Genutzt wurden hierfür die Klimaszenarien RCP 2.6, RCP 4.5 und RCP 8.5. Neben der Ermittlung des Wasserstandes, diente die Modellierung auch der Bestimmung des Wasserbedarfs aus externen Quellen, um den Betriebswasserstand auf einem stabilen Niveau zu halten.

Die Ermittlung der stabilen Wasserstände ergab für alle noch entstehenden Tagebaurestseen, verursacht durch zunehmende Verdunstung, ein niedrigeres Niveau als ursprünglich geplant. Nur für die Seen Most, Vršany und ČSA ist mit einem stabilen Wasserstand zu rechnen. Für Libouš und Bílina wird die Möglichkeit der Schaffung von durchflossenen Seen mit Gravitationszufluss sowie -abfluss erwogen. Mit den klimatischen Veränderungen erhöht sich

die Intensität der Evapotranspiration. Die Stabilisierung der Wasseroberfläche in den Seen erfolgt dann auf einem noch wesentlich niedrigeren Niveau, als zu den gegenwärtigen klimatischen Bedingungen.

Die Simulationen der Wasserstände ergab die in der Tabelle 14 aufgeführten Werte. Zusätzlich wurde die minimale Höhenlinie hinzugefügt, die einen Gravitationsabfluss aus dem Restloch ermöglicht (auch wenn nicht für alle Rekultivierungsobjekte vorgesehen).

**Tabelle 14: Ergebnisse der Simulation der Wasserstände**

	<b>Niveau des Wasserspiegels [NHN]</b>				
	Basis-variante	Minimalwert für Gravitationsabfluss	errechnet nach aktuellem Klima	errechnet für die nahe Zukunft	errechnet für die ferne Zukunft
<b>See Most</b>	199,0	230,0	172,0-173,7	167,2-173,1	159,8-170,9
<b>See ČSA</b>	180,0	230,0	149,2-152,3	142,6-147,5	126,5-146,2
<b>See Vršany</b>	205,0	235,0	188,2-190,5	184,8-189,0	181,7-188,1
<b>See Libouš</b>	275,2	275,2	236,2-236,4	231,7-235,5	225,8-232,7
<b>See Bílina</b>	200,0	200,0	129,9- 131,6	122,5-126,8	105,5-124,8

Sollten die Tagebaurestlöcher doch auf das ursprünglich geplante Niveau geflutet werden, dann nur unter der Voraussetzung, dass diese dauerhaft durch eine externe Wasserquelle unterstützt werden. Die gewünschten Bedarfe der externen Unterstützung für die unterschiedlichen Varianten der Klimabedingungen sind in der nachstehenden Tabelle 15 aufgeführt. Zusätzlich werden die Werte der möglichen hydrogeologischen Subvention angegeben, insofern sie aus hydrogeologischen Studien hervorgehen.

**Tabelle 15: Wasserbedarfe für ausgewählte Seen im Nordböhmischem Braunkohlenbecken für unterschiedliche Varianten der Klimabedingungen**

	<b>Bedarf an externer Wasserzufuhr [l/s]</b>			Möglichkeit der hydrogeologischen Wasserzufuhr
	errechnet nach dem aktuellen Klima	errechnet für die nahe Zukunft	errechnet für die ferne Zukunft	
<b>See Most</b>	30,1-31,3	38,2-39,9	45,1 -46,9	unbekannt
<b>See ČSA</b>	46,9-51,5	67,1-70,6	82,2-85,6	bis 42
<b>See Vršany</b>	12,2-14,2	17,9-21,4	24,9-27,8	minimal
<b>See Libouš</b>	138,9	171,3	199,1	minimal
<b>See Bílina</b>	91,4-93,8	151,4-153,7	175,7-179,1	bis 100

Bei starken Änderungen infolge des Klimawandels übersteigt der Bedarf an externer Unterstützung die geschätzten hydrogeologischen Zuflüsse. Die einzige Möglichkeit besteht dann darin, diese zu decken, indem Oberflächenwasser aus Wasserläufen entnommen wird, die zur Flutung verwendet werden oder aber den Wasserstand zu korrigieren. Diese Korrektur ist jedoch nicht so einfach durchführbar, denn die Rekultivierungs-, Sanierungs- und die wasserwirtschaftliche Gestaltung des gesamten Restloches ist an eine enge Spannweite des Betriebswasserstandes angepasst. Sollte das Szenario des Klimawandels ausgewählt werden, das letztendlich nicht zustande kommt, würde es nachträgliche Kosten verursachen, z. B. für die Anpassung der Uferbefestigung. Vor diesem Hintergrund erscheint es am sinnvollsten, einen Wasserstand zu wählen, der zukünftig durch einen kleineren externen Zufluss aus den Oberflächenwässern reguliert werden kann.

Basierend auf der Bewertung aller relevanten Ergebnisse und Erkenntnisse, wurde für jeden zukünftigen Tagebaurestsee die optimale Wasserstandslinie bestimmt, welche Methode der Wasserentnahme zur Flutung zu bevorzugen ist und wie ein langfristiger nachhaltiger Betrieb des Sees sichergestellt werden kann. Es wurde die Lösung zu priorisiert, die realistisch zu erreichen ist, gleichzeitig aber mit der kompletten Wiederherstellung der Landschaft und ihrer Wasserkomponenten einhergeht, was Haupt- und Endziel sein sollte.

Für den Standort des Tagebaues ČSA wird die Basisvariante eines Sees ohne Durchfluss mit einem Wasserspiegelniveau auf 180 m NHN empfohlen. Dieser ist mit dem prognostizierten hydrogeologischen Zufluss und dem Zufluss von Oberflächenwasser aus dem Fluss Bílina (in der Zukunft auch aus dem Fluss Loupnice) langfristig steuerbar. Die Flutung soll mit Wasser aus dem Fluss Bílina erfolgen. Die Höhe des verfügbaren Durchflusses beträgt 332 l/s, welcher durch Wasser aus dem industriellen Zuleiter PVN auf insgesamt 500 l/s erhöht wird. Die Flutungsdauer beträgt 16 Jahre.

Für den Tagebau Vršany wurde die Basisvariante des Sees bestätigt. Es empfiehlt sich dennoch zu überprüfen, ob mit Beendigung der Kohlenförderung auch der hydrogeologische Zustrom in das Restloch endet. Sollte dem so sein, wäre es zu empfehlen, den Wasserstand von den ursprünglichen 206 m NHN auf 189 m NHN herabzusetzen. Dieser entspricht den gegenwärtigen Klimabedingungen und einem Nichtvorhandensein von hydrogeologischem Zufluss. Die Flutung erfolgt durch Entnahme von Wasser aus dem industriellen Zuleiter PVN in Höhe von 350 l/s und würde drei bis fünf Jahre dauern. Da keine Möglichkeit einer dauerhaften Zuführung von Oberflächenwasser aus Flussläufen der Umgebung besteht, kann nur mit dem Zufluss aus dem eigenen Einzugsgebiet gerechnet werden. Mit Hinblick auf die Betriebsdauer des Tagebaues Vršany bleibt noch ausreichend Zeit, um den Zielwasserstand unter Berücksichtigung des fortschreitenden Klimawandels anzupassen.

Für den Standort des Tagebaus Libouš wurden zwei Varianten bewertet und zwar ein durchflossener und ein nicht durchflossener See. Empfohlen wurde die Variante mit einem Wasserstand von 272,5 m NHN, der einen dauerhaften Abfluss in den Bach Hutná II. garantiert. Dieser ist vor allen für die Verdünnung der geklärten kommunalen Abwässer erforderlich. Ein dauerhafter Zufluss in das Restloch über die Innenkippe wäre allerdings auch ein bedeutender Beitrag zur Revitalisierung der gesamten Kippe. Der See würde durch Wasserentnahme aus dem industriellen Zuleiter PPV (Bílina und Eger) in Höhe von 1 m<sup>3</sup>/s innerhalb von 11 Jahren gespeist. Der PPV nutzt Wasser aus der Eger (0,72 m<sup>3</sup>/s) und aus dem Bach Pruněřov. Nach der Flutungsende wird nur die Wasserzufuhr aus dem Pruněřover Bach dauerhaft beibehalten, so dass der See zukünftig seinen Wasserstand halten kann. Um den Wasserzufluss in den See weiter zu verstärken, wäre es möglich die Einmündung anderer

Erzgebirgsbäche zu prüfen. Die ursprünglich angedachte Wasserentnahme aus dem Fluss Hačka wird jedoch aufgrund ihrer technischen Komplexität nicht mehr empfohlen.

Im Falle des Tagebaus Bílina wird empfohlen die Basisvariante zu bevorzugen, also ein durchflossener See mit einem Wasserstand bei 200 m NHN. Diese Variante setzt einen Wasserzufluss von ca. 90 l/s voraus, für die Zukunft jedoch bis 180 l/s. Dabei wird mit einem hydrogeologischen Zufluss von bis zu 100 l/s gerechnet (Altgrubenwässer). In Kombination mit einem permanenten Oberflächenwasserzufluss aus dem Fluss Bílina und aus den Erzgebirgsbächen (Radčický, Lomský, Loučenský) sollte der problemlos See auf diesem Wasserstandsniveau zu halten sein. Die Flutung sollte aus den verfügbaren Zuflüssen des Flusses Bílina (etwa 1 m<sup>3</sup>/s, zum Teil unterstützt durch den industriellen Zuleiter PVN) und aus dem Überleiter des Radčický Baches (0,1 m<sup>3</sup>/s) erfolgen. Die Flutungsdauer beträgt ca. 20 Jahre. Aufgrund des Abbaus der Grube Bílina in der Richtung des Sees Most, besteht die Möglichkeit, beide Seen zukünftig zu verbinden. Dies kann unter Einbeziehung des Flusses Bílina der Stabilisierung des Wasserhaushalts beider Seen dienen. Voraussetzung wäre eine genaue Analyse der hydrogeologischen Verbindung zwischen Restgrube und Altgrubenwassersystemen.

Unter der Annahme, dass die geplanten Termine zur Beendigung des Kohlenbergbaus in den Tagebauen bestehen bleiben, sollte die Flutung deren Restgruben mit dem See ČSA (2026-2042) beginnen, gefolgt von dem See Libouš (2041-2052) und dann mit den beiden Seen Vršany (2058-206/62) und Bílina (2058-2077). Die Verfügbarkeit der angedachten Wasserquellen für die Flutung ist ausreichend, wird sich danach aber etwas verringern, da Teilmengen den Seen dauerhaft zugeleitet werden.

## 3.2 MONITORING

### 3.2.1 EINFLUSS NEUER BERGBAUAKTIVITÄTEN AUF WASSERQUALITÄT UND WASSERMENGE IM RAUM ZINNWALD-CÍNOVEC



Das Variantenspektrum der Bergbauplanungen der Grubenwasserhaltung im zukünftigen Lithium-Bergbau führt zu drei Einleitpunkten: Heerwasser (DE), Bystřice (CZ), Mstišovský potok (CZ). Dabei ist die Herkunft der Grubenwässer abhängig von den Varianten der Grubenwasserhaltung, die strikt getrennt für die Zustände beim Aufschluss der Lithiumlagerstätte, in der Betriebsphase sowie im Dauerzustand nach der Flutung betrachtet werden müssen. Diese drei Phasen sind in den gegenwärtigen Bergbauplanungsdokumenten noch nicht detailliert durchgeplant. Außerdem ist von den Genehmigungsbehörden im Blick zu halten, dass die tschechische Aufbereitung mit Prozesswasser arbeiten soll und dass eine grenzüberschreitende Verbundgrube für den neuen Bergbau wegen der relativ kleinen Lithiumlagerstätte entstehen könnte.

Die Grube Zinnwald liegt im Bewilligungsfeld „Zinnwald“ der Deutsche Lithium GmbH Freiberg. Auf deutscher Seite werden die Grubenwassersysteme der Altgrube von denen der Neugrube strikt getrennt.

Auf tschechischer Seite betreibt die European Metals Holdings Limited das Bergbauprojekt „Cínovec“. Es wird beabsichtigt, die silikatischen Lithiumerze der Lagerstätte abzubauen, aufzubereiten und den Lithiuminhalt in Form von Carbonat zu verwerten (Erzaufbereitung

durch Röst-Laugungs- und Fällungsprozesse zu Lithiumcarbonat). Die Tailings sollen entwässert und trocken auf einer Tailingshalde abgelagert werden, um die Umweltauswirkungen zu vermindern. Die Sumpfung des Grubenfeldes (aktuell Niveau Tiefer Büнау Stolln) und Ableitung der Grubenwässer erfolgt in die Bystřice. Im Ergebnis dessen würde die Grubenwassermenge auf dem Tiefen Büнау Stolln nach der deutschen Seite und weiter in das Heerwasser um 2/3 zurückgehen.

#### Generelle Optionen der zukünftigen Grubenwasserhaltung

Denkbar sind unter anderem folgende Varianten:

- Grubenwassersystem im Tiefbau Grube Cínovec mit dortigem neuen Bergbau unter dem Wasserlösestolln und eigener Wasserhaltung zum dortigen Vorfluter ohne Überlauf auf die deutsche Seite.
- Grubenwassersystem im Altbergbau oberhalb vom Wasserlösestolln der Grube Cínovec mit
  - Entwässerung des wasserführenden Altbergbaus oberhalb vom Stolln wie bisher nach der deutschen Seite auf dem Tiefen Büнау Stolln
  - oder B) genereller Ablauf aus dem wasserführenden Altbergbau in die tschechische Tiefbaugrube zu einem neuen Förderstolln im Seegrund
  - oder C) wie bis 1991 gehandhabt teilweises Abpumpen am Schacht Cínovec I für den Bedarf der Aufbereitung Cínovec und Überlauf auf den Tiefen Büнау Stolln
  - oder D) generelle Abschlagung des gesamten Grubenwassers auf den Tiefen Büнау Stolln nach der deutschen Seite.
- Altbergbau auf deutscher Seite: Es wird die rekonstruierte Grubenwasserableitung weitergenutzt. Dabei kommt es
  - I) zu einer Reduzierung der Wassermenge aus der tschechischen Grube, wenn dort der Tiefbau beginnt und
  - II) nochmals zu einer Reduzierung falls auch das Altbergbauwasser der dortigen Grube selbst genutzt oder in deren Vorfluter abgeleitet wird oder
  - III) zu einer Erhöhung der Wassermenge aus der neuen tschechischen Grube.
- Neue Grube auf deutscher Seite: Diese besitzt laut Planung eine eigene Wasserhaltung mit Überlauf in den Tiefen Hilfe Gottes Stolln. Die einzelnen Abbaubereiche sind mit Teilwasserhaltungen ausgestattet, die einer zentralen Grubenwasserhaltung zufördern. Die für die Grube Zinnwald erforderliche Wasserbehandlungsanlage ist für den untertägigen Einsatz konzipiert worden. Mit einer untertägigen Wasseraufbereitung können redundante Systeme geschaffen werden. Die zum einen die Brauchwasserversorgung in der Grube sicherstellt und zum anderen den Abschlag von Grubenwässern auf ein verträgliches Maß reduziert. Das resultierende Wasser hat Brauchwasserqualität und wird verschiedenen bergbaulichen Anwendungen untertage genutzt. Überschusswasser (nur in Zeiten erhöhter Wasserzuflüsse) wird im Wetter-schacht bis zum Tiefen Hilfe Gottes Stolln gepumpt und fließt auf diesem in das Heerwasser ab.
- Nach Stilllegung der einen oder anderen neuen Grube stellen sich folgende Varianten ein:



- Grube Cínovec säuft ab mit Überlauf wie gegenwärtig nach der deutschen Seite, aber erhöhter Mende.
- Grube Cínovec hat eigene Stollentwässerung und säuft nur teilweise ab. Das Grubenwasser kann wie oben bei A) oder B) ablaufen.
- Die neue deutsche Grube säuft ab. Das Grubenwasser kann in den Tifen Hilfe Gottes Stolln überlaufen.

Die Abschätzung der Grubenwasserhaltungsmengen bei vollständigem Aufschluss für die 1. und 2. Sohle ergibt rund 1,9 l/s bzw. 59.918 m<sup>3</sup>/a. Diese Abflussmengen fänden sich im Heerwasser wieder, insofern keine Brauchwassernutzung zur Anwendung käme. Das einzuleitende Wasser ist durch Arsen und Cadmium geogen vorbelastet.

### 3.2.2 ANALYSE ZU SPEZIELLEN INHALTSSTOFFEN IN GRUBEN- UND HALDENWÄSSERN AUS DEM EHEMALIGEN LUGAU-OELSNITZER REVIER SOWIE INHALTSSTOFFEN DER BÖDEN UND QUELLEN UND ERARBEITUNG VON VARIANTEN FÜR DEREN INDUSTRIELLEN NUTZUNG



Für die Stadt Oelsnitz spielt die perspektivische Entwicklung von durch den ehemaligen Steinkohlenbergbau geprägten Hinterlassenschaften eine zentrale Rolle. Dabei kommt den bergbaugesprägten Wässern entscheidende Bedeutung zu.

Ein wichtiger Aspekt dabei ist das tiefe Grund-/Grubenwasser, das die früheren bergbaulichen Abbaubereiche aktuell fortschreitend flutet und das somit kontinuierlich ansteigt. Es ist wichtig, verlässliche Informationen zu diesen Flutungswässern zu generieren, zu sammeln und auszuwerten. Dies betrifft sowohl den Anstiegsverlauf des Flutungswasserspiegels, als auch die hydrochemische Zusammensetzung des ansteigenden Grubenwassers, deren (hydro-)genetische Besonderheiten und/oder deren altersstrukturelle Zusammensetzung.

Ein zweiter Aspekt und notwendiger lokaler Untersuchungsschwerpunkt liegt in der Haldenlandschaft in und um Oelsnitz begründet. Als Hinterlassenschaften der früheren Bergbauperioden sind die reviertypischen Haldenkomplexe durch eigenständige gesteinspezifische und stoffliche Besonderheiten gekennzeichnet. Sowohl deren petrographische, wie auch mineralogische, lithologische oder pedologische Prägungen wirken direkt auf die Hydrochemie der sich dort bildenden Haldensickerwässer. Diese bilden mit dem Hegebach als gesamtgebietlichem Vorfluter ein gemeinsames lokales Abflusssystem Oberflächenwasser.

Der dritte Aspekt im Projektinhalt bezieht sich auf Ansätze zu einer möglichen Nutzung der Inhaltsstoffe des Grubenwassers oder auch der Haldensickerwässer.

Die drei Arbeitsschwerpunkte des Projekts sind wie folgt untersetzt:

#### Tiefes Grundwasser/Grubenwasser

- Analyse der Entwicklung des ansteigenden Flutungswasserspiegels
- Analyse der Entwicklung der Flutungswasserqualität hinsichtlich Hydrochemie und Gasfracht im Grubenwasser, einschließlich aktueller Statusbestimmung 2018
- Fortführung der Datenreihe zu isotonhydrogeologischen Untersuchungen mit zusätzlicher Berücksichtigung auch von Edelgas-Isotopen

### Haldensickerwässer und Hegebach

- Die Stichtagsmessung für die Untersuchungen der Haldensickerwässer und des Hegebachs erfolgte unter speziellen hydrometeorologischen Randbedingungen mit nahezu Trockenwetterabfluss infolge der lang anhaltenden vielmonatigen Trockenheit in 2018. Insofern repräsentieren die gemessenen Daten nahezu unverfälschten Basisabfluss.
- Gegenüber einer früheren Messkampagne wurde das untersuchte Parameterspektrum auf die systembestimmenden Makrochemismusparameter erweitert.

### Nutzungsmöglichkeiten von Inhaltsstoffen bergbaubedingter Wässer

- Die Analyse ist vordergründig auf das hochmineralisierte Tiefengrundwasser/ Grubenwasser ausgerichtet.
- Es werden balneologische und industrielle Nutzungen diskutiert und bewertet.

Gemäß den drei Arbeitsschwerpunkten im Projekt lassen sich als Ergebnisse folgende Aussagen zusammenfassen:

#### I. Tiefes Grundwasser/ Grubenwasser

Der Wiederanstieg des Grubenwassers unterliegt Schwankungen. Aktuell (in 2018) betragen die Durchschnittswerte des Anstiegs 40 mm/d. Dies ist ein Zuwachs von mehr als 50 % gegenüber beispielsweise der Periode 2012-2014. Der hydrochemische Charakter und die sehr hohe Mineralisation des flutenden Grubenwassers sind seit vielen Jahren weitgehend stabil. Es handelt sich um eine hoch mineralisierte, Na-Cl-geprägte Sole mit einer elektr. Leitfähigkeit von >46 mS/cm.

Aus den isotonhydrogeologischen Untersuchungen ist sehr eindeutig abzuleiten, dass der laufende Flutungsprozess durch sehr „alte“ Wässer generiert wird. Signifikante Jungwasseranteile fehlen.

Die Modellrechnungen auf Basis der Tritium-Messreihe ergeben, dass lediglich ca. 13 % des Wassers innerhalb einer Altersschränke von 30 Jahren liegt (also jünger als 30 Jahre ist). Diese Anteile am Grubenwasser werden über direkt zusitzende Neubildungskomponenten gespeist. Auswertemodelltechnisch sind sie über einen sog. Linearmodell-Anteil abgebildet. Er weist eine mittlere Verweilzeit von 23 Jahren auf und umfasst etwa 20 % vom Gesamtmodell. Der „Rest“ mit etwa 80 % Modellanteil wird über sehr alte, tritiumfreie Grundwasserkomponenten (Tiefenwässer) zugespeist.

Die neu mit in die Untersuchung integrierten Bestimmungen zu den Edelgas-Isotopen bestätigen das aus  $^3\text{H}$  (Tritium),  $^{14}\text{C}$  (Radiokohlenstoff)/ $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^2\text{H}$  (Deuterium)/ $\delta^{18}\text{O}$  und/oder  $\delta^{34}\text{S}$  generierte Bild sehr nachhaltig.

#### II. Haldensickerwässer und Hegebach

Die Schwerpunkte der Schadstoffbelastung der Haldensickerwässer ergeben sich für die Komplexe Deutschland-Schacht-Halden sowie Vertrauen-Schacht-Halde und Kaiserin-Augusta-Schacht-Halde. Auffällig sind Schwermetallgehalte im teilweise hohen mg/l-Bereich (hier insbesondere Zn bis 345 mg/l) sowie bei den Anionen Sulfat (bis 10.000 mg/l) oder bei den Kationen Mg (bis zu 2.000 mg/l). Im Hegebach paust sich das überaus hohe Schadstoffinventar einzelner Haldensickerwässer nur sehr moderat durch. Die Konzentrationserhöhung der Mineralisation im Hegebach zwischen dem Gebietseingang und

dem Gebietsausgang beträgt 75 % (dargestellt über die Leitfähigkeit als Veränderung von 613 auf 1.073  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Der Vergleich 2018 gegen 2013 zeigt für den Hegebach in 2018 tendenziell niedrigere Schwermetallgehalte und höhere pH-Werte. Der Vergleich 2018 gegen 2013 zeigt für die Haldensickerwässer in 2018 z. T. sehr deutlich höhere Sulfat-Konzentrationen. Milieuseitig sind zeitgleich niedrigere Sauerstoffgehalte charakteristisch. Der Vergleich 2018 gegen 2013 zeigt für beide Nebenströme in 2018 niedrigere Sauerstoffgehalte. Im Nebenstrom 1 sind in 2018 auch die Schwermetallgehalte niedriger als in der Vergleichskampagne 2013.

### III. Mögliche Nutzungen von Inhaltsstoffen der bergbaubedingten Wässer

Die Oelsnitzer Sole eignet sich für balneologische Nutzungen. Sie ist in der Zusammensetzung „stabil“. Für Anwendungen bedarf sie einer Aufbereitung. Diese ist mit den Inhaltsstoffen der Sole realisierbar und kann auch so umgesetzt werden, dass sie rechtlich im Einklang mit der Option für z.B. Heilwasser-Anerkennungsverfahren bleibt. Eine weitere Einsatzmöglichkeit der Oelsnitzer Sole kann sich zur Salzgewinnung ergeben. Die Herstellung von Badesalzen oder ggf. auch Salz-Seifen wäre denkbar. Allerdings ist dabei i.d.R. und auch sinnvollerweise eine Kopplung mit balneologischen Kriterien verbunden.

Eine weitere Einsatzmöglichkeit der Oelsnitzer Sole ergibt sich über den Winterdienst als Taumittel. Aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung als Na-Cl-geprägte Sole ist sie im Temperaturfenster knapp unter dem Null-Punkt bis ca.  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  per se gut geeignet. Die Oelsnitzer Sole würde auch die rechtlichen Anforderungen aus der „TL-Streu“ erfüllen können.

Eine Nutzung von Inhaltsstoffen im Sinne von Wertstoffen aus den Haldensickerwässern ist nicht gegeben.

---

### 3.2.3 HYDROCHEMISCHES MONITORING DER GEWÄSSER ZUR BEURTEILUNG DER WASSERQUALITÄT FÜR DIE FLUTUNG DER RESTLÖCHER UND BEWERTUNG DER POTENTIELLEN QUELLEN FÜR EINE KONTAMINIERUNG

---



Im Nordböhmischen Braunkohlenbecken befinden sich aktuell vier aktive Tagebaue im Eigentum von drei Bergbaugesellschaften und zwei Tagebaue im Prozess der Stilllegung. Letztere sind im Eigentum eines Staatsbetriebes und deren abschließende Rekultivierung erfolgt durch Flutung der Restlöcher. Die Flutung ist nach den gegenwärtigen Rekultivierungskonzepten auch für die restlichen vier aktiven Großtagebaue (Libouš, Bílina, ČSA, Vršany) vorgesehen. Dafürsprechen sowohl wirtschaftliche, als auch bergbautechnische Faktoren.

In der Vergangenheit wurden bereits einige Flutungen der Restlöcher kleiner Gruben durchgeführt (Matylda und Benedikt in der Nähe der Stadt Most, Barbora in der Region Teplice). Aber die „großen“ Seen, die bei der Flutung der Restlöcher von Großtagebauen entstehen, unterscheiden sich nicht nur hinsichtlich des akkumulierten Wasservolumens, sondern auch in den Anforderungen an die Kapazität und Qualität der Wasserquelle für die Flutung. Weitere Faktoren, die die Qualitätsentwicklung des Wassers beeinflussen, sind die Stratifikation und Zirkulation des Wassers im See.

Es ist empfehlenswert, sich mit dem Gesamtkonzept der künftigen Flutung der Restlöcher zu beschäftigen. Der Grund ist das Nichtvorhandensein einer komplexen zusammenfassenden

Steuerung der Flutungen. Die grundsätzlichsste Voraussetzung für eine langfristig nachhaltige Gewässergüte in den künftigen Seen ist die Sicherstellung einer Quelle mit ausreichender Wasserqualität für die Flutung.

Tiefe Seen haben ausgezeichnete Selbstreinigungsfähigkeiten und können bis zu einem gewissen Grad den Zufluss von Wasser mit verminderter Qualität, wie z. B. die Natur des Minenwassers, bewältigen. Dies bestätigte sich auch bei den bereits gefluteten Seen Barbora, Milada und Most, als diese bereits während der Flutung den Zustand der Oligotrophie erreichten. Bedenken hinsichtlich einer Versauerung von Bergbaurestseen aufgrund unzureichender Trennung von Altbergbauwässern und des Seewassers wurden nicht bestätigt. Ein schwerwiegenderes Problem wird das Risiko der Eutrophierung und Versalzung der Seen darstellen. Dies sind Prozesse, die sich in einigen Jahrzehnten manifestieren können. Die Wasserqualität im See nach der Flutung wird ausschlaggebend sein. Das Ziel des Monitorings ist daher die Erweiterung der Kenntnisse über die Qualität der möglichen Wasserquellen zur Flutung der künftigen Seen.

Das hydrochemische Monitoring beinhaltet Entnahmen und Analysen von Oberflächenwasserproben an 10 ausgewählten Entnahmestellen (Profil PV 1 bis PV 10, siehe Tabelle 16). Die einzelnen Entnahmestellen wurden gezielt ausgewählt und repräsentieren die Profile der Gewässer, die als Oberflächenwasserquelle für die Flutung der Tagebaurestlöcher in Betracht kommen.

**Tabelle 16: Informationen zu ausgewählten Entnahmestellen im Nordböhmischem Braunkohlenbecken**

Profil Nr. (PV)	Gewässer/ Flusslauf	Zu flutendes Restloch	Koordinate Y	Koordinate X
1	PPV (industrieller Zuleiter)	Libouš	817527.380	993306.646
2	Hačka	Libouš	809057.222	994049.498
3	Bílina	ČSA	797981.309	985796.168
4	Jiřetínský potok	ČSA	796120.870	981707.834
5	Verlegung der Flüsse Šramnický und Černický potoka	ČSA	796137.380	981724.343
6	Loupnice		795930.123	981768.746
7	Bílina	Bílina	791622.419	986430.498
8	Bílina	Bílina	786032.795	987609.495
9	Radčický potok	Bílina	788167.206	982035.302
10	Lomský potok	Bílina	787704.964	980868.965

Das hydrochemische Monitoring wurde im Zeitraum März bis Dezember 2017 mit einem Probenahmeintervall von einer Probe im Monat durchgeführt. Überwacht wurden dabei die in Tabelle 17 aufgeführten Parameter.

**Tabelle 17: Parameter, die im Rahmen des Monitorings der möglichen Oberflächenwasserzuläufe für zukünftige Tagebaurestseen erhoben wurden**

<b>Allgemeine Parameter</b>	t, pH, O <sub>2</sub> , BSB <sub>5</sub> , CSB <sub>Cr</sub> , TOC, P <sub>ges</sub> , N <sub>ges</sub> , N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , RL <sub>105</sub> , RL <sub>550</sub> , NL <sub>105</sub> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Mg, Ca
<b>Mikrobiologische Parameter</b>	ECOLI, ENT, FC
<b>Ausgewählte prioritäre Stoffe</b>	Cd <sub>gelöst</sub> , Ni <sub>gelöst</sub> , Pb <sub>gelöst</sub> , Hg <sub>gelöst</sub>
<b>Ausgewählte spezifische Schadstoffe</b>	Sb, As, Ba, Be, B, Sn, Al, Cr, Co, Mn, Cu, Mo, Se, Ag, V, Zn, Fe, Summe-PAK, Summe-PCB, Kohlenwasserstoffe C10-C40
<b>Ergänzende chemische Parameter</b>	Leitfähigkeit, Na, K, P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , SNK-4,5, SNK-8,3, BNK-4,5, BNK-8,3

Folgende Aussagen konnten auf Basis der Daten des hydrochemischen Monitorings zur Wasserqualität der untersuchten Gewässerläufe getroffen werden:

- Gelöste Stoffe
  - erhöhte Konzentrationen in Profile PV-8 und PV-9 (60 % der Proben lagen über dem Grenzwert)
  - keine Überschreitungen der Grenzwerte: PV-1, PV-3, PV-4, PV-5, PV-6, PV-10
- Sulfatgehalt
  - Überschreitungen korrelieren mit den erhöhten Konzentrationen gelöster Stoffe
  - Keine Überschreitungen bei PV-1, PV-3, PV-5, PV-6, PV-10
- Organische Stoffe (CSB<sub>Cr</sub>)
  - erhöhte Belastungen (v. a. Frühling und Herbst): PV-7, PV-8, PV-9
  - keine Überschreitungen der Grenzwerte: PV-1, PV-2, PV-4, PV-5, PV-10
- Gesamt-Stickstoff
  - Überschreitungen der Grenzwerte: PV-2 (März bis Juni), PV-3 (fünfmal im Zeitraum Juni-November), PV-9 (August bis Dezember)
  - keine Überschreitung: PV-1, PV-4, PV-5, PV-7, PV-10
- Gesamt-Phosphor
  - Überschreitungen: PV-9, PV-8, PV-6 und PV-3 (Juni bis November), PV-7 (Mai bis Juli und im November und Dezember)
- Spezifische Schadstoffe
  - häufigste Überschreitungen: PV-9 (Mangan), PV-8 (Eisen), PV-7 (Quecksilber), PV-6, PV-2
- Mikrobiologische Kennwerte
  - alle Messwerte der Profile entsprechen den Grenzwerten gemäß NV 401/2015 Sb

### 3.3 INNOVATIONEN

#### 3.3.1 NUTZUNG DER ABPRODUKTE AUS WASSERREINIGUNGSANLAGEN ALS WERTSTOFFE

Das Ziel dieser Studie ist es, Lösungsmöglichkeiten für die Nachnutzung von Abprodukten aus Wasserreinigungsanlagen (WRA) zusammenzustellen sowie die Mengen der anfallenden Abprodukte zu quantifizieren. Damit wird auf der einen Seite ein Beitrag zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen geliefert und auf der anderen Seite der Kenntnisstand zur Problematik recherchiert und dokumentiert. Der Fokus liegt dabei auf der Situation in Sachsen.

Die Studie teilt sich in drei wesentliche Arbeitskomplexe, deren Bearbeitung sich wiederum in verschiedene Teilleistungen gliederte und vorwiegend auf Recherchearbeiteten zu Wasserreinigungsanlagen und deren Abprodukten basiert. Von besonderem Interesse war die Prüfung, inwieweit die Verfüllung alter Filterbrunnen in Braunkohlenbergbaugebieten mit Eisenhydroxidschlamm (EHS) als alternative Nachnutzungsoption in Frage kommt. Die Vorgehensweise zur Bearbeitung der Thematik ist Tabelle 18 zu entnehmen.

**Tabelle 18: Vorgehensweise zur Bearbeitung der drei Arbeitskomplexe**

Nr.	Arbeitskomplexe	Teilleistungen
1	Grundlegende Recherche und Darstellung der Wasserreinigungsanlagen (WRA) und ihrer Abprodukte in Sachsen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recherche der in Sachsen eingesetzten Reinigungsverfahren und der entstehenden Abprodukte (vertiefende Betrachtung von Eisenhydroxidschlamm (EHS))</li> <li>Charakterisierung der Abprodukte (u.a. hydrochemische und physikalische Eigenschaften) und deren mögliche Nutzung</li> <li>Aufbereitung der Recherche und Systematisierung der Ergebnisse</li> </ul>
2	Literaturrecherche möglicher Nachnutzungsoptionen von Abprodukten aus WRA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recherche zur Nutzung von Abprodukten aus WRA (international/national)</li> <li>Darstellung der Nutzungsoptionen für die unter Komplex 1 systematisierten Abprodukte und Diskussion vor dem Hintergrund sächsischer Gegebenheiten</li> <li>Prüfung der Verfüllung von Abprodukten (u.a. EHS) in alte Filterbrunnen in den Kippen der Braunkohlenbergbaugebiete als alternative Nachnutzungsoption zum Rückbau von Brunnen</li> </ul>
3	Beispielhafte Dimensionierung von Nachnutzungsoptionen der Abprodukte aus WRA in Sachsen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fallbeispiel für die Verfüllung von EHS in einen alten Filterbrunnen im Kippenbereich der Braunkohlenbergbaugebiete</li> <li>Fallbeispiel für die konkrete Dimensionierung von Nachnutzungsoptionen anfallender Abprodukte einer WRA</li> </ul>

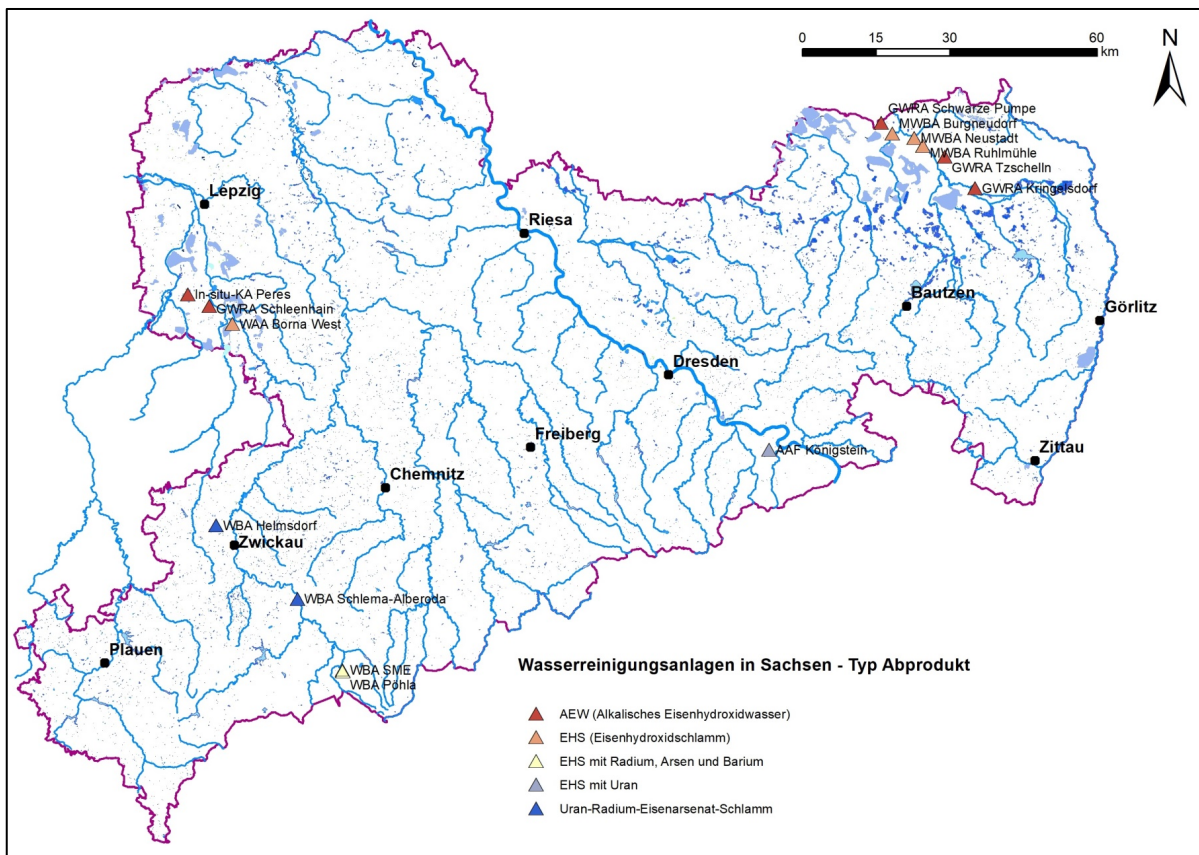
Entsprechend der recherchierten und beschriebenen WRA kommen aktuell in Sachsen folgende Reinigungsverfahren für bergbaubeeinflusste Wasser zum Einsatz:

- konventionelles Kalkfällverfahren (erzeugt dünne Schlämme)



- HDS-Verfahren (High Density Sludge; Kalkfällverfahren mit Schlammrückführung zur Eindickung der Schlämme)
- Bariumchloridfällung (Entfernung von Radium und Arsen)
- Ionenaustauschverfahren (Uranentfernung).

Ausgehend von den verschiedenen Reinigungsverfahren, der Zusammensetzung der Wässer sowie dem Anlagenort entstehen in Sachsen unterschiedliche Abprodukttypen (vorwiegend alkalische Eisenhydroxidwässer und Eisenhydroxidschlämme) mit standortspezifischen Eigenschaften (Abbildung 26).



**Abbildung 26: Abprodukttypen der sächsischen Wasserreinigungsanlagen**

Grundsätzlich ist der Umgang mit anfallenden Rückständen aus Wasserreinigungsanlagen in folgender Reihenfolge zu priorisieren: (1) Vermeidung, (2) Verwertung, (3) Verspülung, (4) Deponierung. Maßnahmen zur Verbringung oder Nachnutzung von EHS sind grundsätzlich genehmigungspflichtig, wobei die geplanten Maßnahmen einzeln geprüft und entschieden werden müssen.

Rückstände können nicht vermieden, jedoch durch Planung und Optimierung des Betriebs der Aufbereitungsanlagen verringert werden. Im Sanierungsgebiet der Lausitz können Maßnahmen, die beispielsweise direkt im Grundwasser wirken, wie hydraulische Barrieren zur Minderung des Grundwasserzustroms, Untergrundwasserbehandlung (Fällung) oder hydraulische Abfangmaßnahmen und Überleitung in einen Bergbaufolgesee, die Eisenfracht in Fließgewässern vermindern.

Die Abprodukte aus sächsischen Wasserreinigungsanlagen werden entweder kostenintensiv entsorgt (deponiert) oder einer Nachnutzung zugeführt. Eine Nachnutzung der Schlämme richtet sich nach deren chemischen Zusammensetzung, der physikalischen Beschaffenheit, der Regelmäßigkeit der Entstehung, der Art der Lagerung, der Lagerungszeit sowie den Möglichkeiten für Verladung und Transport. Für eine stoffliche Verwertung muss der EHS in hoher Reinheit vorliegen, was normalerweise nur bei der Abtrennung in technischen Anlagen realisierbar ist. Folgende Verwertungsmöglichkeiten wurden für die Nutzung in Sachsen recherchiert:

- Verwendung als Adsorptionsmittel
  - in Form von pumpfähigem Schlamm zur Sanierung von Gewässern (Nährstoffelimination)
  - für Schwefelwasserstoff (Geruchsbelästigung) in Kanalisationssystemen
  - in Form von Granulaten z. B. in Turmentschweflern (Faulgasreinigung), zur Regenwasserbehandlung, zur Reinigung von Abläufen aus Kleinkläranlagen, als Absorptionsmasse in Festbettfiltern oder als Filtermaterial in Pflanzenkläranlagen
- Verwendung in der Ziegel- und Keramikherstellung
- Verwendung als Neutralisationsmittel (Verspülung in Bergbaufolgeseen)
- Verwendung zur Abdeckung und Rekultivierung von Flächen
- Verwendung als Flockungshilfsmittel

Eine weitere Möglichkeit der Nachnutzung ist die Verbringung von EHS. Beispielsweise können bei der Rohstoffgewinnung entstehende Hohlräume mit EHS verfüllt werden. Allerdings muss nach dem Verfüllen von Hohlräumen die bergrechtliche Verpflichtung zur Gewährleistung der öffentlichen Sicherheit dauerhaft gegeben sein. Zudem können auf Kippenoberflächen des Sanierungs- und des Aktivbergbaus die EHS als Halde oder Tailing verbracht werden oder in den Kippenkörper des Aktivbergbaus eingebaut werden.

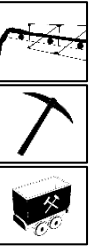
Aus der Auswertung der durch die Betreiber der GWRA/WBA zur Verfügung gestellten Daten sowie der durchgeführten Recherche lassen sich folgende Schlussfolgerungen festhalten:

- Nutzungsoptionen der in Sachsen anfallenden Abprodukte aus GWRA/WBA sind derzeit nur für Eisenhydroxidschlämme gegeben.
- Die Schlammzusammensetzungen des EHS sind von Anfallsort zu Anfallsort verschieden und stark von den Wasserinhaltsstoffen abhängig.
- Daraus resultierend sind die Nutzungsoptionen lokal stark variierend.
- Es wird keine allgemeingültige Nutzungsoption für alle EHS geben.
- Derzeit existiert neben den bestehenden und bekannten Nutzungsoptionen eine vielfältige und intensive Forschung zur Thematik.
- Daraus resultierend kann ein Konglomerat an Lösungen für verschiedene Verwertungsoptionen entwickelt werden.
- Eine Co-Finanzierung der Verwertung durch teilweise wegfallende Entsorgungskosten ist vorstellbar.
- Nicht alle Schlämme werden verwertet werden können.

Mit dem Braunkohleausstieg und dem damit einhergehenden Strukturwandel in den Braunkohlenregionen Sachsens werden sich auch die Mengen an anfallendem EHS zukünftig verändern. Damit werden sich auch die Nachnutzungsoptionen anpassen und mit Weiterentwicklung der technischen Möglichkeiten wandeln. Die Situation muss zu gegebenem Zeitpunkt entsprechend neu bewertet werden.



### 3.3.2 KONZEPT ZU FLÄCHENSPPARENDEN ÜBERTAGEANLAGEN IM ZUKÜNFTIGEN BERGBAU



Der Aufschluss von Lagerstätten, Bau der Betriebsanlagen und das Verbringen der Bergbaureststoffe Übertage bedeuten sehr große unter anderem zeitweilig betriebstechnisch große Flächenverbräuche und Landschaftsveränderungen. Diese können dauerhaft neue Landschaftselemente zurücklassen. Ziel dieser Studie ist es, den Kenntnis- und Erfahrungsstand hinsichtlich der Möglichkeiten flächensparender Übertageanlagen, Wissenslücken und Handlungsbedarf zusammenzutragen sowie die Situation in Sachsen auszuwerten.

Die aufgestellte Bearbeitungskonzeption setzte sich aus vier Hauptschritten zusammen:

- (1) Recherche und Beschreibung der Anforderungen des Bergbaus hinsichtlich des übertägigen Flächenbedarfs, die sich aus dem Stand der Technik ergeben sowie Benennung erkannter Defizite.
- (2) Recherche zur Größenordnung des Flächenbedarfs von Bergbauanlagen in Sachsen und Deutschland sowie zu bereits umgesetzten Maßnahmen zur Flächeneinsparung, zur Erfassung des erreichten Stands der Technik in diesem Gebiet.
- (3) Darstellung der internationalen Erfahrungen zu flächensparenden Maßnahmen im modernen Bergbau.
- (4) Zusammenfassung der Ergebnisse, Ableitung möglicher Maßnahmen und Empfehlungen zur Reduzierung des Flächenbedarfs für den künftigen Bergbau.

Als Ergebnis der internationalen und nationalen Recherchen ergibt sich hinsichtlich des Flächeneinsparpotentials folgende Wichtung der Prozessstufen:

Halden >> Aufbereitung > Grube.

Dies bedeutet, dass das größte Flächensparpotential bei den Halden, d. h. bei der Reststoffbehandlung besteht. Dabei gibt es auch Möglichkeiten der Nachnutzung bereits devastierter Flächen, z. B. Althalden. Das zweitgrößte Potential existiert bei der Erzaufbereitung. In begrenztem Maße können raumeffizientere, kompaktere Aufbereitungsanlagen geplant oder eben geeignetere Aufbereitungsverfahren eingesetzt werden (z. B. Flotation anstelle Dichtesortierung). Geringeres Potential besteht bei den Übertageanlagen der eigentlichen Grube. Dabei kommt eine Untertage-Verlegung von Komponenten und der Bau in die Höhe in Frage.

Aus den Erkenntnissen der Recherche können die in Tabelle 19 aufgeführten wesentlichen Maßnahmen zur Flächeneinsparung im Bergbau angewendet werden.

**Tabelle 19: Wesentliche Maßnahmen zur übertägigen Flächeneinsparung im Bergbau**

Maßnahmenkomplex	Maßnahme	Bemerkung
Reduzierung der übertägigen Flächengröße	<u>Maßnahme 1:</u> Verlegung von Aufbereitungsschritten unter Tage	
	<u>Maßnahme 2:</u> raumeffizientere Aufbereitungsverfahren, kompaktere Maschinenaufstellung und	Effizientes Nachschalten der einzelnen Prozesse

Maßnahmenkomplex	Maßnahme	Bemerkung
	höhere Bauwerke, auch bei den Schachtgebäuden	
	<u>Maßnahme 3:</u> Verlegung von Komponenten der Ver- und Entsorgung des Grubenbetriebes	Bewetterung (Hauptgrubenlüfter), Versatzanlage, Wasserbehandlung...
	<u>Maßnahme 4:</u> Verlegung der Einrichtungen für die Lagerwirtschaft	Sprengstofflager, Ausbaumaterial...
<b>Reduzierung Reststoffmengen: Verwertung, z. B. Baustoffe - Versatz</b>	<u>Maßnahme 1:</u> Nutzung der Reststoffe (Berge) als Versatz oder Umlagerung der Berge in Tagebaue oder auf eine größere Halde	Für die Sicherstellung der Lagestabilität ist die Zugabe eines geeigneten Bindemittels erforderlich.
	<u>Maßnahme 2:</u> Gewinnung von Nebenprodukten (z. B. Baustoffe)	
	<u>Maßnahme 3:</u> Wahl eines geeigneten Abbauverfahrens, welches die Verdünnung des Rohstoffes minimiert.	
<b>Flächenrecycling: Nutzung alter Flächen</b>	Maßnahme: Nachnutzung bereits devastierter Flächen	Nutzung alter Industriebrachen  Nutzung alter Halden
<b>Optimierung des übertägigen Flächenbedarfs</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ein flächensparender Effekt tritt ein, wenn eine einzige moderne Aufbereitungsanlage für Rohstoffe aus mehreren Gruben genutzt wird.</li> <li>- Klassische Beispiele dafür sind mehrere ehemalige Aufbereitungsanlagen der SDAG WISMUT. Zur zentralen Erzsartierung in Schneeberg wurde das Erz aus allen umliegenden Kleinguben geliefert. Eine ähnliche Anlage stand in Johannegeorgenstadt.</li> <li>- So ist es zum Beispiel dringend geboten, auch in Zinnwald/Cínovec nicht mit zwei Aufbereitungen zu arbeiten, nur weil eine Staatsgrenze über die Lagerstätte verläuft.</li> </ul>	

Für die Fragestellung der Optimierung der übertägigen Flächeninanspruchnahme für den zukünftigen Bergbau spielt der Grubenbetrieb selbst nur eine sehr geringe Rolle. Großes Potential für mögliche Optimierungen der übertägigen Flächeninanspruchnahme sind in den Prozessen der Rohstoffaufbereitung und des Reststoffmanagements gegeben, indem Teile in den untertägigen Bereich verlegt werden oder in ihrer Flächeninanspruchnahme effektiv

optimiert werden. Zusammenfassend ist festzustellen, dass national wie international verschiedenste Maßnahmen zur Minimierung der übertägigen Flächeninanspruchnahme umgesetzt wurden, ein durchgreifendes Umsetzen der Maßnahmen aber nicht erfolgt. Die Ursachen dafür sind sehr vielseitig. Zum einen fehlen klare gesetzliche Vorgaben und zum anderen hat in der vorherrschenden Marktwirtschaft die Wirtschaftlichkeit eines Vorhabens einen sehr hohen Stellenwert, so dass sich die Freiwilligkeit für die Umsetzung flächensparender Maßnahmen dem immer unterordnen wird.

Wissenslücken sind nicht vorhanden. Insbesondere bei der Planung neuer Bergbauvorhaben werden stets geeignete Maßnahmen zur Reduzierung/ Minimierung der übertägigen Flächeninanspruchnahme abgeprüft und bewertet.

Bei der Betrachtung möglicher Maßnahmen zur Minimierung des übertägigen Flächenbedarfs muss auch die Wirtschaftlichkeit mit betrachtet werden. Hier kann die Politik wie folgt Einfluss nehmen:

- Direkte Einflussnahme durch geeignete Fördermaßnahmen mit der umweltrelevanten Zielstellung, generell eine übertägige Flächeninanspruchnahme zu verhindern.
- Indirekte Einflussnahme durch erleichterte Finanzierungsmöglichkeiten bei einer Minimierung der übertägigen Flächeninanspruchnahme.

Es wird schlussfolgernd empfohlen:

- Schaffung klarer gesetzlicher Vorgaben, die einen flächensparenden Bergbau bevorzugt und
- Schaffung von Förderinstrumenten, die die Wirtschaftlichkeit flächensparender Maßnahmen positiv beeinflussen kann.

---

### 3.3.3 DIGITALES GRENZÜBERSCHREITENDES HALDENKATASTER SN-CZ

---



Für die sächsischen Reviere des ehemaligen Steinkohlenbergbaus wurde bereits im Auftrag des ehemaligen Landesamts für Umwelt und Geologie ein Steinkohlenhaldenkataster erstellt, dass die einzelnen Steinkohlenhalden umfangreich charakterisiert und ihr Gefährdungspotential bewertet. Davon ausgehend wurde für den sächsisch-tschechischen Grenzbereich ein ähnliches Kataster erarbeitet. Der Fokus lag dabei auf dem Erzbergbau unter Einbeziehung des Kalksteinbergbaus. Für die tschechische Grenzregion wurden bereits die Erz- und Mineralienlagerstätten des Erzgebirges in der Region Ústecký kraj recherchiert und die Informationen in Steckbriefen aufgearbeitet.

Auf deutscher Seite wurden für das Erzgebirge im angrenzenden Bereich des Ústecký kraj für die Oberflächenwasserkörper (OWK) die Halden des ehemaligen Erzbergbaus recherchiert und deren Informationen aufgearbeitet. Die Haldenstandorte wurden den entsprechenden OWKs zugeordnet.

Zu jeder Halde wurden, soweit verfügbar, folgende Daten recherchiert:

- Standortidentifikationsdaten (Informationen zu Lagerstätte, Name, Ort, Region, Lagerstätten-Typ, aktueller Status, Betreiber, Standort, Zeitpunkt der Lagerstätten-Erschließung, Zeitraum der Erzgewinnung, Art des abgebauten Rohmaterials, Art der Halde, Fläche, Höhe, Volumen der Halde, petrographische Zusammensetzung, Art der

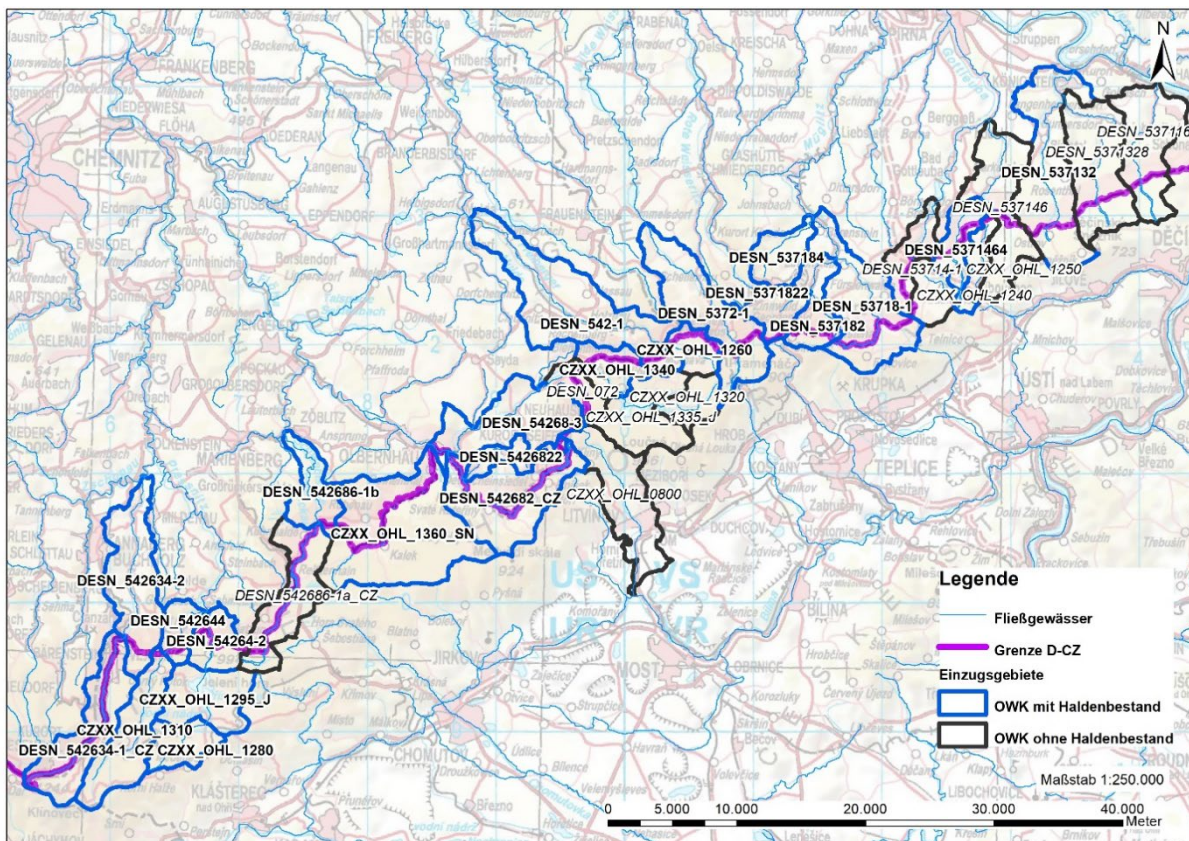
Rückgewinnung der Ablagerung, Verfügbarkeit der Archivadokumentation, Verwendbarkeit des abgelagerten Materials)

- Auflistung der Archivberichte und Benennung des Archivs
- Kartendaten mit einer Zeichnung der Lagerungscharakteristik
- Kurze Charakteristika der Standorte - Geschichte, geologische Bedingungen, abgebautes Rohmaterial, Schutzgebiete
- bekanntes oder vermutetes Gefährdungspotential für die Wasserwirtschaft, ggf. Ableitung von Handlungsbedarf

Die Haldeninformationen wurden tabellarisch in einem Steckbrief für den Abbaustandort im OWK dokumentiert. Die in den Steckbriefen gewonnenen Daten aller recherchierten Halden, sowohl auf sächsischer als auch tschechischer Seite, wurden außerdem in einem Kataster in Form einer Access-Datenbank organisiert.

Nachfolgend findet sich eine Übersichtskarte der betrachteten OWK-Einzugsgebiete entlang der sächsisch-tschechischen Grenze (Abbildung 27). Neben den Einzugsgebieten mit Halden existiert eine kleine Zahl OWK, in deren EZG keine Haldenstandorte aufgefunden wurden.

Die aus dem Kataster gewonnenen Kenntnisse können vor dem Hintergrund der Wasserrahmenrichtlinie unterstützend bei der Bewertung des Gewässerzustandes und Planung von Sanierungsmaßnahmen herangezogen werden.



**Abbildung 27: Übersichtskarte der betrachteten OWK- Einzugsgebiete entlang der deutsch-tschechischen Grenze (OWK-ID: fett-mit Haldenbestand, kursiv-ohne Haldenbestand)**

Während für das Gebiet der Tschechischen Republik im Archiv des Tschechischen Geologischen Dienstes (GEOFOND Praha) ein größerer Datenbestand zu den Bergbauhalden vorliegt, ist dieser für den deutschen Teil des Katastergebietes sehr begrenzt, da wenig

eigentliche Untersuchungen zu den Halden durchgeführt wurden. Aus diesem Grunde war die Recherche auf Unterlagen aus der Lagerstättenerkundung bzw. der Bergbaudokumentation angewiesen. Es konnte eine Reihe von Studien mit Datenzusammenfassungen verwendet werden, z. B. Sennewald & Martin 2015 und Martin et al. 2019.

Darüber hinaus wurden weitere Quellen zur Recherche herangezogen:

- Topographische Karten TK 10, TK 25
- Geologische Karten GK 25
- Grubenakten im Bergarchiv Freiberg
- Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen in Sachsen
- Bergschadensanalysen des SOBA

Die recherchierten Daten wurden in eine Tabellenform überführt, die in das Datenbanksystem integriert wurde. Die Haldendaten wurden einerseits den Oberflächenwasserkörpern und andererseits den betreffenden Bergbaurevieren zugeordnet.

Die im angrenzenden Bereich des tschechischen Bezirkes Ústecký kraj liegenden Oberflächenwasserkörper (OWK) wurden in das Haldenkataster einbezogen. Die Haldenstandorte wurden den jeweiligen Oberflächenwasserkörpern zugeordnet.

Das Haldenkataster wurde in einer Access-Datenbank organisiert. Diese besteht aus sechs Tabellen. Diese enthalten die Informationen zu den Oberflächenwasserkörpern, den Revieren und zu den Halden jeweils in deutscher und tschechischer Sprache (Tabelle 20).

#### Tabelle „Oberflächenwasserkörper“

Die Tabelle der Oberflächenwasserkörper (OWK) enthält die Nummer und die Bezeichnung dieser Körper. Dabei wurden die zwischen Sachsen und der Tschechischen Republik grenzübergreifenden OWK sowie die auf sächsischer Seite an den tschechischen Ústecký kraj angrenzenden OWK einbezogen.

#### Tabelle „Reviere“

Die Tabelle der Reviere enthält neben der Bezeichnung des jeweiligen Reviers auch allgemeine Informationen zu den jeweiligen Revieren.

#### Tabelle „Halden“

Die Tabelle enthält einerseits die auf sächsischer Seite recherchierten Haldenstandorte, andererseits die aus den tschechischen Haldensteckbriefen übernommenen tschechischen Haldenstandorte.

Neben allgemeinen Informationen beinhaltet die Tabelle auch spezifische Informationen zur jeweiligen Halde, soweit verfügbar.

#### **Tabelle 20: Auflistung des Inhalts bzw. der Felder des Haldenkatasters**

Land	Betriebszeit	Quelle
Bezeichnung	Rohstoff	Potentielle Rohstoffe
Ort	Position	Potential für Rohstoffgewinnung
Kreis	Fläche	Umweltrelevante Komponenten

Bezirk	Höhe	Umweltauswirkung
Objektart	Volumen	OWK-Zuordnung
Status der Halde	Petrographie	Revier-Zuordnung
Betreiber	Körnung	Teilrevier
Geografische Koordinaten deutschsprachige Tabelle: UTM ETRS89 33N tschechische Tabelle: CGS S-JTSK Krovak	Rekultivierung	Rohstoffrelevante Komponenten

Die Datenbank enthält weiterhin fünf Formulare. Über diese können Reviere, Halden und OWK hinzugefügt sowie Halden und OWK geändert werden.

In diesem Kataster wurden die Daten der relevanten Haldenstandorte im grenzübergreifenden Gebiet des Ústecký kraj erfolgreich organisiert. Es ist zu berücksichtigen, dass mit der Beschränkung auf das grenznahe Gebiet die großen Bergbaureviere Sachsens, also Freiberg, Marienberg, Annaberg-Buchholz und Schneeberg nicht im Untersuchungsgebiet liegen. Es ist davon auszugehen, dass mit den Recherchen alle wesentlichen Haldenstandorte erfasst wurden und das Kataster für das Untersuchungsgebiet vollständig ist. Eine Ausweitung des Katasters auf weitere Gebiete Sachsens ist zu empfehlen.

### 3.3.4 KOMPENDIUM WIRTSCHAFTLICHER UND UMWELTGERECHTER BEST-PRAKIS LÖSUNGEN FÜR BERGBAUFOLGEMANAGEMENT SOWIE AKTIVEN BERGBAU - TEIL 2: INSTRUMENTE ZUR ERMITTLUNG GEEIGNETER UMWELTGERECHTER VERFAHREN

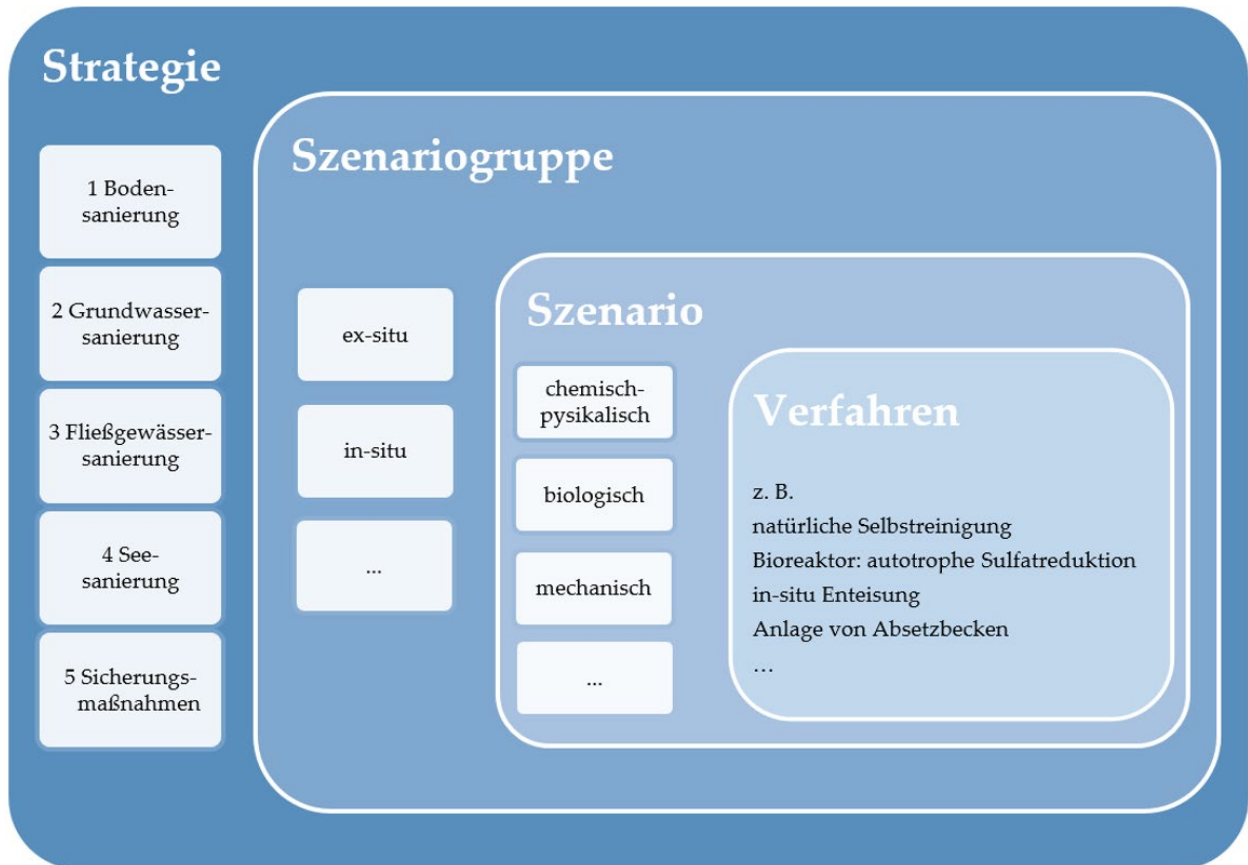


Aufgrund der komplexen chemischen und physikalischen Prozesse in den bergbaugestörten Gebieten ist es mitunter nicht auf den ersten Blick offensichtlich, welche Verfahren für die Aufbereitung des Bergbauwassers geeignet sind. Um den Nutzern die Suche nach möglichen Reinigungs- und Sanierungsverfahren zu erleichtern, wurde das online-Recherchetool „BEAST“ entwickelt. BEAST ist das Akronym für **B**ergbau-**A**ltposten**S**anierung**S**technologien. Dies ermöglicht eine Suche für Verfahren nach bestimmten Kriterien oder eine Freitextsuche.

Als Entscheidungshilfe wurden für diese Fälle sogenannte Entscheidungsbäume entwickelt. Diese Entscheidungsbäume sollen dem Anwender eine Orientierungshilfe zur Auswahl eines zielführenden Sanierungsverfahrens geben. Allerdings können sie immer nur erste Anhaltspunkte für eine mögliche Auswahl von Verfahren liefern, da Planungen und Umsetzungen von Behandlungsverfahren jeweils immer stark standortabhängig sind und von weiteren spezifischen Randbedingungen mitbestimmt werden.

Im ersten Schritt wurden alle bereits recherchierten Bergbausanierungsverfahren des Projekts Vita-Min und dessen Vorgängerprojekt VODAMIN aus den jeweiligen Berichten ermittelt. Weitere internationale Literaturquellen wurden ergänzend hinzugezogen. Die jeweiligen Informationen eines Verfahrens wurden anschließend für die Implementierung in die Datenbank des Recherchetools in ein einheitliches Schema überführt. Die Datenbank bildet die Grundlage für das online-Recherchesystem BEAST, dessen Struktur Abbildung 28 zu entnehmen ist. Ausgehend von der Altdatenbank ATRIUM (Altlasten-Technologie Recherche im Umweltmanagement), die 2004 für die Recherche von Altlastentechnologien entwickelt wurde, erfolgte eine Erweiterung und Aktualisierung der Datenbasis um die

Bergbauverfahren. Damit einhergehend wurde die Anwendung auf den Stand der Technik und Design nach Vorgaben des Freistaat Sachsen gebracht.



**Abbildung 28: Schutzgutbezogene Gliederung der Verfahren (beispielhaft) in der BEAST-Anwendung**

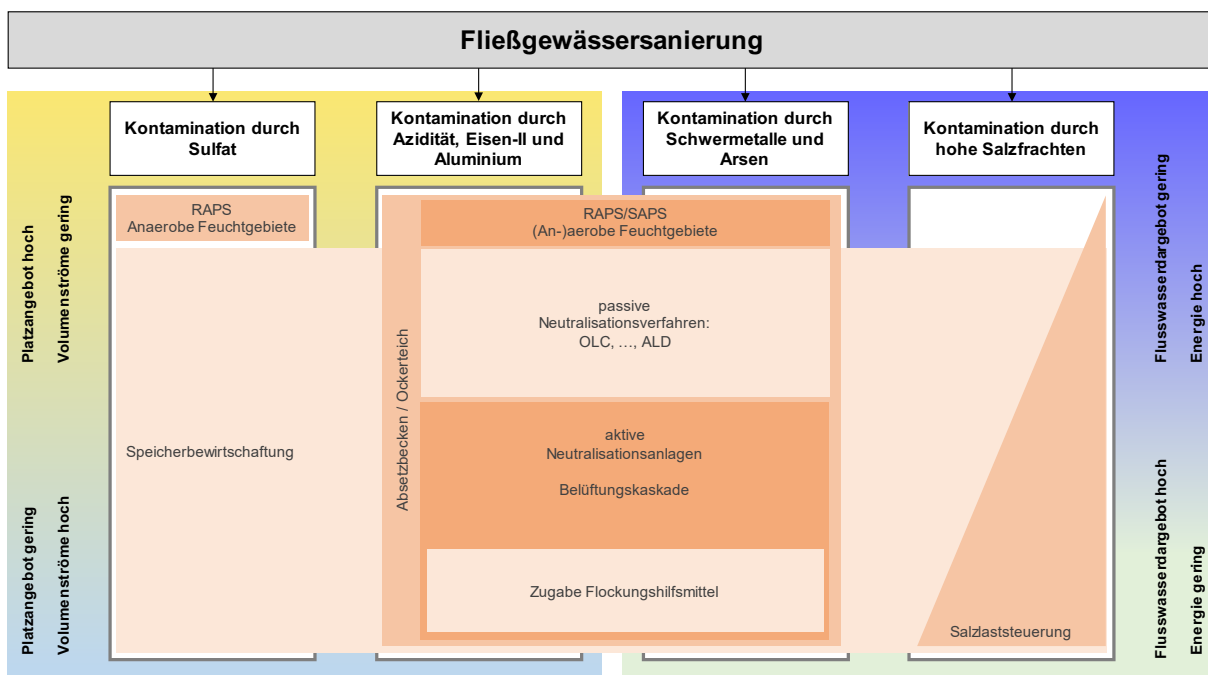
Im Anschluss an die Gliederung der Verfahren in die schutzgutbezogenen Kategorien wurden Entscheidungshilfen für die Auswahl möglicher Verfahren zur Aufbereitung bergbau-beeinflusster Wässer entwickelt. Diese sogenannten Entscheidungsbäume wurden in Form von Baumdiagrammen realisiert. Über die einzelnen Strategien gelangt der Nutzer über verschiedene jeweils relevante Entscheidungen zu den möglichen geeigneten Verfahren. Die Entscheidungen sind in den Entscheidungsbäumen bewusst nicht an Konzentrationen, Durchflüsse und andere Zahlen (wenn größer als...) geknüpft, da die jeweiligen Größen immer von anderen Größen abhängig sind (z. B. behandelbare Konzentration abhängig von vorhandener Fläche bzw. Aufenthaltszeit...). Nach jeder „Entscheidung“ am Ende des Baumes muss im Rahmen einer ordnungsgemäßen Planung eine fundierte Einzelfallprüfung aufgrund konkreter Zahlen und Standortfaktoren erfolgen, da folgende Kriterien bei der Festlegung des endgültigen Verfahrens einzubeziehen sind:

- Eigentumsverhältnisse,
- weitere Kontaminationen in Wasser und Boden, die eine „Mit“-Behandlung ermöglichen oder ein bestimmtes Verfahren ausschließen,
- behördliche Vorgaben zu Ablaufwerten, die andere Grenzwerte festlegen als die, die mit dem gewählten Verfahren normalerweise erreichbar sind,
- lokal oder regional besonders gute oder schlechte Bezugsmöglichkeiten für einen benötigten Zuschlagstoff ein Verbrauchsmittel oder Energie,

- lokal oder regional besonders gute oder schlechte Entsorgungsmöglichkeiten für einen anfallenden Reststoff,
- bereits vorhandene Infrastruktur („Altanlagen“), die zu verhältnismäßig geringen Kosten und mit geringem Aufwand wieder in Betrieb genommen werden können (Beispiel: alte Grubenwasserreinigungsanlagen oder Ockerteiche) und
- der Wille der „Beteiligten“ einem bestimmten Verfahren zu Untersuchungs- oder Demonstrationszwecken den Vorzug zu geben.

Dennoch bieten die Entscheidungsbäume gemeinsam mit dem BEAST-Recherchetool ein unterstützendes Werkzeug für die Planung und Wissensbildung im Bereich der Bergbausanierung.

Das Prinzip der Entscheidungsbäume wird im Folgenden anhand der Strategie „Fließgewässersanierung“ verdeutlicht. Abbildung 29 stellt zunächst alle Verfahren zur Fließgewässersanierung untergliedert nach dem Schadstoffspektrum dar. Daraus kann entnommen werden, welches Verfahren in Abhängigkeit des Platzangebotes, Volumenstromes bzw. Flusswasser- und Energiedargebotes in Frage kommt. Neben dem Schadstoffspektrum ist das Gewässerdurchflussvolumen das Hauptkriterium für die Auswahl eines aktiven oder passiven In-situ-Verfahrens. Erst danach werden die pH-Bedingungen im Wasser und dessen Sauerstoffgehalt relevant. Die Abbildung 30 zeigt den Entscheidungsbaum konkret für Schwermetalle und Arsen. Durch Beantwortung der Fragen im Flussdiagramm gelangt der Nutzer zu einem für das Problem geeigneten Reinigungsverfahren. Die Verfahrensnummern, z. B. Verf. 3.2, verweisen auf die im Kompendium beschriebenen Verfahren.



**Abbildung 29: Zusammenstellung von Verfahren zur Behandlung bergbaubeeinflusster Fließgewässer in Abhängigkeit des Schadstoffspektrums, des Platzangebotes, des Volumenstromes bzw. im Falle hoher Salzfrachten vom Wasser- und Energieangebot**





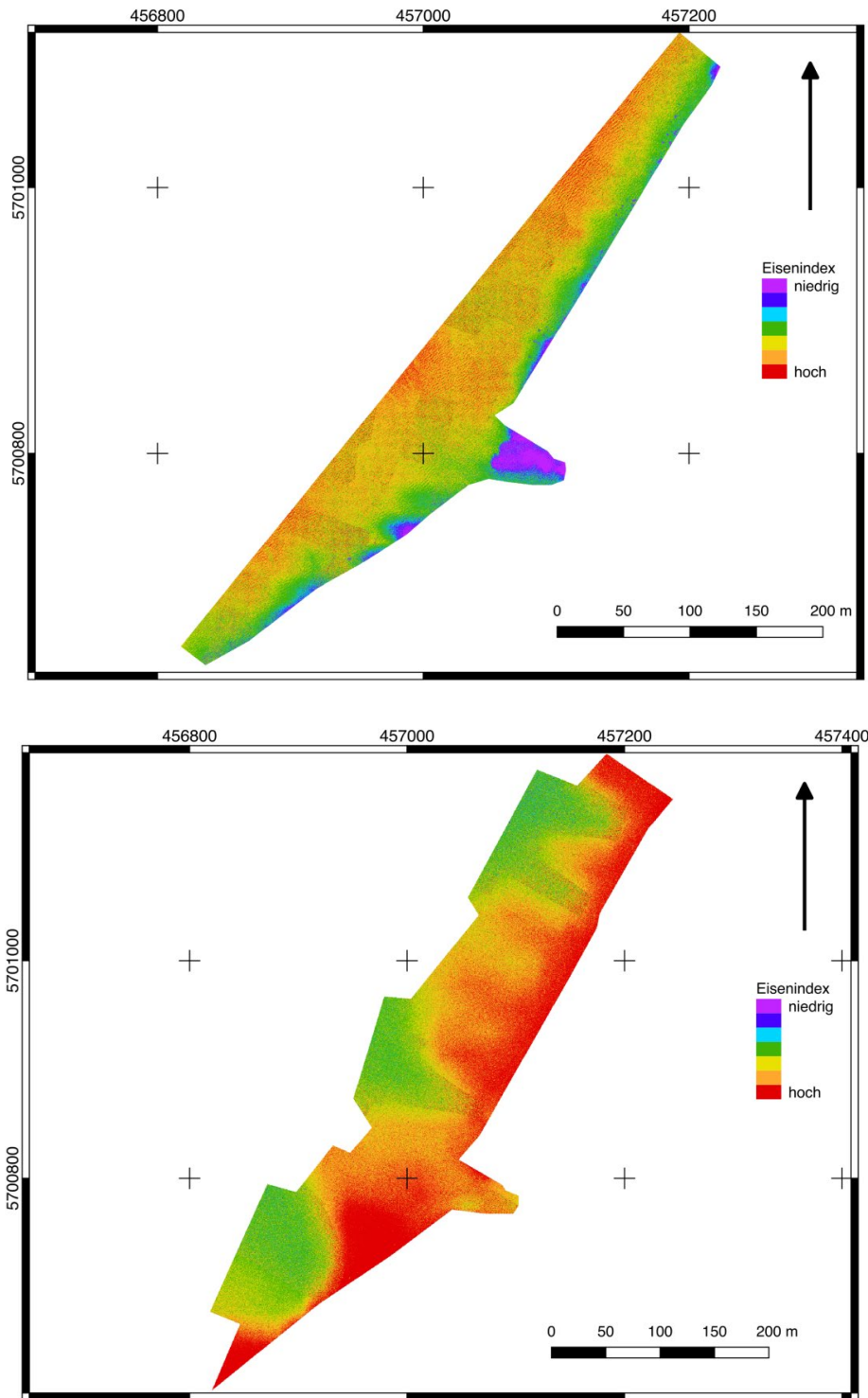
In der vorliegenden Studie wurden zum einen die Möglichkeiten der Fernerkundung hinsichtlich der Detektion von Schadstoffen und zum anderen das Potential dieser Methode für ein ergänzendes Monitoring für Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) abgeschätzt. Folgende Schwerpunkte wurden im Detail bearbeitet:

- Recherche zu Möglichkeiten der Fernerkundung zur Überwachung von Oberflächengewässern
- Erarbeitung einer Spektralbibliothek bergbaurelevanter Elemente und Verbindungen
- Erstellung eines Umsetzungskonzepts zur Überwachung von Oberflächenwasserkörpern vor dem Hintergrund bergbaubeeinflusster Gewässer und der europäischen Wasserrahmenrichtlinie
- Testbefliegung zur ersten Validierung und Spezifizierung der theoretisch erarbeiteten Ergebnisse
- Heutige Grenzen der Fernerkundung für das Monitoring bergbaugeprägter Gewässer

Die Arbeiten erfolgten in zwei Phasen: der Konzept- und der Testphase. In der ersten Phase wurde eine umfangreiche, internationale Literaturrecherche mit dem Ziel, den Kenntnisstand zur Thematik zu erfassen, durchgeführt. Basierend auf den Ergebnissen der Recherche und der Expertise wurden eine Spektralbibliothek sowie ein Umsetzungskonzept für Monitoring unter Nutzung hyper- und multispektraler Fernerkundung erstellt. Die Spektralbibliothek kann in der Zukunft als Möglichkeit verstanden werden, als externe Klassifizierungsoption von fernerkundlich gewonnenen Spektraldaten zu dienen. Sie besteht aus einer Liste von Indikatormineralen, denen (soweit bekannt) ein repräsentatives Spektrenprofil zugeordnet ist. Das Umsetzungskonzept beschreibt wissenschaftliche Grundlagen, Aufwand und generelles Vorgehen für eine automatisierte Analyse von Fließgewässern, Tagebaurestseen oder Halden mithilfe fernerkundlicher (hyper- und multispektraler) Daten unter sächsischen Gegebenheiten. Die großflächige und kontaktlose Messung wäre eine Chance Schadstoffe (z. B. in Gewässern) flächendeckend und zeitsparend im Vergleich zu alternativen Methoden zu erfassen. Diese Methode kann auch in unzugänglichen Gebieten eingesetzt werden und bietet eine Unterstützung für die Verursachersuche und die Wirksamkeit von Maßnahmen zur Unterstützung der Arbeiten im Zusammenhang mit der Umsetzung der WRRL.

In der zweiten Phase wurden die Ergebnisse aus Spektralbibliothek und Umsetzungskonzept mittels Testbefliegungen über anspruchsvollem Terrain hinsichtlich ihrer Praxistauglichkeit auf die Probe gestellt. Für den Einsatz der Hyperspektral- und Multispektralkameras wurden eine Drohne (Hexacopter) und ein Nurflügler als Plattform eingesetzt. Ziel der Aufnahmen war es, den Grundwasserzutritt sowie die Eisenverteilung im Tagebaurestsee Bernsteinsee und im Dubringer Moor zu bestimmen. Für eine fundierte Auswertung der Aufnahmen wurden eine Befliegung im Sommer und eine im Herbst durchgeführt.

Die bedeutsamste Erkenntnis der Testbefliegungen ergab sich aus den Auswertungen der Daten des Bernsteinsees. Hier wurde unter anderem ein Eisenindex bestimmt, um zu überprüfen, ob die charakteristische Eisenbelastung der Oberflächengewässer in der Lausitz über die Fernerkundung detektiert werden kann. Der Eisenindex ist eine Kennung für die Höhe des Eisengehalts. Er gibt an, ob wenig oder viel Eisen im untersuchten Gebiet vorkommt. Er ergibt sich aus dem Vergleich des gemessenen Spektrums im Feld mit den Spezifika der Spektren von Eisenmineralen.



**Abbildung 31: Falschfarbendarstellung des Eisenindex am südöstlichen Ufer des Bernsteensee im August 2018 (oben) und im Oktober 2018 (unten). Aufgenommen mit einer Multispektralkamera**

Es ist bekannt, dass aus dem Speicherbecken Lohsa II mit Eisen belastetes Wasser über ein Rohr Richtung Nordwesten in den sich anschließenden Bernsteensee fließt. Mittels der mit Multispektralkamera aufgenommenen Bilder lassen sich die Unterschiede der Wässer hinsichtlich des Eisenindex gut nachvollziehen. Abbildung 31 zeigt die südöstliche Wasseroberfläche des Bernsteensee zu den Testbefliegungen im Sommer und Herbst mit dem

Einmündungsbereich. Sowohl im Sommer als auch im Herbst zeigt sich ein geringerer Eisenindex des zuströmenden Wassers aus Lohsa II, der im Sommer stärker ausfällt. Weiterhin scheint die Durchmischung des Wassers im Sommer stärker zu sein als im Herbst. Es ist allerdings festzuhalten, dass die Studie eine Vielzahl von praktisch relevanten Problemen identifizieren konnte, die bei künftigen Untersuchungen zu beachten sind. Zu nennen der Einfluss des Wetters auf die Qualität der Ergebnisse. Im Herbst 2018 herrschten am Tag der Geländearbeit ein relativ niedriger Sonnenstand, leichter Wind und leichter Regen. Besonders ersteres kann zu Reflexionen auf der Wasseroberfläche und damit technischen Artefakten im Bild führen. In der unteren Abbildung wird dies durch die „Ausläufer“ des höheren Eisenindex vom Ufer aus deutlich.

Die Unterschiede des Wassers hinsichtlich des Eisenindex können mit der Multispektralkamera zwar nur an der Oberfläche des Sees dargestellt werden, doch kann mit Hilfe von Thermalkameras zumindest der Grundwasserzutritt und die Bewegung des Grundwassers auch in tieferen Schichten gezeigt werden. Die Detektion von Grundwasserzutritten in Oberflächengewässern kann vor dem Hintergrund der Spezifika des Schadstofftransports (z. B. von Eisenverbindungen) in der Lausitz von Bedeutung sein.

Die Studie konnte zeigen, dass in Sachsen, unter Nutzung dieser Technik, Daten oder Aussagen zu Relief, Wasserbewegung, Chemismus, Pflanzengesundheit und weiteren getroffen werden können. Im Gegensatz zu herkömmlichen Techniken wie Messstationen, ermöglicht sie flächenhafte Informationen. Da es sich um eine innovative Methode handelt, sind die geschätzten Kosten derzeit noch mit einigen Unsicherheiten behaftet.

Klar wird durch die Studie allerdings auch, dass das Ersetzen herkömmlicher Mess- und Monitoringtechnik vorerst eine Vision bleibt. Dies entspricht allerdings auch nicht dem Anspruch von Fernerkundung. Vielmehr sollte die Methode als sinnvolle Erweiterung des bestehenden Repertoires verstanden werden, um räumliche Zusammenhänge besser verstehen zu können.

Die Studie hat einige vielversprechende Ansätze aufgezeigt (z. B. das Monitoring von Grundwasserzutritten in Gewässern über Temperaturgradienten). Ausgehend davon scheint es lohnenswert, die Thematik weiter zu verfolgen und die praktische Nutzung parallel zum Forschungsfortschritt weiter zu überprüfen. In der Zukunft könnte es nützlich sein, die Synergie von herkömmlichen Messungen und Fernerkundung vertiefter zu untersuchen. Dabei sollten die Ergebnisse der Fernerkundung auch mithilfe der konventionellen Messtechnik überprüft werden.



Unterirdische Grenze zwischen Sachsen-Tschechische Republik in Zinnwald  
(Foto: LfULG)

## 4 SYNERGIEEFFEKTE

---

Die Natur im Allgemeinen, hier das Wasser im Speziellen, kennt keine administrativen Grenzen. Dadurch ergeben sich ähnliche Problemstellungen im Umwelt- und Wasserressourcenmanagement in grenzübergreifenden Einzugsgebieten, die ein gegenseitiges Lernen und Abstimmungen erfordern. Daher legte das Projekt großen Wert auf den Erfahrungs- und Wissensaustausch zwischen den benachbarten Ländern, um einen möglichst breiten Kenntnisstand aufzubauen, Handlungsempfehlungen abzuleiten sowie eine gute Zugänglichkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Aufgrund ähnlicher Herausforderungen in den Erzgewinnungsgebieten auf sächsischer und tschechischer Seite hinsichtlich Schwermetallbelastungen und des bergbaulich beeinflussten Wasserhaushaltes erzielen gemeinsame Vorhaben übertragbare Ansätze und Verfahren. Im Braunkohlenbergbau stellen insbesondere Konzepte zur Wasserbilanzierung und Flutung von Restlöchern einen Anknüpfungspunkt für einen grenzübergreifenden Austausch dar. In sowohl tschechischen als auch deutschen/sächsischen Revieren ist das Wasserressourcenmanagement, gerade vor dem Hintergrund der Klimaveränderungen, ein wesentliches Werkzeug zur Steuerung der Flutungsprozesse. Sulfat und Eisen verursachen im tschechischen Braunkohlenbergbau im Vergleich zum Lausitzer Braunkohlenrevier kaum Probleme im Bereich der Gewässergüte.

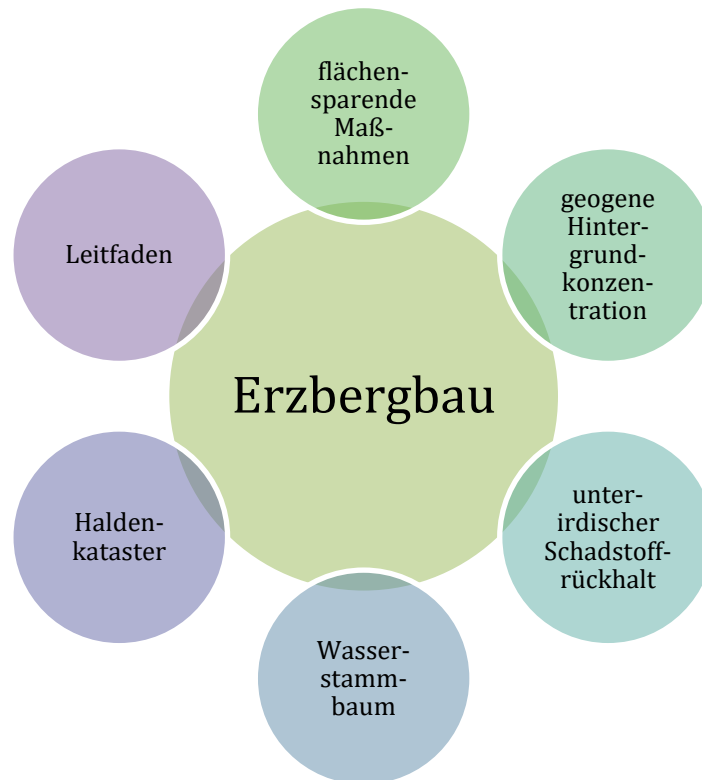
Mit der Regionalbehörde Ústecký kraj stand ein Projektpartner zur Verfügung, der für die Grenzregion eine ausgewiesene hydrologische, hydrogeologische und limnologische Expertise aufweist und dessen fachliche Ausrichtung mit der des LfULG korrespondiert. Vor allem auf den Gebieten aktiver und passiver Wasserreinigungsverfahren, Haldenverwahrung, Kippenrenaturierung sowie Wasserressourcenmanagement bietet die Zusammenarbeit der beiden Institutionen die Möglichkeit, grenzüberschreitende umwelteffiziente und wirtschaftliche Lösungsansätze für bereits beobachtete und zukünftig zu erwartende negative Entwicklungen in Sachsen und Ústecký kraj abzuleiten. Die gemeinsame Interpretation von geeigneten Strategien, Machbarkeitsstudien und Best-Praxislösungen beiderseits der sächsisch-tschechischen Grenze bildet dabei die Voraussetzung für eine integrierte Lösung komplexer bergbaubedingter Umweltprobleme. Die Region Zwickau-Lugau-Oelsnitz im Erzgebirge kämpft mit den Langzeitfolgen der Steinkohlegewinnung, derzeit insbesondere mit dem fortschreitenden Grundwasserwiederanstieg. Die Stadtverwaltung Oelsnitz/Erzgeb. ist ein Akteur der Region, der sich mit Unterstützung der Fachbehörde LfULG den Herausforderungen bisher angenommen hat. Mit ihrer Ortskenntnis, Kompetenz und Engagement auf politischer Ebene trägt die Stadt Oelsnitz/Erzgeb. weitere, entscheidende Beiträge und Anregungen zur Bewältigung bzw. Vorbeugung der prognostizierten Ereignisse und Schäden bei. Mit der Fachkompetenz des LfULG können die Ergebnisse und Empfehlungen auch auf andere Steinkohle-Hotspot-Gebiete übertragen werden.

Ausgehend von den Bergbauarten Braunkohlen- und Erzbergbau werden im Folgenden die Übertragbarkeit und Synergieeffekte der Ergebnisse aus den Teilprojekten auf die Projektpartner bzw. das jeweilige Nachbarland beleuchtet. Dabei werden die Wasserbeschaffenheit und die Wassermenge in grenznahen und grenzfernen Gewässern, sowie im aktiven und ehemaligen Bergbau betrachtet. Die Ergebnisse sind vor dem Hintergrund der Umsetzung der EG-WRRL zu sehen. Ähnliche Herangehensweisen, Lösungsansätze und Maßnahmen können die Bewertung des Gewässerzustandes grenzübergreifender Fließgewässer transparenter und kompatibler gestalten.

Zusammenfassend konnten folgende relevante Kernaussagen aus den Teilprojekten für die Partner beiderseits der Grenze gewonnen werden:

- Die Ausweisung von geogenen Hintergrundkonzentrationen ist empfehlenswert und maßgeblich bei der Bewertung der Wasserkörper (Grund- und Oberflächenwasser) nach EG-WRRL.
- Ganzheitliche Betrachtungen des Wasserressourcenmanagements sind im Hinblick auf die Flutung der Tagebaurestlöcher und realisierbarer Flutungskonzepte unumgänglich und frühzeitig durchzuführen.
- Die Sammlung von Reinigungs- und Sanierungsverfahren in einem Werk inklusive einem Online-Recherchetool ist ein hilfreiches Instrument für die Planung.
- Das grenzübergreifende Haldenkataster ist für die Bewertung der Wasserkörperzustände eine relevante Grundlage, um den grenzübergreifenden Gewässer- und Umweltschutz zu stärken.
- Die Steinkohlenregion Oelsnitz/Erzgeb. wird durch die Aufstellung eines Maßnahmenplans und Eruierung des aktuellen Sachstands zur Ableitung weiterer Handlungsempfehlungen gefördert und gestärkt.
- Rekultivierungskonzepte, die Raum für eine spontane und natürliche Entstehung von Kleinstgewässern auf ehemaligen Bergbauflächen ermöglichen, bieten neue Perspektiven für die Entwicklung neuer Biotope und Etablierung seltener Arten in einer sonst vorwiegend anthropogen gestalteten Landschaft.
- Die Auswirkungen auf Gewässer durch zukünftigen Bergbau können durch strategische, vorausschauende und frühzeitige Planung minimiert werden.

In Abbildung 32 sind die den Erzbergbau tangierenden Themen der Teilprojekte mit einem Potential der Übertragbarkeit dargestellt. Hierzu hat vorrangig das LfULG Beiträge geliefert, die auf das tschechische Revier übertragen werden können. Ein wichtiges Ergebnis wurde gemeinsam von der sächsischen und tschechischen Seite erarbeitet: das grenzübergreifende, zweisprachige Haldenkataster. Durch die gemeinsame Realisierung entstand ein einheitliches Produkt, das von beiden Seiten ohne Sprachbarriere gleichermaßen genutzt werden kann, um eventuelle diffuse Stoffausträge aus den Halden und deren Einflüsse auf die Wasserqualität im Grund- und Oberflächenwasser abzuschätzen bzw. die Herkunft von Schadstoffbelastungen beurteilen zu können. Die Kenntnisse über die Haldenverteilung im Grenzgebiet tragen zur Ableitung zielgerichteter Maßnahmen für grenzüberschreitende und sich anschließende Fließgewässer im Zuge der Umsetzung der EG-WRRL bei.



**Abbildung 32: Themenschwerpunkte des Erzbergbaus**

Die Berücksichtigung geogener Hintergrundkonzentrationen bei der Bewertung der Grund- und Oberflächenwasserkörper nach EG-WRRL ist in den bergbaubeeinflussten Regionen äußerst relevant. Insbesondere bei den grenzübergreifenden Gewässerkörpern muss eine einheitliche Grundlage für die Ausweisung geogener Hintergrundkonzentrationen einfließen. Bisher fanden bei der Bewertung in der Tschechischen Republik ebenso wie in einigen sächsischen Grenzgewässern geogene Hintergrundkonzentrationen noch keine Anwendung. Daher wurden die Herangehensweise und Ergebnisse der sächsischen Studie im Rahmen der deutsch-tschechischen Grenzgewässerkommission vorgestellt, mit den tschechischen Kollegen diskutiert und die Unterlagen zur Verfügung gestellt. Bei vollständiger Anerkennung der entwickelten Methodik, können die abgeleiteten Hintergrundkonzentrationen auch in den grenzübergreifenden und -nahen Wasserkörpern beiderseits angewendet werden. Somit ist eine einheitliche Grundlage für die Bewertung des Gewässerzustandes nach WRRL und damit auch für die Ableitung zielgerichteter, verhältnismäßiger Maßnahmen gegeben. Mit der Ausweisung von geogenen Hintergrundkonzentrationen in Kombination mit dem Haldenkataster liegen für 32 Grenz-OWK im (östlichen) Erzgebirge grundlegende gebietsspezifische Fachinformationen vor, die die sachgerechte Beurteilung und Ableitung von Schadstoffquellen sowie geeigneter und verhältnismäßiger Maßnahmen unterstützen.

Auf sächsischer Seite wurden Konzepte zu flächensparenden Übertageanlagen und Schadstoffrückhalt in unterirdischen Grubengebäuden des Erzbergbaus erstellt, die insbesondere bei der Planung neuer Bergbauvorhaben aber auch im Alterzbergbau Anhaltspunkte für ein nachhaltiges Vorgehen liefern sollen. Diese Maßnahmen können ebenfalls auf tschechischer Seite eingesetzt werden. Damit bietet die Studie auch tschechischen Planern eine Handlungs- und Planungsbasis bei der Sanierung oder Erschließung neuer Lagerstätten, wie z. B. der Lithiumgewinnung in Zinnwald/Cínovec. Die



ehemaligen und zukünftigen Tätigkeiten bei der Rohstoffgewinnung in der grenzübergreifenden Lagerstätte Zinnwald/Cínovec wirkten und wirken sich auch weiterhin auf beiden Seiten der Grenze aus. Nur eine gemeinsame Betrachtung und Kenntnis aller Belange kann den vollen Umfang der Betroffenheit und die Wasserwegsamkeiten aufzeigen. Der erarbeitete Wasserstammbaum vereinigt und vernetzt alle Gewässer sowie Gruben und Stolln der Region in einer schematischen Darstellung. Dies ermöglichte eine vollständige Wasser- und Schadstoffbilanzierung über die Staatsgrenze hinaus aufzustellen. Insbesondere vor dem Hintergrund des Neuaufschlusses für die Förderung von Lithium ist die Beurteilung des Einflusses auf die bestehenden Wasserverhältnisse hinsichtlich Menge und Qualität unumgänglich. Anhand des Wasserstammbaums kann die Gesamtsituation für die Region abgeschätzt werden. Die Aktualisierung und Fortschreibung des Wasserstammbaums muss zukünftig in engem Austausch zwischen beiden Ländern erfolgen, damit ein vollständiger Kenntnisstand aufrechterhalten und für die Bewertung der Gewässer nach WRRL herangezogen werden kann. Der Wasserstammbaum ist ein wichtiges Werkzeug für die sächsischen und tschechischen Behörden und Unternehmen, um effektive Maßnahmen ableiten zu können.

Der erarbeitete Leitfaden für neue umweltgerechte Bergbauaktivitäten, vor allem der integrierte Wegweiser, bieten sächsischen Behörden, Ingenieurbüros, Gutachtern, etc. eine Orientierungshilfe bei der Planung neuer Bergbauvorhaben und Prüfung von deren Vereinbarkeit mit europäischen und landeseigenen gesetzlichen Vorgaben. Ein Abgleich der sächsischen und tschechischen Gesetze und Verordnungen im Zusammenhang mit der Planung neuer Bergbauvorhaben zeigt die Unterschiede auf und ermöglicht die Verwendung des Leitfadens und des darin implementierten Wegweisers auch für die Planung tschechischer Bergbauvorhaben in der Grenzregion.



**Abbildung 33: Themenschwerpunkte des Braunkohlenbergbaus**

Im Bereich des Braunkohlenbergbaus (Abbildung 33) hat vor allem der tschechische Partner wertvolle Unterlagen zusammengestellt, die durch Studien des LfULG ergänzt werden. Im Vordergrund stand die Herausforderung der Flutung der Tagebaurestlöcher und die Rekultivierung der Kippen. Der Ansatzpunkt zur Kategorisierung natürlich (spontan) entstandener kleiner Wasserflächen auf den Kippen und deren biologische Bewertung kann auch in sächsischen Braunkohlengebieten angewandt werden. Allerdings existieren in Sachsen kaum solche spontan entstandenen Seen, sondern überwiegend kontrolliert geflutete Bergbaufolgeseen. Gegebenenfalls kann die Möglichkeit Flächen sich der spontanen, natürlichen Entwicklung zu kleinen Wasserflächen zu überlassen auch in Sachsen aufgegriffen werden, um den Wasserhaushalt in der Landschaft zu stabilisieren. Als positiver Nebeneffekt können sich biologisch vielfältige und wertvolle Lebensräume für seltene Arten entwickeln.

Sowohl in der Region des Nordböhmischen Braunkohlenbeckens als auch im Lausitzer Braunkohlenrevier muss ausreichend Wasser in entsprechender Qualität zur Flutung der Restlöcher verfügbar sein. Um dies zu gewährleisten, ist ein Sanierungskonzept und umfangreiches Monitoring sowohl der gefluteten Seen als auch der Fließgewässer, die der Entnahme dienen, notwendig. Beides wird bereits in den Partnerländern praktiziert. Daher sind hier keine grundlegenden Vorgehensweisen, sondern Details und Erfahrungen auszutauschen. Gerade im Hinblick auf die Modellierung des verfügbaren Wasserdargebots können die Erkenntnisse und Denkweisen ausgetauscht werden, da sich in der Zusammenarbeit hier Diskrepanzen und Wissensdefizite aufgezeigt haben. Die Entwicklung des Grundwasserwiederanstieges verbunden mit der Gesamtbilanz des regionalen Wasserhaushaltes sowie die Verfügbarkeit von Wasser für die Flutung unter Berücksichtigung der Klimaveränderungen können mit Modellen gut abgebildet werden und sind für eine prognostische Abschätzung essentiell. In Sachsen wird der Wasserhaushalt seit mehreren Jahren mit

physikalisch basierten Modellen detailliert simuliert, so dass fundiertes Wissen und Konzepte für die spezielle Wasserhaushaltssituation in Bergbauregionen vorliegen. In der Region Ústecký kraj ist dieser komplexe methodische Ansatz noch nicht in diesem Maße etabliert. Vor allem in Hinblick auf die Ergebnisse der tschechischen Studien bezüglich der Flutung der Bergbaufolgeseen ist deutlich geworden, dass für die Planung und Verteilung der Wasserressourcen in der Region eine Modellierung des Wasserhaushaltes inklusive der Bewirtschaftung der Gewässer unter Berücksichtigung des Klimawandels erforderlich ist. Dafür liefert die vorliegende Konzeption eines Großraummodells in der Lausitz ausführliche Planungsansätze, die auch auf die Braunkohlenregion Most übertragen werden können. Prinzipiell können diese Aspekte in gemeinsamen Arbeitsgruppen diskutiert werden. Die im Rahmen von Vita-Min geschaffenen Kenntnisse bilden eine fachlich fundierte Arbeitsgrundlage für weitere Arbeiten in den gemeinsamen Arbeitsgremien und der deutsch-tschechischen Grenzgewässerkommission. Insbesondere vor dem Hintergrund des sich weiter verknappenden Wasserhaushalts ist der Austausch über Bewirtschaftungspläne und Sanierungskonzepte bedeutsam, da der sächsische Wasserhaushalt der Nebenflüsse der Elbe durch die tschechischen wasserwirtschaftlichen Aktivitäten erheblich beeinflusst wird. Eine wasserwirtschaftliche Planung sollte daher gemeinsam und im gegenseitigen Austausch stattfinden.

Die Probleme der Wasserqualität sind in den Braunkohlenregionen Lausitz und Most unterschiedlich stark ausgeprägt: Beide Regionen sind durch Eisen, Sulfat und Versauerung gekennzeichnet, die aber in Most in geringerem Maß nachgewiesen wurden. Das LfULG hat weitere Studien im Rahmen dieses Projektes zu Reinigungsverfahren, dem Umgang mit Abprodukten und der Identifizierung von Quellen von Eisen- und Sulfatzutritten veranlasst. Diese Ergebnisse können auch für die Region Most hilfreich sein, haben allerdings aufgrund anderer Rahmenbedingungen eine geringere Bedeutung im Vergleich zur Lausitz. Da die Eisen- und Sulfatproblematik für die Braunkohlenregion Most eine untergeordnete Rolle spielt, stellt auch der Umgang mit den Folgen eine geringere Herausforderung dar. Nichtsdestotrotz können die Reinigungsverfahren auch im Nordböhmischen Braunkohlenbecken eingesetzt werden. Die Ideen zum Umgang mit den Abprodukten, beispielsweise Eisenhydroxidschlamm, dieser Verfahren können auf tschechischer Seite aufgegriffen oder weiterentwickelt werden. Entscheidend für die Nachnutzung von Wasserinhaltsstoffen als „Wertstoffe“, z. B. in der Ziegelstein- oder Keramikherstellung oder zur Rekultivierung von Flächen, sind vorwiegend die Reinheitsgehalte der Rückstände sowie die Kosten für die Herstellung im Vergleich zur Entsorgung. Sie bieten allerdings auch eine Chance zum Ausgleich der bei der Reinigung und Produktion der „Wertstoffe“ entstandenen Kosten und tragen zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von Wasserreinigungsanlagen bei. Die für Sachsen identifizierten Eisen- und Sulfatquellen können theoretisch auch auf andere Regionen übertragen werden, da die ermittelten Herkunftsbereiche über den Braunkohlenbergbau hinaus, wie z. B. Landwirtschaft, Siedlungen, allgemeingültig sind. Der tschechische Partner hat sich ebenfalls mit den potentiellen Quellen der Verschmutzung auseinandergesetzt, sodass sich hier die Ergebnisse gegenseitig ergänzen.

Alle recherchierten und bewerteten Reinigungsverfahren bzw. Maßnahmen zur Minderung der Eisen- und Sulfatbelastungen sowie der Versauerung in den Braunkohlenrevieren wurden dokumentiert und stehen damit zur Prüfung der Nutzbarkeit in den jeweiligen Bergbauregionen zur Verfügung. Gebündelt wurden die in allen sächsischen Teilprojekten recherchierten Verfahren in einem Kompendium und der BEAST-Datenbank, die eine online-Suche ermöglicht. Die BEAST-Anwendung ist unter folgender Internetadresse erreichbar: <https://www.bergbaufolgen.sachsen.de/beast-recherchetool.html>.

Steinkohlenbergbau wurde in der Region Ústecký kraj nicht betrieben, aber die Herausforderungen, Herangehensweisen und Lösungen können teilweise auch auf andere tschechische Regionen, z. B. Plzeňský kraj übertragen werden. Auch wenn in Oelsnitz/Erzgeb. regional spezifische Auswirkungen auftreten, können die Maßnahmen und Lösungsansätze als Handlungsempfehlung für andere von Steinkohlenbergbau betroffene Orte herangezogen bzw. deren Übertragbarkeit auf Braunkohlen- oder Erzbergbauregionen geprüft werden. Beispielsweise stellt das Monitoring eine Grundlage für viele weitere Maßnahmen dar.

Neue Herausforderungen die Umwelt betreffend, die sich mit der Gewinnung neuer Rohstoffvorkommen ergeben, sind vorausschauend und lösungsorientiert zu planen. Dabei können folgende wichtige grenzüberschreitende Strategien für den zukünftigen Bergbau angewendet werden:

- Einen Wasserstammbaum erfassen bzw. bestehende erweitern, um die Mengen und Elementfrachten eines Reviers genau zu prognostizieren und die Betroffenheit der Gewässer zu ermitteln. Eine genaue und eventuell aufwendigere Betrachtung des Ist-Zustands im Vorfeld kann spätere kostenintensivere Nachbesserungen vermeiden, z. B. Kosteneinsparung für sekundäre Reinigungsmaßnahmen.
- In der Bergbauplanung erfordern hohe Umweltstandards möglichst flächensparende Abbauverfahren. Bereits im bergrechtlichen Genehmigungsprozess kann dieser Aspekt beachtet und eventuelle Nachbesserungen vermieden werden. Dabei sind vorausschauende und möglichst nachhaltige Planungen und Umgang mit den Ressourcen sowie eine vorherige Konfliktanalyse durchzuführen (siehe umweltgerechter Leitfaden und flächensparende Übertageanlagen).

Das LfULG berichtete regelmäßig jedes Jahr in der deutsch-tschechischen Grenzgewässerkommission über die Ergebnisse und den Zwischenstand im Projekt. Somit konnten die tschechischen Fachkollegen direkt aus den Ergebnissen ihren Nutzen ziehen und gegebenenfalls Anmerkungen äußern, die im weiteren Bearbeitungsverlauf berücksichtigt werden konnten. Damit und im Rahmen der Projekttreffen fand ein aktiver Austausch der Herangehensweisen und Ergebnisse statt.

Letztendlich sind Wissensaustausch, vorausschauende Planungen, Konfliktanalysen und detaillierte, flexible Konzepte (Szenariobetrachtung) Möglichkeiten, erfolgreich mit den Herausforderungen im Bergbau umzugehen und die Auswirkungen auf die Umwelt bestmöglich zu mindern. Oberste Priorität hat die Vermeidung oder Reduzierung von negativen Einflüssen durch den Bergbau auf die Schutzgüter, vor allem das Schutzgut Wasser. Aufgrund des durch die WRRL vorgegebenen Verschlechterungsverbots und Verbesserungsgebots von Gewässern müssen effiziente und effektive Maßnahmen eingesetzt werden. Es bedarf weiterhin neuer, innovativer sowie effizienter Verfahren zur Reinigung und zum Umgang mit Bergbauwässern.

Mit den dargestellten Synergieeffekten können erste Grundlagen für eine OWK-bezogene Aus- und Bewertung von Schadstoffbelastungen geschaffen und der grenzüberschreitende Umwelt- und Gewässerschutz durch Ableitung zielgerichteter Maßnahmen verbessert werden. Trotz der umfangreich durchgeführten Studien und Betrachtungen im Rahmen des Projektes Vita-Min sind weitere spezifische und grenzübergreifende Untersuchungen verbunden mit ausführlichen Abstimmungen zwischen den benachbarten Regionen Sachsen und Ústecký kraj notwendig, um die komplexen Prozesse und Problemstellungen in Bergbauregionen vollumfänglich zu erfassen und zu bewältigen.

Abbildung 34 stellt die Schwerpunkte des Projektes und die Hauptaussagen des Berichts dar. Das Schema dient der Zusammenfassung und enthält keine detaillierten Ausführungen. Ausgehend von den spezifischen Bergbaufolgen (grau-bräunlich unterlegte Rechtecke) der drei Bergbauarten Erz-, Steinkohlen- und Braunkohlenbergbau sind die jeweiligen Bearbeitungsschwerpunkte der Projektpartner (weiße Ellipsenformen) dargestellt. Diesen wurden die Teilprojekte (Kreise mit Nummern) zugeordnet, die von den Partnern bearbeitet wurden. Die weißen Verbindungen zwischen den Teilprojekten verdeutlichen die Synergien. Einige Teilprojekte ergänzen andere und einige bilden Grundlagen oder geben Hintergrundinformationen für Teilprojekte. Insbesondere werden der wichtige grenzübergreifende Austausch bzw. die Unterstützung deutlich. Die Legende mit Erläuterungen befindet sich auf der nachfolgenden Seite zur Abbildung.

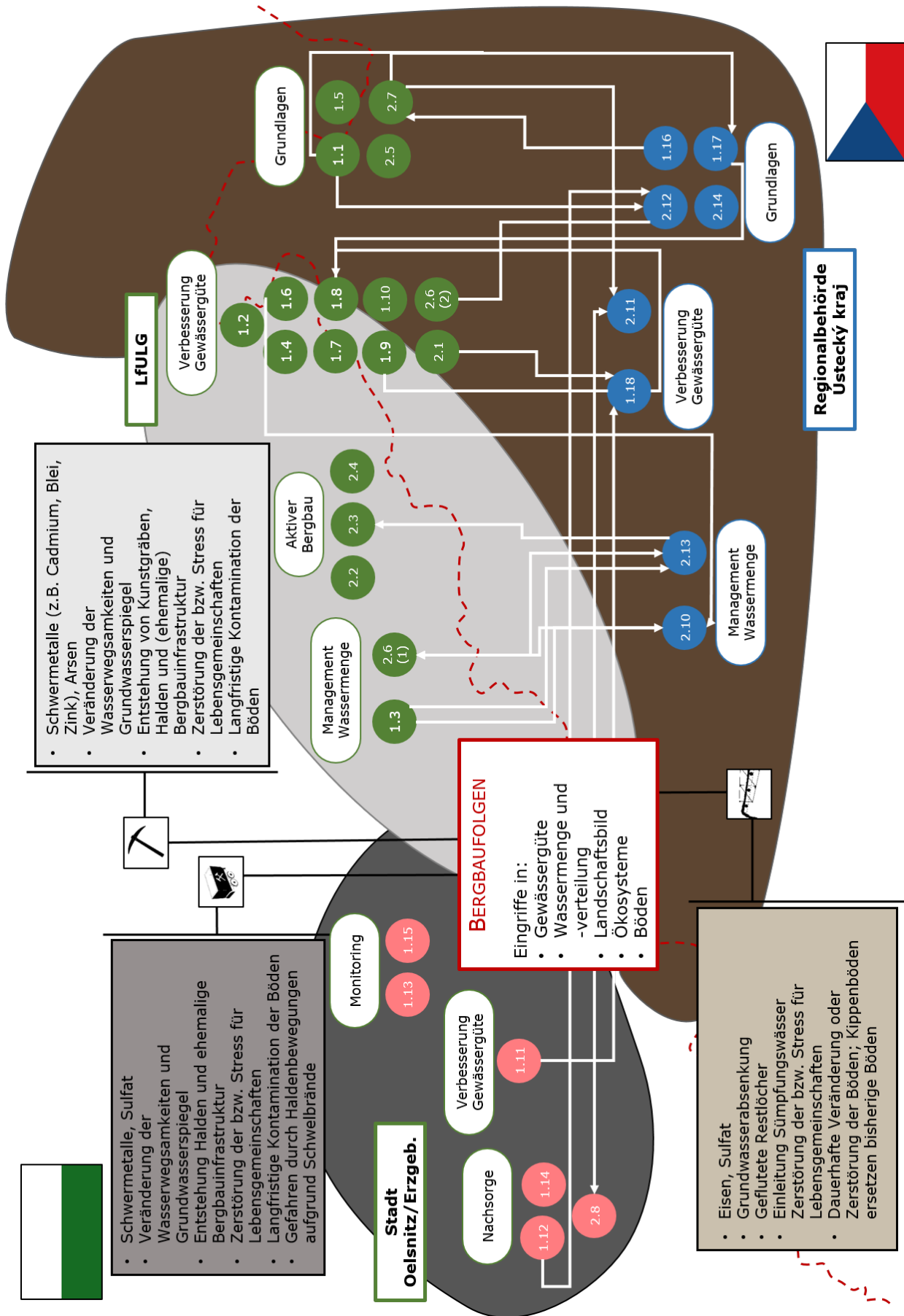



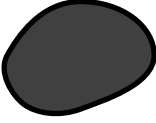












Abbildung 34: Übersicht Schwerpunkte des Projektes und Synergieeffekte

**Legende:**

-----	
	Staatsgrenze Sachsen – Tschechische Republik
	Flagge von Sachsen
	Flagge der Tschechischen Republik
	Schematischer Einflussbereich des Erzbergbaus
	Schematischer Einflussbereich des Steinkohlenabbaus
	Schematischer Einflussbereich des Braunkohlenabbaus
	Symbol für Erzbergbau
	Symbol für Steinkohlenabbau
	Symbol für Braunkohlenabbau
	Projektpartner
	Ziele/Prioritäten der Projektpartner, die sich aus den Spezifika der Bergbau-folgen ergeben
	Teilprojekte des LfULG
	Teilprojekte der Stadt Oelsnitz/Erzgeb.
	Teilprojekte Regionalbehörde Ústecký kraj
	Vernetzungen zwischen den Teilprojekten. Die Pfeilrichtung gibt an, welches Teilprojekt ein anderes mit Informationen unterstützt oder die Grundlage für ein anderes Teilprojekt gebildet hat

Teilprojekt	Titel	Teilprojekt	Titel
1.1	Analysen des anthropogenen und natürlich bedingten Zutrittes von Eisen und Sulfat in bergbaubeeinflusste Fließgewässer	2.1	Nutzung der Abprodukte aus Wasserreinigungsanlagen als Wertstoffe
1.2	Möglichkeiten des Schadstoffrückhalts in unterirdischen Grubengebäuden des Erz- und Spatbergbaus	2.2	Einfluss neuer Bergbauaktivitäten auf Wasserqualität und Wassermenge im Raum Zinnwald-Cínovec
1.3	Methodenentwicklung zur Wasserhaushaltsanalyse und Wasserhaushaltsplanung für die Bergbauregion Ostsachsen	2.3	Vereinbarkeit von neuen Bergbauaktivitäten mit Vorgaben der EU - umweltrechtlicher Leitfaden für Behörden, Planer und Bergbautreibende
1.4	Testung der Laborergebnisse zur elektrochemischen Sulfatabtrennung (Labor) im Dauerbetrieb in der Praxis in Rainitza	2.4	Konzept zu flächensparenden Übertageanlagen - zukünftiger Bergbau
1.5	Untersuchungen zur Sulfatabtrennung mit dem Ziel der Gewinnung von Ammoniumsulfatdünger	2.5	Aufbau eines digitalen grenzüberschreitenden Kippenkatasters SN-CZ
1.6	Ermittlung der Hintergrundkonzentration von Metallen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet für eine korrekte Bewertung und spätere Behandlung der Wasserkörperzustände vor dem Hintergrund der WRRL(EG)	2.6 (1)	Kompendium wirtschaftlicher und umweltgerechter Best-Praxis Lösungen für Bergbaufolgemanagement sowie aktiven Bergbau; CZ und SN - Teil 1: Wassermanagement in der Lausitzer Bergbaufolgelandschaft in witterungsbedingten Extremsituationen
1.7	Erarbeitung eines Wasserstammbaumes für den Raum Zinnwald/Cínovec sowie Erarbeitung zukünftig notwendiger wasserwirtschaftlicher Maßnahmen mit dem Ziel, den Gewässerzustand in der Region zu verbessern	2.6 (2)	Kompendium wirtschaftlicher und umweltgerechter Best-Praxis Lösungen für Bergbaufolgemanagement sowie aktiven Bergbau; CZ und SN - Teil 2: Instrumente zur Ermittlung geeigneter umweltgerechter Verfahren
1.8	Reinigungsverfahren sowie wirtschaftliche Bewertung und Selektion der Best-Praxis-Verfahren gegen Acid-Mine-Drainage	2.7	Machbarkeitsstudie zur Nutzung von multispektralen sowie hyperspektralen Verfahren
1.9	Recherche und Wirtschaftlichkeit mikrobiologischer Verfahren zur Reinigung von Bergbauwässern	2.8	Analyse spezieller Inhaltsstoffe in Gruben- und Haldenwässern aus dem ehemaligen Lugau-Oelsnitzer-Revier sowie Inhaltsstoffen der Böden und Quellen und



			Erarbeitung von Varianten für deren industriellen Nutzung
1.10	Boden- und Gewässersanierung in Bergbaugebieten mit besonderen Forstanbausystemen	2.10	Kompodium bestehender Erkenntnisse zur hydrologischen und hydrochemischen Problematik im Nordböhmischen Braunkohlenbecken aus Sicht der Flutung der Bergbaurestlöcher
1.11	Mobile Wasserbehandlungsanlage zur Enteisung und Entmanung von während der Probenahme anfallendem Grundwasser aus der Tiefbohrung Oelsnitz für das Gradierwerk	2.11	Hydrochemisches Monitoring der Gewässer zur Beurteilung der Wasserqualität für die Flutung der Restlöcher und Bewertung der potentiellen Quellen für eine Kontamination
1.12	Erarbeitung „Rahmenkonzept“: Bergbaunachfolgen des ehem. Steinkohlenreviers Lugau Oelsnitz	2.12	Bewertung der langfristigen Entwicklung im Bereich der Wasserqualität in den Bergbaurestlöchern im Nordböhmischen Braunkohlenbecken
1.13	Weiterführung des Bergbaunachfolgemonitorings im Gebiet der Stadt Oelsnitz/Erzgeb.	2.13	Bewertung bestehender Konzepte für hydrische Rekultivierung im Nordböhmischen Braunkohlenbecken aus Sicht der Optimierung wasserwirtschaftlicher Lösungen
1.14	Revitalisierung der Tiefbohrung Oelsnitz/Erzgeb. zur Entnahme von Grubenwasser/Sole unter Beibehaltung ihrer derzeitigen Funktionen	2.14	Recherche und Bewertung des Umfangs der Kippen nach der Erzförderung im Erzgebirge zum Aufbau eines digitalen grenzüberschreitenden Katasters
1.15	Eruierung von Grundwasser-Bohrlochansatzpunkten zur Überwachung der Flutung, Steuerung der Flutung, und Soleförderung		
1.16	Recherche und Untersuchung der Bergbaufolgeseeen aus Sicht der möglichen Risiken der Beeinträchtigung anderer Wasserflächen		
1.17	Hydrochemisches Monitoring der Gewässer zur Beurteilung Wasserqualität kleiner Bergbaufolgeseeen		
1.18	Bewertung hydrochemischer Risiken der Bergbaufolgeseeen und Vorschläge für deren Eliminierung		

Die Inhalte des zweiten und dritten Kapitels entstanden auf Grundlage der komplexen Abschlussberichte der einzelnen Teilprojekte des Projekts Vita-Min. Folgende Auftragnehmer wurden mit der Erarbeitung der jeweiligen Fragestellungen der Teilprojekte beauftragt:

### **Auftragnehmer**

G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH

Konsortium GEOmontan GmbH, IBGW GmbH, GFI GmbH

Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e. V. (FIB)

Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS), Dresden

Dresdner Grundwasserforschungszentrum e. V. (DGFZ)

Zentrum für angewandte Forschung & Technologie (ZAFT) an der HTW Dresden

Geologische Landesuntersuchung GmbH (GLU)

Helmholtz-Zentrum-Rossendorf e. V.

DMT GmbH & Co. KG

TU Bergakademie Freiberg

Beak Consultants GmbH

Hydro-Geo-Consult GmbH (HGC)

Bioanalytika CZ, s.r.o.

R – PRINCIP Most s.r.o.

Sweco Hydroprojekt a.s.

Real & Projekt Most s.r.o.

4G consite s.r.o.

## Abkürzungsverzeichnis

AEW	Alkalisches Eisenhydroxidwasser
AMD	Saure Grubenwässer (engl.: Acid-Mine-Drainage)
BBergG	Bundesberggesetz
BergZustVO	Zuständigkeitsverordnung des Bundesberggesetzes
BfUL	Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft
BNK-4,5	Basenneutralisationskapazität bei pH 4,5
BNK-8,3	Basenneutralisationskapazität bei pH 8,3
BSB <sub>5</sub>	biologischer Sauerstoffbedarf
ČHMÚ	Tschechisches hydrologisches Amt
CSB <sub>Cr</sub>	chemischer Sauerstoffbedarf
ČSN 75 7221	Jakost vod. Klasifikace jakosti povrchových vod (Technische Norm zur Klassifizierung der Oberflächenwasserqualität)
EHS	Eisenhydroxidschlamm
ECOLI	Escherichia coli
ENT	Enterokokken
EZG	Einzugsgebiet
FC	thermotolerante, coliforme Bakterien
GNSS	Globales Navigationssatellitensystem
GrwV	Grundwasserverordnung
GR4J	Niederschlags-Abflussmodell (Frz.: modèle du Génie Rural à 4 paramètres Journalier)
GWRA	Grubenwasserreinigungsanlage
GWK	Grundwasserkörper
HGK	Hintergrundkonzentrationen
KLAM	Klima-Arten-Matrix
LAWA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
MWBA	Modulare Wasserbehandlungsanlage

NHN	Normalhöhennull
NL <sub>105</sub>	unlösliche Stoffe, bei 105 ° C getrocknet
NV 401/2015	Regierungsverordnung Nr. 401/2015 (Nařízení vlády č. 401/2015 Sb)
OGewV	Oberflächengewässerverordnung
OWK	Oberflächenwasserkörper
PAK	polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	polychlorierte Biphenyle
PGE	Polnische Energiegruppe (Polnisch: Polska Grupa Energetyczna)
PPV	Industrieller Wasserversorgung/Zuleiter PPV (Eger-Bílina) (Cz.: Přivaděč průmyslové vody; Ohře – Bílina)
PV	Profilkennnummern
PVN	Industrielle Wasserversorgung/Zuleiter Nechanice (Průmyslovým vodovodem Nechanice)
P90	90-Perzentil
RCP	Repräsentative Konzentrationspfade in Klimaprojektionen (Representative Concentration Pathways)
RL <sub>105</sub>	gelöste Stoffe, bei 105 °C getrocknet
RL <sub>550</sub>	gelöste Stoffe, bei 550 °C geglüht
SächsWG	Sächsisches Wassergesetz
SNK-4,5	Säureneutralisationskapazität bei pH 4,5
SNK-8,3	Säureneutralisationskapazität bei pH 8,3
SOBA	Sächsisches Oberbergamt
TOC	organischer Kohlenstoff insgesamt (total organic carbon)
TUW	Niederschlags-Abflussmodell der Technischen Universität Wien
UQN	Umweltqualitätsnorm
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Folgen des Bergbaus auf die Natur und Umwelt _____	3
Abbildung 2: Prozessschema Braunkohlenabbau im Tagebau _____	5
Abbildung 3: Prozessschema Erzabbau untertage _____	6
Abbildung 4: Übersicht Teilprojekte in der Kategorie Bergbaufolgemanagement (Zuständigkeiten: grün – LfULG; rot – Stadtverwaltung Oelsnitz/Erzgeb.; blau - Ústecký Kraj) _____	9
Abbildung 5: Übersicht Teilprojekte in der Kategorie ressourcenschonende Prinzipien (Zuständigkeiten: grün – LfULG; rot – Stadtverwaltung Oelsnitz/Erzgeb.; blau - Ústecký Kraj) _____	10
Abbildung 6: Anthropogen wenig beeinflusste Sulfatkonzentration im Oberflächenwasser _____	13
Abbildung 7: Hydrochemisches Fließschema von Arsen für die Stolln Tiefer Hilfe Gottes Stolln (THGSt) und Tiefer Büнау Stolln (TBSt) des Bergbaureviers Zinnwald/Cínovec _____	15
Abbildung 8: Testgebiet Bärwalder See mit Sonderbereichen _____	21
Abbildung 9: Zusammenfassung der Grenzgewässer-OWK zu Gruppen bezogen auf deren geologische Gegebenheiten _____	23
Abbildung 10: Ablaufschema der Recherche und Bewertung von Bergbaunachfolgen im Revier Lugau-Oelsnitz/Erzgeb. _____	28
Abbildung 11: Modellierung und Messwerte des Grubenwasseranstieges _____	29
Abbildung 12: Tektonische Karte nach Interpretation der geophysikalischen Profile _____	31
Abbildung 13: Höhenänderungen an Festpunkten 1 bis 8 _____	33
Abbildung 14: Spezifischer Energieverbrauch (Espez-M) in Abhängigkeit von der Sulfatabtrennung am Beispiel GWRA Tzschelln. Die Sulfatabtrennung ist über den Elektrolysestrom angegeben. (Dunkelblau: Messwerte) _____	39
Abbildung 15: Aufbau der Gefäßversuche je Jahr im Zeitraum 2016-2018 am LfULG in Nossen. Im Jahr 2018 gab es für Konzentrat 1 keine Gefäße. _____	41
Abbildung 16: Mittelwerte und Standardabweichung der Untersuchungsparameter Korn trockenmasse (oben) und Stickstoffzug (unten) des Sommerweizens bei verschiedenen Stickstoffzugaben (N) der Düngemittel/Konzentrate für alle Versuchsjahre (Anzahl der Stichproben = 4) _____	42
Abbildung 17: Kategorien der Aufbereitungstechnologien – Verfahrensauswahl (INAP, 2014) _____	44
Abbildung 18: Schema zur Auswahl einer möglichen Verfahrensweise zur aktiven Aufbereitung von Grubenwässern. Blau markiert ist die häufige Vorgehensweise für die braunkohlenbergbaugeprägten Regionen Sachsens. (in rot: Kapitelverweis auf ausführliche Verfahrensbeschreibung im Abschlussbericht) _____	45
Abbildung 19: Schritte der Herangehensweise _____	46
Abbildung 20: Belastungsgruppen bergbaubeeinflusster Oberflächenwasserkörper (OWK) _____	47
Abbildung 21: Überblick über die Messstellen und Tagebaue in den Einzugsgebieten Spree, Schwarze Elster und Lausitzer Neiße (AG Flussgebietsbewirtschaftung, 2019) _____	55
Abbildung 22: Herkunft der Flutungsmengen der Lausitz 2000-2019 (LMBV, 2020) _____	56

Abbildung 23: Übersicht über die einzelnen Betriebspläne der jeweiligen Bergbauphase nach BBergG _____	58
Abbildung 24: Abgrenzung des Moster Beckens und Lage der vier geplanten Tagebaurestseen (Sweco Hydroproject a.s., 2018)_____	59
Abbildung 25: Zeitachse für die Flutung der Seen (Sweco Hydroproject a.s., 2018)_____	63
Abbildung 26: Abprodukttypen der sächsischen Wasserreinigungsanlagen _____	77
Abbildung 27: Übersichtskarte der betrachteten OWK- Einzugsgebiete entlang der deutsch-tschechischen Grenze (OWK-ID: fett-mit Haldenbestand, kursiv-ohne Haldenbestand)_____	82
Abbildung 28: Schutzgutbezogene Gliederung der Verfahren (beispielhaft) in der BEAST-Anwendung _____	85
Abbildung 29: Zusammenstellung von Verfahren zur Behandlung bergbaubeeinflusster Fließgewässer in Abhängigkeit des Schadstoffspektrums, des Platzangebotes, des Volumenstromes bzw. im Falle hoher Salzfrachten vom Wasser- und Energieangebot_____	86
Abbildung 30: Entscheidungsbaum zur Auswahl von Verfahren zur Fließgewässersanierung bei Kontamination durch Schwermetalle und Arsen (in rot: Kapitelverweis auf ausführliche Verfahrensbeschreibung im Abschlussbericht)_____	87
Abbildung 31: Falschfarbendarstellung des Eisenindex am südöstlichen Ufer des Bernsteinsees im August 2018 (oben) und im Oktober 2018 (unten). Aufgenommen mit einer Multispektralkamera_____	89
Abbildung 32: Themenschwerpunkte des Erzbergbaus _____	94
Abbildung 33: Themenschwerpunkte des Braunkohlenbergbaus _____	96
Abbildung 34: Übersicht Schwerpunkte des Projektes und Synergieeffekte _____	100

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Eintragsquellen für Eisen und Sulfat in Fließgewässer _____	12
Tabelle 2: Liste der ausgewählten und untersuchten kleinen Bergbaufolgeseen (mit Zuordnung zu definierten Typen A-D) _____	17
Tabelle 3: Übersicht über die Zahl der nachgewiesenen Art an oder in den ausgewählten, betrachteten Gewässern _____	18
Tabelle 4: Datenquellen zur Charakterisierung _____	22
Tabelle 5: Abgeleitete Hintergrundkonzentration ausgewählter Elemente für die OWK-Gruppen _____	24
Tabelle 6: Bewertung von Standortansprüchen, Eigenschaften und klimatischer Zukunftstauglichkeit (KLAM) von 37, für die Rekultivierung von Kippen- und Haldenflächen, relevante Baumarten. Hierbei gilt für die KLAM: erste Ziffer = Trockenheitstoleranz, zweite Ziffer = Winterhärte, in der Abstufung 1 = sehr geeignet, 2 = geeignet, 3 = problematisch, 4 = sehr eingeschränkte Eignung. Für die weiteren Spalten gilt: 1 = sehr niedrig, 2 = niedrig, 3 = mittel, 4 = hoch, 5 = sehr hoch; verändert nach Roloff, A. und Gillner, S. 2009 (KLAM) und Härdtle, W. u. a. 2006. * Werte wurden anhand verschiedener Quellen eigens eruiert. _____	26
Tabelle 7: Übersicht über die Parameter, die im Rahmen des Monitorings der kleinen Bergbaufolgeseen erhoben wurden _____	35
Tabelle 8: Prozentualer Anteil der Stolln mit Überschreitung des Beurteilungswertes je Element (Anzahl der untersuchten Stollnwässer: 39) _____	37
Tabelle 9: Übersicht potenzieller Verfahrensansätze zur Reinigung von Grubenwässern nach Eingriffsebene _____	37
Tabelle 10: Spezifische Kosten für ein Szenario zur Reinigung der Spree (nach Umweltziel WRRL) unter Einsatz des RODOSAN-Verfahrens (Wasserbehandlungsanlagen Tzschelln und Burghammer) _____	40
Tabelle 11: Prinzipiell geeignete (mikro-)biologische Verfahren für die jeweilige Belastungssituation in den Oberflächenwasserkörpern (OWK) _____	47
Tabelle 12: Vergleich Analysedaten _____	50
Tabelle 13: Wasserhaushaltsbilanz 1988-20210 für sächsische Gebietsanteile (negative Werte bedeuten eine Zunahme) (Wasserhaushaltsportal Sachsen, 2020) _____	55
Tabelle 14: Ergebnisse der Simulation der Wasserstände _____	67
Tabelle 15: Wasserbedarfe für ausgewählte Seen im Nordböhmischen Braunkohlenbecken für unterschiedliche Varianten der Klimabedingungen _____	67
Tabelle 16: Informationen zu ausgewählten Entnahmestellen im Nordböhmischen Braunkohlenbecken _____	74
Tabelle 17: Parameter, die im Rahmen des Monitorings der möglichen Oberflächenwasserzuläufe für zukünftige Tagebaurestseen erhoben wurden _____	75
Tabelle 18: Vorgehensweise zur Bearbeitung der drei Arbeitskomplexe _____	76
Tabelle 19: Wesentliche Maßnahmen zur übertägigen Flächeneinsparung im Bergbau _____	79
Tabelle 20: Auflistung des Inhalts bzw. der Felder des Haldenkatasters _____	83

## Literaturverzeichnis

- AG Flussgebietsbewirtschaftung. (2019). *Auswertung Niedrigwasser 2018 Schwarze Elster, Spree und Lausitzer Neiße*.
- Baumann, L., Kuschka, E., & Seifert, T. (2000). *Lagerstätten des Erzgebirges*. Stuttgart: Enke im Thieme-Verlag.
- ČGS. (5. Februar 2018). *Kartenserver des Tschechischen geologischen Dienstes (ČGS)*. Von <http://www.geology.cz/extranet/mapy/mapy-online/mapove-aplikace> abgerufen
- CHMI. (3. September 2019). *Gewässergütedaten des Tschechischen Hydrometeorologischen Institutes*. Von <http://hydro.chmi.cz/hydro/> abgerufen
- Doležalová, J., Vojar, J., & Solský, M. (2012). *Využití sukcesních ploch při rekultivaci území ovlivněných těžbou*.
- Gerlach, A., & Waltz, M. (29. 03 2020). Goldgräberstimmung in Sachsen. *Lithium im Erzgebirge*. Altenberg, Sachsen. Abgerufen am 23. 10 2020 von [https://www.deutschlandfunk.de/lithium-im-erzgebirge-goldgraeberstimmung-in-sachsen.724.de.html?dram:article\\_id=473571](https://www.deutschlandfunk.de/lithium-im-erzgebirge-goldgraeberstimmung-in-sachsen.724.de.html?dram:article_id=473571)
- Greif, A., Pälchen, W., Rank, G., & Weidensdörfer, H. (2004). *Geochemischer Atlas des Freistaates Sachsen, Teil 2: Spurenelementgehalte in Bachsedimenten*. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie.
- Härdtle, W., Ewald, J., & Hölzel, N. (2006). *Wälder des Tieflandes und der Mittelgebirge*. Stuttgart.
- Hösel, G., Tischendorf, G., & Wasternack, J. (1997). *Erläuterungen zur Karte „Mineralische Rohstoffe Erzgebirge-Vogtland/ Krušné hory 1 : 100.000“, Karte 2: Metalle, Fluorit/Baryt – Verbreitung und Auswirkungen auf die Umwelt*. Freiberg: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Sächsisches Oberbergamt.
- INAP. (2014). *Global Acid Rock Drainage Guide*. Von [www.gardguide.com](http://www.gardguide.com) abgerufen
- Kardel, K., Rank, G., & Pälchen, W. (1996). *Geochemischer Atlas des Freistaates Sachsen, Teil 1: Spurenelementgehalte in Gesteinen*. Radebeul: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie.
- Kloth, M. (04. 07 2019). Berggeschrey im Erzgebirge. *Ansturm auf Bodenschätze / Erzbergbau erlebt in Sachsen eine Renaissance*. Schwarzenberg. Abgerufen am 23. 10 2020 von <https://www.neues-deutschland.de/artikel/1122260.erzabbau-berggeschrey-im-erzgebirge.html>
- Martin, M., & Kuhr, J. (2019). *Ermittlung der Hintergrundkonzentration von Metallen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet für eine korrekte Bewertung und spätere Behandlung der Wasserkörperzustände vor dem Hintergrund der WRRL (EG). Projekt Vita-Min*. Halsbrücke: G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH.



- MDR. (25. 02 2020). Diskussionen um das neue Bergwerk in Pöhla. Schwarzenberg, Sachsen. Abgerufen am 23. 10 2020 von <https://www.mdr.de/sachsen/chemnitz/annaberg-aue-schwarzenberg/bergwerk-poehla-sme-100.html>
- Nielsen, L. (1995). Dorf am Abgrund. *Stern*.
- Pälchen, W. (2009). *Geologie von Sachsen II*. Stuttgart: E. Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- Rank, G., W., P., Kardel, K., & Weidensdorfer, H. (1999). *Bodenatlas des Freistaates Sachsen, Teil 3 – Bodenmessprogramm, Bodenmessnetz Raster 4 km x 4 km*. Dresden: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie.
- Roloff, A., & Gillner, S. (2009). "Die KLimaArtenMatrix für Stadtbaumarten (KLAM-Stadt)" in "Die grüne Stadt - Handbuch für mehr Grün in Städten". Hamburg: "Die Grüne Stadt".
- Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. (2015). *Bericht über die sächsischen Beiträge zu den Bewirtschaftungsplänen der Flussgebietseinheiten Elbe und Oder nach § 83 WHG bzw. Artikel 13 der Richtlinie 2000/60/EG für den Zeitraum von 2016 bis 2021*. Dresden: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.
- Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. (1. Dezember 2017). Datenübergabe zu Grenzgewässer-OWK in Form einer Exceldatei. Dresden, Sachsen, Deutschland.
- Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. (29. November 2017). Datenübergabe zu industriellen Direkteinleitern. Dresden, Sachsen, Deutschland.
- Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. (2. Mai 2018). Von <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/7112.htm> abgerufen
- Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. (2. Mai 2018). Von <https://www.boden.sachsen.de/bodenubersichtskarte-1-400-000-buk400-19248.html> abgerufen
- Sennewald, R., & Martin, M. (2015). *Untersuchungen zum Grund- und Oberflächenwasser im Grenzraum Zinnwald/Cinovec. Ziel 3-Projekt VODAMIN - Teilprojekte P 03/P 06/P12/P17*. Halsbrücke: G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH.
- Sweco Hydroproject a.s. (2018). *Kompendium stávajících poznatků k hydrologické a hydrochemické problematice zatápění zbytkových jam po těžbě uhlí v SHP*.
- Urbanec, J., & Glöckner, P. (1978). Problematika možného vztahu a souvislostí mezi ložiskem Cinovec-Jih a tepleckými thermami. *Rudy*. 26, S. 303-308.
- Wasserhaushaltsportal Sachsen*. (03. 12 2020). Von [http://whhportal-sachsen.hydro.tu-dresden.de/saeuleB/index\\_b.html](http://whhportal-sachsen.hydro.tu-dresden.de/saeuleB/index_b.html) abgerufen
- Wasternack, J., Tischendorf, G., Hösel, G., Kuschka, E., Breiter, K., Chrt, J., . . . Stemprok, M. (1995). *Mineralische Rohstoffe Erzgebirge – Vogtland / Krušné hory, Karte 2: Metalle, Fluorit/Baryt – Verbreitung und Auswirkungen auf die Umwelt*. Freiberg: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Czech Geological Survey Praha.

## Impressum

Diese Broschüre wurde im Rahmen des EU-Projekts Vita-Min erstellt, welches aus Mitteln des europäischen Fonds für regionale Entwicklung im Kooperationsprogramms SN-CZ 2014-2020 finanziert wurde. Projektpartner sind das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Leadpartner), die Stadtverwaltung Oelsnitz/Erzgeb. und die Regionalbehörde des Ústecký kraj.

**Herausgeber:**

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)  
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden  
Telefon: + 49 351 2612-0  
Telefax: + 49 351 2612-1099  
E-Mail: [lfulg@smul.sachsen.de](mailto:lfulg@smul.sachsen.de)  
[www.lfulg.sachsen.de](http://www.lfulg.sachsen.de)

In Zusammenarbeit mit:

Stadtverwaltung Oelsnitz/Erzgeb.  
Rathausplatz 1  
09376 Oelsnitz/Erzgeb.  
[www.oelsnitz-erzgeb.de](http://www.oelsnitz-erzgeb.de)

Regionalbehörde Ústecký kraj  
Velká Hradební 3118/48  
400 02 Ústí nad Labem  
[www.kr-ustecky.cz](http://www.kr-ustecky.cz)

**Autoren:**

Kathleen Lünich, Lennart Kieschnik, Claudia Zönnchen  
LfULG, Abteilung 4 - Wasser, Boden, Wertstoffe / Referat 44 – Oberflächenwasser, Wasserrahmenrichtlinie

**Redaktion:**

Kathleen Lünich, Lennart Kieschnik, Claudia Zönnchen, Dr. Frank Herbst, Christine Stevens  
Abteilung 4 / Referat 44  
Zur Wetterwarte 11, 01109 Dresden  
Telefon: + 49 351 8928 4400  
Telefax: + 49 351 8928-4099  
E-Mail: [Bernd.Spaenhoff@smul.sachsen.de](mailto:Bernd.Spaenhoff@smul.sachsen.de)

**Kontakt Projektpartner:**

Stadtverwaltung Oelsnitz/Erzgeb: Jens Barnickel - [j.barnickel@oelsnitz-erzgeb.de](mailto:j.barnickel@oelsnitz-erzgeb.de)  
Regionalbehörde Ústecký kraj: Lukáš Vostry - [vostry.l@kr-ustecky.cz](mailto:vostry.l@kr-ustecky.cz)

**Redaktionsschluss:**

14.01.2021

**Auflage:**

150 Stück

**Hinweis:**

Die Broschüre kann kostenfrei beim Zentralen Broschürenversand der Sächsischen Staatsregierung unter <https://publikationen.sachsen.de> als Printmedium bestellt sowie als PDF-Datei heruntergeladen werden.

**Verteilerhinweis**

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben.

Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung.

*Täglich für  
ein gutes Leben.*

[www.lfulg.sachsen.de](http://www.lfulg.sachsen.de)

Für *saubere* Gewässer in Sachsen





Ústecký kraj



Vita-Min

